aws

Panduan Developer

Amazon Braket

Amazon Braket: Panduan Developer

Merek dagang dan tampilan dagang Amazon tidak boleh digunakan sehubungan dengan produk atau layanan apa pun yang bukan milik Amazon, dengan cara apa pun yang dapat menyebabkan kebingungan di antara pelanggan, atau dengan cara apa pun yang merendahkan atau mendiskreditkan Amazon. Semua merek dagang lain yang tidak dimiliki oleh Amazon merupakan hak milik masing-masing pemiliknya, yang mungkin atau mungkin tidak terafiliasi, terkait dengan, atau disponsori oleh Amazon.

Table of Contents

Apa itu Amazon Braket?

> **Tip**
>
> Pelajari dasar-dasar komputasi kuantum dengan AWS! Daftar di Amazon Braket Digital Learning Plan dan dapatkan lencana Digital Anda sendiri setelah menyelesaikan serangkaian kursus pembelajaran dan penilaian digital.

Amazon Braket dikelola sepenuhnya Layanan AWS yang membantu para peneliti, ilmuwan, dan pengembang memulai komputasi kuantum. Komputasi kuantum memiliki potensi untuk memecahkan masalah komputasi yang berada di luar jangkauan komputer klasik karena memanfaatkan hukum mekanika kuantum untuk memproses informasi dengan cara baru.

Mendapatkan akses ke perangkat keras komputasi kuantum bisa mahal dan merepotkan. Akses terbatas membuat sulit untuk menjalankan algoritme, mengoptimalkan desain, mengevaluasi keadaan teknologi saat ini, dan merencanakan kapan harus menginvestasikan sumber daya Anda untuk keuntungan maksimal. Braket membantu Anda mengatasi tantangan ini.

Braket menawarkan satu titik akses ke berbagai teknologi komputasi kuantum. Dengan Braket, Anda dapat:

- Jelajahi dan rancang algoritma kuantum dan hibrida.
- Uji algoritma pada simulator sirkuit kuantum yang berbeda.
- Jalankan algoritma pada berbagai jenis komputer kuantum.
- Buat bukti aplikasi konsep.

Mendefinisikan masalah kuantum dan pemrograman komputer kuantum untuk menyelesaikannya membutuhkan seperangkat keterampilan baru. Untuk membantu Anda mendapatkan keterampilan ini, Braket menawarkan lingkungan yang berbeda untuk mensimulasikan dan menjalankan algoritme kuantum Anda. Anda dapat menemukan pendekatan yang paling sesuai dengan kebutuhan Anda dan memulai dengan cepat dengan serangkaian contoh lingkungan yang disebut notebook.

Pengembangan Braket memiliki tiga tahap:

- Build - Braket menyediakan lingkungan notebook Jupyter yang dikelola sepenuhnya yang membuatnya mudah untuk memulai. Notebook Braket sudah diinstal sebelumnya dengan

algoritma sampel, sumber daya, dan alat pengembang, termasuk Amazon Braket SDK. Dengan Amazon Braket SDK, Anda dapat membangun algoritma kuantum dan kemudian menguji dan menjalankannya pada komputer kuantum dan simulator yang berbeda dengan mengubah satu baris kode.

- Tes - Braket menyediakan akses ke simulator sirkuit kuantum kinerja tinggi yang dikelola sepenuhnya. Anda dapat menguji dan memvalidasi sirkuit Anda. Braket menangani semua komponen perangkat lunak yang mendasarinya dan cluster Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) untuk menghilangkan beban simulasi sirkuit kuantum pada infrastruktur komputasi kinerja tinggi klasik (HPC).
- Run - Braket menyediakan akses yang aman dan sesuai permintaan ke berbagai jenis komputer kuantum. Anda memiliki akses ke komputer kuantum berbasis gerbang dariAQT,,, dan IonQ IQMRigetti, serta Simulator Hamiltonian Analog dari. QuEra Anda juga tidak memiliki komitmen di muka, dan tidak perlu mendapatkan akses melalui penyedia individu.

Tentang komputasi kuantum dan Braket

Komputasi kuantum sedang dalam tahap perkembangan awal. Penting untuk dipahami bahwa tidak ada komputer kuantum universal yang toleran terhadap kesalahan saat ini. Oleh karena itu, beberapa jenis perangkat keras kuantum lebih cocok untuk setiap kasus penggunaan dan sangat penting untuk memiliki akses ke berbagai perangkat keras komputasi. Braket menawarkan berbagai perangkat keras melalui penyedia pihak ketiga.

Perangkat keras kuantum yang ada terbatas karena kebisingan, yang memperkenalkan kesalahan. Industri ini berada di era Noisy Intermediate Scale Quantum (NISQ). Di era NISQ, perangkat komputasi kuantum terlalu berisik untuk mempertahankan algoritma kuantum murni, seperti algoritma Shor atau algoritma Grover. Sampai koreksi kesalahan kuantum yang lebih baik tersedia, komputasi kuantum yang paling praktis membutuhkan kombinasi sumber daya komputasi klasik (tradisional) dengan komputer kuantum untuk membuat algoritma hibrida. Braket membantu Anda bekerja dengan algoritma kuantum hibrida.

Dalam algoritme kuantum hibrid, unit pemrosesan kuantum (QPU) digunakan sebagai co-processor untuk CPU, sehingga mempercepat penghitungan spesifik dalam algoritme klasik. Algoritme ini memanfaatkan pengolahan berulang, di mana komputasi bergerak antara komputer klasik dan kuantum. Misalnya, aplikasi komputasi kuantum saat ini di bidang kimia, optimasi, dan machine learning didasarkan pada algoritme kuantum variasional, yang merupakan jenis Algoritme kuantum hibrid. Dalam algoritme kuantum variasional, rutinitas optimasi klasik menyesuaikan parameter sirkuit kuantum berparameter secara iteratif, dengan cara yang sama bobot jaringan saraf disesuaikan

secara iteratif berdasarkan kesalahan dalam set pelatihan pembelajaran mesin. Braket menawarkan akses ke pustaka perangkat lunak PennyLane open source, yang membantu Anda dengan algoritma kuantum variasional.

Komputasi kuantum mendapatkan traksi untuk penghitungan di empat bidang utama:

- Teori bilangan — termasuk anjak piutang dan kriptografi (misalnya, algoritma Shor adalah metode kuantum utama untuk perhitungan teori bilangan)
- Optimalisasi — termasuk kepuasan kendala, pemecahan sistem linier, dan pembelajaran mesin
- Komputasi orakular — termasuk pencarian, subkelompok tersembunyi, dan pencarian urutan (misalnya, algoritma Grover adalah metode kuantum utama untuk komputasi orakular)
- Simulasi — termasuk simulasi langsung, invarian simpul, dan aplikasi algoritma optimasi perkiraan kuantum (QAOA)

Aplikasi untuk kategori komputasi ini dapat ditemukan, misalnya, di layanan keuangan, bioteknologi, manufaktur, dan farmasi,. Braket menawarkan kemampuan dan contoh notebook yang sudah dapat diterapkan pada banyak bukti masalah konsep selain masalah praktis tertentu.

Di bagian ini:

- Cara kerja Amazon Braket
- Syarat dan konsep Amazon Braket
- Pelacakan biaya dan penghematan
- Referensi API dan repo untuk Amazon Braket
- Amazon Braket mendukung wilayah dan perangkat

Cara kerja Amazon Braket

> **Tip**
>
> Pelajari dasar-dasar komputasi kuantum dengan AWS! Daftar di Amazon Braket Digital Learning Plan dan dapatkan lencana Digital Anda sendiri setelah menyelesaikan serangkaian kursus pembelajaran dan penilaian digital.

Amazon Braket menyediakan akses sesuai permintaan ke perangkat komputasi kuantum, termasuk simulator sirkuit sesuai permintaan dan berbagai jenis unit pemrosesan kuantum (QPU). Di Amazon Braket, permintaan atom ke perangkat adalah tugas kuantum. Untuk perangkat berbasis gerbang, permintaan ini mencakup sirkuit kuantum (termasuk instruksi pengukuran dan jumlah bidikan) dan metadata permintaan lainnya. Untuk Simulator Hamiltonian Analog, tugas kuantum berisi tata letak fisik register kuantum dan ketergantungan waktu dan ruang dari medan manipulasi.

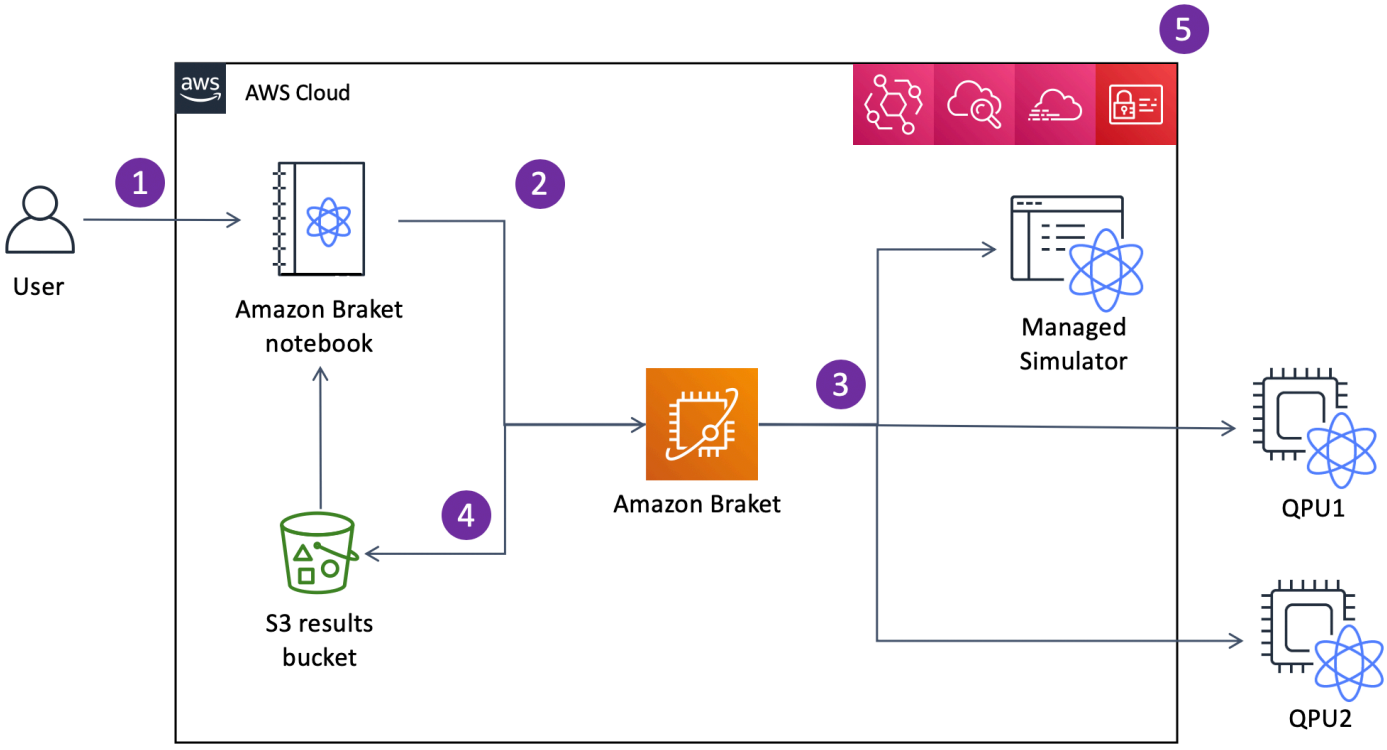
Braket Direct adalah program yang memperluas bagaimana Anda dapat menjelajahi komputasi kuantum AWS, mempercepat penelitian dan inovasi. Anda dapat memesan kapasitas khusus pada berbagai perangkat kuantum, terlibat langsung dengan spesialis komputasi kuantum, dan memiliki akses awal ke kemampuan generasi berikutnya, termasuk perangkat trapped-ion terbaru dari, Forte. IonQ

Pada bagian ini, kita akan belajar tentang aliran tingkat tinggi menjalankan tugas kuantum di Amazon Braket.

Di bagian ini:

- Alur tugas kuantum Amazon Braket
- Third-party pengolahan data

Alur tugas kuantum Amazon Braket



Dengan Jupyter notebook, Anda dapat menentukan, mengirimkan, dan memantau tugas kuantum Anda dari Konsol Amazon Braket atau menggunakan Amazon Braket SDK. Anda dapat membangun sirkuit kuantum Anda langsung di SDK. Namun, untuk Simulator Hamiltonian Analog, Anda menentukan tata letak register dan bidang pengontrol (1). Setelah tugas kuantum Anda ditentukan, Anda dapat memilih perangkat untuk menjalankannya dan mengirimkannya ke Amazon Braket API (2). Bergantung pada perangkat yang Anda pilih, tugas kuantum diantrian hingga perangkat tersedia dan tugas dikirim ke QPU atau simulator untuk implementasi (3). Amazon Braket memberi Anda akses ke berbagai perangkat kuantum yang didukung termasuk QPU, simulator sesuai permintaan, simulator lokal, dan simulator tertanam.

Setelah memproses tugas kuantum Anda, Amazon Braket mengembalikan hasilnya ke bucket Amazon S3, tempat data disimpan di Akun AWS (4). Pada saat yang sama, SDK melakukan polling untuk hasil di latar belakang dan memuatnya ke notebook Jupyter pada penyelesaian tugas kuantum. Anda juga dapat melihat dan mengelola tugas kuantum Anda di halaman Quantum Tasks di konsol Amazon Braket atau dengan menggunakan `GetQuantumTask` pengoperasian Amazon Braket. API

Amazon Braket terintegrasi dengan AWS Identity and Access Management (IAM), Amazon, CloudWatch dan AWS CloudTrail Amazon EventBridge untuk manajemen akses pengguna, pemantauan dan pencatatan serta untuk pemrosesan berbasis peristiwa (5).

Third-party pengolahan data

Tugas kuantum yang dikirimkan ke perangkat QPU diproses pada komputer kuantum yang terletak di fasilitas yang dioperasikan oleh penyedia pihak ketiga. Untuk mempelajari lebih lanjut tentang keamanan dan pemrosesan pihak ketiga di Amazon Braket, lihat Keamanan Penyedia Perangkat Keras Amazon Braket.

Syarat dan konsep Amazon Braket

> **Tip**
>
> Pelajari dasar-dasar komputasi kuantum dengan AWS! Daftar di Amazon Braket Digital Learning Plan dan dapatkan lencana Digital Anda sendiri setelah menyelesaikan serangkaian kursus pembelajaran dan penilaian digital.

Istilah dan konsep berikut digunakan dalam Braket:

Simulasi Hamiltonian Analog

Analog Hamiltonian Simulation (AHS) adalah paradigma komputasi kuantum yang berbeda untuk simulasi langsung dinamika kuantum yang bergantung pada waktu dari sistem banyak benda. Dalam AHS, pengguna secara langsung menentukan Hamiltonian yang bergantung pada waktu dan komputer kuantum disetel sedemikian rupa sehingga secara langsung meniru evolusi waktu berkelanjutan di bawah Hamiltonian ini. Perangkat AHS biasanya perangkat tujuan khusus dan bukan komputer kuantum universal seperti perangkat berbasis gerbang. Mereka terbatas pada kelas Hamiltonian yang dapat mereka simulasikan. Namun, karena Hamiltonian ini secara alami diimplementasikan pada perangkat, AHS tidak mengalami overhead yang diperlukan untuk merumuskan algoritme sebagai sirkuit dan mengimplementasikan operasi gerbang.

Braket

Kami menamai layanan Braket setelah notasi bra-ket, notasi standar dalam mekanika kuantum. Ini diperkenalkan oleh Paul Dirac pada tahun 1939 untuk menggambarkan keadaan sistem kuantum, dan juga dikenal sebagai notasi Dirac.

Braket Langsung

Dengan Braket Direct, Anda dapat memesan akses khusus ke berbagai perangkat kuantum pilihan Anda, terhubung dengan spesialis komputasi kuantum untuk menerima panduan untuk beban kerja Anda, dan mendapatkan akses awal ke kemampuan generasi berikutnya, seperti perangkat kuantum baru dengan ketersediaan terbatas.

Pekerjaan hybrid braket

Amazon Braket memiliki fitur yang disebut Amazon Braket Hybrid Jobs yang menyediakan eksekusi algoritma hybrid yang dikelola sepenuhnya. Pekerjaan hybrid Braket terdiri dari tiga komponen:

1. Definisi algoritme Anda, yang dapat disediakan sebagai skrip, modul Python, atau wadah Docker.
2. Instans pekerjaan hybrid, berdasarkan Amazon EC2, untuk menjalankan algoritme Anda. Defaultnya adalah instance ml.m5.xlarge.
3. Perangkat kuantum untuk menjalankan tugas kuantum yang merupakan bagian dari algoritme Anda. Pekerjaan hibrida tunggal biasanya berisi kumpulan banyak tugas kuantum.

Perangkat

Di Amazon Braket, perangkat adalah backend yang dapat menjalankan tugas kuantum. Perangkat dapat berupa QPU atau simulator sirkuit kuantum. Untuk mempelajari selengkapnya, lihat Perangkat yang didukung Amazon Braket.

Mitigasi kesalahan

Mitigasi kesalahan melibatkan menjalankan beberapa sirkuit fisik dan menggabungkan pengukuran mereka untuk memberikan hasil yang lebih baik. Untuk informasi selengkapnya, lihat Teknik mitigasi kesalahan.

Gate-based komputasi kuantum

Dalam komputasi kuantum berbasis gerbang (QC), juga disebut QC berbasis sirkuit, komputasi dipecah menjadi operasi dasar (gerbang). Set gerbang tertentu bersifat universal, artinya setiap perhitungan dapat dinyatakan sebagai urutan terbatas dari gerbang tersebut. Gerbang adalah blok bangunan sirkuit kuantum dan analog dengan gerbang logika sirkuit digital klasik.

Batas Gateshot

Batas gateshot mengacu pada jumlah total gerbang per tembakan (jumlah semua jenis gerbang) dan jumlah tembakan per tugas. Secara matematis, batas gateshot dapat dinyatakan sebagai:

```
Gateshot limit = (Gate count per shot) * (Shot count per task)
```

Hamiltonian

Dinamika kuantum sistem fisik ditentukan oleh Hamiltonian, yang mengkodekan semua informasi tentang interaksi antara konstituen sistem dan efek kekuatan pendorong eksogen. Hamiltonian dari suatu N-qubit sistem umumnya direpresentasikan sebagai matriks 2^N x 2^N bilangan kompleks pada mesin klasik. Dengan menjalankan Simulasi Hamiltonian Analog pada perangkat kuantum, Anda dapat menghindari persyaratan sumber daya eksponensial ini.

Denyut nadi

Pulsa adalah sinyal fisik sementara yang ditransmisikan ke qubit. Ini dijelaskan oleh bentuk gelombang yang dimainkan dalam bingkai yang berfungsi sebagai dukungan untuk sinyal pembawa dan terikat ke saluran perangkat keras atau port. Pelanggan dapat merancang pulsa mereka sendiri dengan menyediakan amplop analog yang memodulasi sinyal pembawa sinusoidal frekuensi tinggi. Bingkai secara unik dijelaskan oleh frekuensi dan fase yang sering dipilih untuk berada pada resonansi dengan pemisahan energi antara tingkat energi untuk |0# dan |1# dari qubit. Gerbang dengan demikian diberlakukan sebagai pulsa dengan bentuk yang telah ditentukan dan parameter yang dikalibrasi seperti amplitudo, frekuensi, dan durasinya. Kasus penggunaan yang tidak tercakup oleh bentuk gelombang templat akan diaktifkan melalui bentuk gelombang khusus yang akan ditentukan pada resolusi sampel tunggal dengan memberikan daftar nilai yang dipisahkan oleh waktu siklus fisik yang tetap.

Sirkuit kuantum

Sirkuit kuantum adalah serangkaian instruksi yang mendefinisikan komputasi pada komputer kuantum berbasis gerbang. Sirkuit kuantum adalah urutan gerbang kuantum, yang merupakan transformasi reversibel pada qubit register, bersama dengan instruksi pengukuran.

Simulator sirkuit kuantum

Simulator sirkuit kuantum adalah program komputer yang berjalan pada komputer klasik dan menghitung hasil pengukuran dari sirkuit kuantum. Untuk sirkuit umum, kebutuhan sumber daya simulasi kuantum tumbuh secara eksponensial dengan jumlah simulasi. qubits Braket menyediakan akses ke simulator sirkuit kuantum terkelola (diakses melalui BraketAPI) dan lokal (bagian dari Amazon Braket SDK).

Komputer kuantum

Komputer kuantum adalah perangkat fisik yang menggunakan fenomena mekanika kuantum, seperti superposisi dan keterikatan, untuk melakukan perhitungan. Ada paradigma yang berbeda untuk komputasi kuantum (QC), seperti QC berbasis gerbang.

Unit pemrosesan kuantum (QPU)

QPU adalah perangkat komputasi kuantum fisik yang dapat berjalan pada tugas kuantum. QPU dapat didasarkan pada paradigma QC yang berbeda, seperti QC berbasis gerbang. Untuk mempelajari selengkapnya, lihat Perangkat yang didukung Amazon Braket.

Gerbang asli QPU

Gerbang asli QPU dapat langsung dipetakan untuk mengontrol pulsa oleh sistem kontrol QPU. Gerbang asli dapat dijalankan pada perangkat QPU tanpa kompilasi lebih lanjut. Subset dari gerbang yang didukung QPU. Anda dapat menemukan gerbang perangkat asli yang didukung di laman Perangkat di konsol Amazon Braket dan melalui SDK Braket.

Gerbang yang didukung QPU

Gerbang yang didukung QPU adalah gerbang yang diterima oleh perangkat QPU. Gerbang ini mungkin tidak berjalan langsung di QPU, yang berarti bahwa mereka mungkin perlu didekomposisi menjadi gerbang asli. Anda dapat menemukan gerbang perangkat yang didukung di halaman Perangkat di konsol Amazon Braket dan melalui SDK Amazon Braket.

Tugas kuantum

Di Braket, tugas kuantum adalah permintaan atom ke perangkat. Untuk perangkat QC berbasis gerbang, ini termasuk sirkuit kuantum (termasuk instruksi pengukuran dan jumlahshots) dan metadata permintaan lainnya. Anda dapat membuat tugas kuantum melalui Amazon Braket SDK atau dengan menggunakan operasi secara langsung. CreateQuantumTask API Setelah Anda membuat tugas kuantum, itu akan antri sampai perangkat yang diminta tersedia. Anda dapat melihat tugas kuantum Anda di halaman Quantum Tasks di konsol Amazon Braket atau dengan menggunakan GetQuantumTask atau SearchQuantumTasks API operasi.

Qubit

Unit dasar informasi dalam komputer kuantum disebut qubit (bit kuantum), seperti bit dalam komputasi klasik. A qubit adalah sistem kuantum dua tingkat yang dapat diwujudkan dengan implementasi fisik yang berbeda, seperti sirkuit superkonduktor atau ion dan atom individu. qubitJenis lain didasarkan pada foton, putaran elektronik atau nuklir, atau sistem kuantum yang lebih eksotis.

Queue depth

Queue depthmengacu pada jumlah tugas kuantum dan pekerjaan hibrida yang diantrian untuk perangkat tertentu. Tugas kuantum perangkat dan jumlah antrian pekerjaan hibrida dapat diakses melalui Braket Software Development Kit (SDK) atauAmazon Braket Management Console.

1. Kedalaman antrian tugas mengacu pada jumlah total tugas kuantum yang menunggu untuk dijalankan dalam prioritas normal.
2. Kedalaman antrian tugas prioritas mengacu pada jumlah total tugas kuantum yang dikirimkan yang menunggu untuk dijalankan. Amazon Braket Hybrid Jobs Tugas-tugas ini mendapatkan prioritas daripada tugas mandiri setelah pekerjaan hibrida dimulai.
3. Kedalaman antrian pekerjaan hibrida mengacu pada jumlah total pekerjaan hibrida yang saat ini mengantri di perangkat. Quantum tasksdiajukan sebagai bagian dari pekerjaan hibrida memiliki prioritas, dan digabungkan dalam. Priority Task Queue

Queue position

Queue positionmengacu pada posisi tugas kuantum Anda saat ini atau pekerjaan hibrida dalam antrian perangkat masing-masing. Ini dapat diperoleh untuk tugas-tugas kuantum atau pekerjaan hibrida melalui Braket Software Development Kit (SDK) atauAmazon Braket Management Console.

Shots

Karena komputasi kuantum secara inheren bersifat probabilistik, sirkuit apa pun perlu dievaluasi beberapa kali untuk mendapatkan hasil yang akurat. Eksekusi sirkuit tunggal dan pengukuran disebut tembakan. Jumlah tembakan (eksekusi berulang) untuk sirkuit dipilih berdasarkan akurasi yang diinginkan untuk hasilnya.

AWS terminologi dan tips untuk Amazon Braket

Kebijakan IAM

Kebijakan IAM adalah dokumen yang mengizinkan atau menolak izin dan sumber daya. Layanan AWS Kebijakan IAM memungkinkan Anda menyesuaikan tingkat akses pengguna ke sumber daya. Misalnya, Anda dapat mengizinkan pengguna mengakses semua bucket Amazon S3 di dalam bucket Anda Akun AWS, atau hanya bucket tertentu.

- Praktik terbaik: Ikuti prinsip keamanan setidaknya hak istimewa saat memberikan izin. Dengan mengikuti prinsip ini, Anda membantu mencegah pengguna atau peran memiliki lebih banyak izin daripada yang diperlukan untuk melakukan tugas kuantum mereka. Misalnya, jika seorang karyawan hanya membutuhkan akses ke bucket tertentu, tentukan bucket dalam kebijakan IAM alih-alih memberi karyawan akses ke semua bucket di dalam ember Anda. Akun AWS

Peran IAM

IAM role adalah identitas yang dapat Anda gunakan untuk mendapatkan akses sementara ke izin. Sebelum pengguna, aplikasi, atau layanan dapat mengambil peran IAM, mereka harus diberikan izin untuk beralih ke peran tersebut. Ketika seseorang menggunakan IAM role, mereka meninggalkan semua izin sebelumnya yang mereka miliki berdasarkan peran sebelumnya dan menggunakan izin peran baru.

- Praktik terbaik: IAM role ideal untuk situasi di mana akses ke layanan atau sumber daya perlu diberikan sementara, bukan jangka panjang.

Ember Amazon S3

Amazon Simple Storage Service (Amazon S3) adalah layanan Layanan AWS yang memungkinkan Anda menyimpan data sebagai objek dalam bucket. Bucket Amazon S3 menawarkan ruang penyimpanan tak terbatas. Ukuran objek maksimum di bucket Amazon S3 adalah 5 TB. Anda dapat mengunggah semua jenis data file ke bucket Amazon S3, seperti gambar, video, file teks, file cadangan, file media untuk situs web, dokumen yang diarsipkan, dan hasil tugas kuantum Braket Anda.

- Praktik terbaik: Anda dapat mengatur izin untuk mengontrol akses ke bucket S3 Anda. Untuk informasi selengkapnya, lihat Kebijakan Bucket di dokumentasi Amazon S3.

Pelacakan biaya dan penghematan

> **Tip**
>
> Pelajari dasar-dasar komputasi kuantum dengan AWS! Daftar di Amazon Braket Digital Learning Plan dan dapatkan lencana Digital Anda sendiri setelah menyelesaikan serangkaian kursus pembelajaran dan penilaian digital.

Dengan Amazon Braket, Anda memiliki akses ke sumber daya komputasi kuantum sesuai permintaan tanpa komitmen di muka. Pembayaran dilakukan sesuai penggunaan. Untuk mempelajari lebih lanjut tentang harga, kunjungi halaman harga kami.

Di bagian ini:

- Praktik terbaik untuk menghemat biaya

Menetapkan batas pengeluaran untuk Amazon Braket QPU

Batas pengeluaran Amazon Braket memberikan kontrol biaya per perangkat opsional untuk unit pemrosesan kuantum (QPU).

Cara kerja batas pengeluaran: Amazon Braket melacak pengeluaran kumulatif Anda dan memvalidasi setiap permintaan pembuatan tugas terhadap batas yang dikonfigurasi. Jika perkiraan biaya tugas melebihi batas pengeluaran Anda yang tersisa, Amazon Braket langsung menolak tugas dengan kesalahan validasi. Anda dapat secara opsional mengonfigurasi periode waktu untuk batas pengeluaran Anda. Dengan mengonfigurasi periode waktu, Anda dapat memastikan tugas hanya dapat dikirimkan dalam periode yang ditentukan. Tugas yang diajukan di luar periode waktu akan ditolak.

Opt-in desain: Alur kerja yang ada akan tetap tidak terpengaruh kecuali Anda secara eksplisit mengaktifkan kontrol. Anda dapat menghapus semua batasan dengan menghapus batas pengeluaran.

> **Note**
>
> Batas pengeluaran hanya berlaku untuk tugas QPU pekerjaan sesuai permintaan dan hibrida. Mereka mengecualikan simulator, notebook terkelola, biaya instans Hybrid Job EC2, dan reservasi Braket Direct. Untuk manajemen biaya yang komprehensif di semua layanan AWS, terus gunakan AWS Budgets.

Daftar tindakan batas pengeluaran

Cari

Dengan perintah AWS CLI berikut, Anda dapat mencari dan mencantumkan batas pengeluaran di wilayah AWS tertentu dan untuk perangkat Braket tertentu.

```
aws --region {device_region} braket search-spending-limits --filters
 name=deviceArn,operator=EQUAL,values={device_arn}
```

Buat

Dengan perintah AWS CLI berikut, Anda dapat membuat batas pengeluaran baru untuk perangkat kuantum tertentu di wilayah tertentu. Permintaan ditolak jika batas pengeluaran sudah ada untuk perangkat.

```
aws --region {device_region} braket create-spending-limit --device-arn {device_arn}
 --spending-limit {max_spend}
```

Perbarui

Dengan perintah AWS CLI berikut, Anda dapat memperbarui batas pengeluaran yang ada ke nilai pengeluaran maksimum yang baru. Permintaan ditolak jika jumlah pengeluaran saat ini dan pengeluaran antrian sudah lebih tinggi dari pengeluaran maksimum baru yang diminta.

```
aws --region {device_region} braket update-spending-limit --spending-limit-arn
 {spending_limit_arn} --spending-limit {new_max_spend}
```

Anda dapat memberikan jangka waktu alih-alih, atau sebagai tambahan, pengeluaran maksimum baru, seperti pada contoh di atas.

Hapus

Dengan perintah AWS CLI berikut, Anda dapat menghapus batas pengeluaran yang ada.

```
aws --region {device_region} braket delete-spending-limit --spending-limit-arn
 {spending_limit_arn}
```

Anda dapat memberikan jangka waktu alih-alih, atau sebagai tambahan, pengeluaran maksimum baru, seperti pada contoh di atas.

Meskipun opsional, selalu tentukan parameter wilayah sebagai praktik terbaik. Perintah yang dijalankan di wilayah yang berbeda dari perangkat akan gagal atau, dalam kasus`SearchSpendingLimits`, mengembalikan hasil yang salah.

Untuk contoh selengkapnya tentang cara menggunakan batas pengeluaran, lihat contoh buku catatan.

Cara kerja validasi tugas

Saat akun AWS mengirimkan `CreateQuantumTask` permintaan yang valid, akun tersebut tunduk pada perilaku gating berikut. Catatan: Sisa anggaran adalah perbedaan antara batas pengeluaran dan jumlah pengeluaran antrian dan saat ini. (Lihat bagian selanjutnya)

- Kasus 1: Tidak ada batasan pengeluaran untuk perangkat tugas: Tugas dibuat.
- Kasus 2: Ada batas pengeluaran untuk perangkat target, dan waktu saat ini berada dalam periode waktu batas pengeluaran:
  - Jika perkiraan biaya tugas lebih rendah atau sama dengan anggaran yang tersisa: CreateQuantumTask berhasil, tugas dibuat.
  - Jika perkiraan biaya lebih besar dari anggaran yang tersisa: `CreateQuantumTask` gagal, dan tidak ada tugas yang dibuat.
- Kasus 3: Ada batas pengeluaran untuk perangkat target, dan waktu saat ini berada di luar periode waktu batas pengeluaran: `CreateQuantumTask` gagal, dan tidak ada tugas yang dibuat.

Bagaimana anggaran yang tersisa dihitung

Anggaran yang tersisa adalah perbedaan antara batas pengeluaran dan jumlah pengeluaran saat ini dan pengeluaran antrian.

Ketika tugas dibuat untuk perangkat dengan batas pengeluaran, pengeluaran antrian dinaikkan oleh perkiraan biaya tugas. Acara ini tercantum di baris pertama dari tabel berikut. Tabel berikut menunjukkan apa yang terjadi pada pengeluaran antrian dan pengeluaran saat ini, tergantung pada perkembangan tugas.

Status tugas kuantum lama	Status tugas kuantum baru	Ubah ke pengeluaran antrian	Ubah ke pengeluaran saat ini
-	CREATED	Meningkat dengan perkiraan biaya	Tidak ada perubahan
CREATED	DIANTREKAN	Tidak ada perubahan	Tidak ada perubahan
Setiap	BERJALAN	Tidak ada perubahan	Tidak ada perubahan
Setiap	MEMBATALKAN	Tidak ada perubahan	Tidak ada perubahan

MEMBATALKAN	DIBATALKAN	Dikurangi dengan perkiraan biaya	Tidak ada chnage
Setiap	FAILED	Dikurangi dengan perkiraan biaya	Tidak ada perubahan
BERJALAN	DISELESAIKAN	Dikurangi dengan perkiraan biaya	Ditingkatkan dengan perkiraan biaya (disesuaikan untuk tugas yang diselesai kan sebagian)

Kasus tepi

T: Saat membuat batas pengeluaran, apakah tugas yang sudah ada dalam antrian dihitung terhadap pengeluaran yang diantrian?

A: Tidak. Tugas yang sudah dibuat, diantrian, atau sedang dalam proses tidak diperhitungkan dalam pengeluaran antrian dari batas pengeluaran yang baru dibuat.

T: Apakah menurunkan batas pengeluaran, dengan memperbaruinya, menyebabkan penghentian dini tugas kuantum yang dibuat, antrian, atau sedang berlangsung?

A: Tidak.

T: Apakah mencapai waktu akhir dari batas pengeluaran menyebabkan penghentian dini tugas kuantum yang dibuat, antrian, atau sedang berlangsung?

A: Tidak. Tugas yang dibuat, diantrian, dan dalam proses diizinkan untuk diselesaikan secara independen dari status batas pengeluaran.

T: Bagaimana kurangnya batas pengeluaran berbeda dari batas pengeluaran nol dolar?

J: Tidak ada batas pengeluaran yang memungkinkan pembuatan tugas kuantum tanpa batasan. Batas pengeluaran dengan nol dolar memblokir semua tugas kuantum.

T: Apakah batas pengeluaran nol di masa lalu atau future memblokir semua pembuatan tugas kuantum?

J: Ya.

T: Saat membuat batas pengeluaran, akankah perkiraan biaya tugas yang sudah ada dalam antrian dihitung terhadap pengeluaran saat ini setelah tugas tersebut selesai?

A: Tidak. Hanya tugas yang diajukan saat batas pengeluaran aktif dihitung terhadap akumulasi pengeluaran.

Pelacakan biaya mendekati waktu nyata

Braket SDK menawarkan opsi untuk menambahkan pelacakan biaya mendekati waktu nyata ke beban kerja kuantum Anda. Setiap contoh notebook kami menyertakan kode pelacakan biaya untuk memberi Anda perkiraan biaya maksimum pada unit pemrosesan kuantum (QPU) Braket dan simulator sesuai permintaan. Perkiraan biaya maksimum akan ditampilkan dalam USD dan tidak termasuk kredit atau diskon apa pun.

> **Note**
>
> Biaya yang ditampilkan adalah perkiraan berdasarkan simulator Amazon Braket dan penggunaan tugas unit pemrosesan kuantum (QPU) Anda. Perkiraan biaya yang ditampilkan mungkin berbeda dari biaya aktual Anda. Perkiraan biaya tidak memperhitungkan diskon atau kredit apa pun dan Anda mungkin mengalami biaya tambahan berdasarkan penggunaan layanan lain seperti Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2).

Pelacakan biaya untuk SV1

Untuk menunjukkan bagaimana fungsi pelacakan biaya dapat digunakan, kami akan membangun sirkuit Bell State dan menjalankannya di simulator SV1 kami. Mulailah dengan mengimpor modul Braket SDK, mendefinisikan Bell State dan menambahkan `Tracker()` fungsi ke sirkuit kami:

```
#import any required modules
from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import Circuit
from braket.tracking import Tracker

#create our bell circuit
circ = Circuit().h(0).cnot(0,1)
device = AwsDevice("arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1")
with Tracker() as tracker:
    task = device.run(circ, shots=1000).result()

#Your results
```

```
print(task.measurement_counts)
```

```
Counter({'00': 500, '11': 500})
```

Saat menjalankan Notebook, Anda dapat mengharapkan output berikut untuk simulasi Bell State. Fungsi pelacak akan menunjukkan jumlah bidikan yang dikirim, tugas kuantum yang diselesaikan, durasi eksekusi, durasi eksekusi yang ditagih, dan biaya maksimum Anda dalam USD. Waktu eksekusi Anda dapat bervariasi untuk setiap simulasi.

```
import datetime

tracker.quantum_tasks_statistics()
{'arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1':
 {'shots': 1000,
  'tasks': {'COMPLETED': 1},
  'execution_duration': datetime.timedelta(microseconds=4000),
  'billed_execution_duration': datetime.timedelta(seconds=3)}}

tracker.simulator_tasks_cost()
```

```
Decimal('0.0037500000')
```

Menggunakan pelacak biaya untuk mengatur biaya maksimum

Anda dapat menggunakan pelacak biaya untuk menetapkan biaya maksimum pada suatu program. Anda mungkin memiliki ambang batas maksimum untuk berapa banyak yang ingin Anda belanjakan untuk program tertentu. Dengan cara ini, Anda dapat menggunakan pelacak biaya untuk membangun logika kontrol biaya dalam kode eksekusi Anda. Contoh berikut mengambil sirkuit yang sama pada Rigetti QPU dan membatasi biaya hingga 1 USD. Biaya untuk menjalankan satu iterasi sirkuit dalam kode kami adalah 0,30 USD. Kami telah menetapkan logika untuk mengulangi iterasi sampai total biaya melebihi 1 USD; karenanya, cuplikan kode akan berjalan tiga kali sampai iterasi berikutnya melebihi 1 USD. Umumnya, sebuah program akan terus iterasi hingga mencapai biaya maksimum yang Anda inginkan, dalam hal ini - tiga iterasi.

```
device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")
with Tracker() as tracker:
    while tracker.qpu_tasks_cost() < 1:
        result = device.run(circ, shots=200).result()
print(tracker.quantum_tasks_statistics())
```

```
print(tracker.qpu_tasks_cost(), "USD")
```

```
{'arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3': {'shots': 600, 'tasks':
 {'COMPLETED': 3}}}
1.4400000000 USD
```

> **Note**
>
> Pelacak biaya tidak akan melacak durasi untuk tugas TN1 kuantum yang gagal. Selama TN1 simulasi, jika latihan Anda selesai, tetapi langkah kontraksi gagal, biaya latihan Anda tidak akan ditampilkan di pelacak biaya.

Praktik terbaik untuk menghemat biaya

Pertimbangkan praktik terbaik berikut untuk menggunakan Amazon Braket. Hemat waktu, minimalkan biaya, dan hindari kesalahan umum.

Verifikasi dengan simulator

- Verifikasi sirkuit Anda menggunakan simulator sebelum Anda menjalankannya pada QPU, sehingga Anda dapat menyetel sirkuit Anda tanpa mengeluarkan biaya untuk penggunaan QPU.
- Meskipun hasil dari menjalankan sirkuit pada simulator mungkin tidak identik dengan hasil dari menjalankan sirkuit pada QPU, Anda dapat mengidentifikasi kesalahan coding atau masalah konfigurasi menggunakan simulator.

Batasi akses pengguna ke perangkat tertentu

- Anda dapat mengatur pembatasan yang mencegah pengguna yang tidak sah mengirimkan tugas kuantum pada perangkat tertentu. Metode yang disarankan untuk membatasi akses adalah dengan AWS IAM. Untuk informasi lebih lanjut tentang cara melakukannya, lihat Batasi Akses.
- Kami menyarankan agar Anda tidak menggunakan akun admin Anda sebagai cara untuk memberikan atau membatasi akses pengguna ke perangkat Amazon Braket.

Atur alarm penagihan

- Anda dapat mengatur alarm penagihan untuk memberi tahu Anda ketika tagihan mencapai batas preset. Cara yang disarankan untuk mengatur alarm adalah melalui AWS Budgets. Anda dapat mengatur anggaran khusus dan menerima peringatan ketika biaya atau penggunaan Anda mungkin melebihi jumlah yang dianggarkan. Informasi tersedia di AWS Budgets.

Uji tugas TN1 kuantum dengan jumlah tembakan rendah

- Simulator harganya lebih murah daripada QPU, tetapi simulator tertentu bisa mahal jika tugas kuantum dijalankan dengan jumlah tembakan tinggi. Kami menyarankan Anda menguji TN1 tugas Anda dengan shot hitungan rendah. Shothitungan tidak mempengaruhi biaya untuk SV1 dan tugas simulator lokal.

Periksa semua Wilayah untuk tugas kuantum

- Konsol menampilkan tugas kuantum hanya untuk Anda saat ini Wilayah AWS. Saat mencari tugas kuantum yang dapat ditagih yang telah dikirimkan, pastikan untuk memeriksa semua Wilayah.
- Anda dapat melihat daftar perangkat dan Wilayah terkaitnya di laman dokumentasi Perangkat yang didukung.

Referensi API dan repo untuk Amazon Braket

> **Tip**
>
> Pelajari dasar-dasar komputasi kuantum dengan AWS! Daftar di Amazon Braket Digital Learning Plan dan dapatkan lencana Digital Anda sendiri setelah menyelesaikan serangkaian kursus pembelajaran dan penilaian digital.

Amazon Braket menyediakan API, SDK, dan antarmuka baris perintah yang dapat Anda gunakan untuk membuat dan mengelola instance notebook serta melatih serta menerapkan model.

- SDK Python Amazon Braket (Disarankan)
- Referensi API Amazon Braket
- AWS Command Line Interface
- AWS SDK untuk .NET
- AWS SDK untuk C++

- AWS SDK untuk GoAPI Reference
- AWS SDK untuk Java
- AWS SDK untuk JavaScript
- AWS SDK untuk PHP
- AWS SDK for Python (Boto)
- AWS SDK untuk Ruby

Anda juga bisa mendapatkan contoh kode dari repositori Tutorial GitHub Amazon Braket.

- Tutorial Braket GitHub

Repositori inti

Berikut ini menampilkan daftar repositori inti yang berisi paket kunci yang digunakan untuk Braket:

- Braket Python SDK - Gunakan SDK Python Braket untuk mengatur kode Anda pada Jupyter notebook dalam bahasa pemrograman Python. Setelah Jupyter notebook Anda diatur, Anda dapat menjalankan kode Anda pada perangkat Braket dan simulator
- Skema Braket - Kontrak antara Braket SDK dan layanan Braket.
- Braket Default Simulator - Semua simulator kuantum lokal kami untuk Braket (vektor keadaan dan matriks kepadatan).

Plugin

Lalu ada berbagai plugin yang digunakan bersama dengan berbagai perangkat dan alat pemrograman. Ini termasuk plugin yang didukung Braket serta plugin komunitas seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

Amazon Braket didukung:

- Pustaka algoritma Amazon Braket - Katalog algoritme kuantum pra-bangun yang ditulis dengan Python. Jalankan mereka apa adanya atau gunakan sebagai titik awal untuk membangun algoritma yang lebih kompleks.
- Braket-PennyLane Plugin - Gunakan PennyLane sebagai framework QML pada Braket.
- Qiskit-Braket penyedia - Gunakan Qiskit SDK untuk mengakses sumber daya Braket.

Komunitas:

- Braket-Julia SDK - (EKSPERIMENTAL) Versi asli Julia dari Braket SDK

Amazon Braket mendukung wilayah dan perangkat

> **Tip**
>
> Pelajari dasar-dasar komputasi kuantum dengan AWS! Daftar di Amazon Braket Digital Learning Plan dan dapatkan lencana Digital Anda sendiri setelah menyelesaikan serangkaian kursus pembelajaran dan penilaian digital.

Di Amazon Braket, perangkat mewakili unit pemrosesan kuantum (QPU) atau simulator yang dapat Anda panggil untuk menjalankan tugas kuantum. Amazon Braket menyediakan akses ke perangkat QPU dariAQT,,, IonQIQM, QuEra dan. Rigetti Selain itu, AWS menawarkan akses ke simulator sesuai permintaan, lokal, dan tertanam. Untuk informasi selengkapnya tentang simulator tertanam, lihat Tentang simulator tertanam.

Untuk informasi tentang penyedia perangkat keras kuantum yang didukung, lihat Mengirimkan tugas kuantum ke QPU. Untuk informasi tentang simulator yang tersedia, lihat Mengirimkan tugas kuantum ke simulator. Tabel berikut menampilkan daftar perangkat dan simulator yang tersedia.

Penyedia	Nama perangkat	Paradigma	Tipe	Perangkat ARN	Region
AQT	IBEX-Q1	berbasis gerbang	QPU	arn:aws:rem: eu-utara-1::/-Q1 device/qpu aqt/Ibex	eu-north-1
IonQ	Forte-1	berbasis gerbang	QPU	arn:aws:rem: us-timur-1::/-1 device/qpu ionq/Forte	us-east-1
IonQ	Forte-Enterprise-1	berbasis gerbang	QPU	arn:aws:rem: us-timur-1::/- device/qpu ionq/Forte Enterprise-1	us-east-1

Penyedia	Nama perangkat	Paradigma	Tipe	Perangkat ARN	Region
IQM	Garnet	berbasis gerbang	QPU	arn:aws:rem: eu-utara-1::/device/qpuiqm/Garnet	eu-north-1
IQM	Emerald	berbasis gerbang	QPU	arn:aws:rem: eu-utara-1::/device/qpuiqm/Emerald	eu-north-1
QuEra	Aquila	Simulasi Hamiltonian Analog	QPU	arn:aws:rem: us-timur-1::/device/qpuquera/Aquila	us-east-1
Rigetti	Ankaa-3	berbasis gerbang	QPU	arn:aws:rem: us-barat-1::/-3 device/qpu rigetti/Ankaa	us-west-1
Rigetti	Cepheus-1-108Q	berbasis gerbang	QPU	arn:aws:rem: us-barat-1::/-1-108Q device/qpu rigetti/Cepheus	us-west-1
AWS	braket_sv	berbasis gerbang	Simulator lokal	N/A (simulator lokal di Braket SDK)	N/A
AWS	braket_dm	berbasis gerbang	Simulator lokal	N/A (simulator lokal di Braket SDK)	N/A
AWS	braket_ah	Simulasi Hamiltonian Analog	Simulator lokal	N/A (simulator lokal di Braket SDK)	N/A

Penyedia	Nama perangkat	Paradigma	Tipe	Perangkat ARN	Region
AWS	SV1	berbasis gerbang	On-demand simulator	arn:aws:braket::: - / sv1 device/quantum simulator/amazon	us-east-1 , us-west-1 , us-west-1, us-west-2 , eu-west-2
AWS	DM1	berbasis gerbang	On-demand simulator	arn:aws:braket::: - / dm1 device/quantum simulator/amazon	us-east-1 , us-west-1 , us-west-1, us-west-2 , eu-west-2
AWS	TN1	berbasis gerbang	On-demand simulator	arn:aws:braket::: - / tn1 device/quantum simulator/amazon	us-east-1 , us-west-2, dan eu-west-2

> **Note**
>
> ARN perangkat peka huruf besar/kecil. Misalnya, saat menggunakan AQT IBEX-Q1 perangkat, verifikasi bahwa perangkat ARN berisi. 'Ibex-Q1'

Untuk melihat detail tambahan tentang QPU yang dapat Anda gunakan dengan Amazon Braket, lihat Amazon Braket Quantum Computers.

Properti perangkat

Untuk semua perangkat, Anda dapat menemukan properti perangkat lebih lanjut, seperti topologi perangkat, data kalibrasi, dan set gerbang asli, di tab Perangkat di konsol Amazon Braket atau dengan API. `GetDevice` Saat membangun sirkuit dengan simulator, Amazon Braket mengharuskan Anda menggunakan qubit atau indeks yang berdekatan. Saat bekerja dengan SDK, contoh kode berikut menunjukkan cara mendapatkan akses ke properti perangkat untuk setiap perangkat dan simulator yang tersedia.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.devices import LocalSimulator

device = AwsDevice('arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1')
 # SV1
# device = LocalSimulator()
 # Local State Vector Simulator
# device = LocalSimulator("default")
 # Local State Vector Simulator
# device = LocalSimulator(backend="default")
 # Local State Vector Simulator
# device = LocalSimulator(backend="braket_sv")
 # Local State Vector Simulator
# device = LocalSimulator(backend="braket_dm")
 # Local Density Matrix Simulator
# device = LocalSimulator(backend="braket_ahs")
 # Local Analog Hamiltonian Simulation
# device = AwsDevice('arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/tn1')
 # TN1
# device = AwsDevice('arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/dm1')
 # DM1
# device = AwsDevice('arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/aqt/Ibex-Q1')
 # AQT IBEX-Q1
# device = AwsDevice('arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/ionq/Forte-1')
 # IonQ Forte-1
# device = AwsDevice('arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/ionq/Forte-Enterprise-1')
 # IonQ Forte-Enterprise-1
# device = AwsDevice('arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/iqm/Garnet')
 # IQM Garnet
# device = AwsDevice('arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/iqm/Emerald')
 # IQM Emerald
# device = AwsDevice('arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/quera/Aquila')
 # QuEra Aquila
# device = AwsDevice('arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3')
 # Rigetti Ankaa-3
```

```
# device = AwsDevice('arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Cepheus-1-108Q')
 # Rigetti Cepheus-1-108Q

# Get device properties
device.properties
```

Wilayah dan titik akhir untuk Amazon Braket

Untuk daftar lengkap wilayah dan titik akhir, lihat Referensi AWS Umum.

Tugas kuantum yang berjalan pada perangkat QPU dapat dilihat di konsol Amazon Braket di Wilayah perangkat itu. Saat menggunakan Amazon Braket SDK, Anda dapat mengirimkan tugas kuantum ke perangkat QPU apa pun, terlepas dari Wilayah tempat Anda bekerja. SDK secara otomatis membuat sesi ke Wilayah untuk QPU yang ditentukan.

Amazon Braket tersedia sebagai berikut: Wilayah AWS

Nama wilayah	Region	Titik akhir Braket
US East (Northern Virginia)	us-east-1	braket.us-east-1.amazonaws.com (hanya IPv4) braket.us-east-1.api.aws (Tumpukan ganda)
AS Barat (California Utara)	us-west-1	braket.us-west-1.amazonaws.com (hanya IPv4) braket.us-west-1.api.aws (Tumpukan ganda)
AS Barat 2 (Oregon)	us-west-2	braket.us-west-2.amazonaws.com (hanya IPv4) braket.us-west-2.api.aws (Tumpukan ganda)
Uni Eropa Utara 1 (Stockholm)	eu-north-1	braket.eu-north-1.amazonaws.com (hanya IPv4)

Nama wilayah	Region	Titik akhir Braket
		braket.eu-north-1.api.aws (Tumpukan ganda)
Uni Eropa Barat 2 (London)	eu-west-2	braket.eu-west-2.amazonaws.com (hanya IPv4) braket.eu-west-2.api.aws (Tumpukan ganda)

> **Note**
>
> Amazon Braket SDK tidak mendukung jaringan. IPv6-only

Memulai dengan Amazon Braket

> **Tip**
>
> Pelajari dasar-dasar komputasi kuantum dengan AWS! Daftar di Amazon Braket Digital Learning Plan dan dapatkan lencana Digital Anda sendiri setelah menyelesaikan serangkaian kursus pembelajaran dan penilaian digital.

Setelah Anda mengikuti petunjuk di Aktifkan Amazon Braket, Anda dapat memulai dengan Amazon Braket.

Langkah-langkah untuk memulai meliputi:

- Aktifkan Amazon Braket
- Buat instans notebook Amazon Braket
- Buat instance notebook Braket menggunakan CloudFormation

Aktifkan Amazon Braket

> **Tip**
>
> Pelajari dasar-dasar komputasi kuantum dengan AWS! Daftar di Amazon Braket Digital Learning Plan dan dapatkan lencana Digital Anda sendiri setelah menyelesaikan serangkaian kursus pembelajaran dan penilaian digital.

Anda dapat mengaktifkan Amazon Braket di akun Anda melalui konsol.AWS

Di bagian ini:

- Prasyarat
- Langkah-langkah untuk mengaktifkan Amazon Braket

Prasyarat

Untuk mengaktifkan dan menjalankan Amazon Braket, Anda harus memiliki pengguna atau peran dengan izin untuk memulai tindakan Amazon Braket. Izin ini disertakan dalam kebijakan IAM (AmazonBraketFullAccess arn:aws:iam: :aws:policy/). AmazonBraketFullAccess

> **Note**
>
> Jika Anda seorang administrator:
> Untuk memberi pengguna lain akses ke Amazon Braket, berikan izin kepada pengguna dengan melampirkan AmazonBraketFullAccesskebijakan atau dengan melampirkan kebijakan khusus yang Anda buat. Untuk mempelajari lebih lanjut tentang izin yang diperlukan untuk menggunakan Amazon Braket, lihat Mengelola akses ke Amazon Braket.

Langkah-langkah untuk mengaktifkan Amazon Braket

1. Masuk ke konsol Amazon Braket dengan Anda. Akun AWS
2. Buka konsol Amazon Braket.
3. Dari halaman landing Braket, klik Memulai untuk dibawa ke halaman Dasbor Layanan. Peringatan di bagian atas dasbor layanan Anda akan memandu Anda melalui tiga langkah berikut:
   a. Membuat peran terkait layanan (SLR)
   b. Mengaktifkan akses ke komputer kuantum pihak ketiga
   c. Membuat instance notebook Jupyter baru

Untuk menggunakan perangkat kuantum pihak ketiga, Anda harus menyetujui kondisi tertentu terkait transfer data antara Anda AWS, dan perangkat tersebut. Syarat dan ketentuan perjanjian ini disediakan pada tab Umum pada halaman Izin dan pengaturan di konsol Amazon Braket.

> **Note**
>
> Perangkat kuantum yang tidak melibatkan pihak ketiga, seperti simulator lokal Braket atau simulator sesuai permintaan, dapat digunakan tanpa menyetujui perjanjian Aktifkan perangkat pihak ketiga.
> Menerima persyaratan ini untuk mengaktifkan penggunaan perangkat pihak ketiga hanya perlu dilakukan sekali per akun jika Anda mengakses perangkat keras pihak ketiga.

Buat instans notebook Amazon Braket

> **Tip**
>
> Pelajari dasar-dasar komputasi kuantum dengan AWS! Daftar di Amazon Braket Digital Learning Plan dan dapatkan lencana Digital Anda sendiri setelah menyelesaikan serangkaian kursus pembelajaran dan penilaian digital.

Amazon Braket menyediakan notebook Jupyter yang dikelola sepenuhnya untuk membantu Anda memulai. Instans notebook Amazon Braket didasarkan pada instance notebook Amazon SageMaker AI. Langkah-langkah berikut menguraikan cara membuat instance notebook baru untuk pelanggan baru dan yang sudah ada.

Pelanggan Amazon Braket baru:

1. Buka konsol Amazon Braket dan arahkan ke halaman Dasbor di panel kiri.
2. Klik Memulai pada modal Selamat Datang di Amazon Braket di tengah halaman dasbor Anda. Berikan nama buku catatan untuk membuat notebook Jupyter default.
   a. Mungkin perlu beberapa menit untuk membuat notebook Anda.
   b. Buku catatan Anda akan terdaftar di halaman Notebook dengan status Tertunda.
   c. Saat instance notebook Anda siap digunakan, statusnya berubah menjadi InService.
   d. Segarkan halaman untuk menampilkan status terbaru untuk buku catatan.

Pelanggan Amazon Braket yang ada:

1. Buka konsol Amazon Braket dan pilih Notebook di panel kiri.
2. Pilih Buat instance notebook.
   a. Jika Anda memiliki nol notebook, pilih Pengaturan standar untuk membuat notebook Jupyter default.
3. Masukkan nama instance Notebook, hanya menggunakan karakter alfanumerik dan tanda hubung, dan pilih Mode Visual pilihan Anda.
4. Mengaktifkan atau menonaktifkan pengelola ketidakaktifan Notebook untuk buku catatan Anda.

a. Jika diaktifkan, pilih waktu durasi idle yang diinginkan sebelum notebook diatur ulang. Saat notebook disetel ulang, biaya komputasi berhenti timbul, tetapi biaya penyimpanan akan terus berlanjut.

b. Untuk memeriksa berapa banyak waktu idle yang tersisa untuk instance notebook Anda, navigasikan ke bilah perintah, pilih tab Braket, lalu tab Inactivity Manager.

> **Note**
>
> Untuk menyimpan pekerjaan Anda, integrasikan instance notebook SageMaker AI Anda dengan repositori Git. Sebagai alternatif, pindahkan pekerjaan Anda ke luar `/Braket Examples` folder `/Braket Algorithms` dan sehingga tidak ditimpa oleh restart instance notebook.

5. (Opsional) Dengan Pengaturan lanjutan, Anda dapat membuat buku catatan dengan izin akses, konfigurasi tambahan, dan pengaturan akses jaringan:

   a. Dalam konfigurasi Notebook pilih jenis instans Anda.

      i. Jenis instans standar dan hemat biaya, ml.t3.medium dipilih secara default. Untuk mempelajari lebih lanjut tentang harga instans, lihat harga Amazon SageMaker AI.

   b. Untuk mengaitkan repositori Github publik dengan instance notebook Anda, klik pada dropdown repositori Git dan pilih Clone repositori git publik dari url dari menu tarik-turun Repositori. Masukkan URL repo di bilah teks URL repositori Git.

   c. Dalam izin Akses, konfigurasikan peran IAM opsional, akses root, dan kunci enkripsi apa pun.

   d. Di Akses jaringan, konfigurasikan pengaturan jaringan dan akses khusus untuk Jupyter Notebook instans Anda.

6. Tinjau pengaturan Anda, dan setel tag apa pun untuk mengidentifikasi instance buku catatan Anda. Klik Luncurkan.

> **Note**
>
> Lihat dan kelola instans notebook Amazon Braket Anda di konsol Amazon Braket dan Amazon AI. SageMaker Pengaturan notebook Amazon Braket tambahan tersedia melalui konsol. SageMaker

Jika Anda bekerja di konsol Amazon Braket dalam AWS SDK Amazon Braket dan plugin dimuat sebelumnya di buku catatan yang Anda buat. Untuk berjalan di mesin Anda sendiri, instal SDK dan plugin saat Anda menjalankan perintah `pip install amazon-braket-sdk` atau saat Anda menjalankan perintah `pip install amazon-braket-pennylane-plugin` untuk PennyLane plugin.

Buat instance notebook Braket menggunakan CloudFormation

> **Tip**
>
> Pelajari dasar-dasar komputasi kuantum dengan AWS! Daftar di Amazon Braket Digital Learning Plan dan dapatkan lencana Digital Anda sendiri setelah menyelesaikan serangkaian kursus pembelajaran dan penilaian digital.

Anda dapat menggunakan CloudFormation untuk mengelola instans notebook Amazon Braket Anda. Instans notebook Braket dibangun di Amazon SageMaker AI. Dengan CloudFormation, Anda dapat menyediakan instance notebook dengan file template yang menjelaskan konfigurasi yang dimaksud. File template ditulis dalam format JSON atau YAMAL. Anda dapat membuat, memperbarui, dan menghapus instance secara teratur dan berulang. Anda mungkin menemukan ini berguna ketika Anda mengelola beberapa instance notebook Braket di. Akun AWS

Setelah Anda membuat CloudFormation template untuk notebook Braket, Anda gunakan CloudFormation untuk menyebarkan sumber daya. Untuk informasi selengkapnya, lihat Membuat tumpukan di CloudFormation konsol di panduan CloudFormation pengguna.

Untuk membuat instance notebook Braket menggunakan CloudFormation, Anda melakukan tiga langkah berikut:

1. Buat skrip konfigurasi siklus hidup SageMaker AI.
2. Buat peran AWS Identity and Access Management (IAM) yang akan diasumsikan oleh SageMaker AI.
3. Buat instance notebook SageMaker AI dengan awalan **`amazon-braket-`**

Anda dapat menggunakan kembali konfigurasi siklus hidup untuk semua notebook Braket yang Anda buat. Anda juga dapat menggunakan kembali peran IAM untuk notebook Braket yang Anda tetapkan izin eksekusi yang sama.

Di bagian ini:

- Langkah 1: Buat skrip SageMaker konfigurasi siklus hidup AI
- Langkah 2: Buat peran IAM yang diasumsikan oleh Amazon AI SageMaker
- Langkah 3: Buat instance notebook SageMaker AI dengan awalan amazon-braket-

Langkah 1: Buat skrip SageMaker konfigurasi siklus hidup AI

Gunakan template berikut untuk membuat skrip konfigurasi siklus hidup SageMaker AI. Skrip menyesuaikan instance notebook SageMaker AI untuk Braket. Untuk opsi konfigurasi CloudFormation sumber daya siklus hidup, lihat AWS::SageMaker::NotebookInstanceLifecycleConfigdi panduan CloudFormation pengguna.

```
BraketNotebookInstanceLifecycleConfig:
    Type: "AWS::SageMaker::NotebookInstanceLifecycleConfig"
    Properties:
      NotebookInstanceLifecycleConfigName: BraketLifecycleConfig-${AWS::StackName}
      OnStart:
      - Content:
          Fn::Base64: |
            #!/usr/bin/env bash
            sudo -u ec2-user -i #EOS
            curl -o braket-notebook-lcc.zip https://d3ded4lzb1lnme.cloudfront.net/
notebook/braket-notebook-lcc.zip
            unzip braket-notebook-lcc.zip
            ./install.sh
            EOS

            exit 0
```

Langkah 2: Buat peran IAM yang diasumsikan oleh Amazon AI SageMaker

Saat Anda menggunakan instance notebook Braket, SageMaker AI melakukan operasi atas nama Anda. Misalnya, Anda menjalankan notebook Braket menggunakan sirkuit pada perangkat yang didukung. Dalam instance notebook, SageMaker AI menjalankan operasi di Braket untuk Anda. Peran eksekusi notebook mendefinisikan operasi yang tepat yang diizinkan oleh SageMaker AI untuk dijalankan atas nama Anda. Untuk informasi selengkapnya, lihat peran SageMaker AI dalam panduan pengembang Amazon SageMaker AI.

Gunakan contoh berikut untuk membuat peran eksekusi notebook Braket dengan izin yang diperlukan. Anda dapat memodifikasi kebijakan sesuai dengan kebutuhan Anda.

> **Note**
>
> Pastikan peran tersebut memiliki izin untuk `s3:ListBucket` dan `s3:GetObject` operasi di bucket Amazon S3 yang diawali dengan. `braketnotebookcdk-"` Skrip konfigurasi siklus hidup memerlukan izin ini untuk menyalin skrip instalasi notebook Braket.

```
ExecutionRole:
    Type: "AWS::IAM::Role"
    Properties:
      RoleName: !Sub AmazonBraketNotebookRole-${AWS::StackName}
      AssumeRolePolicyDocument:
        Version: "2012-10-17"
        Statement:
        -
          Effect: "Allow"
          Principal:
            Service:
              - "sagemaker.amazonaws.com"
          Action:
          - "sts:AssumeRole"
      Path: "/service-role/"
      ManagedPolicyArns:
        - arn:aws:iam::aws:policy/AmazonBraketFullAccess
      Policies:
        -
          PolicyName: "AmazonBraketNotebookPolicy"
          PolicyDocument:
            Version: "2012-10-17"
            Statement:
              - Effect: Allow
                Action:
                  - s3:GetObject
                  - s3:PutObject
                  - s3:ListBucket
                Resource:
                  - arn:aws:s3:::amazon-braket-*
                  - arn:aws:s3:::braketnotebookcdk-*
              - Effect: "Allow"
```

```
                Action:
                  - "logs:CreateLogStream"
                  - "logs:PutLogEvents"
                  - "logs:CreateLogGroup"
                  - "logs:DescribeLogStreams"
                Resource:
                  - !Sub "arn:aws:logs:*:${AWS::AccountId}:log-group:/aws/sagemaker/*"
              - Effect: "Allow"
                Action:
                  - braket:*
                Resource: "*"
```

Langkah 3: Buat instance notebook SageMaker AI dengan awalan **`amazon-braket-`**

Gunakan skrip siklus hidup SageMaker AI dan peran IAM yang dibuat pada langkah 1 dan langkah 2 untuk membuat instance notebook SageMaker AI. Instans notebook disesuaikan untuk Braket dan dapat diakses dengan konsol Amazon Braket. Untuk informasi selengkapnya tentang opsi konfigurasi untuk CloudFormation sumber daya ini, lihat AWS::SageMaker::NotebookInstancedi panduan CloudFormation pengguna.

```
BraketNotebook:
    Type: AWS::SageMaker::NotebookInstance
    Properties:
      InstanceType: ml.t3.medium
      NotebookInstanceName: !Sub amazon-braket-notebook-${AWS::StackName}
      RoleArn: !GetAtt ExecutionRole.Arn
      VolumeSizeInGB: 30
      LifecycleConfigName: !GetAtt
 BraketNotebookInstanceLifecycleConfig.NotebookInstanceLifecycleConfigName
```

Membangun tugas kuantum Anda dengan Amazon Braket

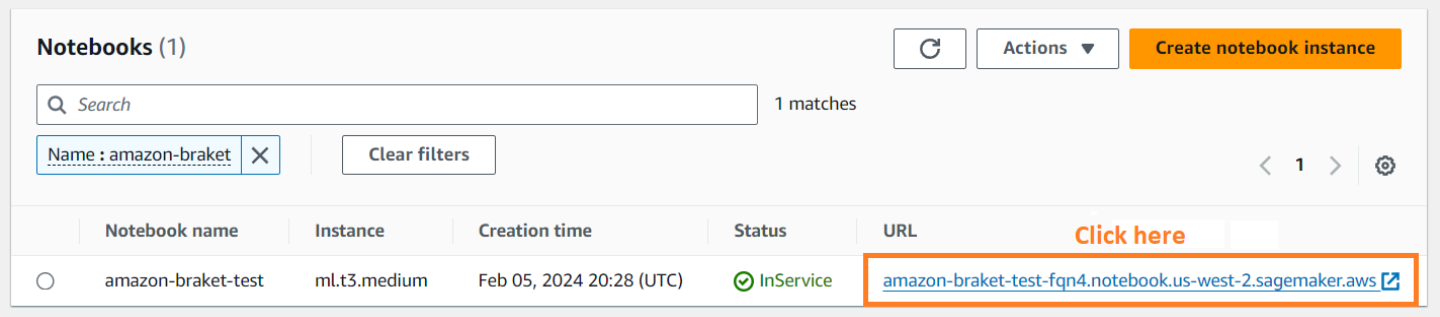
Braket menyediakan lingkungan notebook Jupyter yang dikelola sepenuhnya yang membuatnya mudah untuk memulai. Notebook Braket sudah diinstal sebelumnya dengan algoritma sampel, sumber daya, dan alat pengembang, termasuk Amazon Braket SDK. Dengan Amazon Braket SDK, Anda dapat membangun algoritma kuantum dan kemudian menguji dan menjalankannya pada komputer kuantum dan simulator yang berbeda dengan mengubah satu baris kode.

Di bagian ini:

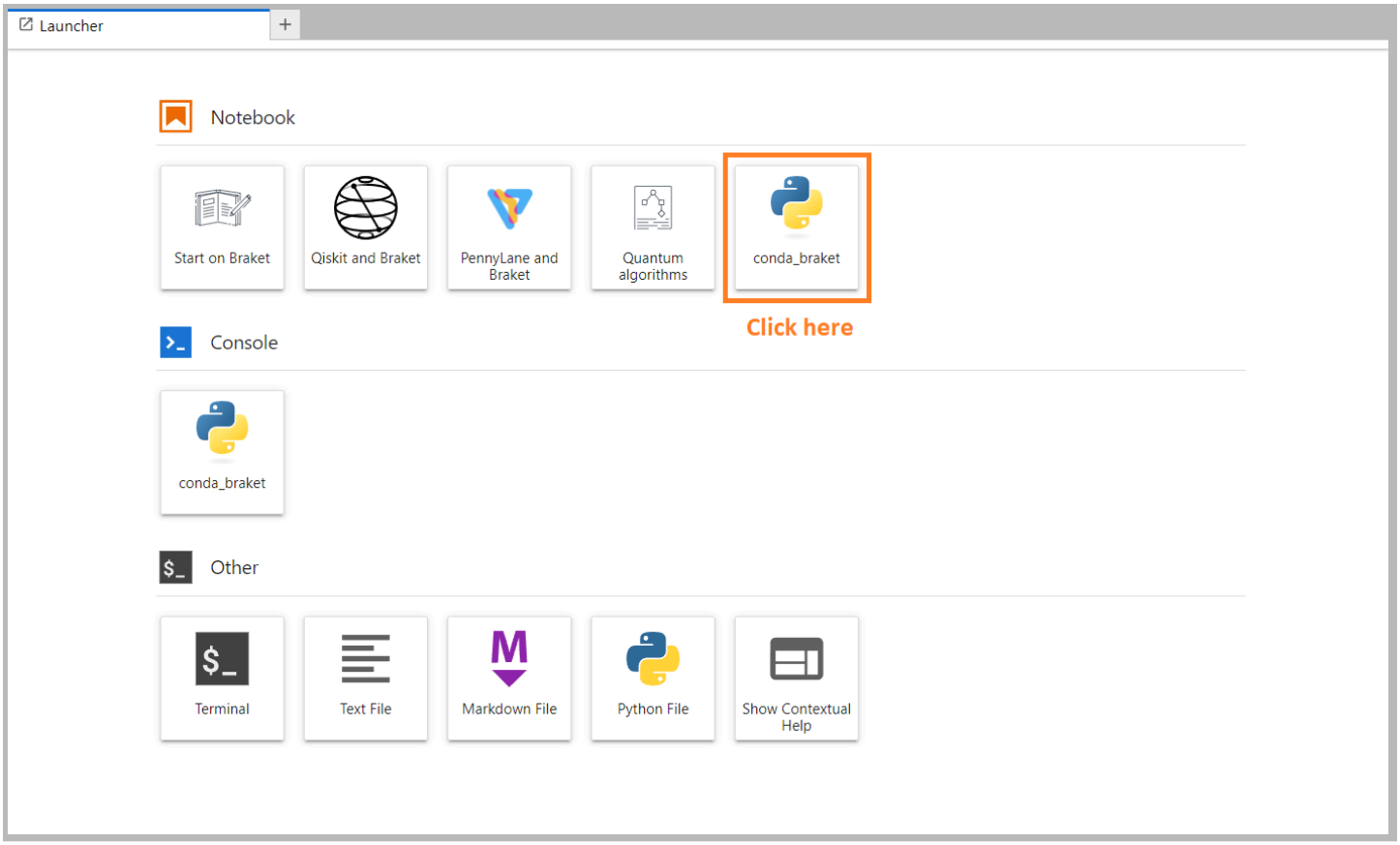
- Membangun sirkuit pertama Anda
- Mendapatkan saran ahli
- Jalankan sirkuit Anda dengan OpenQASM 3.0
- Jelajahi Kemampuan Eksperimental
- Kontrol pulsa pada Amazon Braket
- Simulasi Hamiltonian Analog
- Bekerja dengan AWS Boto3

Membangun sirkuit pertama Anda

Setelah instans notebook Anda diluncurkan, buka instans dengan antarmuka Jupyter standar dengan memilih notebook yang baru saja Anda buat.



Instans notebook Amazon Braket diinstal sebelumnya dengan SDK Amazon Braket dan semua dependensinya. Mulailah dengan membuat notebook baru dengan Kernel `conda_braket`.



Anda bisa mulai dengan yang sederhana seperti “Halo, dunia!” contoh. Pertama, bangun sirkuit yang mempersiapkan keadaan Bell, dan kemudian jalankan sirkuit pada perangkat yang berbeda untuk mendapatkan hasil.

Mulailah dengan mengimpor Begin dengan mengimpor modul Amazon Braket SDK dan mendefinisikan SimpleBraketLong; modul SDK dan mendefinisikan sirkuit Bell State dasar.

```
import boto3
from braket.aws import AwsDevice
from braket.devices import LocalSimulator
from braket.circuits import Circuit

# Create the circuit
bell = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
```

Anda dapat memvisualisasikan sirkuit dengan perintah ini:

```
print(bell)
```

```
T  : #  0  #  1  #
      #####
q0 : ## H ########
      #####   #
            #####
q1 : ######## X ##
            #####
T  : #  0  #  1  #
```

Jalankan sirkuit Anda di simulator lokal

Selanjutnya, pilih perangkat kuantum untuk menjalankan sirkuit. SDK Amazon Braket dilengkapi dengan simulator lokal untuk prototyping dan pengujian cepat. Kami merekomendasikan menggunakan simulator lokal untuk sirkuit yang lebih kecil, yang bisa mencapai 25 qubits (tergantung pada perangkat keras lokal Anda).

Untuk membuat instance simulator lokal:

```
# Instantiate the local simulator
local_sim = LocalSimulator()
```

dan menjalankan sirkuit:

```
# Run the circuit
result = local_sim.run(bell, shots=1000).result()
counts = result.measurement_counts
print(counts)
```

Anda seharusnya melihat hasil seperti ini:

```
Counter({'11': 503, '00': 497})
```

Keadaan Lonceng spesifik yang telah Anda siapkan adalah superposisi yang sama dari |00# dan | 11#, dan distribusi 00 dan 11 yang hampir sama (hingga shot kebisingan) sebagai hasil pengukuran, seperti yang diharapkan.

Jalankan sirkuit Anda pada simulator sesuai permintaan

Amazon Braket juga menyediakan akses ke simulator berkinerja tinggi sesuai permintaanSV1, untuk menjalankan sirkuit yang lebih besar. SV1adalah simulator vektor negara sesuai permintaan yang memungkinkan simulasi sirkuit kuantum hingga 34. qubits Anda dapat menemukan informasi

selengkapnya SV1 di bagian Perangkat yang Didukung dan di AWS konsol. Saat menjalankan tugas kuantum pada SV1 (dan di TN1 atau QPU apa pun), hasil tugas kuantum Anda disimpan dalam bucket S3 di akun Anda. Jika Anda tidak menentukan bucket, Braket SDK akan membuat bucket default `amazon-braket-{region}-{accountID}` untuk Anda. Untuk mempelajari lebih lanjut, lihat Mengelola akses ke Amazon Braket.

> **Note**
>
> Isi nama bucket sebenarnya yang ada di mana contoh berikut menunjukkan `amazon-braket-s3-demo-bucket` sebagai nama bucket Anda. Nama bucket untuk Amazon Braket selalu dimulai dengan `amazon-braket-` diikuti dengan karakter pengidentifikasi lain yang Anda tambahkan. Jika Anda memerlukan informasi tentang cara menyiapkan bucket S3, lihat Memulai Amazon S3.

```
# Get the account ID
aws_account_id = boto3.client("sts").get_caller_identity()["Account"]

# The name of the bucket
my_bucket = "amazon-braket-s3-demo-bucket"

# The name of the folder in the bucket
my_prefix = "simulation-output"
s3_folder = (my_bucket, my_prefix)
```

Untuk menjalankan sirkuitSV1, Anda harus memberikan lokasi bucket S3 yang sebelumnya Anda pilih sebagai argumen posisi dalam panggilan. `.run()`

```
# Choose the cloud-based on-demand simulator to run your circuit
device = AwsDevice("arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1")

# Run the circuit
task = device.run(bell, s3_folder, shots=100)

# Display the results
print(task.result().measurement_counts)
```

Konsol Amazon Braket memberikan informasi lebih lanjut tentang tugas kuantum Anda. Arahkan ke tab Quantum Tasks di konsol dan tugas kuantum Anda harus berada di bagian atas daftar. Atau, Anda dapat mencari tugas kuantum Anda menggunakan ID tugas kuantum unik atau kriteria lainnya.

> **Note**
>
> Setelah 90 hari, Amazon Braket secara otomatis menghapus semua ID tugas kuantum dan metadata lain yang terkait dengan tugas kuantum Anda. Untuk informasi lebih lanjut, lihat Retensi data.

Berjalan di QPU

Dengan Amazon Braket, Anda dapat menjalankan contoh sirkuit kuantum sebelumnya pada komputer kuantum fisik hanya dengan mengubah satu baris kode. Amazon Braket menyediakan akses ke berbagai perangkat Quantum Processing Unit (QPU). Anda dapat menemukan informasi tentang berbagai perangkat dan jendela ketersediaan di bagian Perangkat yang Didukung, dan di AWS konsol di bawah tab Perangkat. Contoh berikut menunjukkan cara membuat instance IQM perangkat.

```
# Choose the IQM hardware to run your circuit
device = AwsDevice("arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/iqm/Garnet")
```

Atau pilih IonQ perangkat dengan kode ini:

```
# Choose the Ionq device to run your circuit
device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/ionq/Aria-1")
```

Setelah memilih perangkat dan sebelum menjalankan beban kerja, Anda dapat menanyakan kedalaman antrian perangkat dengan kode berikut untuk menentukan jumlah tugas kuantum atau pekerjaan hibrida. Selain itu, pelanggan dapat melihat kedalaman antrian khusus perangkat di halaman Perangkat. Amazon Braket Management Console

```
# Print your queue depth
print(device.queue_depth().quantum_tasks)
# Returns the number of quantum tasks queued on the device
# {<QueueType.NORMAL: 'Normal'>: '0', <QueueType.PRIORITY: 'Priority'>: '0'}

print(device.queue_depth().jobs)
# Returns the number of hybrid jobs queued on the device
# '2'
```

Saat menjalankan tugas, SDK Amazon Braket melakukan polling untuk hasil (dengan batas waktu default 5 hari). Anda dapat mengubah default ini dengan memodifikasi `poll_timeout_seconds` parameter dalam `.run()` perintah seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut. Perlu diingat bahwa jika batas waktu polling Anda terlalu pendek, hasil mungkin tidak dikembalikan dalam waktu polling, seperti ketika QPU tidak tersedia dan kesalahan batas waktu lokal dikembalikan. Anda dapat merestart pemungutan suara dengan memanggil fungsi `task.result()`.

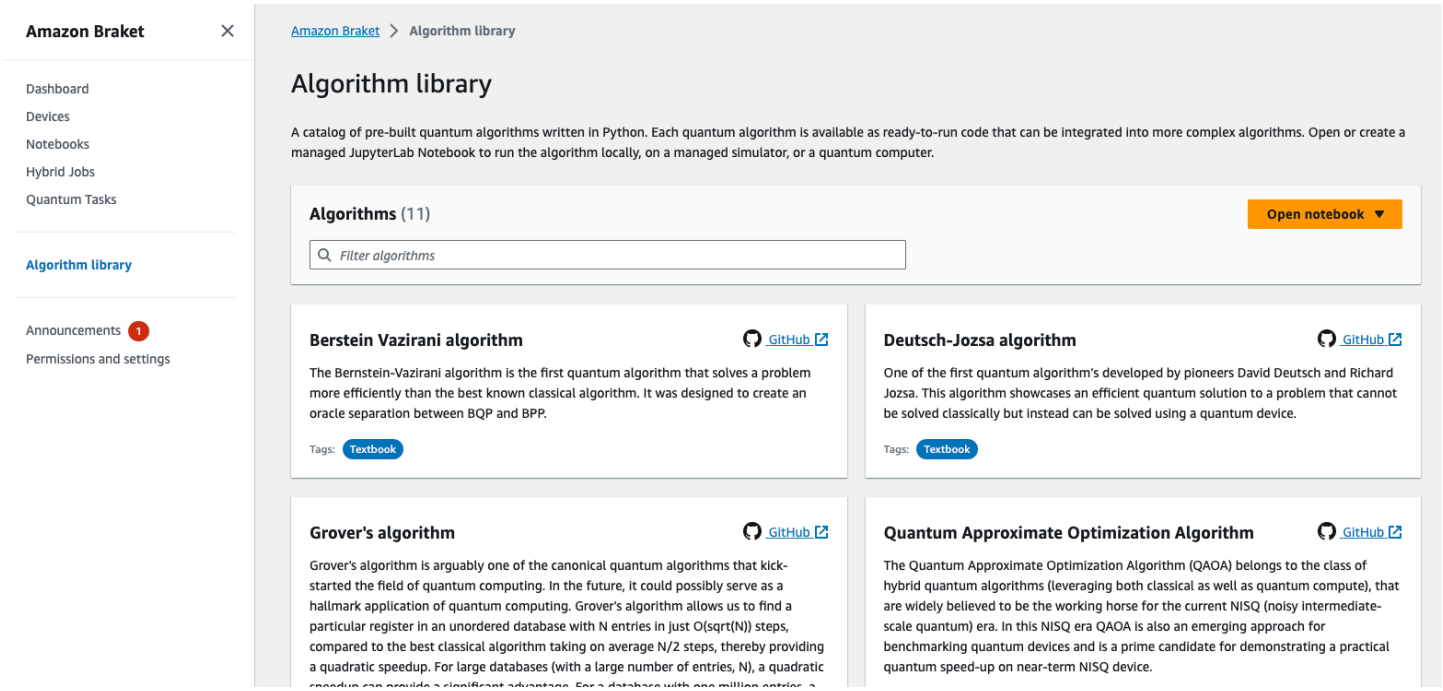
```
# Define quantum task with 1 day polling timeout
task = device.run(bell, s3_folder, poll_timeout_seconds=24*60*60)
print(task.result().measurement_counts)
```

Selain itu, setelah mengirimkan tugas kuantum atau pekerjaan hibrida Anda, Anda dapat memanggil `queue_position()` fungsi untuk memeriksa posisi antrian Anda.

```
print(task.queue_position().queue_position)
# Return the number of quantum tasks queued ahead of you
# '2'
```

Membangun algoritma kuantum pertama Anda

Pustaka algoritma Amazon Braket adalah katalog algoritma kuantum pra-bangun yang ditulis dengan Python. Jalankan algoritma ini apa adanya, atau gunakan sebagai titik awal untuk membangun algoritma yang lebih kompleks. Anda dapat mengakses pustaka algoritme dari konsol Braket. Untuk informasi selengkapnya, lihat pustaka algoritma Braket Github.



Konsol Braket memberikan deskripsi dari setiap algoritma yang tersedia di perpustakaan algoritma. Pilih GitHub tautan untuk melihat detail setiap algoritme, atau pilih Buka buku catatan untuk membuka atau membuat buku catatan yang berisi semua algoritme yang tersedia. Jika Anda memilih opsi notebook, Anda kemudian dapat menemukan pustaka algoritma Braket di folder root notebook Anda.

Membangun sirkuit di SDK

Bagian ini memberikan contoh mendefinisikan sirkuit, melihat gerbang yang tersedia, memperluas sirkuit, dan melihat gerbang yang didukung setiap perangkat. Ini juga berisi instruksi tentang cara mengalokasikan secara manualqubits, menginstruksikan kompiler untuk menjalankan sirkuit Anda persis seperti yang ditentukan, dan membangun sirkuit bising dengan simulator kebisingan.

Anda juga dapat bekerja pada tingkat pulsa di Braket untuk berbagai gerbang dengan QPU tertentu. Untuk informasi selengkapnya, lihat Kontrol Pulsa di Amazon Braket.

Di bagian ini:

- Gerbang dan sirkuit
- Set program
- Pengukuran sebagian
- Manual qubit alokasi
- Kompilasi kata demi kata

- Simulasi kebisingan

Gerbang dan sirkuit

Gerbang dan sirkuit kuantum didefinisikan di `braket.circuits`kelas Amazon Braket Python SDK. Dari SDK, Anda dapat memberi contoh objek sirkuit baru dengan memanggil `Circuit()`.

Contoh: Tentukan sirkuit

Contoh dimulai dengan mendefinisikan rangkaian sampel empat qubits (berlabelq0,,q1, danq3) yang terdiri dari gerbang q2 Hadamard qubit tunggal standar dan gerbang CNOT dua-qubit. Anda dapat memvisualisasikan rangkaian ini dengan memanggil `print` fungsi seperti yang ditunjukkan contoh berikut.

```
# Import the circuit module
from braket.circuits import Circuit

# Define circuit with 4 qubits
my_circuit = Circuit().h(range(4)).cnot(control=0, target=2).cnot(control=1, target=3)
print(my_circuit)
```

```
T  : #  0  #     1     #
      #####
q0 : ## H ##############
      #####   #
      #####   #
q1 : ## H ##############
      #####   #     #
      ##### #####   #
q2 : ## H ### X ########
      ##### #####   #
      #####       #####
q3 : ## H ######### X ##
      #####       #####
T  : #  0  #     1     #
```

Contoh: Tentukan sirkuit berparameter

Dalam contoh ini, kami mendefinisikan sirkuit dengan gerbang yang bergantung pada parameter bebas. Kita dapat menentukan nilai parameter ini untuk membuat sirkuit baru, atau, saat mengirimkan sirkuit, untuk dijalankan sebagai tugas kuantum pada perangkat tertentu.

```
from braket.circuits import Circuit, FreeParameter

# Define a FreeParameter to represent the angle of a gate
alpha = FreeParameter("alpha")

# Define a circuit with three qubits
my_circuit = Circuit().h(range(3)).cnot(control=0, target=2).rx(0, alpha).rx(1, alpha)
print(my_circuit)
```

Anda dapat membuat sirkuit baru yang tidak berparameter dari rangkaian parametris dengan memasok satu `float` (yang merupakan nilai yang akan diambil semua parameter bebas) atau argumen kata kunci yang menentukan nilai setiap parameter ke rangkaian sebagai berikut.

```
my_fixed_circuit = my_circuit(1.2)
my_fixed_circuit = my_circuit(alpha=1.2)
print(my_fixed_circuit)
```

Perhatikan bahwa tidak `my_circuit` dimodifikasi, sehingga Anda dapat menggunakannya untuk membuat instance banyak sirkuit baru dengan nilai parameter tetap.

Contoh: Memodifikasi gerbang di sirkuit

Contoh berikut mendefinisikan sirkuit dengan gerbang yang menggunakan kontrol dan pengubah daya. Anda dapat menggunakan modifikasi ini untuk membuat gerbang baru, seperti `Ry` gerbang yang dikendalikan.

```
from braket.circuits import Circuit

# Create a bell circuit with a controlled x gate
my_circuit = Circuit().h(0).x(control=0, target=1)

# Add a multi-controlled Ry gate of angle .13
my_circuit.ry(angle=.13, target=2, control=(0, 1))

# Add a 1/5 root of X gate
my_circuit.x(0, power=1/5)

print(my_circuit)
```

Pengubah gerbang hanya didukung pada simulator lokal.

Contoh: Lihat semua gerbang yang tersedia

Contoh berikut menunjukkan bagaimana melihat semua gerbang yang tersedia di Amazon Braket.

```
from braket.circuits import Gate
# Print all available gates in Amazon Braket
gate_set = [attr for attr in dir(Gate) if attr[0].isupper()]
print(gate_set)
```

Output dari kode ini mencantumkan semua gerbang.

```
['CCNot', 'CNot', 'CPhaseShift', 'CPhaseShift00', 'CPhaseShift01', 'CPhaseShift10',
 'CSwap', 'CV', 'CY', 'CZ', 'ECR', 'GPhase', 'GPi', 'GPi2', 'H', 'I', 'ISwap', 'MS',
 'PRx', 'PSwap', 'PhaseShift', 'PulseGate', 'Rx', 'Ry', 'Rz', 'S', 'Si', 'Swap', 'T',
 'Ti', 'U', 'Unitary', 'V', 'Vi', 'X', 'XX', 'XY', 'Y', 'YY', 'Z', 'ZZ']
```

Setiap gerbang ini dapat ditambahkan ke sirkuit dengan memanggil metode untuk jenis sirkuit. Misalnya, panggil`circ.h(0)`, untuk menambahkan gerbang Hadamard ke yang pertama. qubit

> **Note**
>
> Gerbang ditambahkan di tempat, dan contoh yang mengikutinya menambahkan semua gerbang yang tercantum dalam contoh sebelumnya ke sirkuit yang sama.

```
circ = Circuit()
# toffoli gate with q0, q1 the control qubits and q2 the target.
circ.ccnot(0, 1, 2)
# cnot gate
circ.cnot(0, 1)
# controlled-phase gate that phases the |11> state, cphaseshift(phi) =
 diag((1,1,1,exp(1j*phi))), where phi=0.15 in the examples below
circ.cphaseshift(0, 1, 0.15)
# controlled-phase gate that phases the |00> state, cphaseshift00(phi) =
 diag([exp(1j*phi),1,1,1])
circ.cphaseshift00(0, 1, 0.15)
# controlled-phase gate that phases the |01> state, cphaseshift01(phi) =
 diag([1,exp(1j*phi),1,1])
circ.cphaseshift01(0, 1, 0.15)
# controlled-phase gate that phases the |10> state, cphaseshift10(phi) =
 diag([1,1,exp(1j*phi),1])
```

```
circ.cphaseshift10(0, 1, 0.15)
# controlled swap gate
circ.cswap(0, 1, 2)
# swap gate
circ.swap(0,1)
# phaseshift(phi)= diag([1,exp(1j*phi)])
circ.phaseshift(0,0.15)
# controlled Y gate
circ.cy(0, 1)
# controlled phase gate
circ.cz(0, 1)
# Echoed cross-resonance gate applied to q0, q1
circ = Circuit().ecr(0,1)
# X rotation with angle 0.15
circ.rx(0, 0.15)
# Y rotation with angle 0.15
circ.ry(0, 0.15)
# Z rotation with angle 0.15
circ.rz(0, 0.15)
# Hadamard gates applied to q0, q1, q2
circ.h(range(3))
# identity gates applied to q0, q1, q2
circ.i([0, 1, 2])
# iswap gate, iswap = [[1,0,0,0],[0,0,1j,0],[0,1j,0,0],[0,0,0,1]]
circ.iswap(0, 1)
# pswap gate, PSWAP(phi) = [[1,0,0,0],[0,0,exp(1j*phi),0],[0,exp(1j*phi),0,0],
[0,0,0,1]]
circ.pswap(0, 1, 0.15)
# X gate applied to q1, q2
circ.x([1, 2])
# Y gate applied to q1, q2
circ.y([1, 2])
# Z gate applied to q1, q2
circ.z([1, 2])
# S gate applied to q0, q1, q2
circ.s([0, 1, 2])
# conjugate transpose of S gate applied to q0, q1
circ.si([0, 1])
# T gate applied to q0, q1
circ.t([0, 1])
# conjugate transpose of T gate applied to q0, q1
circ.ti([0, 1])
# square root of not gate applied to q0, q1, q2
circ.v([0, 1, 2])
```

```
# conjugate transpose of square root of not gate applied to q0, q1, q2
circ.vi([0, 1, 2])
# exp(-iXX theta/2)
circ.xx(0, 1, 0.15)
# exp(i(XX+YY) theta/4), where theta=0.15 in the examples below
circ.xy(0, 1, 0.15)
# exp(-iYY theta/2)
circ.yy(0, 1, 0.15)
# exp(-iZZ theta/2)
circ.zz(0, 1, 0.15)
# IonQ native gate GPi with angle 0.15 applied to q0
circ.gpi(0, 0.15)
# IonQ native gate GPi2 with angle 0.15 applied to q0
circ.gpi2(0, 0.15)
# IonQ native gate MS with angles 0.15, 0.15, 0.15 applied to q0, q1
circ.ms(0, 1, 0.15, 0.15, 0.15)
```

Terlepas dari gerbang set yang telah ditentukan sebelumnya, Anda juga dapat menerapkan gerbang kesatuan yang didefinisikan sendiri ke sirkuit. Ini bisa berupa gerbang qubit tunggal (seperti yang ditunjukkan pada kode sumber berikut) atau gerbang multi-qubit yang diterapkan pada yang qubits ditentukan oleh parameter. `targets`

```
import numpy as np

# Apply a general unitary
my_unitary = np.array([[0, 1],[1, 0]])
circ.unitary(matrix=my_unitary, targets=[0])
```

Contoh: Perluas sirkuit yang ada

Anda dapat memperpanjang sirkuit yang ada dengan menambahkan instruksi. An `Instruction` adalah direktif kuantum yang menggambarkan tugas kuantum yang harus dilakukan pada perangkat kuantum. `Instruction`operator menyertakan objek tipe `Gate` saja.

```
# Import the Gate and Instruction modules
from braket.circuits import Gate, Instruction

# Add instructions directly.
circ = Circuit([Instruction(Gate.H(), 4), Instruction(Gate.CNot(), [4, 5])])

# Or with add_instruction/add functions
instr = Instruction(Gate.CNot(), [0, 1])
```

```
circ.add_instruction(instr)
circ.add(instr)

# Specify where the circuit is appended
circ.add_instruction(instr, target=[3, 4])
circ.add_instruction(instr, target_mapping={0: 3, 1: 4})

# Print the instructions
print(circ.instructions)
# If there are multiple instructions, you can print them in a for loop
for instr in circ.instructions:
     print(instr)

# Instructions can be copied
new_instr = instr.copy()
# Appoint the instruction to target
new_instr = instr.copy(target=[5, 6])
new_instr = instr.copy(target_mapping={0: 5, 1: 6})
```

Contoh: Lihat gerbang yang didukung setiap perangkat

Simulator mendukung semua gerbang di SDK Braket, namun perangkat QPU mendukung subset yang lebih kecil. Anda dapat menemukan gerbang perangkat yang didukung di properti perangkat. Berikut ini menunjukkan contoh dengan perangkat ionQ:

```
# Import the device module
from braket.aws import AwsDevice

device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/ionq/Aria-1")

# Get device name
device_name = device.name
# Show supportedQuantumOperations (supported gates for a device)
device_operations = device.properties.dict()['action']['braket.ir.openqasm.program']
['supportedOperations']
print('Quantum Gates supported by {}:\n {}'.format(device_name, device_operations))
```

```
Quantum Gates supported by Aria 1:
 ['x', 'y', 'z', 'h', 's', 'si', 't', 'ti', 'v', 'vi', 'rx', 'ry', 'rz', 'cnot',
 'swap', 'xx', 'yy', 'zz']
```

Gerbang yang didukung mungkin perlu dikompilasi ke gerbang asli sebelum mereka dapat berjalan pada perangkat keras kuantum. Saat Anda mengirimkan sirkuit, Amazon Braket melakukan kompilasi ini secara otomatis.

Contoh: Secara terprogram mengambil kesetiaan gerbang asli yang didukung oleh perangkat

Anda dapat melihat informasi kesetiaan di halaman Perangkat konsol Braket. Terkadang sangat membantu untuk mengakses informasi yang sama secara terprogram. Kode berikut menunjukkan cara mengekstrak kesetiaan dua qubit gerbang antara dua gerbang QPU.

```
# Import the device module
from braket.aws import AwsDevice

device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")

# Specify the qubits
a=10
b=11
edge_properties_entry =
 device.properties.standardized.twoQubitProperties['10-11'].twoQubitGateFidelity
gate_name = edge_properties_entry[0].gateName
fidelity = edge_properties_entry[0].fidelity
print(f"Fidelity of the {gate_name} gate between qubits {a} and {b}: {fidelity}")
```

Set program

Set program secara efisien menjalankan beberapa sirkuit kuantum dalam satu tugas kuantum. Dalam satu tugas itu, Anda dapat mengirimkan hingga 100 sirkuit kuantum atau rangkaian parametrik tunggal dengan hingga 100 set parameter yang berbeda. Operasi ini meminimalkan waktu antara eksekusi sirkuit berikutnya dan mengurangi overhead pemrosesan tugas kuantum. Saat ini, set program didukung di Amazon Braket Local Simulator dan seterusnyaAQT, IQM dan Rigetti perangkat.

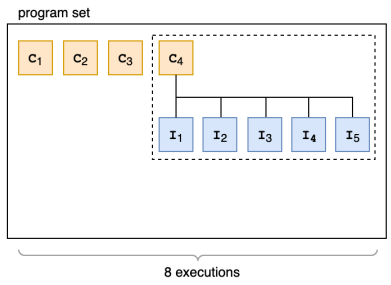
Mendefinisikan a ProgramSet

Contoh kode pertama berikut menunjukkan bagaimana membangun `ProgramSet` menggunakan sirkuit parameter dan sirkuit tanpa parameter.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import Circuit, FreeParameter
```

```
from braket.program_sets.circuit_binding import CircuitBinding
from braket.program_sets import ProgramSet

# Initialize the quantum device
device = AwsDevice("arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/iqm/Garnet")

# Define circuits
circ1 = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
circ2 = Circuit().rx(0, 0.785).ry(1, 0.393).cnot(1, 0)
circ3 = Circuit().t(0).t(1).cz(0, 1).s(0).cz(1, 2).s(1).s(2)
parameterize_circuit = Circuit().rx(0, FreeParameter("alpha")).cnot(0, 1).ry(1,
 FreeParameter("beta"))

# Create circuit bindings with different parameters
circuit_binding = CircuitBinding(
    circuit=parameterize_circuit,
    input_sets={
            'alpha': (0.10, 0.11, 0.22, 0.34, 0.45),
            'beta': (1.01, 1.01, 1.03, 1.04, 1.04),
    })

# Creating the program set
program_set_1 = ProgramSet([
    circ1,
    circ2,
    circ3,
    circuit_binding,
])
```

Set program ini berisi empat program unik:`circ1`,`circ2`,`circ3`, dan`circuit_binding`. `circuit_binding`Program ini berjalan dengan lima binding parameter yang berbeda, menciptakan lima executable. Tiga program bebas parameter lainnya membuat satu yang dapat dieksekusi masing-masing. Ini menghasilkan delapan total executable, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.

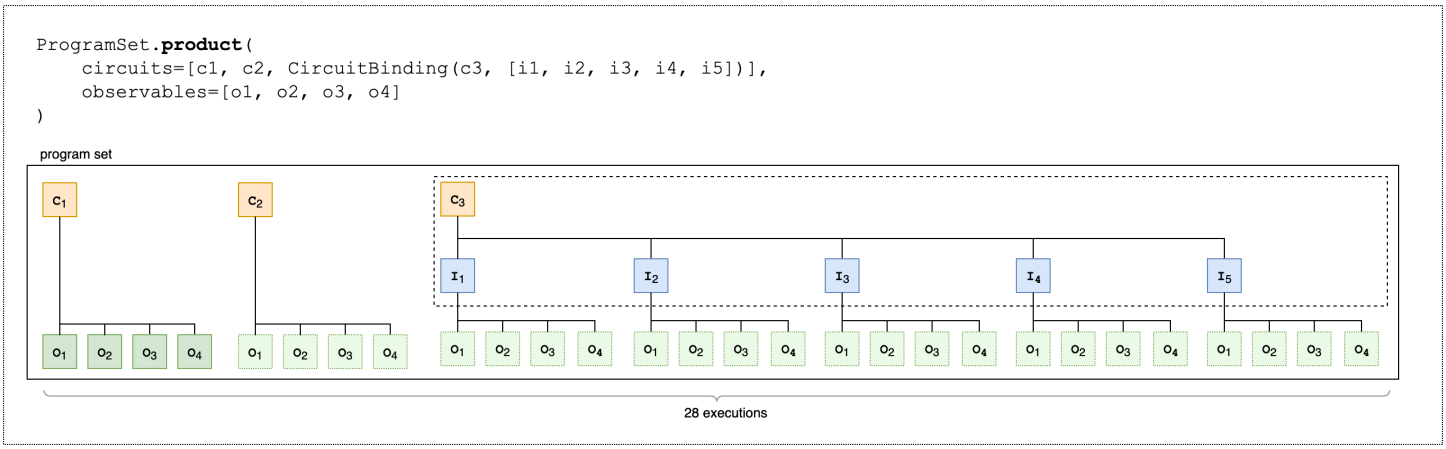



```
ProgramSet(
    [c1,
     c2,
     c3,
     CircuitBinding(c4, [i1, i2, i3, i4, i5])]
)
```

Contoh kode kedua berikut menunjukkan bagaimana menggunakan `product()` metode untuk melampirkan set observable yang sama untuk setiap executable dari set program.

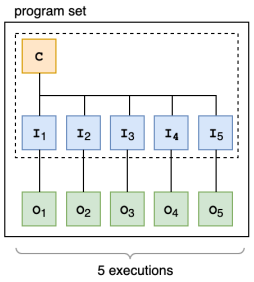
```
from braket.circuits.observables import I, X, Y, Z

observables = [Z(0) @ Z(1), X(0) @ X(1), Z(0) @ X(1), X(0) @ Z(1)]

program_set_2 = ProgramSet.product(
    circuits=[circ1, circ2, circuit_binding],
    observables=observables
)
```

Untuk program bebas parameter, setiap observable diukur untuk setiap rangkaian. Untuk program parametrik, setiap observable diukur untuk setiap set input, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Contoh kode ketiga berikut menunjukkan bagaimana menggunakan `zip()` metode untuk memasangkan individu yang dapat diamati dengan set parameter tertentu di. `ProgramSet`

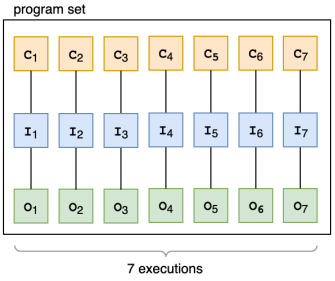
```
program_set_3 = ProgramSet.zip(
    circuits=circuit_binding,
    observables=observables + [Y(0) @ Y(1)]
)
```




```
ProgramSet.zip(
    circuits=CicruitBinding(
        circuit=c,
        input_sets=[i1, i2, i3, i4, i5]
    ),
    observables=[o1, o2, o3, o4, o5]
)
```

Alih-alih`CircuitBinding()`, Anda dapat langsung zip daftar yang dapat diamati dengan daftar sirkuit dan set input.

```
program_set_4 = ProgramSet.zip(
    circuits=[circ1, circ2, circ3],
    input_sets=[{}, {}, {}],
    observables=observables[:3]
)
```




```
ProgramSet.zip(
    circuits=[c1, c2, c3, c4, c5, c6, c7],
    input_sets=[i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7],
    observables=[o1, o2, o3, o4, o5, o6, o7]
)
```

Untuk informasi selengkapnya dan contoh tentang set program, lihat folder Set program di Amazon-braket-examples Github.

Memeriksa dan menjalankan program yang ditetapkan pada perangkat

Hitungan eksekusi set program sama dengan jumlah sirkuit terikat parameter uniknya. Hitung jumlah total sirkuit yang dapat dieksekusi dan tembakan menggunakan contoh kode berikut.

```
# Number of shots per executable
shots = 10
num_executables = program_set_1.total_executables

# Calculate total number of shots across all executables
total_num_shots = shots*num_executables
```

> **Note**
>
> Dengan set program, Anda membayar satu biaya per tugas dan biaya per tembakan berdasarkan jumlah total tembakan di semua sirkuit dalam satu set program.

Untuk menjalankan set program, gunakan contoh kode berikut.

```
# Run the program set
task = device.run(
   program_set_1, shots=total_num_shots,
)
```

Saat menggunakan Rigetti perangkat, set program Anda mungkin tetap dalam `RUNNING` status sementara tugas sebagian selesai dan sebagian antri. Untuk hasil yang lebih cepat, pertimbangkan untuk mengirimkan program Anda yang ditetapkan sebagai Job Hybrid.

Menganalisis hasil

Jalankan kode berikut untuk menganalisis dan mengukur hasil executable dalam file. `ProgramSet`

```
# Get the results from a program set
result = task.result()

# Get the first executbable
first_program = result[0]
first_executable = first_program[0]

# Inspect the results of the first executable
measurements_from_first_executable = first_executable.measurements
print(measurements_from_first_executable)
```

Pengukuran sebagian

Alih-alih mengukur semua qubit dalam rangkaian kuantum, gunakan pengukuran paral untuk mengukur qubit individu atau subset qubit.

> **Note**
>
> Fitur tambahan seperti pengukuran sirkuit tengah dan operasi feed-forward tersedia sebagai Kemampuan Eksperimental, lihat Akses ke sirkuit dinamis pada perangkat IQM.

Contoh: Ukur subset qubit

Contoh kode berikut menunjukkan pengukuran sebagian dengan mengukur hanya qubit 0 dalam rangkaian keadaan Bell.

```
from braket.devices import LocalSimulator
from braket.circuits import Circuit

# Use the local state vector simulator
device = LocalSimulator()

# Define an example bell circuit and measure qubit 0
circuit = Circuit().h(0).cnot(0, 1).measure(0)

# Run the circuit
task = device.run(circuit, shots=10)

# Get the results
result = task.result()

# Print the circuit and measured qubits
print(circuit)
print()
print("Measured qubits: ", result.measured_qubits)
```

Manual qubit alokasi

Ketika Anda menjalankan sirkuit kuantum pada komputer kuantum dariRigetti, Anda dapat secara opsional menggunakan qubit alokasi manual untuk mengontrol yang qubits digunakan untuk algoritma Anda. Konsol Amazon Braket dan SDK Amazon Braket membantu Anda memeriksa data kalibrasi terbaru dari perangkat unit pemrosesan kuantum (QPU) yang Anda pilih, sehingga Anda dapat memilih yang terbaik untuk eksperimen Anda. qubits

qubitAlokasi manual memungkinkan Anda menjalankan sirkuit dengan akurasi yang lebih besar dan menyelidiki qubit properti individual. Peneliti dan pengguna tingkat lanjut mengoptimalkan desain

sirkuit mereka berdasarkan data kalibrasi perangkat terbaru dan dapat memperoleh hasil yang lebih akurat.

Contoh berikut menunjukkan bagaimana qubits mengalokasikan secara eksplisit.

```
# Import the device module
from braket.aws import AwsDevice

device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")
circ = Circuit().h(0).cnot(0, 7)  # Indices of actual qubits in the QPU

# Set up S3 bucket (where results are stored)
my_bucket = "amazon-braket-s3-demo-bucket" # The name of the bucket
my_prefix = "your-folder-name" # The name of the folder in the bucket
s3_location = (my_bucket, my_prefix)

my_task = device.run(circ, s3_location, shots=100, disable_qubit_rewiring=True)
```

Untuk informasi selengkapnya, lihat contoh Amazon Braket di GitHub, atau lebih khusus lagi, buku catatan ini: Mengalokasikan Qubit di Perangkat QPU.

Kompilasi kata demi kata

Saat Anda menjalankan sirkuit kuantum pada komputer kuantum berbasis gerbang, Anda dapat mengarahkan kompiler untuk menjalankan sirkuit Anda persis seperti yang ditentukan tanpa modifikasi apa pun. Dengan menggunakan kompilasi kata demi kata, Anda dapat menentukan bahwa seluruh rangkaian dipertahankan tepat seperti yang ditentukan atau hanya bagian tertentu saja yang dipertahankan (hanya didukung olehRigetti). Saat mengembangkan algoritme untuk pembandingan perangkat keras atau protokol mitigasi kesalahan, Anda perlu memiliki opsi untuk menentukan dengan tepat gerbang dan tata letak sirkuit yang berjalan pada perangkat keras. Kompilasi verbatim memberi Anda kontrol langsung atas proses kompilasi dengan mematikan langkah-langkah pengoptimalan tertentu, sehingga memastikan bahwa sirkuit Anda berjalan persis seperti yang dirancang.

Kompilasi verbatim didukung padaAQT,, IonQIQM, dan Rigetti perangkat dan membutuhkan penggunaan gerbang asli. Saat menggunakan kompilasi kata demi kata, disarankan untuk memeriksa topologi perangkat untuk memastikan bahwa gerbang dipanggil terhubung qubits dan bahwa sirkuit menggunakan gerbang asli yang didukung pada perangkat keras. Contoh berikut menunjukkan cara mengakses daftar gerbang asli yang didukung oleh perangkat secara terprogram.

```
device.properties.paradigm.nativeGateSet
```

UntukRigetti, qubit rewiring harus dimatikan dengan pengaturan `disableQubitRewiring=True` untuk digunakan dengan kompilasi kata demi kata. Jika `disableQubitRewiring=False` disetel saat menggunakan kotak kata demi kata dalam kompilasi, rangkaian kuantum gagal validasi dan tidak berjalan.

Jika kompilasi kata demi kata diaktifkan untuk sirkuit dan dijalankan pada QPU yang tidak mendukungnya, kesalahan dihasilkan yang menunjukkan bahwa operasi yang tidak didukung telah menyebabkan tugas gagal. Karena semakin banyak perangkat keras kuantum yang secara native mendukung fungsi kompiler, fitur ini akan diperluas untuk menyertakan perangkat ini. Perangkat yang mendukung kompilasi kata demi kata menyertakannya sebagai operasi yang didukung saat ditanyakan dengan kode berikut.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.device_schema.device_action_properties import DeviceActionType
device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")
device.properties.action[DeviceActionType.OPENQASM].supportedPragmas
```

Tidak ada biaya tambahan yang terkait dengan penggunaan kompilasi kata demi kata. Anda terus dikenakan biaya untuk tugas kuantum yang dijalankan pada perangkat Braket QPU, instans notebook, dan simulator sesuai permintaan berdasarkan tarif saat ini sebagaimana ditentukan pada halaman Harga Amazon Braket. Untuk informasi selengkapnya, lihat buku catatan contoh kompilasi Verbatim.

> **Note**
>
> Jika Anda menggunakan OpenQASM untuk menulis sirkuit Anda untuk IonQ perangkat AQT dan, dan Anda ingin memetakan sirkuit Anda langsung ke qubit fisik, Anda perlu menggunakan `#pragma braket verbatim` sebagai `disableQubitRewiring` bendera diabaikan oleh OpenQASM.

Simulasi kebisingan

Untuk membuat instance simulator kebisingan lokal, Anda dapat mengubah backend sebagai berikut.

```
# Import the device module
```

```
from braket.aws import AwsDevice

device = LocalSimulator(backend="braket_dm")
```

Anda dapat membangun sirkuit berisik dengan dua cara:

1. Bangun sirkuit berisik dari bawah ke atas.
2. Ambil sirkuit bebas kebisingan yang ada dan suntikkan kebisingan ke seluruh bagian.

Contoh berikut menunjukkan pendekatan menggunakan sirkuit dasar dengan kebisingan depolarisasi dan saluran Kraus khusus.

```
import scipy.stats
import numpy as np

# Bottom up approach
# Apply depolarizing noise to qubit 0 with probability of 0.1
circ = Circuit().x(0).x(1).depolarizing(0, probability=0.1)

# Create an arbitrary 2-qubit Kraus channel
E0 = scipy.stats.unitary_group.rvs(4) * np.sqrt(0.8)
E1 = scipy.stats.unitary_group.rvs(4) * np.sqrt(0.2)
K = [E0, E1]

# Apply a two-qubit Kraus channel to qubits 0 and 2
circ = circ.kraus([0, 2], K)
```

```
from braket.circuits import Noise

# Inject noise approach
# Define phase damping noise
noise = Noise.PhaseDamping(gamma=0.1)
# The noise channel is applied to all the X gates in the circuit
circ = Circuit().x(0).y(1).cnot(0, 2).x(1).z(2)
circ_noise = circ.copy()
circ_noise.apply_gate_noise(noise, target_gates=Gate.X)
```

Menjalankan sirkuit adalah pengalaman pengguna yang sama seperti sebelumnya, seperti yang ditunjukkan dalam dua contoh berikut.

Contoh 1

```
task = device.run(circ, shots=100)
```

Atau

Contoh 2

```
task = device.run(circ_noise, shots=100)
```

Untuk contoh lainnya, lihat [contoh simulator bising pengantar Braket]

Memeriksa sirkuit

Sirkuit kuantum di Amazon Braket memiliki konsep pseudo-time yang disebut `Moments`. Masing-masing qubit dapat mengalami satu gerbang per`Moment`. Tujuannya `Moments` adalah untuk membuat sirkuit dan gerbangnya lebih mudah diatasi dan menyediakan struktur temporal.

> **Note**
>
> Momen umumnya tidak sesuai dengan waktu nyata di mana gerbang dieksekusi di QPU.

Kedalaman sirkuit diberikan oleh jumlah total Momen di sirkuit tersebut. Anda dapat melihat kedalaman sirkuit memanggil metode `circuit.depth` seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

```
from braket.circuits import Circuit

# Define a circuit with parametrized gates
circ = Circuit().rx(0, 0.15).ry(1, 0.2).cnot(0, 2).zz(1, 3, 0.15).x(0)
print(circ)
print('Total circuit depth:', circ.depth)
```

```
T  : #     0      #        1         #  2  #
      ############                    #####
q0 : ## Rx(0.15) ###################### X ##
      ############   #                #####
      ############   #   ############
q1 : ## Ry(0.20) ######### ZZ(0.15) ########
      ############   #   ############
                  #####      #
```

```
q2 : ############### X ####################
                  #####      #
                       ############
q3 : ##################### ZZ(0.15) ########
                       ############
T  : #     0      #        1         #  2  #
Total circuit depth: 3
```

Kedalaman rangkaian total rangkaian di atas adalah 3 (ditunjukkan sebagai momen`0`,`1`, dan`2`). Anda dapat memeriksa operasi gerbang untuk setiap momen.

`Moments`berfungsi sebagai kamus pasangan kunci-nilai.

- Kuncinya adalah`MomentsKey()`, yang berisi pseudo-time dan qubit informasi.
- Nilai yang ditetapkan pada jenis `Instructions()`.

```
moments = circ.moments
for key, value in moments.items():
    print(key)
    print(value, "\n")
```

```
MomentsKey(time=0, qubits=QubitSet([Qubit(0)]), moment_type=<MomentType.GATE: 'gate'>,
 noise_index=0, subindex=0)
Instruction('operator': Rx('angle': 0.15, 'qubit_count': 1), 'target':
 QubitSet([Qubit(0)]), 'control': QubitSet([]), 'control_state': (), 'power': 1)

MomentsKey(time=0, qubits=QubitSet([Qubit(1)]), moment_type=<MomentType.GATE: 'gate'>,
 noise_index=0, subindex=0)
Instruction('operator': Ry('angle': 0.2, 'qubit_count': 1), 'target':
 QubitSet([Qubit(1)]), 'control': QubitSet([]), 'control_state': (), 'power': 1)

MomentsKey(time=1, qubits=QubitSet([Qubit(0), Qubit(2)]), moment_type=<MomentType.GATE:
 'gate'>, noise_index=0, subindex=0)
Instruction('operator': CNot('qubit_count': 2), 'target': QubitSet([Qubit(0),
 Qubit(2)]), 'control': QubitSet([]), 'control_state': (), 'power': 1)

MomentsKey(time=1, qubits=QubitSet([Qubit(1), Qubit(3)]), moment_type=<MomentType.GATE:
 'gate'>, noise_index=0, subindex=0)
Instruction('operator': ZZ('angle': 0.15, 'qubit_count': 2), 'target':
 QubitSet([Qubit(1), Qubit(3)]), 'control': QubitSet([]), 'control_state': (), 'power':
 1)
```

```
MomentsKey(time=2, qubits=QubitSet([Qubit(0)]), moment_type=<MomentType.GATE: 'gate'>,
 noise_index=0, subindex=0)
Instruction('operator': X('qubit_count': 1), 'target': QubitSet([Qubit(0)]), 'control':
 QubitSet([]), 'control_state': (), 'power': 1)
```

Anda juga dapat menambahkan gerbang ke sirkuit melalui `Moments`.

```
from braket.circuits import Instruction, Gate

new_circ = Circuit()
instructions = [Instruction(Gate.S(), 0),
                Instruction(Gate.CZ(), [1, 0]),
                Instruction(Gate.H(), 1)
                ]

new_circ.moments.add(instructions)
print(new_circ)
```

```
T  : #  0  #  1  #  2  #
      ##### #####
q0 : ## S ### Z ########
      ##### #####
              #   #####
q1 : ############## H ##
                  #####
T  : #  0  #  1  #  2  #
```

Daftar jenis hasil

Amazon Braket dapat mengembalikan berbagai jenis hasil ketika sirkuit diukur menggunakan `ResultType`. Sirkuit dapat mengembalikan jenis hasil berikut.

- `AdjointGradient`mengembalikan gradien (turunan vektor) dari nilai ekspektasi dari observable yang disediakan. Observable ini bekerja pada target yang diberikan sehubungan dengan parameter yang ditentukan menggunakan metode diferensiasi adjoint. Anda hanya dapat menggunakan metode ini ketika shots=0.
- `Amplitude`mengembalikan amplitudo keadaan kuantum tertentu dalam fungsi gelombang keluaran. Ini hanya tersedia di simulator lokal SV1 dan lokal.

- `Expectation`mengembalikan nilai ekspektasi dari observable yang diberikan, yang dapat ditentukan dengan `Observable` kelas diperkenalkan nanti dalam chapter ini. Target yang qubits digunakan untuk mengukur yang dapat diamati harus ditentukan, dan jumlah target yang ditentukan harus sama dengan jumlah qubits tindakan yang dapat diamati. Jika tidak ada target yang ditentukan, observable harus beroperasi hanya pada 1 qubit dan diterapkan ke semua secara qubits paralel.
- `Probability`mengembalikan probabilitas pengukuran keadaan basis komputasi. Jika target tidak ditentukan, `Probability` mengembalikan probabilitas mengukur semua keadaan dasar. Jika target ditentukan, hanya probabilitas marjinal dari vektor dasar pada yang ditentukan yang dikembalikan. qubits Simulator dan QPU yang dikelola dibatasi hingga maksimum 15 qubit, dan simulator lokal terbatas pada ukuran memori sistem.
- `Reduced density matrix`mengembalikan matriks kepadatan untuk subsistem target tertentu qubits dari sistem. qubits Untuk membatasi ukuran jenis hasil ini, Braket membatasi jumlah target qubits hingga maksimal 8.
- `StateVector`mengembalikan vektor status penuh. Ini tersedia di simulator lokal.
- `Sample`mengembalikan jumlah pengukuran dari qubit set target tertentu dan dapat diamati. Jika tidak ada target yang ditentukan, observable harus beroperasi hanya pada 1 qubit dan diterapkan ke semua secara qubits paralel. Jika target ditentukan, jumlah target yang ditentukan harus sama dengan jumlah qubits tindakan yang dapat diamati.
- `Variance`mengembalikan varians (`mean([x-mean(x)]`^{2}`)`) dari qubit set target yang ditentukan dan dapat diamati sebagai jenis hasil yang diminta. Jika tidak ada target yang ditentukan, observable harus beroperasi hanya pada 1 qubit dan diterapkan ke semua secara qubits paralel. Jika tidak, jumlah target yang ditentukan harus sama dengan jumlah qubits yang dapat diamati dapat diterapkan.

Jenis hasil yang didukung untuk penyedia yang berbeda:

	Sim lokal	SV1	DM1	TN1	AQT	IonQ	IQM	Rigetti
Gradien bersebel han	T	Y	T	T	T	T	T	T
Amplitud	Y	Y	T	T	T	T	T	T

Perkiraa	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
probabili tas	Y	Y	Y	T	Y	Y	Y	Y
Mengura i matriks kepadata	Y	T	Y	T	T	T	T	T
Vektor keadaan	Y	T	T	T	T	T	T	T
Sampel	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Varians	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

Anda dapat memeriksa jenis hasil yang didukung dengan memeriksa properti perangkat, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

```
from braket.aws import AwsDevice

device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")

# Print the result types supported by this device
for iter in
 device.properties.action['braket.ir.openqasm.program'].supportedResultTypes:
    print(iter)
```

```
name='Sample' observables=['x', 'y', 'z', 'h', 'i'] minShots=10 maxShots=50000
name='Expectation' observables=['x', 'y', 'z', 'h', 'i'] minShots=10 maxShots=50000
name='Variance' observables=['x', 'y', 'z', 'h', 'i'] minShots=10 maxShots=50000
name='Probability' observables=None minShots=10 maxShots=50000
```

Untuk memanggil a`ResultType`, tambahkan ke sirkuit, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

```
from braket.circuits import Circuit, Observable

circ = Circuit().h(0).cnot(0, 1).amplitude(state=["01", "10"])
```

```
circ.probability(target=[0, 1])
circ.probability(target=0)
circ.expectation(observable=Observable.Z(), target=0)
circ.sample(observable=Observable.X(), target=0)
circ.state_vector()
circ.variance(observable=Observable.Z(), target=0)

# Print one of the result types assigned to the circuit
print(circ.result_types[0])
```

> **Note**
>
> Perangkat kuantum yang berbeda memberikan hasil dalam berbagai format. Misalnya, Rigetti perangkat mengembalikan pengukuran, sementara IonQ perangkat memberikan probabilitas. Amazon Braket SDK menawarkan properti pengukuran untuk semua hasil. Namun, untuk perangkat yang mengembalikan probabilitas, pengukuran ini dihitung pasca-perhitungan dan berdasarkan probabilitas, karena pengukuran per tembakan tidak tersedia. Untuk menentukan apakah suatu hasil telah dihitung setelah dihitung, periksa `measurements_copied_from_device` pada objek hasil. Operasi ini dirinci dalam file gate_model_quantum_task_result.py di repositori SDK GitHub Amazon Braket.

Hasil pengamatan

`Observable`Kelas Amazon Braket memungkinkan Anda mengukur pengamatan tertentu.

Anda hanya dapat menerapkan satu non-identitas unik yang dapat diamati untuk masing-masing. qubit Terjadi kesalahan Jika Anda menentukan dua atau lebih yang dapat diamati non-identitas yang berbeda untuk hal yang sama. qubit Untuk tujuan ini, setiap faktor produk tensor dihitung sebagai individu yang dapat diamati. Ini berarti Anda dapat memiliki beberapa produk tensor yang samaqubit, selama faktor-faktor yang bekerja pada itu qubit tetap sama.

Observable dapat diskalakan dan menambahkan observable lainnya (diskalakan atau tidak). Ini menciptakan `Sum` yang dapat digunakan dalam tipe `AdjointGradient` hasil.

`Observable`Kelas ini mencakup observable berikut.

```
import numpy as np
```

```
Observable.I()
Observable.H()
Observable.X()
Observable.Y()
Observable.Z()

# Get the eigenvalues of the observable
print("Eigenvalue:", Observable.H().eigenvalues)
# Or rotate the basis to be computational basis
print("Basis rotation gates:", Observable.H().basis_rotation_gates)

# Get the tensor product of the observable for the multi-qubit case
tensor_product = Observable.Y() @ Observable.Z()
# View the matrix form of an observable by using
print("The matrix form of the observable:\n", Observable.Z().to_matrix())
print("The matrix form of the tensor product:\n", tensor_product.to_matrix())

# Factorize an observable in the tensor form
print("Factorize an observable:", tensor_product.factors)

# Self-define observables, given it is a Hermitian
print("Self-defined Hermitian:", Observable.Hermitian(matrix=np.array([[0, 1], [1,
 0]])))

print("Sum of other (scaled) observables:", 2.0 * Observable.X() @ Observable.X() + 4.0
 * Observable.Z() @ Observable.Z())
```

```
Eigenvalue: [ 1. -1.]
Basis rotation gates: (Ry('angle': -0.7853981633974483, 'qubit_count': 1),)
The matrix form of the observable:
 [[ 1.+0.j  0.+0.j]
 [ 0.+0.j -1.+0.j]]
The matrix form of the tensor product:
 [[ 0.+0.j  0.+0.j  0.-1.j  0.+0.j]
 [ 0.+0.j -0.+0.j  0.+0.j  0.+1.j]
 [ 0.+1.j  0.+0.j  0.+0.j  0.+0.j]
 [ 0.+0.j  0.-1.j  0.+0.j -0.+0.j]]
Factorize an observable: (Y('qubit_count': 1), Z('qubit_count': 1))
Self-defined Hermitian: Hermitian('qubit_count': 1, 'matrix': [[0.+0.j 1.+0.j], [1.+0.j
 0.+0.j]])
Sum of other (scaled) observables: Sum(TensorProduct(X('qubit_count': 1),
 X('qubit_count': 1)), TensorProduct(Z('qubit_count': 1), Z('qubit_count': 1)))
```

Parameter

Sirkuit dapat menggabungkan parameter gratis. Parameter gratis ini hanya perlu dibangun sekali untuk dijalankan beberapa kali, dan dapat digunakan untuk menghitung gradien.

Setiap parameter gratis menggunakan nama yang disandikan string yang digunakan untuk:

- Tetapkan nilai parameter
- Identifikasi parameter mana yang akan digunakan

```
from braket.circuits import Circuit, FreeParameter, observables
from braket.parametric import FreeParameter

theta = FreeParameter("theta")
phi = FreeParameter("phi")
circ = Circuit().h(0).rx(0, phi).ry(0, phi).cnot(0, 1).xx(0, 1, theta)
```

Gradien bersebelahan

SV1Perangkat menghitung gradien berdampingan dari nilai ekspektasi yang dapat diamati, termasuk Hamiltonian multi-term. Untuk membedakan parameter, tentukan namanya (dalam format string) atau dengan referensi langsung.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.devices import Devices

device = AwsDevice(Devices.Amazon.SV1)

circ.adjoint_gradient(observable=3 * Observable.Z(0) @ Observable.Z(1) - 0.5 *
 observables.X(0), parameters = ["phi", theta])
```

Melewati nilai parameter tetap sebagai argumen ke sirkuit berparameter akan menghapus parameter bebas. Menjalankan sirkuit ini dengan `AdjointGradient` menghasilkan kesalahan, karena parameter bebas tidak ada lagi. Contoh kode berikut menunjukkan penggunaan yang benar dan salah:

```
# Will error, as no free parameters will be present
#device.run(circ(0.2), shots=0)

# Will succeed
```

```
device.run(circ, shots=0, inputs={'phi': 0.2, 'theta': 0.2})
```

Mendapatkan saran ahli

Terhubung dengan pakar komputasi kuantum langsung di konsol manajemen Braket untuk mendapatkan panduan tambahan seputar beban kerja Anda.

Untuk menjelajahi opsi saran ahli melalui Braket Direct, buka konsol Braket, pilih Braket Direct di panel kiri, dan arahkan ke bagian Saran ahli. Opsi saran Ahli berikut tersedia:

- Jam kantor Braket: Jam kantor Braket adalah sesi 1:1, pertama datang pertama dilayani, dan berlangsung setiap bulan. Setiap slot jam kantor yang tersedia adalah 30 menit dan gratis. Berbicara dengan pakar Braket dapat membantu Anda beralih dari ide ke eksekusi lebih cepat dengan menjelajahi kecocokan use-case-to-device, mengidentifikasi opsi untuk menggunakan Braket terbaik untuk algoritme Anda, dan mendapatkan rekomendasi tentang cara menggunakan fitur Braket tertentu seperti Amazon Braket Hybrid Jobs, Braket Pulse, atau Simulasi Hamiltonian Analog.
  - Untuk mendaftar jam kantor Braket, pilih Daftar dan isi informasi kontak, detail beban kerja, dan topik diskusi yang Anda inginkan.
  - Anda akan menerima undangan kalender ke slot berikutnya yang tersedia melalui email Anda.

  > **Note**
  >
  > Untuk masalah yang muncul atau pertanyaan pemecahan masalah cepat, kami sarankan untuk menghubungi Support.AWS Untuk pertanyaan yang tidak mendesak, Anda juga dapat menggunakan forum AWS Re:Post atau Quantum Computing Stack Exchange, tempat Anda dapat menelusuri pertanyaan yang dijawab sebelumnya dan mengajukan pertanyaan baru.

- Penawaran penyedia perangkat keras kuantum:IonQ,QuEra, dan Rigetti masing-masing menyediakan penawaran layanan profesional melalui. AWS Marketplace
  - Untuk menjelajahi penawaran mereka, pilih Connect dan telusuri daftar mereka.
  - Untuk mempelajari lebih lanjut tentang penawaran layanan profesional di AWS Marketplace, lihat Produk layanan profesional.
- AmazonAdvanced Solutions Lab (ASL): ASL adalah tim penelitian kolaboratif dan layanan profesional yang dikelola oleh para ahli komputasi kuantum yang dapat membantu Anda menjelajahi komputasi kuantum secara efektif dan menilai kinerja teknologi saat ini.

- Untuk menghubungi ASL, pilih Connect, dan isi informasi kontak dan detail kasus penggunaan.
- Tim ASL akan menghubungi Anda melalui email dengan langkah selanjutnya.

Jalankan sirkuit Anda dengan OpenQASM 3.0

AmazonBraket sekarang mendukung OpenQASM 3.0 untuk perangkat kuantum berbasis gerbang dan simulator. Panduan pengguna ini memberikan informasi tentang subset OpenQASM 3.0 yang didukung oleh Braket. Pelanggan Braket sekarang memiliki pilihan untuk mengirimkan sirkuit Braket dengan SDK atau dengan langsung menyediakan string OpenQASM 3.0 ke semua perangkat berbasis gerbang dengan Amazon Braket API dan Amazon Braket Python SDK.

Topik dalam panduan ini memandu Anda melalui berbagai contoh cara menyelesaikan tugas kuantum berikut.

- Buat dan kirimkan tugas kuantum OpenQASM pada perangkat Braket yang berbeda
- Akses operasi dan jenis hasil yang didukung
- Simulasikan kebisingan dengan OpenQASM
- Gunakan kompilasi kata demi kata dengan OpenQASM
- Memecahkan masalah OpenQASM

Panduan ini juga memberikan pengenalan fitur khusus perangkat keras tertentu yang dapat diimplementasikan dengan OpenQASM 3.0 pada Braket dan tautan ke sumber daya lebih lanjut.

Di bagian ini:

- Apa itu OpenQASM 3.0?
- Kapan menggunakan OpenQASM 3.0
- Bagaimana OpenQASM 3.0 bekerja
- Prasyarat
- Fitur OpenQASM apa yang didukung Braket?
- Buat dan kirimkan contoh tugas kuantum OpenQASM 3.0
- Support untuk OpenQASM pada perangkat Braket yang berbeda
- Simulasikan kebisingan dengan OpenQASM 3.0
- Qubit rewiring dengan OpenQASM 3.0

Apa itu OpenQASM 3.0?

Open Quantum Assembly Language (OpenQASM) adalah representasi menengah untuk instruksi kuantum. OpenQASM adalah kerangka kerja sumber terbuka dan banyak digunakan untuk spesifikasi program kuantum untuk perangkat berbasis gerbang. Dengan OpenQASM, pengguna dapat memprogram gerbang kuantum dan operasi pengukuran yang membentuk blok bangunan komputasi kuantum. Versi sebelumnya dari OpenQASM (2.0) digunakan oleh sejumlah perpustakaan pemrograman kuantum untuk menggambarkan program dasar.

Versi baru OpenQASM (3.0) memperluas versi sebelumnya untuk menyertakan lebih banyak fitur, seperti kontrol tingkat pulsa, waktu gerbang, dan aliran kontrol klasik untuk menjembatani kesenjangan antara antarmuka pengguna akhir dan bahasa deskripsi perangkat keras. Detail dan spesifikasi pada versi 3.0 saat ini tersedia di GitHub OpenQASM 3.x Live Specification. Pengembangan future OpenQASM diatur oleh OpenQASM 3.0 Technical Steering Committee, yang merupakan AWS anggota bersama IBM, Microsoft, dan University of Innsbruck.

Kapan menggunakan OpenQASM 3.0

OpenQASM menyediakan kerangka kerja ekspresif untuk menentukan program kuantum melalui kontrol tingkat rendah yang tidak spesifik arsitektur, membuatnya cocok sebagai representasi di beberapa perangkat berbasis gerbang. Dukungan Braket untuk OpenQASM memajukan adopsi sebagai pendekatan yang konsisten untuk mengembangkan algoritma kuantum berbasis gerbang, mengurangi kebutuhan pengguna untuk belajar dan memelihara perpustakaan dalam berbagai kerangka kerja.

Jika Anda memiliki pustaka program yang ada di OpenQASM 3.0, Anda dapat menyesuaikannya untuk digunakan dengan Braket daripada menulis ulang sirkuit ini sepenuhnya. Peneliti dan pengembang juga harus mendapat manfaat dari peningkatan jumlah perpustakaan pihak ketiga yang tersedia dengan dukungan untuk pengembangan algoritma di OpenQASM.

Bagaimana OpenQASM 3.0 bekerja

Support untuk OpenQASM 3.0 dari Braket memberikan paritas fitur dengan Representasi Menengah saat ini. Ini berarti bahwa apa pun yang dapat Anda lakukan hari ini pada perangkat keras dan simulator sesuai permintaan dengan Braket, Anda dapat melakukannya dengan OpenQASM menggunakan Braket. API Anda dapat menjalankan program OpenQASM 3.0 dengan langsung memasok string OpenQASM ke semua perangkat berbasis gerbang dengan cara yang mirip dengan bagaimana sirkuit saat ini dipasok ke perangkat di Braket. Pengguna Braket juga dapat mengintegrasikan pustaka pihak ketiga yang mendukung OpenQASM 3.0. Sisa panduan ini merinci bagaimana mengembangkan representasi OpenQASM untuk digunakan dengan Braket.

Prasyarat

Untuk menggunakan OpenQASM 3.0 di Amazon Braket, Anda harus memiliki versi v1.8.0 dari Skema Python Amazon Braket dan v1.17.0 atau lebih tinggi dari Amazon Braket Python SDK.

Jika Anda adalah pengguna pertama kali Amazon Braket, Anda harus mengaktifkan Amazon Braket. Untuk petunjuk, lihat Mengaktifkan Amazon Braket.

Fitur OpenQASM apa yang didukung Braket?

Bagian berikut mencantumkan tipe data OpenQASM 3.0, pernyataan, dan instruksi pragma yang didukung oleh Braket.

Di bagian ini:

- Tipe data OpenQASM yang didukung
- Pernyataan OpenQASM yang didukung
- Braket OpenQASM pragma
- Dukungan fitur lanjutan untuk OpenQASM di Simulator Lokal
- Operasi dan tata bahasa yang didukung dengan OpenPulse

Tipe data OpenQASM yang didukung

Tipe data OpenQASM berikut didukung oleh Amazon Braket.

- Non-negative bilangan bulat digunakan untuk indeks qubit (virtual dan fisik):
  - `cnot q[0], q[1];`

  - `h $0;`
- Floating-point angka atau konstanta dapat digunakan untuk sudut rotasi gerbang:
  - `rx(-0.314) $0;`
  - `rx(pi/4) $0;`

> **Note**
>
> pi adalah konstanta bawaan di OpenQASM dan tidak dapat digunakan sebagai nama parameter.

- Array bilangan kompleks (dengan `im` notasi openQASM untuk bagian imajiner) diizinkan dalam pragma tipe hasil untuk mendefinisikan hermitian umum yang dapat diamati dan dalam pragma kesatuan:
  - `#pragma braket unitary [[0, -1im], [1im, 0]] q[0]`
  - `#pragma braket result expectation hermitian([[0, -1im], [1im, 0]]) q[0]`

Pernyataan OpenQASM yang didukung

Pernyataan OpenQASM berikut didukung oleh Amazon Braket.

- `Header: OPENQASM 3;`
- Deklarasi bit klasik:
  - `bit b1;`(setara,) `creg b1;`
  - `bit[10] b2;`(setara,) `creg b2[10];`
- Deklarasi Qubit:
  - `qubit b1;`(setara,) `qreg b1;`
  - `qubit[10] b2;`(setara,) `qreg b2[10];`
- Pengindeksan dalam array: `q[0]`
- Masukan: `input float alpha;`
- spesifikasi fisikqubits: `$0`
- Gerbang dan operasi yang didukung pada perangkat:
  - `h $0;`

- `iswap q[0], q[1];`

> **Note**
>
> Gerbang yang didukung perangkat dapat ditemukan di properti perangkat untuk tindakan OpenQASM; tidak ada definisi gerbang yang diperlukan untuk menggunakan gerbang ini.

- Pernyataan kotak kata demi kata. Saat ini, kami tidak mendukung notasi durasi kotak. Gerbang asli dan fisik qubits diperlukan dalam kotak kata demi kata.

```
#pragma braket verbatim
box{
    rx(0.314) $0;
}
```

- Penugasan pengukuran dan pengukuran pada qubits atau seluruh qubit register.
  - `measure $0;`
  - `measure q;`
  - `measure q[0];`
  - `b = measure q;`
  - `measure q # b;`
- Pernyataan penghalang memberikan kontrol eksplisit atas kompilasi dan eksekusi sirkuit dengan mencegah penataan ulang gerbang dan pengoptimalan melintasi batas penghalang. Mereka juga menegakkan urutan temporal yang ketat selama eksekusi, memastikan semua operasi sebelum penghalang selesai sebelum operasi berikutnya dimulai.
  - `barrier;`
  - `barrier q[0], q[1];`
  - `barrier $3, $6;`

Braket OpenQASM pragma

Petunjuk pragma OpenQASM berikut didukung oleh Amazon Braket.

- Pragma kebisingan
  - `#pragma braket noise bit_flip(0.2) q[0]`
  - `#pragma braket noise phase_flip(0.1) q[0]`
  - `#pragma braket noise pauli_channel`
- Pragma kata demi kata
  - `#pragma braket verbatim`
- Jenis hasil pragma
  - Jenis hasil invarian dasar:
    - Vektor negara: `#pragma braket result state_vector`
    - Matriks kepadatan: `#pragma braket result density_matrix`
  - Pragma perhitungan gradien:
    - Gradien bersebelahan: `#pragma braket result adjoint_gradient expectation(2.2 * x[0] @ x[1]) all`
  - Jenis hasil dasar Z:
    - Amplitudo: `#pragma braket result amplitude "01"`
    - Probabilitas: `#pragma braket result probability q[0], q[1]`
  - Jenis hasil yang diputar dasar
    - Harapan: `#pragma braket result expectation x(q[0]) @ y([q1])`
    - Varians: `#pragma braket result variance hermitian([[0, -1im], [1im, 0]]) $0`
    - Sampel: `#pragma braket result sample h($1)`

> **Note**
>
> OpenQASM 3.0 kompatibel dengan OpenQASM 2.0, sehingga program yang ditulis menggunakan 2.0 dapat berjalan di Braket. Namun fitur OpenQASM 3.0 yang didukung oleh Braket memang memiliki beberapa perbedaan sintaks kecil, seperti vs dan vs. `qreg creg qubit bit` Ada juga perbedaan dalam sintaks pengukuran, dan ini perlu didukung dengan sintaks yang benar.

Dukungan fitur lanjutan untuk OpenQASM di Simulator Lokal

Ini `LocalSimulator` mendukung fitur OpenQASM canggih yang tidak ditawarkan sebagai bagian dari simulator QPU atau on-demand Braket. Daftar fitur berikut hanya didukung di`LocalSimulator`:

- Pengubah gerbang
- Gerbang bawaan OpenQASM
- Variabel klasik
- Operasi klasik
- Gerbang kustom
- Kontrol klasik
- File QASM
- Subrutin

Untuk contoh setiap fitur lanjutan, lihat contoh buku catatan ini. Untuk spesifikasi OpenQASM lengkap, lihat situs web OpenQASM.

Operasi dan tata bahasa yang didukung dengan OpenPulse

Tipe OpenPulse Data yang Didukung

Blok Cal:

```
cal {
    ...
}
```

Blok Defcal:

```
// 1 qubit
defcal x $0 {
...
}

// 1 qubit w. input parameters as constants
defcal my_rx(pi) $0 {
...
}
```

```
// 1 qubit w. input parameters as free parameters
defcal my_rz(angle theta) $0 {
...
}

// 2 qubit (above gate args are also valid)
defcal cz $1, $0 {
...
}
```

Bingkai:

```
frame my_frame = newframe(port_0, 4.5e9, 0.0);
```

Bentuk gelombang:

```
// prebuilt
waveform my_waveform_1 = constant(1e-6, 1.0);

//arbitrary
waveform my_waveform_2 = {0.1 + 0.1im, 0.1 + 0.1im, 0.1, 0.1};
```

Contoh Kalibrasi Gerbang Kustom:

```
cal {
    waveform wf1 = constant(1e-6, 0.25);
}

defcal my_x $0 {
   play(wf1, q0_rf_frame);
}

defcal my_cz $1, $0 {
    barrier q0_q1_cz_frame, q0_rf_frame;
    play(q0_q1_cz_frame, wf1);
    delay[300ns] q0_rf_frame
    shift_phase(q0_rf_frame, 4.366186381749424);
    delay[300ns] q0_rf_frame;
    shift_phase(q0_rf_frame.phase, 5.916747563126659);
    barrier q0_q1_cz_frame, q0_rf_frame;
    shift_phase(q0_q1_cz_frame, 2.183093190874712);
}
```

```
bit[2] ro;
my_x $0;
my_cz $1,$0;
c[0] = measure $0;
```

Contoh pulsa sewenang-wenang:

```
bit[2] ro;
cal {
    waveform wf1 = {0.1 + 0.1im, 0.1 + 0.1im, 0.1, 0.1};
    barrier q0_drive, q0_q1_cross_resonance;
    play(q0_q1_cross_resonance, wf1);
    delay[300ns] q0_drive;
    shift_phase(q0_drive, 4.366186381749424);
    delay[300dt] q0_drive;
   barrier q0_drive, q0_q1_cross_resonance;
   play(q0_q1_cross_resonance, wf1);
    ro[0] = capture_v0(r0_measure);
    ro[1] = capture_v0(r1_measure);
}
```

Buat dan kirimkan contoh tugas kuantum OpenQASM 3.0

Anda dapat menggunakan Amazon Braket Python SDK, Boto3, atau AWS CLI untuk mengirimkan tugas kuantum OpenQASM 3.0 ke perangkat Amazon Braket.

Di bagian ini:

- Contoh program OpenQASM 3.0
- Gunakan Python SDK untuk membuat tugas kuantum OpenQASM 3.0
- Gunakan Boto3 untuk membuat tugas kuantum OpenQASM 3.0
- Gunakan AWS CLI untuk membuat tugas OpenQASM 3.0

Contoh program OpenQASM 3.0

Untuk membuat tugas OpenQASM 3.0, Anda dapat memulai dengan program OpenQASM 3.0 dasar (ghz.qasm) yang menyiapkan status GHZ seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

```
// ghz.qasm
```

```
// Prepare a GHZ state
OPENQASM 3;

qubit[3] q;
bit[3] c;

h q[0];
cnot q[0], q[1];
cnot q[1], q[2];

c = measure q;
```

Gunakan Python SDK untuk membuat tugas kuantum OpenQASM 3.0

Anda dapat menggunakan Amazon Braket Python SDK untuk mengirimkan program ini ke perangkat Amazon Braket dengan kode berikut. Pastikan untuk mengganti contoh lokasi bucket Amazon S3 “amzn-s3-demo-bucket” dengan nama bucket Amazon S3 Anda sendiri.

```
with open("ghz.qasm", "r") as ghz:
    ghz_qasm_string = ghz.read()

# Import the device module
from braket.aws import AwsDevice
# Choose the Rigetti device
device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")
from braket.ir.openqasm import Program

program = Program(source=ghz_qasm_string)
my_task = device.run(program)

# Specify an optional s3 bucket location and number of shots
s3_location = ("amzn-s3-demo-bucket", "openqasm-tasks")
my_task = device.run(
    program,
    s3_location,
    shots=100,
)
```

Gunakan Boto3 untuk membuat tugas kuantum OpenQASM 3.0

Anda juga dapat menggunakan AWS Python SDK untuk Braket (Boto3) untuk membuat tugas kuantum menggunakan string OpenQASM 3.0, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

Cuplikan kode berikut referensi ghz.qasm yang menyiapkan status GHZ seperti yang ditunjukkan di atas.

```
import boto3
import json

my_bucket = "amzn-s3-demo-bucket"
s3_prefix = "openqasm-tasks"

with open("ghz.qasm") as f:
    source = f.read()

action = {
    "braketSchemaHeader": {
        "name": "braket.ir.openqasm.program",
        "version": "1"
    },
    "source": source
}
device_parameters = {}
device_arn = "arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3"
shots = 100

braket_client = boto3.client('braket', region_name='us-west-1')
rsp = braket_client.create_quantum_task(
    action=json.dumps(
        action
    ),
    deviceParameters=json.dumps(
        device_parameters
    ),
    deviceArn=device_arn,
    shots=shots,
    outputS3Bucket=my_bucket,
    outputS3KeyPrefix=s3_prefix,
)
```

Gunakan AWS CLI untuk membuat tugas OpenQASM 3.0

AWS Command Line Interface (CLI) juga dapat digunakan untuk mengirimkan program OpenQASM 3.0, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

```
aws braket create-quantum-task \
```

```
    --region "us-west-1" \
    --device-arn "arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3" \
    --shots 100 \
    --output-s3-bucket "amzn-s3-demo-bucket" \
    --output-s3-key-prefix "openqasm-tasks" \
    --action '{
        "braketSchemaHeader": {
            "name": "braket.ir.openqasm.program",
            "version": "1"
        },
        "source": $(cat ghz.qasm)
    }'
```

Support untuk OpenQASM pada perangkat Braket yang berbeda

Untuk perangkat yang mendukung OpenQASM 3.0, `action` bidang ini mendukung tindakan baru melalui `GetDevice` respons, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut untuk perangkat danRigetti. IonQ

```
//OpenQASM as available with the Rigetti device capabilities
{
    "braketSchemaHeader": {
        "name": "braket.device_schema.rigetti.rigetti_device_capabilities",
        "version": "1"
    },
    "service": {...},
    "action": {
        "braket.ir.jaqcd.program": {...},
        "braket.ir.openqasm.program": {
            "actionType": "braket.ir.openqasm.program",
            "version": [
                "1"
            ],
            ….
        }
    }
}

//OpenQASM as available with the IonQ device capabilities
{
    "braketSchemaHeader": {
        "name": "braket.device_schema.ionq.ionq_device_capabilities",
        "version": "1"
```

```
    },
    "service": {...},
    "action": {
        "braket.ir.jaqcd.program": {...},
        "braket.ir.openqasm.program": {
            "actionType": "braket.ir.openqasm.program",
            "version": [
                "1"
            ],
            ….
        }
    }
}
```

Untuk perangkat yang mendukung kontrol pulsa, `pulse` bidang ditampilkan dalam `GetDevice` respons. Contoh berikut menunjukkan `pulse` bidang ini untuk Rigetti perangkat.

```
// Rigetti
{
  "pulse": {
    "braketSchemaHeader": {
      "name": "braket.device_schema.pulse.pulse_device_action_properties",
      "version": "1"
    },
    "supportedQhpTemplateWaveforms": {
      "constant": {
        "functionName": "constant",
        "arguments": [
          {
            "name": "length",
            "type": "float",
            "optional": false
          },
          {
            "name": "iq",
            "type": "complex",
            "optional": false
          }
        ]
      },
      ...
    },
    "ports": {
```

```
      "q0_ff": {
        "portId": "q0_ff",
        "direction": "tx",
        "portType": "ff",
        "dt": 1e-9,
        "centerFrequencies": [
          375000000
        ]
      },
      ...
    },
    "supportedFunctions": {
      "shift_phase": {
        "functionName": "shift_phase",
        "arguments": [
          {
            "name": "frame",
            "type": "frame",
            "optional": false
          },
          {
            "name": "phase",
            "type": "float",
            "optional": false
          }
        ]
      },
     ...
    },
    "frames": {
      "q0_q1_cphase_frame": {
        "frameId": "q0_q1_cphase_frame",
        "portId": "q0_ff",
        "frequency": 462475694.24460185,
        "centerFrequency": 375000000,
        "phase": 0,
        "associatedGate": "cphase",
        "qubitMappings": [
          0,
          1
        ]
      },
      ...
    },
```

```
    "supportsLocalPulseElements": false,
    "supportsDynamicFrames": false,
    "supportsNonNativeGatesWithPulses": false,
    "validationParameters": {
      "MAX_SCALE": 4,
      "MAX_AMPLITUDE": 1,
      "PERMITTED_FREQUENCY_DIFFERENCE": 400000000
    }
  }
}
```

Bidang sebelumnya merinci hal-hal berikut:

Pelabuhan:

Menjelaskan port perangkat eksternal (`extern`) yang telah dibuat sebelumnya yang dideklarasikan pada QPU selain properti terkait dari port yang diberikan. Semua port yang tercantum dalam struktur ini telah dideklarasikan sebelumnya sebagai pengidentifikasi yang valid dalam `OpenQASM 3.0` program yang dikirimkan oleh pengguna. Properti tambahan untuk port meliputi:

- Id port (PortID)
  - Nama port dinyatakan sebagai identifier di OpenQASM 3.0.
- Arah (arah)
  - Arah pelabuhan. Port drive mengirimkan pulsa (arah “tx”), sedangkan port pengukuran menerima pulsa (arah “rx”).
- Jenis port (PortType)
  - Jenis tindakan yang menjadi tanggung jawab port ini (misalnya, drive, capture, atau ff - fast-flux).
- Dt (dt)
  - Waktu dalam detik yang mewakili satu langkah waktu sampel pada port yang diberikan.
- Pemetaan Qubit (QubitMappings)
  - Qubit yang terkait dengan port yang diberikan.
- Frekuensi tengah (CenterFrequencies)
  - Daftar frekuensi pusat terkait untuk semua frame yang telah dideklarasikan atau ditentukan pengguna pada port. Untuk informasi lebih lanjut, lihat Frames.
- Properti Khusus QHP (SpecificPropertiesqhp)
  - Peta opsional yang merinci properti yang ada tentang port khusus untuk QHP.

Bingkai:

Menjelaskan frame eksternal pra-dibuat yang dideklarasikan pada QPU serta properti terkait tentang frame. Semua frame yang tercantum dalam struktur ini telah dideklarasikan sebelumnya sebagai pengidentifikasi yang valid dalam `OpenQASM 3.0` program yang dikirimkan oleh pengguna. Properti tambahan untuk bingkai meliputi:

- Id Bingkai (FrameID)
  - Nama frame dinyatakan sebagai identifier di OpenQASM 3.0.
- Port Id (PortID)
  - Port perangkat keras terkait untuk bingkai.
- Frekuensi (frekuensi)
  - Frekuensi awal default dari frame.
- Frekuensi Pusat (Frekuensi Tengah)
  - Pusat bandwidth frekuensi untuk frame. Biasanya, frame hanya dapat disesuaikan dengan bandwidth tertentu di sekitar frekuensi tengah. Akibatnya, penyesuaian frekuensi harus tetap berada dalam delta tertentu dari frekuensi pusat. Anda dapat menemukan nilai bandwidth dalam parameter validasi.
- Fase (fase)
  - Fase awal default dari frame.
- Gerbang Terkait (AssociatedGate)
  - Gerbang yang terkait dengan bingkai yang diberikan.
- Pemetaan Qubit (QubitMappings)
  - Qubit yang terkait dengan frame yang diberikan.
- Properti Khusus QHP (SpecificPropertiesqhp)
  - Peta opsional yang merinci properti yang ada tentang bingkai khusus untuk QHP.

SupportsDynamicFrames:

Menjelaskan apakah bingkai dapat dideklarasikan `cal` atau `defcal` diblokir melalui OpenPulse `newframe` fungsi. Jika ini salah, hanya bingkai yang tercantum dalam struktur bingkai yang dapat digunakan dalam program.

SupportedFunctions:

Menjelaskan OpenPulse fungsi yang didukung untuk perangkat selain argumen terkait, tipe argumen, dan tipe pengembalian untuk fungsi yang diberikan. Untuk melihat contoh penggunaan OpenPulse fungsi, lihat OpenPulsespesifikasinya. Pada saat ini, Braket mendukung:

- shift_phase
  - Menggeser fase frame dengan nilai tertentu
- set_phase
  - Mengatur fase frame ke nilai yang ditentukan
- swap_phase
  - Menukar fase antara dua frame.
- shift_frequency
  - Menggeser frekuensi frame dengan nilai tertentu
- set_frequency
  - Mengatur frekuensi frame ke nilai yang ditentukan
- pementasan
  - Menjadwalkan bentuk gelombang
- menangkap_v0
  - Mengembalikan nilai pada frame capture ke register bit

SupportedQhpTemplateWaveforms:

Menjelaskan fungsi bentuk gelombang yang telah dibuat sebelumnya yang tersedia di perangkat serta argumen serta tipe terkait. Secara default, Braket Pulse menawarkan rutinitas bentuk gelombang pra-bangun pada semua perangkat, yaitu:

Konstan

$$Constant(t, \tau, iq) = iq$$

`τ`adalah panjang bentuk gelombang dan `iq` merupakan bilangan kompleks.

```
def constant(length, iq)
```

Gaussian

$$Gaussian(t, \tau, \sigma, A = 1, ZaE = 0) =$$
$$\frac{A}{1 - ZaE * \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\tau}{2\sigma}\right)^2\right)} \left[\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t - \frac{\tau}{2}}{\sigma}\right)^2\right) - ZaE * \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\tau}{2\sigma}\right)^2\right)\right]$$

τadalah panjang bentuk gelombang, σ adalah lebar Gaussian, dan A merupakan amplitudo. Jika disetel ZaE keTrue, Gaussian diimbangi dan diskalakan ulang sedemikian rupa sehingga sama dengan nol pada awal dan akhir bentuk gelombang, dan mencapai maksimum. A

```
def gaussian(length, sigma, amplitude=1, zero_at_edges=False)
```

DRAG Gaussian

$$DRAG\_Gaussian(t, \tau, \sigma, \beta, A = 1, ZaE = 0) =$$
$$\frac{A}{1 - ZaE * \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\tau}{2\sigma}\right)^2\right)} \left(1 - i\beta\frac{t - \frac{\tau}{2}}{\sigma^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t - \frac{\tau}{2}}{\sigma}\right)^2\right) - ZaE * \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\tau}{2\sigma}\right)^2\right)\right]$$

τadalah panjang bentuk gelombang, σ adalah lebar gaussian, adalah parameter bebas, dan β A merupakan amplitudo. Jika disetel ZaE keTrue, Penghapusan Derivatif oleh Gerbang Adiabatik (DRAG) Gaussian diimbangi dan diskalakan ulang sedemikian rupa sehingga sama dengan nol pada awal dan akhir bentuk gelombang, dan bagian sebenarnya mencapai maksimum. A Untuk informasi lebih lanjut tentang bentuk gelombang DRAG, lihat paper Pulsa Sederhana untuk Penghapusan Kebocoran pada Qubit Nonlinier Lemah.

```
def drag_gaussian(length, sigma, beta, amplitude=1, zero_at_edges=False)
```

Alun-alun Erf

$$\text{Erf\_Square}(t, L, W, \sigma, A = 1, ZaE = 0) =$$

$$A \times \frac{\text{erf}((t - t_1)/\sigma) + \text{erf}(-(t - t_2)/\sigma)}{2 \times \text{erf}(W/2\sigma))}$$

Di mana L panjangnya, W adalah lebar bentuk gelombang, σ menentukan seberapa cepat tepi naik dan turun, t_1=(L-W)/2 dant2=(L+W)/2, A adalah amplitudo. Jika disetel ZaE keTrue, Gaussian diimbangi dan diskalakan ulang sedemikian rupa sehingga sama dengan nol pada awal dan akhir

bentuk gelombang, dan mencapai maksimum. A Persamaan berikut adalah versi bentuk gelombang yang diskalakan ulang.

$$\text{Erf\_Square}(..., ZaE = 1) = (a \times \text{Erf\_Square}(..., ZaE = 0) - bA)/(a - b)$$

Dimana `a=erf(W/2σ)` danb=`erf(-t`$_1$`/σ)/2+erf(t` $_2$`/σ)/2` .

```
def erf_square(length, width, sigma, amplitude=1, zero_at_edges=False)
```

SupportsLocalPulseElements:

Menjelaskan apakah elemen pulsa, seperti port, frame, dan bentuk gelombang dapat didefinisikan secara lokal dalam blok. `defcal` Jika nilainya`false`, elemen harus didefinisikan dalam `cal` blok.

SupportsNonNativeGatesWithPulses:

Menjelaskan apakah kita dapat atau tidak dapat menggunakan gerbang non-asli dalam kombinasi dengan program pulsa. Misalnya, Anda tidak dapat menggunakan gerbang non-asli seperti H gerbang dalam program tanpa terlebih dahulu mendefinisikan gerbang `defcal` untuk qubit yang digunakan. Anda dapat menemukan daftar `nativeGateSet` kunci gerbang asli di bawah kemampuan perangkat.

ValidationParameters:

Menjelaskan batas validasi elemen pulsa, termasuk:

- Skala Maksimum/Nilai Amplitudo Maksimum untuk bentuk gelombang (arbitrer dan pra-bangun)
- Bandwidth frekuensi maksimum dari frekuensi pusat yang disediakan dalam Hz
- Denyut nadi minimum length/duration dalam hitungan detik
- Pulsa maksimum length/duration dalam hitungan detik

Operasi, Hasil, dan Jenis Hasil yang Didukung dengan OpenQASM

Untuk mengetahui fitur OpenQASM 3.0 mana yang didukung setiap perangkat, Anda dapat merujuk ke `braket.ir.openqasm.program` kunci di `action` bidang pada output kemampuan perangkat. Misalnya, berikut ini adalah operasi yang didukung dan jenis hasil yang tersedia untuk simulator SV1 Braket State Vector.

```
...
```

```
  "action": {
    "braket.ir.jaqcd.program": {
      ...
    },
 "braket.ir.openqasm.program": {
      "version": [
        "1.0"
      ],
      "actionType": "braket.ir.openqasm.program",
      "supportedOperations": [
        "ccnot",
        "cnot",
        "cphaseshift",
        "cphaseshift00",
        "cphaseshift01",
        "cphaseshift10",
        "cswap",
        "cy",
        "cz",
        "h",
        "i",
        "iswap",
        "pswap",
        "phaseshift",
        "rx",
        "ry",
        "rz",
        "s",
        "si",
        "swap",
        "t",
        "ti",
        "v",
        "vi",
        "x",
        "xx",
        "xy",
        "y",
        "yy",
        "z",
        "zz"
      ],
      "supportedPragmas": [
        "braket_unitary_matrix"
```

```
    ],
    "forbiddenPragmas": [],
    "maximumQubitArrays": 1,
    "maximumClassicalArrays": 1,
    "forbiddenArrayOperations": [
      "concatenation",
      "negativeIndex",
      "range",
      "rangeWithStep",
      "slicing",
      "selection"
    ],
    "requiresAllQubitsMeasurement": true,
    "supportsPhysicalQubits": false,
    "requiresContiguousQubitIndices": true,
    "disabledQubitRewiringSupported": false,
    "supportedResultTypes": [
      {
        "name": "Sample",
        "observables": [
          "x",
          "y",
          "z",
          "h",
          "i",
          "hermitian"
        ],
        "minShots": 1,
        "maxShots": 100000
      },
      {
        "name": "Expectation",
        "observables": [
          "x",
          "y",
          "z",
          "h",
          "i",
          "hermitian"
        ],
        "minShots": 0,
        "maxShots": 100000
      },
      {
```

```
          "name": "Variance",
          "observables": [
            "x",
            "y",
            "z",
            "h",
            "i",
            "hermitian"
          ],
          "minShots": 0,
          "maxShots": 100000
        },
        {
          "name": "Probability",
          "minShots": 1,
          "maxShots": 100000
        },
        {
          "name": "Amplitude",
          "minShots": 0,
          "maxShots": 0
        }
        {
          "name": "AdjointGradient",
          "minShots": 0,
          "maxShots": 0
        }
      ]
    }
  },
...
```

Simulasikan kebisingan dengan OpenQASM 3.0

Untuk mensimulasikan noise dengan OpenQASM3, Anda menggunakan instruksi pragma untuk menambahkan operator noise. Misalnya, untuk mensimulasikan versi bising dari program GHZ yang disediakan sebelumnya, Anda dapat mengirimkan program OpenQASM berikut.

```
// ghz.qasm
// Prepare a GHZ state
OPENQASM 3;

qubit[3] q;
```

```
bit[3] c;

h q[0];
#pragma braket noise depolarizing(0.75) q[0] cnot q[0], q[1];
#pragma braket noise depolarizing(0.75) q[0]
#pragma braket noise depolarizing(0.75) q[1] cnot q[1], q[2];
#pragma braket noise depolarizing(0.75) q[0]
#pragma braket noise depolarizing(0.75) q[1]

c = measure q;
```

Spesifikasi untuk semua operator kebisingan pragma yang didukung disediakan dalam daftar berikut.

```
#pragma braket noise bit_flip(<float in [0,1/2]>) <qubit>
#pragma braket noise phase_flip(<float in [0,1/2]>) <qubit>
#pragma braket noise pauli_channel(<float>, <float>, <float>)  <qubit>
#pragma braket noise depolarizing(<float in [0,3/4]>) <qubit>
#pragma braket noise two_qubit_depolarizing(<float in [0,15/16]>) <qubit>, <qubit>
#pragma braket noise two_qubit_dephasing(<float in [0,3/4]>) <qubit>, <qubit>
#pragma braket noise amplitude_damping(<float in [0,1]>) <qubit>
#pragma braket noise generalized_amplitude_damping(<float in [0,1]> <float in [0,1]>)
 <qubit>
#pragma braket noise phase_damping(<float in [0,1]>) <qubit>
#pragma braket noise kraus([[<complex m0_00>, ], ...], [[<complex m1_00>, ], ...], ...)
 <qubit>[, <qubit>]     // maximum of 2 qubits and maximum of 4 matrices for 1 qubit,
 16 for 2
```

Operator Kraus

Untuk menghasilkan operator Kraus, Anda dapat mengulangi melalui daftar matriks, mencetak setiap elemen matriks sebagai ekspresi kompleks.

Saat menggunakan operator Kraus, ingat hal berikut:

- Jumlah tidak qubits boleh melebihi 2. Definisi saat ini dalam skema menetapkan batas ini.
- Panjang daftar argumen harus kelipatan 8. Ini berarti harus terdiri hanya dari matriks 2x2.
- Panjang total tidak melebihi 2 matriks $^{num\_qubits\ 2*}$. Ini berarti 4 matriks untuk 1 qubit dan 16 untuk 2. qubits
- Semua matriks yang disediakan benar-benar pelestarian jejak positif (CPTP).
- Produk operator Kraus dengan konjugat transpos mereka perlu ditambahkan ke matriks identitas.

Qubit rewiring dengan OpenQASM 3.0

Amazon Braket mendukung qubit notasi fisik dalam OpenQASM pada Rigetti perangkat (untuk mempelajari lebih lanjut lihat halaman ini). Saat menggunakan fisik qubits dengan strategi rewiring naif, pastikan qubits terhubung pada perangkat yang dipilih. Atau, jika qubit register digunakan sebagai gantinya, strategi rewiring PARAL diaktifkan secara default pada Rigetti perangkat.

```
// ghz.qasm
// Prepare a GHZ state
OPENQASM 3;

h $0;
cnot $0, $1;
cnot $1, $2;

measure $0;
measure $1;
measure $2;
```

Kompilasi verbatim dengan OpenQASM 3.0

Ketika Anda menjalankan sirkuit kuantum pada komputer kuantum yang disediakan oleh vendor sepertiRigetti, danIonQ, Anda dapat mengarahkan kompiler untuk menjalankan sirkuit Anda persis seperti yang ditentukan, tanpa modifikasi apa pun. Fitur ini dikenal sebagai kompilasi verbatim. Dengan perangkat Rigetti, Anda dapat menentukan dengan tepat apa yang akan dipertahankan - baik seluruh sirkuit atau hanya bagian tertentu saja. Untuk melestarikan hanya bagian tertentu dari sirkuit, Anda harus menggunakan gerbang asli di dalam wilayah yang diawetkan. Saat ini, IonQ hanya mendukung kompilasi kata demi kata untuk seluruh rangkaian, sehingga setiap instruksi di sirkuit perlu dilampirkan dalam kotak kata demi kata.

Dengan OpenQASM, Anda dapat secara eksplisit menentukan pragma kata demi kata di sekitar kotak kode yang kemudian dibiarkan tidak tersentuh dan tidak dioptimalkan oleh rutin kompilasi tingkat rendah perangkat keras. Contoh kode berikut menunjukkan cara menggunakan `#pragma braket verbatim` direktif untuk mencapai hal ini.

```
OPENQASM 3;

bit[2] c;

#pragma braket verbatim
```

```
box{
    rx(0.314159) $0;
    rz(0.628318) $0, $1;
    cz $0, $1;
}

c[0] = measure $0;
c[1] = measure $1;
```

Untuk informasi lebih rinci tentang proses kompilasi kata demi kata, termasuk contoh dan praktik terbaik, lihat contoh notebook kompilasi Verbatim yang tersedia di repositori github amazon-braket-examples.

Konsol Braket

Tugas OpenQASM 3.0 tersedia dan dapat dikelola dalam konsol Amazon Braket. Di konsol, Anda memiliki pengalaman yang sama mengirimkan tugas kuantum di OpenQASM 3.0 seperti yang Anda kirimkan tugas kuantum yang ada.

Sumber daya tambahan

OpenQASM tersedia di semua Wilayah Amazon Braket.

Untuk contoh notebook untuk memulai dengan OpenQASM di Amazon Braket, lihat Tutorial Braket. GitHub

Gradien komputasi dengan OpenQASM 3.0

Amazon Braket mendukung perhitungan gradien pada simulator on-demand dan lokal saat berjalan dalam mode (tepat). `shots=0` Ini dicapai melalui penggunaan metode diferensiasi adjoint. Untuk menentukan gradien yang ingin Anda hitung, Anda dapat memberikan pragma yang sesuai, seperti yang ditunjukkan dalam kode dalam contoh berikut.

```
OPENQASM 3.0;
input float alpha;

bit[2] b;
qubit[2] q;

h q[0];
h q[1];
rx(alpha) q[0];
```

```
rx(alpha) q[1];
b[0] = measure q[0];
b[1] = measure q[1];

#pragma braket result adjoint_gradient h(q[0]) @ i(q[1]) alpha
```

Alih-alih mencantumkan semua parameter individual secara eksplisit, Anda juga dapat menentukan `all` kata kunci dalam pragma. Ini akan menghitung gradien sehubungan dengan semua `input` parameter yang tercantum, yang dapat menjadi pilihan yang nyaman ketika jumlah parameter sangat besar. Dalam hal ini, pragma akan terlihat seperti kode dalam contoh berikut.

```
#pragma braket result adjoint_gradient h(q[0]) @ i(q[1]) all
```

Semua tipe yang dapat diamati didukung dalam implementasi OpenQASM 3.0 Amazon Braket, termasuk operator individual, produk tensor, observable Hermitian, dan observable. `Sum` Operator spesifik yang ingin Anda gunakan saat menghitung gradien harus dibungkus dalam `expectation()` fungsi, dan qubit yang ditindaklanjuti oleh setiap suku yang dapat diamati harus ditentukan secara eksplisit.

Mengukur qubit tertentu dengan OpenQASM 3.0

Simulator vektor keadaan lokal dan simulator matriks kepadatan lokal yang disediakan oleh Amazon Braket mendukung pengajuan OpenQASM program di mana subset qubit sirkuit dapat diukur secara selektif. Kemampuan ini, sering disebut sebagai pengukuran paral, memungkinkan perhitungan kuantum yang lebih bertarget dan efisien. Misalnya, dalam cuplikan kode berikut, Anda dapat membuat sirkuit dua-qubit dan memilih untuk hanya mengukur qubit pertama, sambil membiarkan qubit kedua tidak terukur.

```
partial_measure_qasm = """
OPENQASM 3.0;
bit[1] b;
qubit[2] q;
h q[0];
cnot q[0], q[1];
b[0] = measure q[0];
"""
```

Dalam contoh ini, kita memiliki sirkuit kuantum dengan dua qubit`q[1]`, `q[0]` dan, tetapi kita hanya tertarik untuk mengukur keadaan qubit pertama. Ini dicapai oleh garis`b[0] = measure q[0]`, yang mengukur keadaan qubit [0] dan menyimpan hasilnya dalam bit klasik b [0]. Untuk menjalankan

skenario pengukuran sebagian ini, kita dapat menjalankan kode berikut pada simulator vektor status lokal yang disediakan oleh Amazon Braket.

```
from braket.devices import LocalSimulator

local_sim = LocalSimulator()
partial_measure_local_sim_task =
 local_sim.run(OpenQASMProgram(source=partial_measure_qasm), shots = 10)
partial_measure_local_sim_result = partial_measure_local_sim_task.result()
print(partial_measure_local_sim_result.measurement_counts)
print("Measured qubits: ", partial_measure_local_sim_result.measured_qubits)
```

Anda dapat memeriksa apakah perangkat mendukung pengukuran sebagian dengan memeriksa `requiresAllQubitsMeasurement` bidang di properti tindakannya; jika ya`False`, maka pengukuran paral didukung.

```
from braket.devices import Devices

AwsDevice(Devices.Rigetti.Ankaa3).properties.action['braket.ir.openqasm.program'].requiresAllQu
```

Di sini, `requiresAllQubitsMeasurement` adalah`False`, yang menunjukkan bahwa tidak semua qubit harus diukur.

Jelajahi Kemampuan Eksperimental

Kemampuan eksperimental menyediakan akses ke perangkat keras dengan ketersediaan terbatas dan fitur perangkat lunak baru yang muncul. Fitur-fitur ini dapat memengaruhi kinerja perangkat di luar spesifikasi standar. Anda dapat secara otomatis mengaktifkan kemampuan perangkat lunak eksperimental berdasarkan per tugas melalui Amazon Braket SDK.

Untuk menggunakan kemampuan eksperimental, tentukan `experimental_capabilities` parameter saat Anda membuat tugas kuantum. Tetapkan parameter ini `"ALL"` untuk mengaktifkan semua fitur eksperimental yang tersedia untuk tugas itu. Contoh berikut menunjukkan cara mengaktifkan kemampuan eksperimental saat Anda menjalankan sirkuit pada perangkat:

```
from braket.aws import AwsDevice

device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/quera/Aquila")

task = device.run(
```

```
    circuit,
    shots=1000,
    experimental_capabilities="ALL"
)
```

> **Note**
>
> Fitur-fitur ini bersifat eksperimental dan dapat berubah tanpa pemberitahuan. Kinerja perangkat mungkin berbeda dari spesifikasi yang dipublikasikan, dan hasilnya mungkin berbeda dari operasi standar. Anda harus secara eksplisit mengaktifkan kemampuan eksperimental untuk setiap tugas. Tugas tanpa parameter ini hanya akan menggunakan kemampuan perangkat standar.

Di bagian ini:

Akses ke detuning lokal di Aquila QuEra

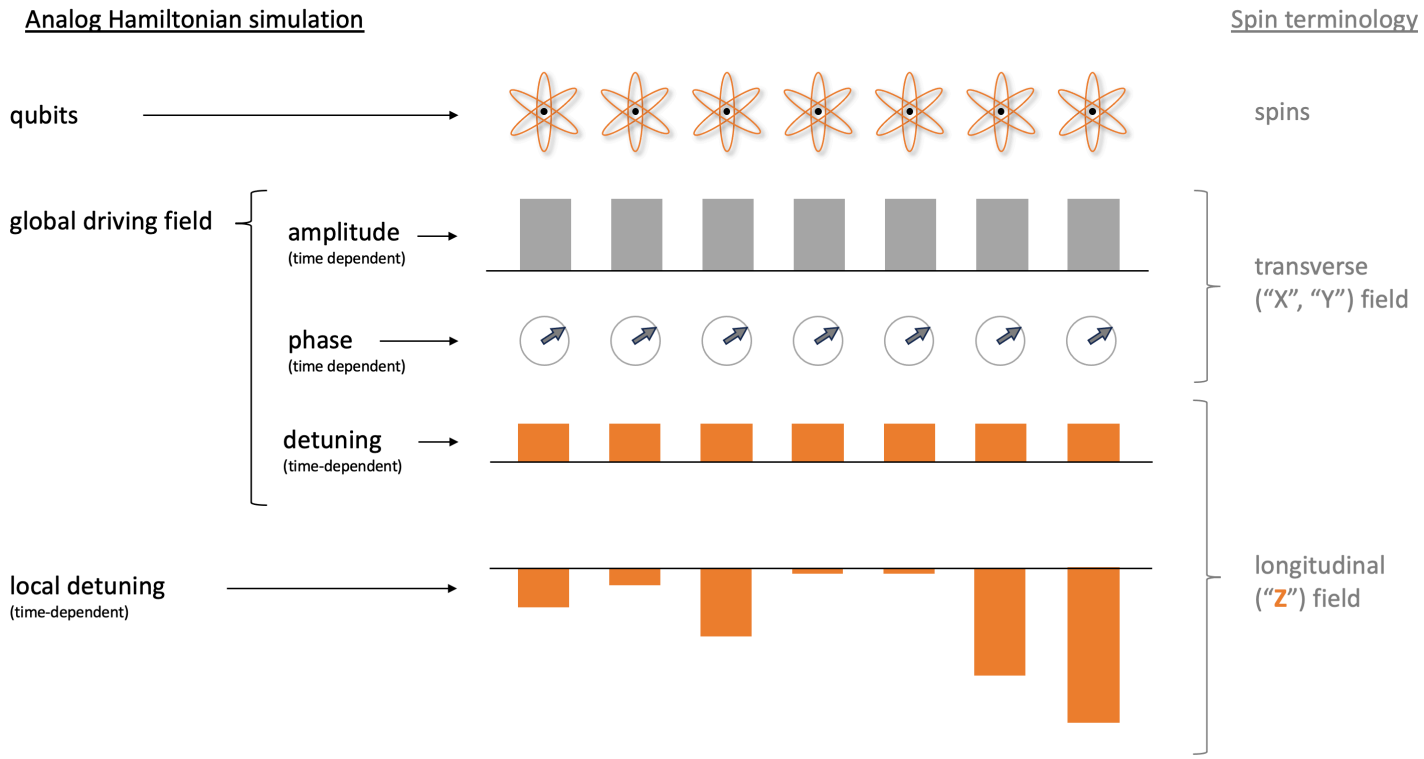
Detuning lokal (LD) adalah bidang kontrol baru yang bergantung pada waktu dengan pola spasial yang dapat disesuaikan. Bidang LD memengaruhi qubit sesuai dengan pola spasial yang dapat disesuaikan, mewujudkan Hamiltonian yang berbeda untuk qubit yang berbeda di luar apa yang dapat dibuat oleh medan mengemudi yang seragam dan interaksi. Rydberg-Rydberg

Kendala:

Pola spasial bidang detuning lokal dapat disesuaikan untuk setiap program AHS, tetapi konstan selama program. Deret waktu bidang detuning lokal harus dimulai dan diakhiri pada nol dengan semua nilai kurang dari atau sama dengan nol. Selain itu, parameter bidang detuning lokal dibatasi oleh batasan numerik, yang dapat dilihat melalui Braket SDK di bagian properti perangkat tertentu -. `aquila_device.properties.paradigm.rydberg.rydbergLocal`

Keterbatasan:

Saat menjalankan program kuantum yang menggunakan bidang detuning lokal (bahkan jika besarnya diatur ke nol konstan di Hamiltonian), perangkat mengalami dekoherensi yang lebih cepat daripada waktu T2 yang tercantum di bagian kinerja properti Aquila. Jika tidak perlu, praktik terbaik adalah menghilangkan bidang detuning lokal dari program Hamiltonian AHS.



Contoh:

1. Mensimulasikan efek medan magnet longitudinal yang tidak seragam dalam sistem putaran

   Sementara amplitudo dan fase medan penggerak memiliki efek yang sama pada qubit seperti medan magnet transversal pada putaran, jumlah detuning medan penggerak dan detuning lokal menghasilkan efek yang sama pada qubit seperti medan longitudinal pada putaran. Dengan kontrol spasial atas bidang detuning lokal, sistem putaran yang lebih kompleks dapat disimulasikan.

2. Mempersiapkan keadaan awal non-ekuilibrium

   Contoh notebook Simulasi teori pengukur kisi dengan atom Rydberg menunjukkan bagaimana menekan atom pusat dari susunan linier 9 atom agar tidak tereksitasi saat menganil sistem menuju fase terurut Z2. Setelah langkah persiapan, bidang detuning lokal diturunkan, dan program AHS terus mensimulasikan evolusi waktu sistem mulai dari keadaan non-ekuilibrium khusus ini.

3. Memecahkan masalah optimasi tertimbang

   Contoh notebook Maximum weight independent set (MWIS) menunjukkan cara memecahkan masalah MWIS di Aquila. Bidang detuning lokal digunakan untuk menentukan bobot pada simpul grafik unit disk, yang ujung-ujungnya direalisasikan oleh efeknya. Rybderg-blockage Mulai dari keadaan dasar yang seragam, dan secara bertahap meningkatkan bidang detuning lokal membuat transisi sistem ke keadaan dasar MWIS Hamiltonian untuk menemukan solusi untuk masalah tersebut.

Akses ke geometri tinggi di Aquila QuEra

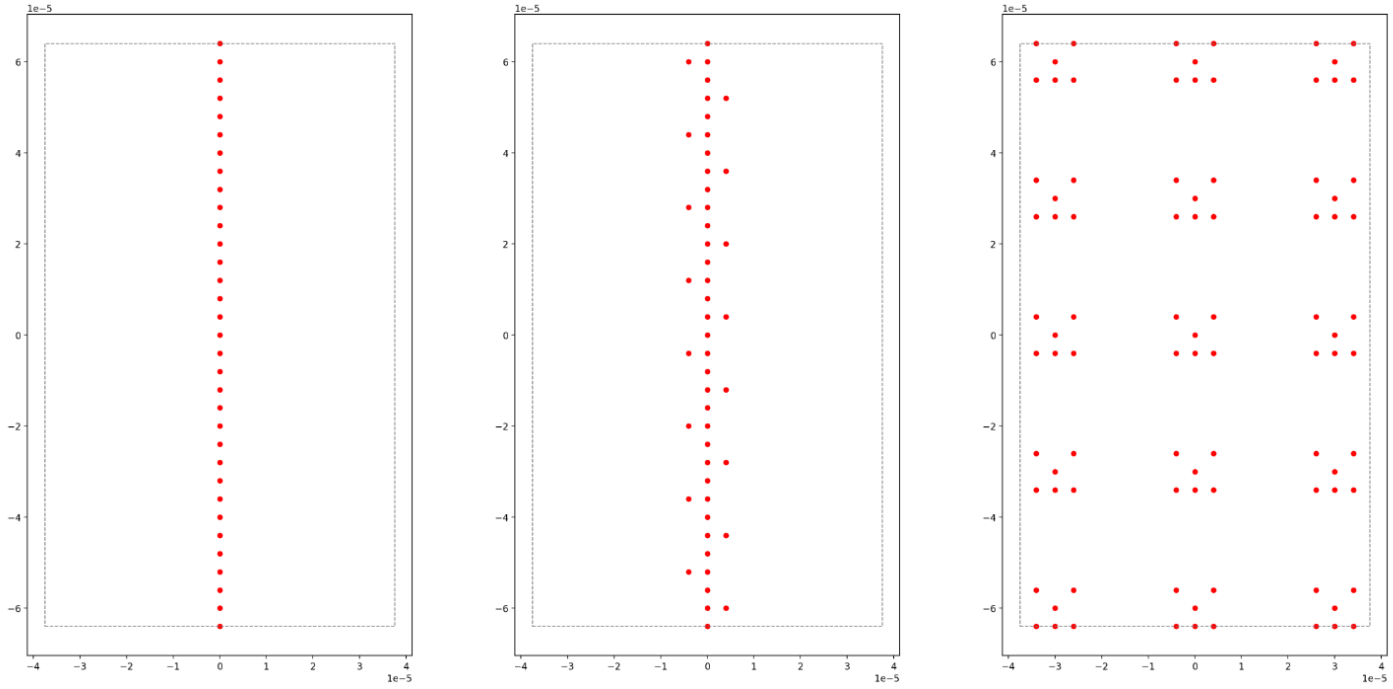
Fitur geometri tinggi memungkinkan Anda menentukan geometri dengan ketinggian yang meningkat. Dengan kemampuan ini, pengaturan atom program AHS Anda dapat menjangkau panjang tambahan ke arah y di luar kemampuan reguler Aquila.

Kendala:

Tinggi maksimal untuk geometri tinggi adalah 0,000128 m (128 um).

Keterbatasan:

Kemampuan yang ditampilkan pada halaman properti perangkat dan `GetDevice` panggilan akan terus mencerminkan batas bawah reguler pada ketinggian. Ketika program AHS menggunakan pengaturan atom yang melampaui kemampuan reguler, kesalahan pengisian diperkirakan akan meningkat. Anda akan menemukan peningkatan jumlah 0 yang tidak terduga di `pre_sequence` bagian hasil tugas, pada gilirannya, menurunkan kesempatan untuk mendapatkan pengaturan yang diinisialisasi dengan sempurna. Efek ini paling kuat dalam baris dengan banyak atom.



Contoh:

1. Pengaturan 1d dan kuasi-1d yang lebih besar

   Rantai atom dan susunan seperti tangga dapat diperluas ke nomor atom yang lebih tinggi. Dengan mengorientasikan long direction parallel ke y memungkinkan pemrograman instance yang lebih lama dari model-model ini.

2. Lebih banyak ruang untuk multiplexing pelaksanaan tugas dengan geometri kecil

   Contoh notebook Tugas kuantum paralel di Aquila menunjukkan cara memaksimalkan area yang tersedia: dengan menempatkan salinan geometri multipleks yang dimaksud dalam satu susunan atom. Dengan area yang lebih tersedia, lebih banyak salinan dapat ditempatkan.

Akses ke geometri ketat di Aquila QuEra

Fitur geometri ketat memungkinkan Anda menentukan geometri dengan jarak yang lebih pendek di antara baris tetangga. Dalam program AHS, atom disusun dalam baris, dipisahkan oleh jarak vertikal minimal. Koordinat y dari dua situs atom harus nol (baris yang sama), atau berbeda lebih dari jarak baris minimal (baris berbeda). Dengan kemampuan geometri yang ketat, jarak baris minimal berkurang, memungkinkan terciptanya susunan atom yang lebih ketat. Sementara ekstensi ini tidak mengubah persyaratan jarak Euclidean minimal antara atom, ini memungkinkan penciptaan kisi di

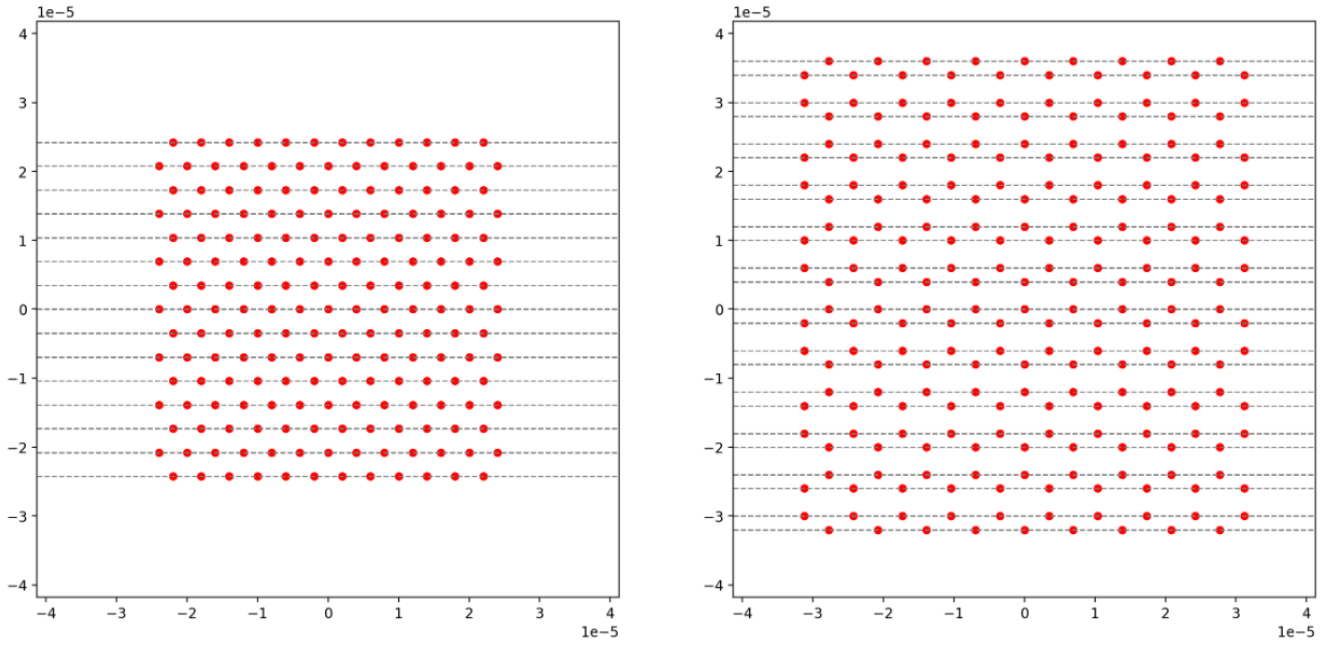
mana atom jauh menempati baris tetangga yang lebih dekat satu sama lain, contoh penting adalah kisi segitiga.

Kendala:

Jarak baris minimal untuk geometri ketat adalah 0,000002 m (2 um).

Keterbatasan:

Kemampuan yang ditampilkan pada halaman properti perangkat dan `GetDevice` panggilan akan terus mencerminkan batas reguler yang lebih tinggi pada spasi. Ketika program AHS menggunakan pengaturan atom yang melampaui kemampuan reguler, kesalahan pengisian diperkirakan akan meningkat. Pelanggan akan menemukan peningkatan jumlah 0 yang tidak terduga di `pre_sequence` bagian hasil tugas, pada gilirannya, menurunkan kesempatan untuk mendapatkan pengaturan yang diinisialisasi dengan sempurna. Efek ini paling kuat dalam baris dengan banyak atom.



Contoh:

1. Non-rectangular kisi dengan konstanta kisi kecil

   Jarak baris yang lebih ketat memungkinkan terciptanya kisi di mana tetangga terdekat dengan beberapa atom berada dalam arah diagonal. Contoh penting adalah kisi segitiga, heksagonal, dan Kagome dan beberapa kristal semu.

2. Keluarga kisi yang dapat disetel

   Dalam program AHS, interaksi disetel dengan menyesuaikan jarak antara pasangan atom. Jarak baris yang lebih ketat memungkinkan penyetelan interaksi pasangan atom yang berbeda relatif satu sama lain dengan lebih banyak kebebasan, karena sudut dan jarak yang menentukan struktur atom kurang dibatasi oleh batasan jarak baris minimal. Contoh penting adalah keluarga Shastry-Sutherland kisi dengan panjang ikatan yang berbeda.

Sirkuit dinamis pada perangkat IQM

Sirkuit dinamis pada IQM perangkat memungkinkan pengukuran sirkuit tengah (MCM) dan operasi feed-forward. Fitur-fitur ini memungkinkan peneliti dan pengembang kuantum untuk menerapkan algoritma kuantum canggih dengan logika bersyarat dan kemampuan penggunaan kembali qubit. Fitur eksperimental ini membantu mengeksplorasi algoritma kuantum dengan peningkatan efisiensi sumber daya dan mempelajari mitigasi kesalahan kuantum dan skema koreksi kesalahan.

Instruksi kunci:

- `measure_ff`: Menerapkan pengukuran untuk kontrol feed-forward, mengukur qubit dan menyimpan hasilnya dengan kunci umpan balik.
- `cc_prx`: Menerapkan rotasi yang dikontrol secara klasik yang hanya berlaku ketika hasil yang terkait dengan kunci umpan balik yang diberikan mengukur status |1#.

Amazon Braket mendukung sirkuit dinamis melaluiOpenQASM,Amazon Braket SDK, dan. Amazon Braket Qiskit Provider

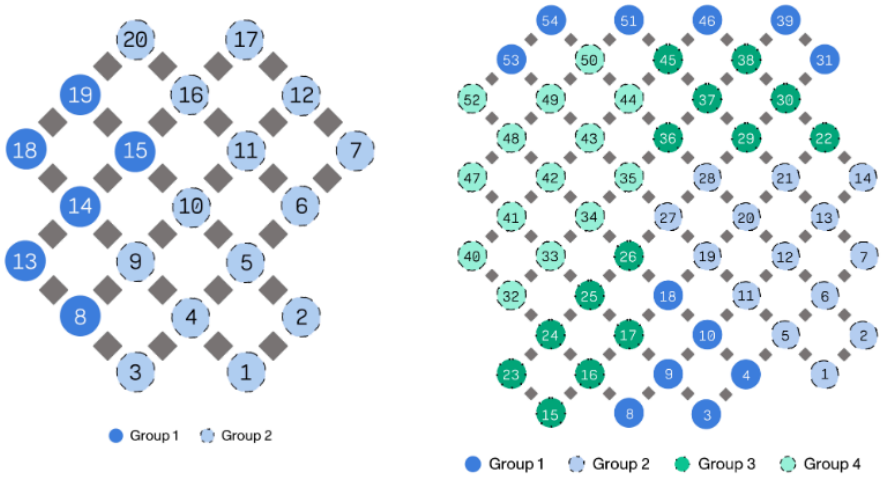
Kendala:

1. Kunci umpan balik dalam `measure_ff` instruksi harus unik.
2. A `cc_prx` harus terjadi setelah `measure_ff` dengan kunci umpan balik yang sama.
3. Dalam satu rangkaian, feed-forward pada qubit hanya dapat dikontrol oleh satu qubit, baik dengan sendirinya atau oleh qubit lain. Di sirkuit yang berbeda, Anda dapat memiliki pasangan kontrol yang berbeda.
   a. Misalnya, jika qubit 1 dikendalikan oleh qubit 2, qubit tidak dapat dikontrol oleh qubit 3 di sirkuit yang sama. Tidak ada batasan pada berapa kali kontrol diterapkan antara qubit 1 dan qubit 2. Qubit 2 dapat dikontrol oleh qubit 3 (atau qubit 1), kecuali jika reset aktif dilakukan pada qubit 2.

4. Kontrol hanya dapat diterapkan ke qubit dalam grup yang sama. Grup qubit untuk IQM Garnet dan Emerald perangkat ada dalam gambar berikut.
5. Program dengan kemampuan ini harus diserahkan sebagai program kata demi kata. Untuk mempelajari lebih lanjut tentang program kata demi kata, lihat Kompilasi kata demi kata dengan OpenQASM 3.0.

Keterbatasan:

MCM hanya dapat digunakan untuk kontrol feed-forward dalam suatu program. Hasil MCM (0 atau 1) tidak dikembalikan sebagai bagian dari hasil tugas.



Gambar-gambar ini menampilkan pengelompokan qubit untuk kedua IQM perangkat. Perangkat Garnet 20-qubit berisi 2 grup qubit, sedangkan perangkat Emerald 54-qubit berisi 4 grup qubit.

Contoh:

1. Qubit digunakan kembali melalui reset aktif

   MCM dengan operasi reset bersyarat memungkinkan penggunaan kembali qubit dalam satu eksekusi sirkuit. Ini mengurangi persyaratan kedalaman sirkuit dan meningkatkan pemanfaatan sumber daya perangkat kuantum.
2. Perlindungan flip bit aktif

   Sirkuit dinamis mendeteksi kesalahan bit flip dan menerapkan operasi korektif berdasarkan hasil pengukuran. Implementasi ini berfungsi sebagai eksperimen deteksi kesalahan kuantum.
3. Eksperimen teleportasi

Teleportasi negara mentransfer status qubit menggunakan operasi kuantum lokal dan informasi klasik dari MCM. Teleportasi gerbang mengimplementasikan gerbang antara qubit tanpa operasi kuantum langsung. Eksperimen ini menunjukkan subrutin dasar dalam tiga bidang utama: koreksi kesalahan kuantum, komputasi kuantum berbasis pengukuran, dan komunikasi kuantum.

4. Simulasi sistem kuantum terbuka

   Sirkuit dinamis memodelkan kebisingan dalam sistem kuantum melalui qubit data dan keterikatan lingkungan, dan pengukuran lingkungan. Pendekatan ini menggunakan qubit spesifik untuk mewakili elemen data dan lingkungan. Saluran Kebisingan dapat dirancang oleh gerbang dan pengukuran yang diterapkan pada lingkungan.

Untuk informasi selengkapnya tentang penggunaan sirkuit dinamis, lihat contoh tambahan di repositori notebook Amazon Braket.

Kontrol pulsa pada Amazon Braket

Pulsa adalah sinyal analog yang mengontrol qubit di komputer kuantum. Dengan perangkat tertentu di Amazon Braket, Anda dapat mengakses fitur kontrol pulsa untuk mengirimkan sirkuit menggunakan pulsa. Anda dapat mengakses kontrol pulsa melalui Braket SDK, menggunakan OpenQASM 3.0, atau langsung melalui Braket API. Pertama, perkenalkan beberapa konsep kunci untuk kontrol pulsa di Braket.

Di bagian ini:

- Bingkai
- Port
- Bentuk gelombang
- Bekerja dengan Hello Pulse
- Mengakses gerbang asli menggunakan pulsa

Bingkai

Bingkai adalah abstraksi perangkat lunak yang bertindak sebagai jam dalam program kuantum dan fase. Waktu jam bertambah pada setiap penggunaan dan sinyal pembawa stateful yang ditentukan oleh frekuensi. Saat mentransmisikan sinyal ke qubit, bingkai menentukan frekuensi pembawa qubit, offset fase, dan waktu di mana amplop bentuk gelombang dipancarkan. Dalam Braket Pulse,

membangun frame tergantung pada perangkat, frekuensi, dan fase. Bergantung pada perangkat, Anda dapat memilih bingkai yang telah ditentukan atau membuat instance frame baru dengan menyediakan port.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.pulse import Frame, Port

# Predefined frame from a device
device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")
drive_frame = device.frames["Transmon_5_charge_tx"]

# Create a custom frame
readout_frame = Frame(frame_id="r0_measure", port=Port("channel_0", dt=1e-9),
 frequency=5e9, phase=0)
```

Port

Port adalah abstraksi perangkat lunak yang mewakili komponen perangkat input/output keras apa pun yang mengendalikan qubit. Ini membantu vendor perangkat keras menyediakan antarmuka yang dengannya pengguna dapat berinteraksi untuk memanipulasi dan mengamati qubit. Port dicirikan oleh string tunggal yang mewakili nama konektor. String ini juga memperlihatkan kenaikan waktu minimum yang menentukan seberapa halus kita dapat mendefinisikan bentuk gelombang.

```
from braket.pulse import Port

Port0 = Port("channel_0", dt=1e-9)
```

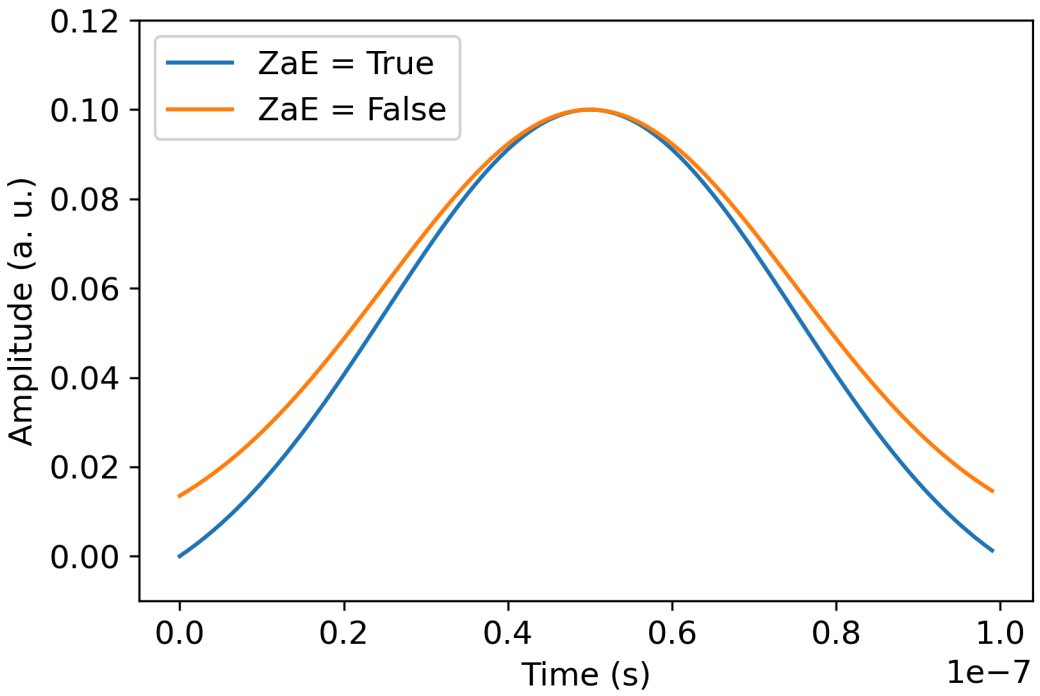
Bentuk gelombang

Bentuk gelombang adalah amplop yang bergantung pada waktu yang dapat kita gunakan untuk memancarkan sinyal pada port output atau menangkap sinyal melalui port input. Anda dapat menentukan bentuk gelombang Anda secara langsung baik melalui daftar bilangan kompleks atau dengan menggunakan templat bentuk gelombang untuk menghasilkan daftar dari penyedia perangkat keras.

```
from braket.pulse import ArbitraryWaveform, ConstantWaveform
import numpy as np

cst_wfm = ConstantWaveform(length=1e-7, iq=0.1)
arb_wf = ArbitraryWaveform(amplitudes=np.linspace(0, 100))
```

Braket Pulse menyediakan perpustakaan standar bentuk gelombang, termasuk bentuk gelombang konstan, bentuk gelombang Gaussian, dan bentuk gelombang Penghapusan Derivatif oleh Gerbang Adiabatik (DRAG). Anda dapat mengambil data bentuk gelombang melalui `sample` fungsi untuk menggambar bentuk bentuk gelombang seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

```
from braket.pulse import GaussianWaveform
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

zero_at_edge1 = GaussianWaveform(1e-7, 25e-9, 0.1, True)
# or zero_at_edge1 = GaussianWaveform(1e-7, 25e-9, 0.1)
zero_at_edge2 = GaussianWaveform(1e-7, 25e-9, 0.1, False)

times_1 = np.arange(0, zero_at_edge1.length, drive_frame.port.dt)
times_2 = np.arange(0, zero_at_edge2.length, drive_frame.port.dt)

plt.plot(times_1, zero_at_edge1.sample(drive_frame.port.dt))
plt.plot(times_2, zero_at_edge2.sample(drive_frame.port.dt))
```



Gambar sebelumnya menggambarkan bentuk gelombang Gaussian yang dibuat dari. `GaussianWaveform` Kami memilih panjang pulsa 100 ns, lebar 25 ns, dan amplitudo 0,1 (unit arbitrer). Bentuk gelombang berpusat di jendela pulsa. `GaussianWaveform`menerima argumen

boolean `zero_at_edges` (ZaE dalam legenda). Ketika diatur ke`True`, argumen ini mengimbangi bentuk gelombang Gaussian sedemikian rupa sehingga titik pada t=0 dan t= `length` berada pada nol dan mengubah skala amplitudonya sedemikian rupa sehingga nilai maksimum sesuai dengan argumen. `amplitude`

Bekerja dengan Hello Pulse

Pada bagian ini, Anda akan belajar cara mengkarakterisasi dan membangun gerbang qubit tunggal secara langsung menggunakan pulsa pada perangkat. Rigetti Menerapkan medan elektromagnetik ke qubit mengarah ke osilasi Rabi, mengalihkan qubit antara keadaan 0 dan 1. Dengan panjang dan fase pulsa yang dikalibrasi, osilasi Rabi dapat menghitung gerbang qubit tunggal. Di sini, kita akan menentukan panjang pulsa optimal untuk mengukur pi/2 pulsa, blok dasar yang digunakan untuk membangun urutan pulsa yang lebih kompleks.

Pertama, untuk membangun urutan pulsa, impor `PulseSequence` kelas.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import FreeParameter
from braket.devices import Devices
from braket.pulse import PulseSequence, GaussianWaveform

import numpy as np
```

Selanjutnya, buat instance perangkat Braket baru menggunakan (Amazon Resource NameARN) QPU. Blok kode berikut menggunakanRigetti Ankaa-3.

```
device = AwsDevice(Devices.Rigetti.Ankaa3)
```

Urutan pulsa berikut mencakup dua komponen: Memainkan bentuk gelombang dan mengukur qubit. Urutan pulsa biasanya dapat diterapkan pada bingkai. Dengan beberapa pengecualian seperti penghalang dan penundaan, yang dapat diterapkan pada qubit. Sebelum membangun urutan pulsa Anda harus mengambil frame yang tersedia. Bingkai drive digunakan untuk menerapkan pulsa untuk osilasi Rabi, dan bingkai pembacaan untuk mengukur status qubit. Contoh ini, menggunakan frame qubit 25.

```
drive_frame = device.frames["Transmon_25_charge_tx"]
readout_frame = device.frames["Transmon_25_readout_rx"]
```

Sekarang, buat bentuk gelombang yang akan diputar di bingkai drive. Tujuannya adalah untuk mengkarakterisasi perilaku qubit untuk panjang pulsa yang berbeda. Anda akan memainkan bentuk gelombang dengan panjang yang berbeda setiap kali. Alih-alih membuat instance bentuk gelombang baru setiap kali, gunakan urutan pulsa dalam. Braket-supported `FreeParameter` Anda dapat membuat bentuk gelombang dan urutan pulsa sekali dengan parameter bebas, dan kemudian menjalankan urutan pulsa yang sama dengan nilai input yang berbeda.

```
waveform = GaussianWaveform(FreeParameter("length"), FreeParameter("length") * 0.25,
 0.2, False)
```

Akhirnya, satukan mereka sebagai urutan pulsa. Dalam urutan pulsa, `play` putar bentuk gelombang yang ditentukan pada bingkai drive, dan `capture_v0` mengukur status dari bingkai pembacaan.

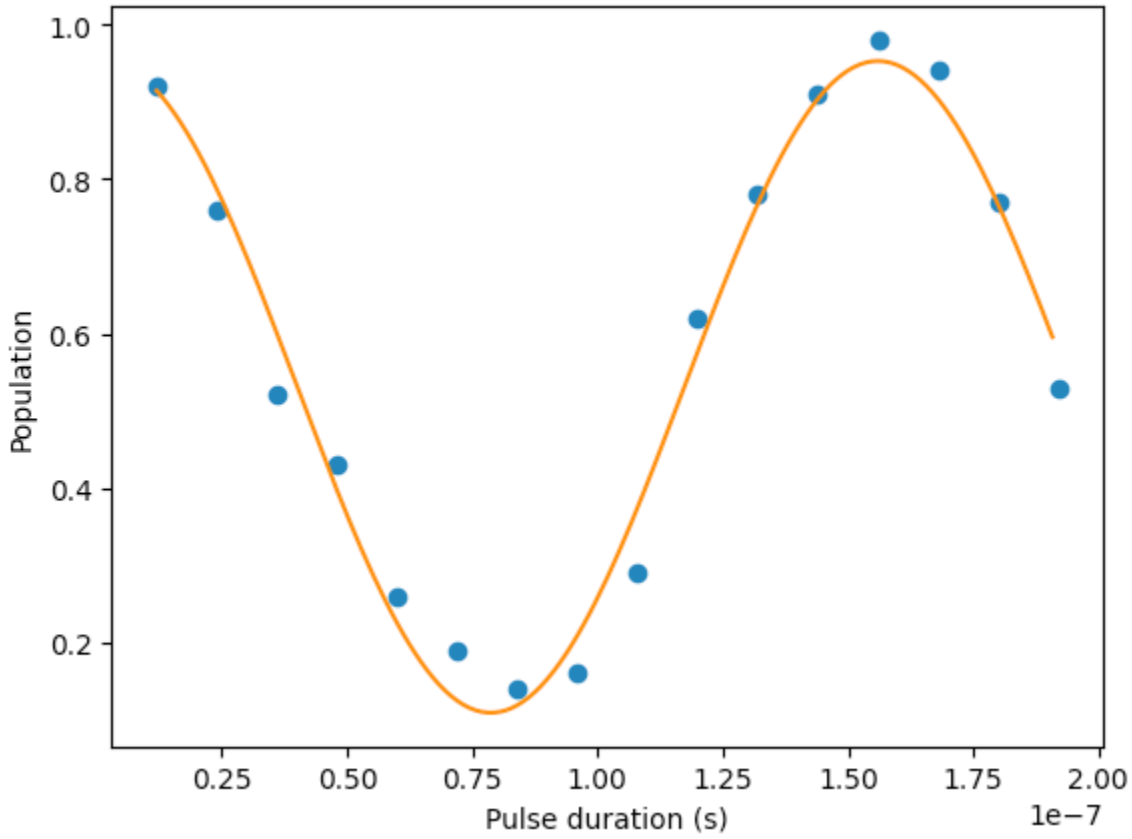
```
pulse_sequence = (
    PulseSequence()
    .play(drive_frame, waveform)
    .capture_v0(readout_frame)
)
```

Pindai berbagai panjang pulsa dan kirimkan ke QPU. Sebelum menjalankan urutan pulsa pada QPU, ikat nilai parameter bebas.

```
start_length = 12e-9
end_length = 2e-7
lengths = np.arange(start_length, end_length, 12e-9)
N_shots = 100

tasks = [
    device.run(pulse_sequence(length=length), shots=N_shots)
    for length in lengths
]

probability_of_zero = [
    task.result().measurement_counts['0']/N_shots
    for task in tasks
]
```

Statistik pengukuran qubit menunjukkan dinamika osilasi qubit yang berosilasi antara keadaan 0 dan keadaan 1. Dari data pengukuran, Anda dapat mengekstrak frekuensi Rabi dan menyempurnakan panjang pulsa untuk mengimplementasikan gerbang 1-qubit tertentu. Misalnya, dari data pada

gambar di bawah ini, periodisitasnya sekitar 154 ns. Jadi gerbang pi/2 rotasi akan sesuai dengan urutan pulsa dengan panjang = 38,5ns.



Halo Pulse menggunakan OpenPulse

OpenPulseadalah bahasa untuk menentukan kontrol tingkat pulsa dari perangkat kuantum umum dan merupakan bagian dari spesifikasi OpenQASM 3.0. Amazon Braket mendukung OpenPulse pulsa pemrograman langsung menggunakan representasi OpenQASM 3.0.

Braket digunakan OpenPulse sebagai representasi perantara yang mendasari untuk mengekspresikan pulsa dalam instruksi asli. OpenPulsemendukung penambahan kalibrasi instruksi dalam bentuk deklarasi `defcal` (singkatan dari “define calibration”). Dengan deklarasi ini, Anda dapat menentukan implementasi instruksi gerbang dalam tata bahasa kontrol tingkat rendah.

Anda dapat melihat OpenPulse program Braket `PulseSequence` menggunakan perintah berikut.

```
print(pulse_sequence.to_ir())
```

Anda juga dapat membuat OpenPulse program secara langsung.

```
from braket.ir.openqasm import Program

openpulse_script = """
OPENQASM 3.0;
cal {
    bit[1] psb;
    waveform my_waveform = gaussian(12.0ns, 3.0ns, 0.2, false);
    play(Transmon_25_charge_tx, my_waveform);
    psb[0] = capture_v0(Transmon_25_readout_rx);
}
"""
```

Buat `Program` objek dengan skrip Anda. Kemudian, kirimkan program ke QPU.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.devices import Devices
from braket.ir.openqasm import Program

program = Program(source=openpulse_script)

device = AwsDevice(Devices.Rigetti.Ankaa3)
task = device.run(program, shots=100)
```

Mengakses gerbang asli menggunakan pulsa

Para peneliti sering perlu tahu persis bagaimana gerbang asli yang didukung oleh QPU tertentu diimplementasikan sebagai pulsa. Urutan pulsa dikalibrasi dengan hati-hati oleh penyedia perangkat keras, tetapi mengaksesnya memberi peneliti kesempatan untuk merancang gerbang yang lebih baik atau mengeksplorasi protokol untuk mitigasi kesalahan seperti ekstrapolasi nol kebisingan dengan meregangkan pulsa gerbang tertentu.

Amazon Braket mendukung akses terprogram ke gerbang asli dari Rigetti.

```
import math
from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import Circuit, GateCalibrations, QubitSet
from braket.circuits.gates import Rx

device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")

calibrations = device.gate_calibrations
```

```
print(f"Downloaded {len(calibrations)} calibrations.")
```

> **Note**
>
> Penyedia perangkat keras secara berkala mengkalibrasi QPU, seringkali lebih dari sekali sehari. Braket SDK memungkinkan Anda mendapatkan kalibrasi gerbang terbaru.

```
device.refresh_gate_calibrations()
```

Untuk mengambil gerbang asli yang diberikan, seperti gerbang RX atau XY, Anda harus melewati `Gate` objek dan qubit yang diinginkan. Misalnya, Anda dapat memeriksa implementasi pulsa RX (π/2) yang diterapkan pada 0. qubit

```
rx_pi_2_q0 = (Rx(math.pi/2), QubitSet(0))

pulse_sequence_rx_pi_2_q0 = calibrations.pulse_sequences[rx_pi_2_q0]
```

Anda dapat membuat serangkaian kalibrasi yang difilter menggunakan `filter` fungsi tersebut. Anda melewati daftar gerbang atau daftar`QubitSet`. Kode berikut membuat dua set yang berisi semua kalibrasi untuk RX (π/2) dan untuk 0. qubit

```
rx_calibrations = calibrations.filter(gates=[Rx(math.pi/2)])
q0_calibrations = calibrations.filter(qubits=QubitSet([0]))
```

Sekarang Anda dapat memberikan atau memodifikasi aksi gerbang asli dengan melampirkan set kalibrasi khusus. Misalnya, perhatikan rangkaian berikut.

```
bell_circuit = (
    Circuit()
    .rx(0, math.pi/2)
    .rx(1, math.pi/2)
    .iswap(0, 1)
    .rx(1, -math.pi/2)
)
```

Anda dapat menjalankannya dengan kalibrasi gerbang khusus untuk `rx` gerbang `qubit 0` dengan meneruskan kamus `PulseSequence` objek ke argumen `gate_definitions` kata kunci. Anda

dapat membuat kamus `pulse_sequences` dari atribut `GateCalibrations` objek. Semua gerbang yang tidak ditentukan diganti dengan kalibrasi pulsa penyedia perangkat keras kuantum.

```
nb_shots = 50
custom_calibration = GateCalibrations({rx_pi_2_q0: pulse_sequence_rx_pi_2_q0})
task = device.run(bell_circuit, gate_definitions=custom_calibration.pulse_sequences,
 shots=nb_shots)
```

Simulasi Hamiltonian Analog

Analog Hamiltonian Simulation (AHS) adalah paradigma yang muncul dalam komputasi kuantum yang berbeda secara signifikan dari model sirkuit kuantum tradisional. Alih-alih urutan gerbang, di mana setiap sirkuit hanya bekerja pada beberapa qubit sekaligus. Program AHS didefinisikan oleh parameter yang bergantung pada waktu dan bergantung pada ruang dari Hamiltonian yang bersangkutan. Hamiltonian dari suatu sistem mengkodekan tingkat energinya dan efek kekuatan eksternal, yang bersama-sama mengatur evolusi waktu dari keadaannya. Untuk suatu N-qubit sistem, Hamiltonian dapat diwakili oleh matriks kuadrat 2^N X 2^N dari bilangan kompleks.

Perangkat kuantum yang mampu melakukan AHS dirancang untuk mendekati evolusi waktu sistem kuantum di bawah Hamiltonian khusus dengan menyetel parameter kontrol internalnya secara hati-hati. Seperti, menyesuaikan parameter amplitudo dan detuning dari bidang mengemudi yang koheren. Paradigma AHS sangat cocok untuk mensimulasikan sifat statis dan dinamis sistem kuantum dengan banyak partikel yang berinteraksi, seperti dalam fisika materi terkondensasi atau kimia kuantum. Purpose-built Quantum Processing Unit (QPU), seperti perangkat Aquila dariQuEra, telah dikembangkan untuk menggunakan kekuatan AHS dan mengatasi masalah di luar jangkauan pendekatan komputasi kuantum digital konvensional dengan cara yang inovatif.

Di bagian ini:

- Halo AHS: Jalankan Simulasi Hamiltonian Analog pertama Anda
- Kirim program analog menggunakan QuEra Aquila

Halo AHS: Jalankan Simulasi Hamiltonian Analog pertama Anda

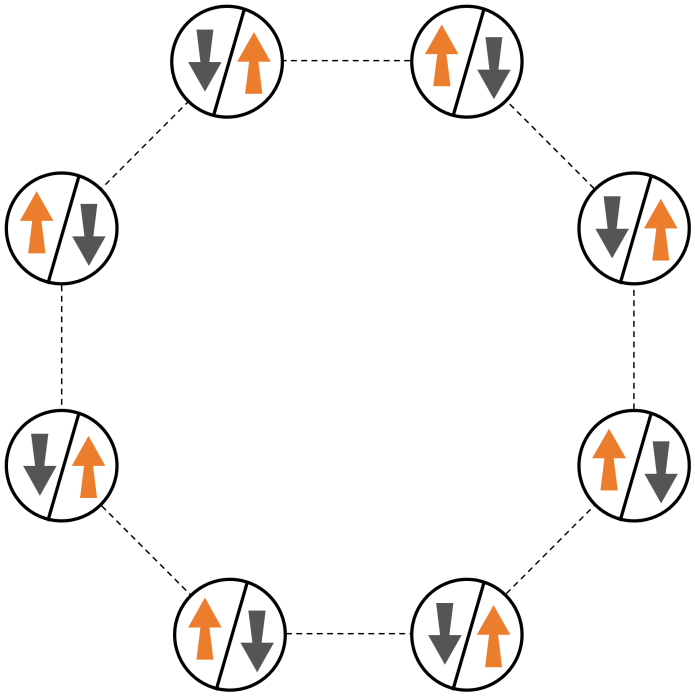
Bagian ini memberikan informasi tentang menjalankan Simulasi Hamiltonian Analog pertama Anda.

Di bagian ini:

- Rantai spin yang berinteraksi

Rantai spin yang berinteraksi

Untuk contoh kanonik dari sistem banyak partikel yang berinteraksi, mari kita pertimbangkan cincin delapan putaran (yang masing-masing dapat berada dalam keadaan “atas”). Meskipun kecil, sistem model ini sudah menunjukkan beberapa fenomena menarik dari bahan magnetik yang terjadi secara alami. Dalam contoh ini, kami akan menunjukkan bagaimana menyiapkan apa yang disebut urutan anti-feromagnetik, di mana putaran berturut-turut mengarah ke arah yang berlawanan.



Pengaturan

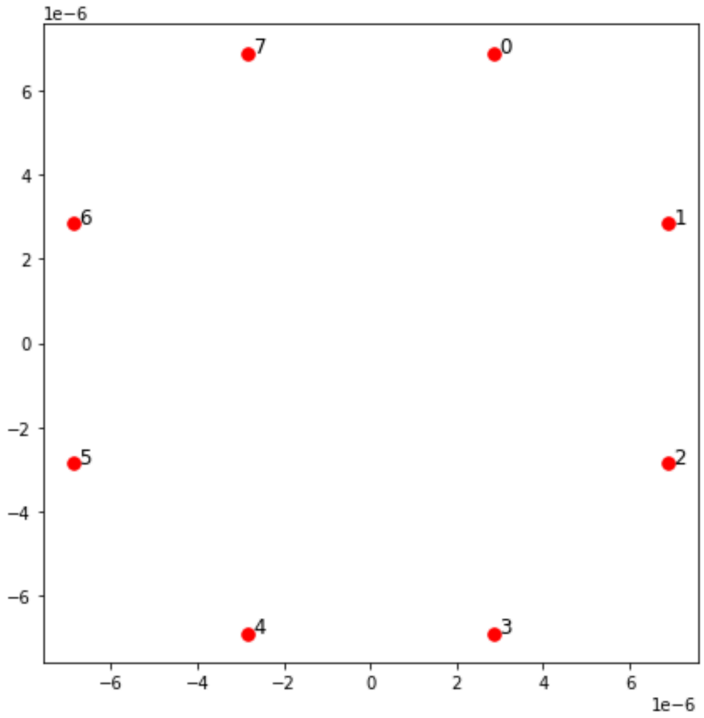
Kita akan menggunakan satu atom netral untuk mewakili setiap putaran, dan status putaran “atas” dan “bawah” akan dikodekan dalam keadaan Rydberg yang tereksitasi dan keadaan dasar atom, masing-masing. Pertama, kami membuat pengaturan 2-d. Kita dapat memprogram cincin putaran di atas dengan kode berikut.

Prasyarat: Anda perlu menginstal Braket SDK. (Jika Anda menggunakan instance notebook yang dihosting Braket, SDK ini sudah diinstal sebelumnya dengan notebook.) Untuk mereproduksi plot, Anda juga perlu menginstal matplotlib secara terpisah dengan perintah shell. `pip install matplotlib`

```
from braket.ahs.atom_arrangement import AtomArrangement
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt  # Required for plotting

a = 5.7e-6  # Nearest-neighbor separation (in meters)

register = AtomArrangement()
register.add(np.array([0.5, 0.5 + 1/np.sqrt(2)]) * a)
register.add(np.array([0.5 + 1/np.sqrt(2), 0.5]) * a)
register.add(np.array([0.5 + 1/np.sqrt(2), - 0.5]) * a)
register.add(np.array([0.5, - 0.5 - 1/np.sqrt(2)]) * a)
register.add(np.array([-0.5, - 0.5 - 1/np.sqrt(2)]) * a)
register.add(np.array([-0.5 - 1/np.sqrt(2), - 0.5]) * a)
register.add(np.array([-0.5 - 1/np.sqrt(2), 0.5]) * a)
register.add(np.array([-0.5, 0.5 + 1/np.sqrt(2)]) * a)
```

yang juga bisa kita rencanakan dengan

```
fig, ax = plt.subplots(1, 1, figsize=(7, 7))
xs, ys = [register.coordinate_list(dim) for dim in (0, 1)]
ax.plot(xs, ys, 'r.', ms=15)

for idx, (x, y) in enumerate(zip(xs, ys)):
    ax.text(x, y, f" {idx}", fontsize=12)

plt.show()  # This will show the plot below in an ipython or jupyter session
```



Interaksi

Untuk mempersiapkan fase anti-feromagnetik, kita perlu menginduksi interaksi antara putaran tetangga. Kami menggunakan interaksi van der Waals untuk ini, yang secara native diimplementasikan oleh perangkat atom netral (seperti Aquila perangkat dariQuEra). Menggunakan spin-representasi, istilah Hamiltonian untuk interaksi ini dapat dinyatakan sebagai jumlah atas semua pasangan spin (j, k).

$$H_{\text{interaction}} = \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^{N} V_{j,k} n_j n_k$$

Di sini, nj=↑ $_j$ #↑ adalah $_j$ operator yang mengambil nilai 1 hanya jika spin j berada dalam keadaan "naik", dan 0 sebaliknya. Kekuatannya adalah V $_{j,k}$ =C_6/($d_{j,k}$) ^{6}, dimana C $_6$ adalah koefisien tetap, dan d $_{j,k}$ adalah jarak Euclidean antara spin j dan k. Efek langsung dari istilah interaksi ini adalah bahwa setiap keadaan di mana spin j dan spin k "naik" memiliki energi yang meningkat (dengan jumlah $V_{j,k}$). Dengan hati-hati merancang sisa program AHS, interaksi ini akan mencegah putaran tetangga dari keduanya berada dalam keadaan "naik", efek yang umumnya dikenal sebagai "blokade Rydberg."

Bidang mengemudi

Pada awal program AHS, semua putaran (secara default) dimulai dalam keadaan “turun”, mereka berada dalam apa yang disebut fase feromagnetik. Mengawasi tujuan kami untuk mempersiapkan fase anti-feromagnetik, kami menentukan medan penggerak koheren yang bergantung pada waktu yang dengan lancar mentransisikan putaran dari keadaan ini ke keadaan banyak tubuh di mana keadaan “naik” lebih disukai. Hamiltonian yang sesuai dapat ditulis sebagai

$$H_{\text{drive}}(t) = \sum_{k=1}^{N} \frac{1}{2}\Omega(t)\left[e^{i\phi(t)}S_{-,k} + e^{-i\phi(t)}S_{+,k}\right] - \sum_{k=1}^{N}\Delta(t)n_k$$

di mana Ω (t), φ (t), Δ (t) adalah amplitudo global yang bergantung pada waktu (alias frekuensi Rabi), fase, dan detuning medan penggerak yang mempengaruhi semua putaran secara seragam. Di sini $S_{-,k} = \downarrow_k \#\uparrow_k$ and $S_{+,k} = (S_{-,k})^{\dagger} = \uparrow_k \#\downarrow_k$ adalah operator penurun dan peningkatan spin k, masing-masing, dan $n_k = \uparrow_k \#\uparrow_k$ adalah operator yang sama seperti sebelumnya. Bagian Ω dari medan mengemudi secara koheren menggabungkan status “turun” dan “naik” dari semua putaran secara bersamaan, sedangkan bagian Δ mengontrol hadiah energi untuk keadaan “naik”.

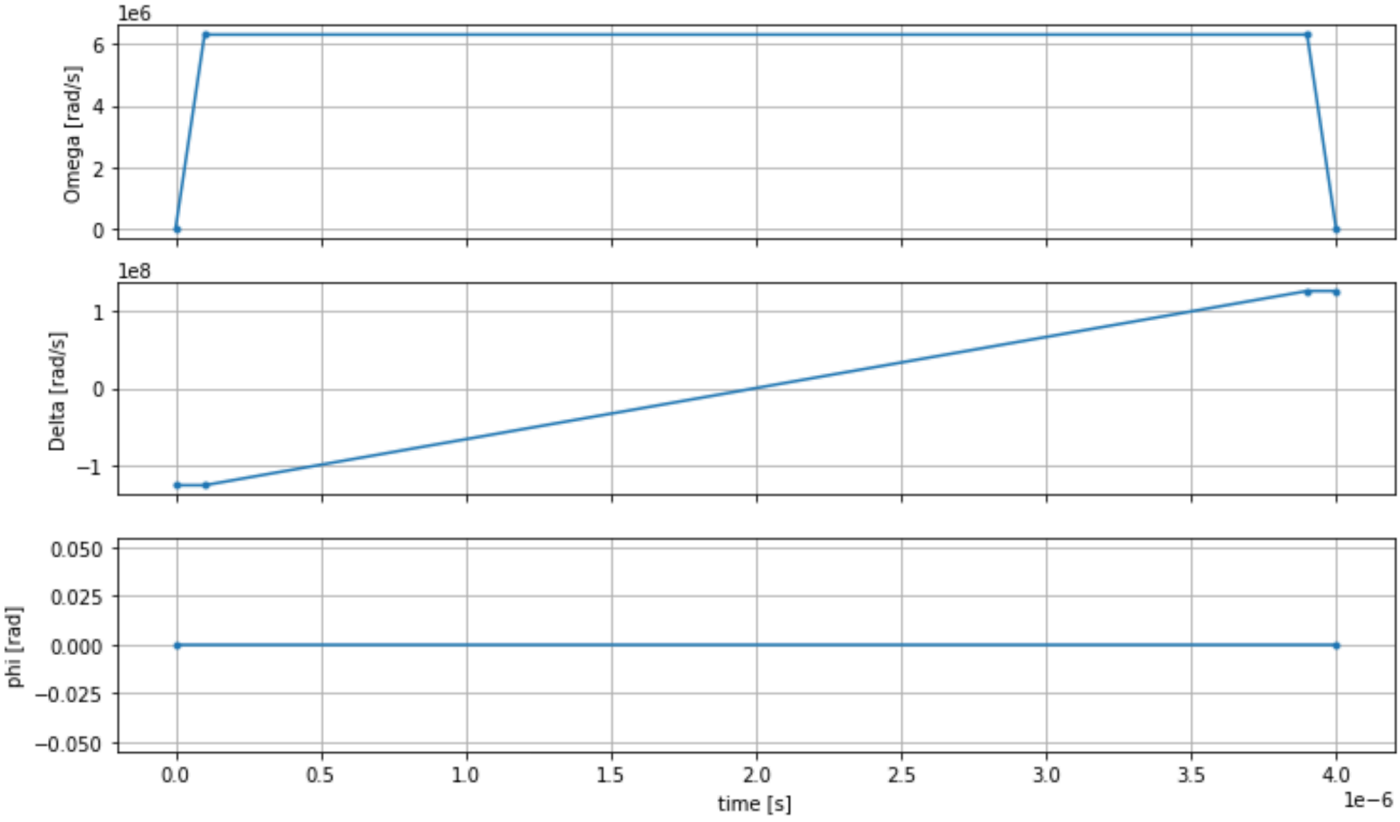
Untuk memprogram transisi yang mulus dari fase feromagnetik ke fase anti-feromagnetik, kami menentukan bidang penggerak dengan kode berikut.

```
from braket.timings.time_series import TimeSeries
from braket.ahs.driving_field import DrivingField

# Smooth transition from "down" to "up" state
time_max = 4e-6  # seconds
time_ramp = 1e-7  # seconds
omega_max = 6300000.0  # rad / sec
delta_start = -5 * omega_max
delta_end = 5 * omega_max

omega = TimeSeries()
omega.put(0.0, 0.0)
omega.put(time_ramp, omega_max)
omega.put(time_max - time_ramp, omega_max)
omega.put(time_max, 0.0)

delta = TimeSeries()
delta.put(0.0, delta_start)
delta.put(time_ramp, delta_start)
delta.put(time_max - time_ramp, delta_end)
```

```
delta.put(time_max, delta_end)

phi = TimeSeries().put(0.0, 0.0).put(time_max, 0.0)

drive = DrivingField(
   amplitude=omega,
   phase=phi,
   detuning=delta
)
```

Kita dapat memvisualisasikan deret waktu bidang mengemudi dengan skrip berikut.

```
fig, axes = plt.subplots(3, 1, figsize=(12, 7), sharex=True)

ax = axes[0]
time_series = drive.amplitude.time_series
ax.plot(time_series.times(), time_series.values(), '.-')
ax.grid()
ax.set_ylabel('Omega [rad/s]')

ax = axes[1]
time_series = drive.detuning.time_series
ax.plot(time_series.times(), time_series.values(), '.-')
ax.grid()
ax.set_ylabel('Delta [rad/s]')

ax = axes[2]
time_series = drive.phase.time_series
# Note: time series of phase is understood as a piecewise constant function
ax.step(time_series.times(), time_series.values(), '.-', where='post')
ax.set_ylabel('phi [rad]')
ax.grid()
ax.set_xlabel('time [s]')

plt.show()  # This will show the plot below in an ipython or jupyter session
```



Program AHS

Register, bidang mengemudi, (dan interaksi van der Waals implisit) membentuk program Simulasi Hamiltonian Analog. `ahs_program`

```
from braket.ahs.analog_hamiltonian_simulation import AnalogHamiltonianSimulation

ahs_program = AnalogHamiltonianSimulation(
   register=register,
   hamiltonian=drive
)
```

Berjalan di simulator lokal

Karena contoh ini kecil (kurang dari 15 putaran), sebelum menjalankannya pada AHS-compatible QPU, kita dapat menjalankannya di simulator AHS lokal yang dilengkapi dengan Braket SDK. Karena simulator lokal tersedia secara gratis dengan Braket SDK, ini adalah praktik terbaik untuk memastikan bahwa kode kami dapat dijalankan dengan benar.

Di sini, kita dapat mengatur jumlah bidikan ke nilai tinggi (katakanlah, 1 juta) karena simulator lokal melacak evolusi waktu status kuantum dan mengambil sampel dari keadaan akhir; karenanya, meningkatkan jumlah bidikan, sambil meningkatkan total runtime hanya sedikit.

```
from braket.devices import LocalSimulator

device = LocalSimulator("braket_ahs")

result_simulator = device.run(
   ahs_program,
   shots=1_000_000
).result()  # Takes about 5 seconds
```

Menganalisis hasil simulator

Kami dapat menggabungkan hasil bidikan dengan fungsi berikut yang menyimpulkan status setiap putaran (yang mungkin “d” untuk “bawah”, “u” untuk “naik”, atau “e” untuk situs kosong), dan menghitung berapa kali setiap konfigurasi terjadi di seluruh bidikan.

```
from collections import Counter


def get_counts(result):
    """Aggregate state counts from AHS shot results

    A count of strings (of length = # of spins) are returned, where
    each character denotes the state of a spin (site):
      e: empty site
      u: up state spin
      d: down state spin

    Args:
      result
 (braket.tasks.analog_hamiltonian_simulation_quantum_task_result.AnalogHamiltonianSimulationQua

    Returns
       dict: number of times each state configuration is measured

    """
    state_counts = Counter()
    states = ['e', 'u', 'd']
    for shot in result.measurements:
```

```
        pre = shot.pre_sequence
        post = shot.post_sequence
        state_idx = np.array(pre) * (1 + np.array(post))
        state = "".join(map(lambda s_idx: states[s_idx], state_idx))
        state_counts.update((state,))
    return dict(state_counts)


counts_simulator = get_counts(result_simulator)  # Takes about 5 seconds
print(counts_simulator)
```

```
*[Output]*
{'dddddddd': 5, 'ddddddду': 12, 'ddddddud': 15, ...}
```

Berikut `counts` adalah kamus yang menghitung berapa kali setiap konfigurasi status diamati di seluruh bidikan. Kami juga dapat memvisualisasikannya dengan kode berikut.

```
from collections import Counter


def has_neighboring_up_states(state):
    if 'uu' in state:
        return True
    if state[0] == 'u' and state[-1] == 'u':
        return True
    return False


def number_of_up_states(state):
    return Counter(state)['u']


def plot_counts(counts):
    non_blockaded = []
    blockaded = []
    for state, count in counts.items():
        if not has_neighboring_up_states(state):
            collection = non_blockaded
        else:
            collection = blockaded
        collection.append((state, count, number_of_up_states(state)))

    blockaded.sort(key=lambda _: _[1], reverse=True)
```

```
    non_blockaded.sort(key=lambda _: _[1], reverse=True)

    for configurations, name in zip((non_blockaded,
                                     blockaded),
                                    ('no neighboring "up" states',
                                     'some neighboring "up" states')):
        plt.figure(figsize=(14, 3))
        plt.bar(range(len(configurations)), [item[1] for item in configurations])
        plt.xticks(range(len(configurations)))
        plt.gca().set_xticklabels([item[0] for item in configurations], rotation=90)
        plt.ylabel('shots')
        plt.grid(axis='y')
        plt.title(f'{name} configurations')
        plt.show()


plot_counts(counts_simulator)
```

Dari plot, kita dapat membaca pengamatan berikut verifikasi bahwa kita berhasil menyiapkan fase anti-feromagnetik.

1. Umumnya, negara bagian yang tidak diblokade (di mana tidak ada dua putaran tetangga yang berada dalam keadaan “naik”) lebih umum daripada negara bagian di mana setidaknya satu pasang putaran tetangga keduanya berada dalam keadaan “naik”.
2. Umumnya, status dengan lebih banyak eksitasi “naik” lebih disukai, kecuali konfigurasi diblokade.
3. Keadaan yang paling umum memang merupakan keadaan anti-feromagnetik yang sempurna dan. `"dudududu"` `"udududud"`
4. Keadaan paling umum kedua adalah keadaan di mana hanya ada 3 eksitasi “naik” dengan pemisahan berturut-turut 1, 2, 2. Ini menunjukkan bahwa interaksi van der Waals memiliki pengaruh (meskipun jauh lebih kecil) pada tetangga terdekat berikutnya juga.

Berjalan di QuEra Aquila QPU

Prasyarat: Selain pip menginstal Braket SDK, jika Anda baru mengenal Amazon Braket, pastikan Anda telah menyelesaikan langkah-langkah Memulai yang diperlukan.

> **Note**
>
> Jika Anda menggunakan instance notebook yang dihosting Braket, Braket SDK sudah diinstal sebelumnya dengan instance tersebut.

Dengan semua dependensi diinstal, kita dapat terhubung ke QPU. Aquila

```
from braket.aws import AwsDevice

aquila_qpu = AwsDevice("arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/quera/Aquila")
```

Untuk membuat program AHS kami cocok untuk QuEra mesin, kami perlu membulatkan semua nilai untuk memenuhi tingkat presisi yang diizinkan oleh Aquila QPU. (Persyaratan ini diatur oleh parameter perangkat dengan “Resolusi” dalam namanya. Kita bisa melihatnya dengan mengeksekusi `aquila_qpu.properties.dict()` di notebook. Untuk detail lebih lanjut tentang kemampuan dan persyaratan Aquila, lihat buku catatan Pengantar Aquila.) Kita bisa melakukan ini dengan memanggil `discretize` metode.

```
discretized_ahs_program = ahs_program.discretize(aquila_qpu)
```

Sekarang kita dapat menjalankan program (hanya menjalankan 100 tembakan untuk saat ini) pada Aquila QPU.

> **Note**
>
> Menjalankan program ini pada Aquila prosesor akan dikenakan biaya. Amazon Braket SDK menyertakan Cost Tracker yang memungkinkan pelanggan untuk menetapkan batas biaya serta melacak biaya mereka dalam waktu dekat.

```
task = aquila_qpu.run(discretized_ahs_program, shots=100)

metadata = task.metadata()
task_arn = metadata['quantumTaskArn']
task_status = metadata['status']

print(f"ARN: {task_arn}")
print(f"status: {task_status}")
```

```
*[Output]*
ARN: arn:aws:braket:us-east-1:123456789012:quantum-task/12345678-90ab-
cdef-1234-567890abcdef
status: CREATED
```

Karena varians yang besar tentang berapa lama tugas kuantum dapat dijalankan (tergantung pada jendela ketersediaan dan pemanfaatan QPU), ada baiknya untuk mencatat ARN tugas kuantum, sehingga kami dapat memeriksa statusnya di lain waktu dengan cuplikan kode berikut.

```
# Optionally, in a new python session
from braket.aws import AwsQuantumTask

SAVED_TASK_ARN = "arn:aws:braket:us-east-1:123456789012:quantum-task/12345678-90ab-
cdef-1234-567890abcdef"

task = AwsQuantumTask(arn=SAVED_TASK_ARN)
metadata = task.metadata()
task_arn = metadata['quantumTaskArn']
task_status = metadata['status']

print(f"ARN: {task_arn}")
```

```
print(f"status: {task_status}")
```

```
*[Output]*
ARN: arn:aws:braket:us-east-1:123456789012:quantum-task/12345678-90ab-
cdef-1234-567890abcdef
status: COMPLETED
```

Setelah status SELESAI (yang juga dapat diperiksa dari halaman tugas kuantum konsol Amazon Braket), kami dapat menanyakan hasilnya dengan:

```
result_aquila = task.result()
```

Menganalisis hasil QPU

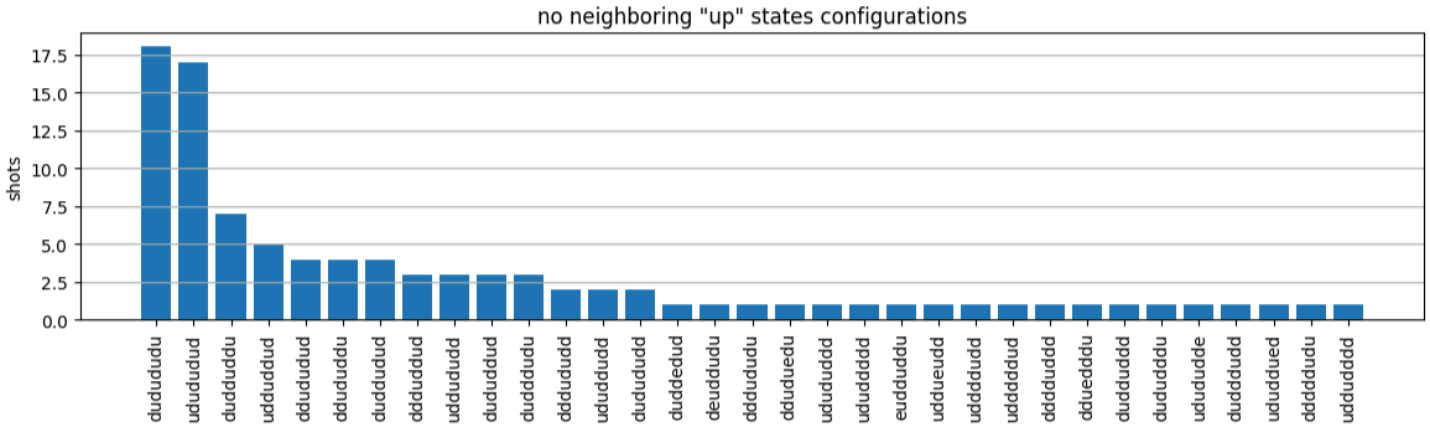
Menggunakan `get_counts` fungsi yang sama seperti sebelumnya, kita dapat menghitung hitungan:

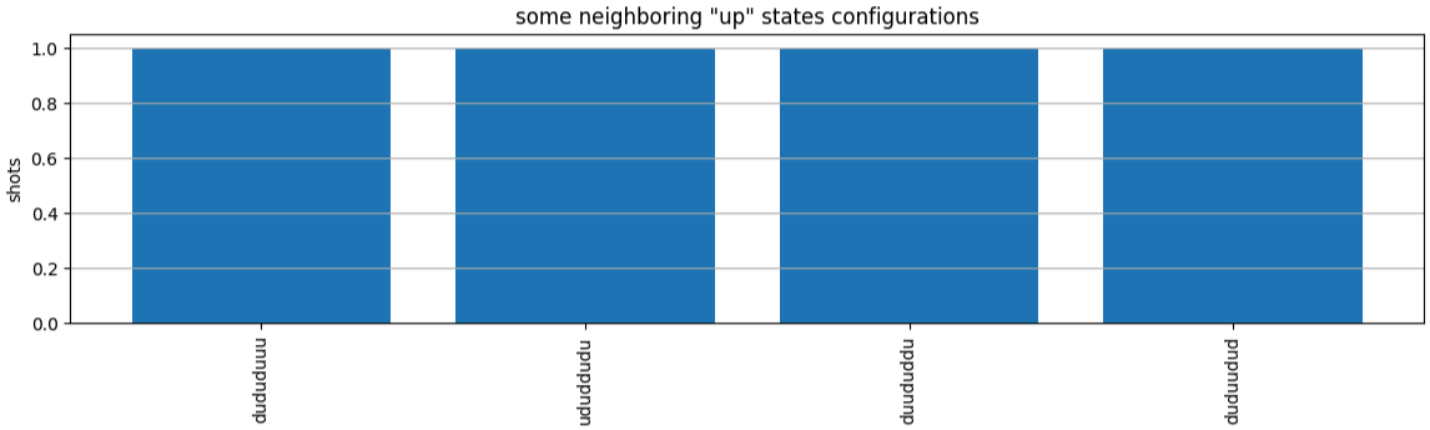
```
counts_aquila = get_counts(result_aquila)
   print(counts_aquila)
```

```
*[Output]*
{'ddddududd': 2, 'dudududu': 18, 'dddududud': 4, ...}
```

dan plot mereka dengan`plot_counts`:

```
plot_counts(counts_aquila)
```





Perhatikan bahwa sebagian kecil bidikan memiliki situs kosong (ditandai dengan “e”). Hal ini disebabkan oleh ketidaksempurnaan persiapan atom 1-2% per atom dari QPU. Aquila Selain itu, hasilnya cocok dengan simulasi dalam fluktuasi statistik yang diharapkan karena sejumlah kecil tembakan.

Langkah selanjutnya

Selamat, Anda sekarang telah menjalankan beban kerja AHS pertama Anda di Amazon Braket menggunakan simulator AHS lokal dan QPU. Aquila

Untuk mempelajari lebih lanjut tentang fisika Rydberg, Simulasi Hamiltonian Analog dan Aquila perangkat, lihat contoh notebook kami.

Kirim program analog menggunakan QuEra Aquila

Halaman ini memberikan dokumentasi komprehensif tentang kemampuan Aquila mesin dariQuEra. Detail yang dibahas di sini adalah sebagai berikut:

1. Hamiltonian berparameter disimulasikan oleh Aquila
2. Parameter program AHS
3. Konten hasil AHS
4. Aquilaparameter kemampuan

Di bagian ini:

- Hamiltonian
- Skema program Braket AHS

- Skema hasil tugas Braket AHS
- QuEra skema properti perangkat

Hamiltonian

AquilaMesin dari QuEra mensimulasikan Hamiltonian berikut (tergantung waktu) secara asli:

$$H(t) = \sum_{k=1}^{N} H_{\text{drive},k}(t) + \sum_{k=1}^{N} H_{\text{local detuning},k}(t) + \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^{N} V_{\text{vdw},k,l}$$

> **Note**
>
> Akses ke detuning lokal adalah kemampuan Eksperimental dan tersedia berdasarkan permintaan melalui Braket Direct.

di mana

- $H_{\text{drive},k}(t) = \left(\frac{1}{2}\Omega(t)\, e^{i\varphi(t)}\, S_{-,k} + \frac{1}{2}\Omega(t)\, e^{-i\varphi(t)}\, S_{+,k}\right) - \Delta_{\text{global}}(t)\, n_k$,
  - $\Omega(t)$ adalah amplitudo penggerak global yang bergantung pada waktu (alias frekuensi Rabi), dalam satuan (rad/ s)
  - $\varphi(t)$ adalah fase global yang bergantung pada waktu, diukur dalam radian
  - $S_{-,k}$ dan $S_{+,k}$ adalah operator penurun dan peningkatan putaran atom k (dalam basis $|{\downarrow}\rangle = |g\rangle$, $|{\uparrow}\rangle = |r\rangle$, mereka adalah $S_- = |g\rangle\langle r|$, $S_+ = (S_-)^\dagger = |r\rangle\langle g|$)
  - $\Delta_{\text{global}}(t)$ adalah detuning global yang bergantung pada waktu
  - n_k adalah operator proyeksi pada keadaan Rydberg atom k (yaitu, $n = |r\rangle\langle r|$)
- $H_{\text{local detuning},k}(t) = -\Delta_{\text{local}}(t)\, h_k\, n_k$
  - $\Delta_{\text{local}}(t)$ adalah faktor yang bergantung pada waktu dari pergeseran frekuensi lokal, dalam satuan (rad/s)
  - h_k adalah faktor yang bergantung pada lokasi, bilangan tak berdimensi antara 0,0 dan 1,0
- $V_{\text{vdw},k,l} = C_6/(d_{k,l})^6\, n_k\, n_l$,
  - C_6 adalah koefisien van der Waals, dalam satuan (rad/s) * (m) ^6
  - $d_{k,l}$ adalah jarak Euclidean antara atom k dan l, diukur dalam meter.

Pengguna memiliki kontrol atas parameter berikut melalui skema program Braket AHS.

- Susunan atom 2-d ($_{kk}$koordinat x dan y dari setiap atom k, dalam satuan um), yang mengontrol jarak atom berpasangan d $_{k,l}$ dengan k, l=1,2,... N
- Ω (t), frekuensi Rabi global yang bergantung pada waktu, dalam satuan (rad/s)
- φ (t), fase global yang bergantung pada waktu, dalam satuan (rad)
- Δ $_{global}$ (t), detuning global yang bergantung pada waktu, dalam satuan (rad/s)
- Δ $_{local}$ (t), faktor yang bergantung pada waktu (global) dari besarnya detuning lokal, dalam satuan (rad/s)
- h_k, faktor yang bergantung pada lokasi (statis) dari besarnya detuning lokal, bilangan tak berdimensi antara 0,0 dan 1,0

> **Note**
>
> Pengguna tidak dapat mengontrol level mana yang terlibat (yaitu, S $_{-+}$, S, n operator tetap) atau kekuatan koefisien Rydberg-Rydberg interaksi (C_6).

Skema program Braket AHS

Braket.ir.ahs.program_v1.Program objek (contoh)

> **Note**
>
> Jika fitur detuning lokal tidak diaktifkan untuk akun Anda, gunakan `localDetuning=[]` dalam contoh berikut.

```
Program(
    braketSchemaHeader=BraketSchemaHeader(
        name='braket.ir.ahs.program',
        version='1'
    ),
    setup=Setup(
        ahs_register=AtomArrangement(
            sites=[
                [Decimal('0'), Decimal('0')],
                [Decimal('0'), Decimal('4e-6')],
                [Decimal('4e-6'), Decimal('0')]
            ],
```

```
            filling=[1, 1, 1]
        )
    ),
    hamiltonian=Hamiltonian(
        drivingFields=[
            DrivingField(
                amplitude=PhysicalField(
                    time_series=TimeSeries(
                        values=[Decimal('0'), Decimal('15700000.0'),
Decimal('15700000.0'), Decimal('0')],
                        times=[Decimal('0'), Decimal('0.000001'), Decimal('0.000002'),
Decimal('0.000003')]
                    ),
                    pattern='uniform'
                ),
                phase=PhysicalField(
                    time_series=TimeSeries(
                        values=[Decimal('0'), Decimal('0')],
                        times=[Decimal('0'), Decimal('0.000003')]
                    ),
                    pattern='uniform'
                ),
                detuning=PhysicalField(
                    time_series=TimeSeries(
                        values=[Decimal('-54000000.0'), Decimal('54000000.0')],
                        times=[Decimal('0'), Decimal('0.000003')]
                    ),
                    pattern='uniform'
                )
            )
        ],
        localDetuning=[
            LocalDetuning(
                magnitude=PhysicalField(
                    times_series=TimeSeries(
                        values=[Decimal('0'), Decimal('25000000.0'),
Decimal('25000000.0'), Decimal('0')],
                        times=[Decimal('0'), Decimal('0.000001'), Decimal('0.000002'),
Decimal('0.000003')]
                    ),
                    pattern=Pattern([Decimal('0.8'), Decimal('1.0'), Decimal('0.9')])
                )
            )
        ]
```

```
    )
)
```

JSON (contoh)

> **Note**
>
> Jika fitur detuning lokal tidak diaktifkan untuk akun Anda, gunakan `"localDetuning": []` dalam contoh berikut.

```
{
    "braketSchemaHeader": {
        "name": "braket.ir.ahs.program",
        "version": "1"
    },
    "setup": {
        "ahs_register": {
            "sites": [
                [0E-7, 0E-7],
                [0E-7, 4E-6],
                [4E-6, 0E-7]
            ],
            "filling": [1, 1, 1]
        }
    },
    "hamiltonian": {
        "drivingFields": [
            {
                "amplitude": {
                    "time_series": {
                        "values": [0.0, 15700000.0, 15700000.0, 0.0],
                        "times": [0E-9, 0.000001000, 0.000002000, 0.000003000]
                    },
                    "pattern": "uniform"
                },
                "phase": {
                    "time_series": {
                        "values": [0E-7, 0E-7],
                        "times": [0E-9, 0.000003000]
                    },
                    "pattern": "uniform"
```

```
                },
                "detuning": {
                    "time_series": {
                        "values": [-54000000.0, 54000000.0],
                        "times": [0E-9, 0.000003000]
                    },
                    "pattern": "uniform"
                }
            }
        ],
        "localDetuning": [
            {
                "magnitude": {
                    "time_series": {
                        "values": [0.0, 25000000.0, 25000000.0, 0.0],
                        "times": [0E-9, 0.000001000, 0.000002000, 0.000003000]
                    },
                    "pattern": [0.8, 1.0, 0.9]
                }
            }
        ]
    }
}
```

Bidang utama

Bidang program	jenis	deskripsi
setup.ahs_register.sites	Daftar [Daftar [Desimal]]	Daftar koordinat 2-d tempat pinset menjebak atom
setup.ahs_register.filling	Daftar [int]	Menandai atom yang menempati situs perangkap dengan 1, dan situs kosong dengan 0
Hamiltonian.drivingFields [] .amplitude.time_series.times	Daftar [Desimal]	titik waktu amplitudo

Bidang program	jenis	deskripsi
		mengemudi, Omega (t)
Hamiltonian.drivingFields [] .amplitude.time_series.values	Daftar [Desimal]	nilai amplitudo mengemudi, Omega (t)
Hamiltonian.drivingFields [] .amplitude.pattern	str	pola spasial amplitudo mengemudi, Omega (t); harus 'seragam'
Hamiltonian.drivingFields [] .phase.time_series.times	Daftar [Desimal]	titik waktu fase mengemudi, phi (t)
Hamiltonian.drivingFields [] .phase.time_series .values	Daftar [Desimal]	nilai fase mengemudi, phi (t)
Hamiltonian.drivingFields [] .phase.pattern	str	pola spasial fase mengemudi, phi (t); harus 'seragam'
Hamiltonian.drivingFields [] .detuning.time_series.times	Daftar [Desimal]	titik waktu mengemudi detuning, Delta_global (t)
Hamiltonian.drivingFields [] .detuning.time_series.values	Daftar [Desimal]	nilai detuning mengemudi, Delta_global (t)
Hamiltonian.drivingFields [] .detuning.pattern	str	pola spasial mengemudi detuning, Delta_global (t); harus 'seragam'

Bidang program	jenis	deskripsi
Hamiltonian.localdeTuning [] .magnitude.time_series.times	Daftar [Desimal]	titik waktu dari faktor yang bergantung pada waktu dari besaran detuning lokal, Delta_local (t)
Hamiltonian.localdeTuning [] .magnitude.time_series.values	Daftar [Desimal]	nilai faktor yang bergantung pada waktu dari besaran detuning lokal, Delta_local (t)
Hamiltonian.localdeTuning [] .magnitude.pattern	Daftar [Desimal]	faktor yang bergantung pada situs dari besaran detuning lokal, h_k (nilai sesuai dengan situs di setup.ahs_register .sites)

Kolom metadata

Bidang program	jenis	deskripsi
braket SchemaHeader.name	str	nama skema; harus 'braket.ir.ahs.program'
braket SchemaHeader.version	str	versi skema

Skema hasil tugas Braket AHS

braket.tasks.analog_hamiltonian_simulation_quantum_task_result.AnalogHamiltonianSimulationQuantumTaskResult(contoh)

```
AnalogHamiltonianSimulationQuantumTaskResult(
    task_metadata=TaskMetadata(
        braketSchemaHeader=BraketSchemaHeader(
            name='braket.task_result.task_metadata',
            version='1'
        ),
        id='arn:aws:braket:us-east-1:123456789012:quantum-task/12345678-90ab-
cdef-1234-567890abcdef',
        shots=2,
        deviceId='arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/quera/Aquila',
        deviceParameters=None,
        createdAt='2022-10-25T20:59:10.788Z',
        endedAt='2022-10-25T21:00:58.218Z',
        status='COMPLETED',
        failureReason=None
    ),
    measurements=[
        ShotResult(
            status=<AnalogHamiltonianSimulationShotStatus.SUCCESS: 'Success'>,

            pre_sequence=array([1, 1, 1, 1]),
            post_sequence=array([0, 1, 1, 1])
        ),

        ShotResult(
            status=<AnalogHamiltonianSimulationShotStatus.SUCCESS: 'Success'>,

            pre_sequence=array([1, 1, 0, 1]),
            post_sequence=array([1, 0, 0, 0])
        )
    ]
)
```

JSON (contoh)

```
{
    "braketSchemaHeader": {
        "name": "braket.task_result.analog_hamiltonian_simulation_task_result",
        "version": "1"
    },
    "taskMetadata": {
        "braketSchemaHeader": {
            "name": "braket.task_result.task_metadata",
```

```
            "version": "1"
        },
        "id": "arn:aws:braket:us-east-1:123456789012:quantum-task/12345678-90ab-
cdef-1234-567890abcdef",
        "shots": 2,
        "deviceId": "arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/quera/Aquila",

        "createdAt": "2022-10-25T20:59:10.788Z",
        "endedAt": "2022-10-25T21:00:58.218Z",
        "status": "COMPLETED"

    },
    "measurements": [
        {
            "shotMetadata": {"shotStatus": "Success"},
            "shotResult": {
                "preSequence": [1, 1, 1, 1],
                "postSequence": [0, 1, 1, 1]
            }
        },
        {
            "shotMetadata": {"shotStatus": "Success"},
            "shotResult": {
                "preSequence": [1, 1, 0, 1],
                "postSequence": [1, 0, 0, 0]
            }
        }
    ],
    "additionalMetadata": {
        "action": {...}
        "queraMetadata": {
            "braketSchemaHeader": {
                "name": "braket.task_result.quera_metadata",
                "version": "1"
            },
            "numSuccessfulShots": 100
        }
    }
}
```

Bidang utama

Bidang hasil tugas	jenis	deskripsi
pengukuran [] .shot Result.preSequence	Daftar [int]	Pre-sequence bit pengukuran (satu untuk setiap situs atom) untuk setiap bidikan: 0 jika situs kosong, 1 jika situs diisi, diukur sebelum urutan pulsa yang menjalankan evolusi kuantum
pengukuran [] .shot Result.postSequence	Daftar [int]	Post-sequence bit pengukuran untuk setiap bidikan: 0 jika atom dalam keadaan Rydberg atau situs kosong, 1 jika atom dalam keadaan dasar, diukur pada akhir urutan pulsa yang menjalankan evolusi kuantum

Kolom metadata

Bidang hasil tugas	jenis	deskripsi
braket SchemaHeader.name	str	nama skema; harus 'braket.task_result.analog_hamiltonian_simulation_task_result'
braket SchemaHeader.version	str	versi skema
tugas Metadata.braketSchemaHeader .name	str	nama skema; harus 'braket.task_resul

Bidang hasil tugas	jenis	deskripsi
		t.task_metadata'
tugas Metadata.braketSchemaHeader.version	str	versi skema
tugas Metadata.id	str	ID tugas kuantum. Untuk tugas AWS kuantum, ini adalah tugas kuantum ARN.
tugas Metadata.shots	int	Jumlah bidikan untuk tugas kuantum
tugas Metadata.shots.deviceId	str	ID perangkat tempat tugas kuantum dijalankan. Untuk AWS perangkat , ini adalah perangkat ARN.

Bidang hasil tugas	jenis	deskripsi
tugas Metadata.shots.createdAt	str	Stempel waktu pembuatan ; formatnya harus dalam format ISO-8601/ RFC3339 string. YYYY-MM-D DTHH:mm:s s.sssZ Defaultnya adalah None.
tugas Metadata.shots.endedAt	str	Stempel waktu kapan tugas kuantum berakhir; formatnya harus dalam format ISO-8601/ RFC3339 string. YYYY-MM-D DTHH:mm:s s.sssZ Defaultnya adalah None.

Bidang hasil tugas	jenis	deskripsi
tugas Metadata.shots.status	str	Status tugas kuantum (CREATED, QUEUED, RUNNING, COMPLETED, FAILED). Defaultnya adalah None.
tugas Metadata.shots.failureReason	str	Alasan kegagalan tugas kuantum. Defaultnya adalah None.
tambahan Metadata.action	Braket.ir.ahs.program_v1.program	(Lihat bagian skema program Braket AHS)
tambahan Metadata.action.braketSchemaHeader.queraMetadata.name	str	nama skema; harus 'braket.task_result.quera_metadata'
tambahan Metadata.action.braketSchemaHeader.queraMetadata.version	str	versi skema

Bidang hasil tugas	jenis	deskripsi
tambahan Metadata.action.numSuccessfulShots	int	jumlah tembakan yang benar-benar berhasil; harus sama dengan jumlah tembakan yang diminta
pengukuran [] .shot Metadata.shotStatus	int	Status tembakan, (Sukses, Sukses sebagian, Kegagalan); harus “Sukses”

QuEra skema properti perangkat

braket.device_schema.quera.quera_device_capabilities_v1. QueraDeviceCapabilities(contoh)

```
QueraDeviceCapabilities(
    service=DeviceServiceProperties(
        braketSchemaHeader=BraketSchemaHeader(
            name='braket.device_schema.device_service_properties',
            version='1'
            ),
            executionWindows=[
                DeviceExecutionWindow(
                    executionDay=<ExecutionDay.MONDAY: 'Monday'>,
                    windowStartHour=datetime.time(1, 0),
                    windowEndHour=datetime.time(23, 59, 59)
                ),
                DeviceExecutionWindow(
                    executionDay=<ExecutionDay.TUESDAY: 'Tuesday'>,
                    windowStartHour=datetime.time(0, 0),
                    windowEndHour=datetime.time(12, 0)
```

```
                ),
                DeviceExecutionWindow(
                    executionDay=<ExecutionDay.WEDNESDAY: 'Wednesday'>,
                    windowStartHour=datetime.time(0, 0),
                    windowEndHour=datetime.time(12, 0)
                ),
                DeviceExecutionWindow(
                    executionDay=<ExecutionDay.FRIDAY: 'Friday'>,
                    windowStartHour=datetime.time(0, 0),
                    windowEndHour=datetime.time(23, 59, 59)
                ),
                DeviceExecutionWindow(
                    executionDay=<ExecutionDay.SATURDAY: 'Saturday'>,
                    windowStartHour=datetime.time(0, 0),
                    windowEndHour=datetime.time(23, 59, 59)
                ),
                DeviceExecutionWindow(
                    executionDay=<ExecutionDay.SUNDAY: 'Sunday'>,
                    windowStartHour=datetime.time(0, 0),
                    windowEndHour=datetime.time(12, 0)
                )
            ],
            shotsRange=(1, 1000),
            deviceCost=DeviceCost(
                price=0.01,
                unit='shot'
            ),
            deviceDocumentation=
                DeviceDocumentation(
                    imageUrl='https://
a.b.cdn.console.awsstatic.com/59534b58c709fc239521ef866db9ea3f1aba73ad3ebcf60c23914ad8c5c5c878/
a6cfc6fca26cf1c2e1c6.png',
                    summary='Analog quantum processor based on neutral atom arrays',
                    externalDocumentationUrl='https://www.quera.com/aquila'
                ),
                deviceLocation='Boston, USA',
                updatedAt=datetime.datetime(2024, 1, 22, 12, 0,
 tzinfo=datetime.timezone.utc),
                getTaskPollIntervalMillis=None
    ),
    action={
        <DeviceActionType.AHS: 'braket.ir.ahs.program'>: DeviceActionProperties(
                version=['1'],
                actionType=<DeviceActionType.AHS: 'braket.ir.ahs.program'>
```

```
            )
    },
    deviceParameters={},
    braketSchemaHeader=BraketSchemaHeader(
        name='braket.device_schema.quera.quera_device_capabilities',
        version='1'
    ),
    paradigm=QueraAhsParadigmProperties(
        ...
        # See https://github.com/amazon-braket/amazon-braket-schemas-python/blob/main/
src/braket/device_schema/quera/quera_ahs_paradigm_properties_v1.py
        ...
    )
)
```

JSON (contoh)

```
{
    "service": {
        "braketSchemaHeader": {
            "name": "braket.device_schema.device_service_properties",
            "version": "1"
        },
        "executionWindows": [
            {
                "executionDay": "Monday",
                "windowStartHour": "01:00:00",
                "windowEndHour": "23:59:59"
            },
            {
                "executionDay": "Tuesday",
                "windowStartHour": "00:00:00",
                "windowEndHour": "12:00:00"
            },
            {
                "executionDay": "Wednesday",
                "windowStartHour": "00:00:00",
                "windowEndHour": "12:00:00"
            },
            {
                "executionDay": "Friday",
                "windowStartHour": "00:00:00",
                "windowEndHour": "23:59:59"
```

```
            },
            {
                "executionDay": "Saturday",
                "windowStartHour": "00:00:00",
                "windowEndHour": "23:59:59"
            },
            {
                "executionDay": "Sunday",
                "windowStartHour": "00:00:00",
                "windowEndHour": "12:00:00"
            }
        ],
        "shotsRange": [
            1,
            1000
        ],
        "deviceCost": {
            "price": 0.01,
            "unit": "shot"
        },
        "deviceDocumentation": {
            "imageUrl": "https://
a.b.cdn.console.awsstatic.com/59534b58c709fc239521ef866db9ea3f1aba73ad3ebcf60c23914ad8c5c5c878/
a6cfc6fca26cf1c2e1c6.png",
            "summary": "Analog quantum processor based on neutral atom arrays",
            "externalDocumentationUrl": "https://www.quera.com/aquila"
        },
        "deviceLocation": "Boston, USA",
        "updatedAt": "2024-01-22T12:00:00+00:00"
    },
    "action": {
        "braket.ir.ahs.program": {
            "version": [
                "1"
            ],
            "actionType": "braket.ir.ahs.program"
        }
    },
    "deviceParameters": {},
    "braketSchemaHeader": {
        "name": "braket.device_schema.quera.quera_device_capabilities",
        "version": "1"
    },
    "paradigm": {
```

```
        ...
        # See Aquila device page > "Calibration" tab > "JSON" page
        ...
    }
}
```

Bidang properti layanan

Bidang properti layanan	jenis	deskripsi
Service.ExecutionWindows [] .ExecutionDay	ExecutionDay	Hari dari jendela eksekusi; harus 'Setiap Hari', 'Hari Kerja', 'Akhir Pekan', 'Senin', 'Selasa', 'Rabu', Kamis', 'Jumat', 'Sabtu' atau 'Minggu'
Service.ExecutionWindows [] .window StartHour	datetime.time	Format 24 jam UTC saat jendela eksekusi dimulai
Service.ExecutionWindows [] .window EndHour	datetime.time	Format 24 jam UTC saat jendela eksekusi berakhir
Service.qpu_capabilities.service.shotsrange	Tupel [int, int]	Jumlah bidikan minimum dan maksimum untuk perangkat
service.qpu_capabilities.service.device Cost.price	float	Harga perangkat dalam hal dolar AS
service.qpu_capabilities.service.device Cost.unit	str	unit untuk mengisi harga, misalnya: 'menit', 'jam', 'tembakan', 'tugas'

Kolom metadata

Bidang metadata	jenis	deskripsi
aksi [] .versi	str	versi skema program AHS
tindakan [] .actionType	ActionType	Nama skema program AHS; harus 'braket.ir.ahs.program'
service.braket SchemaHeader.name	str	nama skema; harus 'braket.device_schema.device_service_properties'
service.braket SchemaHeader.version	str	versi skema
service.device Documentation.imageUrl	str	URL untuk gambar perangkat
service.device Documentation.summary	str	deskripsi singkat tentang perangkat
service.device Documentation.externalDocumentationUrl	str	URL dokumentasi eksternal
Service.deviceLocation	str	lokasi geografis untuk perangkat
Service.updateDat	datetime	waktu ketika properti perangkat terakhir diperbarui

Bekerja dengan AWS Boto3

Boto3 adalah AWS SDK untuk Python. Dengan Boto3, pengembang Python dapat membuat, mengkonfigurasi, dan mengelola Layanan AWS, seperti Braket. Amazon Boto3 menyediakan akses berorientasi objekAPI, serta tingkat rendah ke Amazon Braket.

Ikuti instruksi di Panduan Memulai Cepat Boto3 untuk mempelajari cara menginstal dan mengkonfigurasi Boto3.

Boto3 menyediakan fungsi inti yang bekerja bersama dengan SDK Python Amazon Braket untuk membantu Anda mengkonfigurasi dan menjalankan tugas kuantum Anda. Pelanggan Python selalu perlu menginstal Boto3, karena itu adalah implementasi inti. Jika Anda ingin menggunakan metode pembantu tambahan, Anda juga perlu menginstal SDK Amazon Braket.

Misalnya, saat Anda meneleponCreateQuantumTask, Amazon Braket SDK mengirimkan permintaan ke Boto3, yang kemudian memanggil file. AWS API

Di bagian ini:

- Nyalakan klien Amazon Braket Boto3
- Konfigurasi AWS CLI profil untuk Boto3 dan Braket SDK

Nyalakan klien Amazon Braket Boto3

Untuk menggunakan Boto3 dengan Amazon Braket, Anda harus mengimpor Boto3 dan kemudian menentukan klien yang Anda gunakan untuk terhubung ke Amazon Braket. API Dalam contoh berikut, klien Boto3 diberi nama. `braket`

```
import boto3
import botocore

braket = boto3.client("braket")
```

> **Note**
>
> Braket mendukung IPv6. Jika Anda menggunakan IPv6-only jaringan atau ingin memastikan beban kerja Anda menggunakan lalu lintas IPv6, gunakan titik akhir tumpukan ganda seperti yang diuraikan dalam panduan titik akhir dan FIPS. Dual-stack

Sekarang karena Anda memiliki klien `braket` yang telah ditetapkan, Anda dapat membuat permintaan dan tanggapan proses dari layanan Amazon Braket. Anda bisa mendapatkan detail lebih lanjut tentang permintaan dan data tanggapan di Referensi API.

Contoh berikut menunjukkan cara bekerja dengan perangkat dan tugas kuantum.

- Mencari perangkat
- Ambil perangkat
- Membuat tugas kuantum
- Mengambil tugas kuantum
- Mencari tugas kuantum
- Batalkan tugas kuantum

Mencari perangkat

- `search_devices(**kwargs)`

Cari perangkat menggunakan filter yang ditentukan.

```
# Pass search filters and optional parameters when sending the
# request and capture the response
response = braket.search_devices(filters=[{
    'name': 'deviceArn',
    'values': ['arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1']
}], maxResults=10)

print(f"Found {len(response['devices'])} devices")

for i in range(len(response['devices'])):
    device = response['devices'][i]
    print(device['deviceArn'])
```

Ambil perangkat

- `get_device(deviceArn)`

Ambil perangkat yang tersedia di Amazon Braket.

```
# Pass the device ARN when sending the request and capture the repsonse
response = braket.get_device(deviceArn='arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/
amazon/sv1')

print(f"Device {response['deviceName']} is {response['deviceStatus']}")
```

Membuat tugas kuantum

- `create_quantum_task(**kwargs)`

Buat tugas kuantum.

```
# Create parameters to pass into create_quantum_task()
kwargs = {
    # Create a Bell pair
    'action': '{"braketSchemaHeader": {"name": "braket.ir.jaqcd.program", "version":
 "1"}, "results": [], "basis_rotation_instructions": [], "instructions": [{"type": "h",
 "target": 0}, {"type": "cnot", "control": 0, "target": 1}]}',
    # Specify the SV1 Device ARN
    'deviceArn': 'arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1',
    # Specify 2 qubits for the Bell pair
    'deviceParameters': '{"braketSchemaHeader": {"name":
 "braket.device_schema.simulators.gate_model_simulator_device_parameters",
 "version": "1"}, "paradigmParameters": {"braketSchemaHeader": {"name":
 "braket.device_schema.gate_model_parameters", "version": "1"}, "qubitCount": 2}}',
    # Specify where results should be placed when the quantum task completes.
    # You must ensure the S3 Bucket exists before calling create_quantum_task()
    'outputS3Bucket': 'amazon-braket-examples',
    'outputS3KeyPrefix': 'boto-examples',
    # Specify number of shots for the quantum task
    'shots': 100
}

# Send the request and capture the response
response = braket.create_quantum_task(**kwargs)

print(f"Quantum task {response['quantumTaskArn']} created")
```

Mengambil tugas kuantum

- `get_quantum_task(quantumTaskArn)`

Ambil tugas kuantum yang ditentukan.

```
# Pass the quantum task ARN when sending the request and capture the response
response = braket.get_quantum_task(quantumTaskArn='arn:aws:braket:us-
west-1:123456789012:quantum-task/ce78c429-cef5-45f2-88da-123456789012')
```

```
print(response['status'])
```

Mencari tugas kuantum

- `search_quantum_tasks(**kwargs)`

Cari tugas kuantum yang cocok dengan nilai filter yang ditentukan.

```
# Pass search filters and optional parameters when sending the
# request and capture the response
response = braket.search_quantum_tasks(filters=[{
    'name': 'deviceArn',
    'operator': 'EQUAL',
    'values': ['arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1']
}], maxResults=25)

print(f"Found {len(response['quantumTasks'])} quantum tasks")

for n in range(len(response['quantumTasks'])):
    task = response['quantumTasks'][n]
    print(f"Quantum task {task['quantumTaskArn']} for {task['deviceArn']} is
 {task['status']}")
```

Batalkan tugas kuantum

- `cancel_quantum_task(quantumTaskArn)`

Batalkan tugas kuantum yang ditentukan.

```
# Pass the quantum task ARN when sending the request and capture the response
response = braket.cancel_quantum_task(quantumTaskArn='arn:aws:braket:us-
west-1:123456789012:quantum-task/ce78c429-cef5-45f2-88da-123456789012')

print(f"Quantum task {response['quantumTaskArn']} is {response['cancellationStatus']}")
```

Konfigurasi AWS CLI profil untuk Boto3 dan Braket SDK

Amazon Braket SDK bergantung pada AWS CLI kredenal default, kecuali jika Anda secara eksplisit menentukan sebaliknya. Sebaiknya simpan default saat menjalankan buku catatan Amazon Braket

yang dikelola karena Anda harus memberikan peran IAM yang memiliki izin untuk meluncurkan instance notebook.

Secara opsional, jika Anda menjalankan kode secara lokal (misalnya pada instans Amazon EC2), Anda dapat membuat profil bernama. AWS CLI Anda dapat memberikan setiap profil set izin yang berbeda, dan bukan secara teratur menimpa profil default.

Bagian ini memberikan penjelasan singkat tentang cara mengkonfigurasi CLI tersebut `profile` dan bagaimana memasukkan profil itu ke dalam Amazon Braket sehingga API panggilan dilakukan dengan izin dari profil itu.

Di bagian ini:

- Langkah 1: Konfigurasikan lokal AWS Profil CLI
- Langkah 2: Buat objek sesi Boto3
- Langkah 3: Masukkan sesi Boto3 ke dalam Braket AwsSession

Langkah 1: Konfigurasikan lokal AWS **`Profil CLI`**

Ini di luar cakupan dokumen ini untuk menjelaskan cara membuat pengguna dan cara mengkonfigurasi profil non-default. Untuk informasi lebih lanjut tentang topik ini, lihat:

- Memulai
- Mengkonfigurasi yang akan AWS CLI digunakan AWS IAM Identity Center

Untuk menggunakan Amazon Braket, Anda harus memberikan pengguna ini — dan CLI terkait `profile` — dengan izin Braket yang diperlukan. Misalnya, Anda dapat melampirkan AmazonBraketFullAccesskebijakan.

Langkah 2: Buat objek sesi Boto3

Untuk membuat objek sesi Boto3, gunakan contoh kode berikut.

```
from boto3 import Session

# Insert CLI profile name here
boto_sess = Session(profile_name=`profile`)
```

> **Note**
>
> Jika API panggilan yang diharapkan memiliki Region-based batasan yang tidak selaras dengan Wilayah `profile` default, Anda dapat menentukan Wilayah untuk sesi Boto3 seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

```
# Insert CLI profile name _and_ region
boto_sess = Session(profile_name=`profile`, region_name=`region`)
```

Untuk argumen yang ditunjuk sebagai`region`, gantikan nilai yang sesuai dengan salah satu Wilayah AWS di mana Amazon Braket tersedia seperti`us-east-1`,`us-west-1`, dan sebagainya.

Langkah 3: Masukkan sesi Boto3 ke dalam Braket AwsSession

Contoh berikut menunjukkan cara menginisialisasi sesi Boto3 Braket dan membuat instance perangkat dalam sesi itu.

```
from braket.aws import AwsSession, AwsDevice

# Initialize Braket session with Boto3 Session credentials
aws_session = AwsSession(boto_session=boto_sess)

# Instantiate any Braket QPU device with the previously initiated AwsSession
sim_arn = 'arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1'
device = AwsDevice(sim_arn, aws_session=aws_session)
```

Setelah penyiapan ini selesai, Anda dapat mengirimkan tugas kuantum ke `AwsDevice` objek yang dipakai (dengan memanggil `device.run(…)` perintah misalnya). Semua API panggilan yang dilakukan oleh perangkat tersebut dapat menggunakan kredenal IAM yang terkait dengan profil CLI yang sebelumnya Anda tetapkan sebagai. `profile`

Menguji tugas kuantum Anda dengan Amazon Braket

Amazon Braket menyediakan berbagai simulator sirkuit kuantum berkinerja tinggi untuk membantu Anda menguji dan memvalidasi algoritme kuantum Anda sebelum menjalankannya pada perangkat keras kuantum yang sebenarnya. Simulator ini menangani perangkat lunak dan infrastruktur dasar yang kompleks, dan cluster Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) untuk menghilangkan beban simulasi sirkuit kuantum pada infrastruktur komputasi kinerja tinggi klasik (HPC). Sumber daya ini memungkinkan Anda untuk fokus mengembangkan dan mengoptimalkan aplikasi kuantum Anda.

Dengan simulator Braket, Anda dapat menguji sirkuit kuantum dan algoritme Anda secara menyeluruh tanpa kendala dan batasan perangkat kuantum fisik. Ini memungkinkan Anda untuk menjelajahi berbagai konsep komputasi kuantum, mulai dari gerbang kuantum dasar dan sirkuit hingga algoritme kuantum yang lebih canggih dan teknik mitigasi kesalahan.

Braket SDK menyederhanakan pengiriman tugas kuantum Anda ke simulator, memungkinkan Anda untuk mengontrol parameter simulasi, seperti jumlah bidikan dan model noise, untuk lebih memahami perilaku algoritme kuantum Anda. Anda juga dapat menggunakan kemampuan Amazon Braket Hybrid Job untuk menggabungkan elemen komputasi klasik dan kuantum, yang selanjutnya memperluas cakupan pengujian dan validasi Anda.

Dengan menguji tugas kuantum Anda secara menyeluruh pada simulator Braket, Anda dapat memperoleh wawasan berharga, menyempurnakan algoritme Anda, dan memastikan kebenarannya sebelum menerapkannya pada perangkat keras kuantum nyata. Ini membantu mengurangi waktu pengembangan, meminimalkan kesalahan, dan pada akhirnya mempercepat kemajuan Anda di bidang komputasi kuantum.

Di bagian ini:

Mengirimkan tugas kuantum ke simulator

Amazon Braket menyediakan akses ke beberapa simulator yang dapat menguji tugas kuantum Anda. Anda dapat mengirimkan tugas kuantum satu per satu atau Anda dapat menjalankan beberapa program.

Simulator

- Simulator matriks kepadatan, DM1: `arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/dm1`
- Simulator vektor negara, SV1: `arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1`
- Simulator jaringan tensor, TN1: `arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/tn1`
- Simulator lokal : `LocalSimulator()`

> **Note**
>
> Anda dapat membatalkan tugas kuantum di `CREATED` negara bagian untuk QPUs dan simulator sesuai permintaan. Anda dapat membatalkan tugas kuantum di `QUEUED` negara bagian dengan upaya terbaik untuk simulator sesuai permintaan dan. QPUs Perhatikan bahwa tugas `QUEUED` kuantum QPU tidak mungkin berhasil dibatalkan selama jendela ketersediaan QPU.

Di bagian ini:

Simulator vektor negara bagian lokal (**`braket_sv`**)

Simulator vektor status lokal (`braket_sv`) adalah bagian dari SDK Amazon Braket yang berjalan secara lokal di lingkungan Anda. Ini sangat cocok untuk pembuatan prototipe cepat pada sirkuit kecil

(hingga 25qubits) tergantung pada spesifikasi perangkat keras instance notebook Braket Anda atau lingkungan lokal Anda.

Simulator lokal mendukung semua gerbang di Amazon Braket SDK, tetapi perangkat QPU mendukung subset yang lebih kecil. Anda dapat menemukan gerbang perangkat yang didukung di properti perangkat.

> **Note**
>
> Simulator lokal mendukung fitur OpenQASM canggih yang mungkin tidak didukung pada perangkat QPU atau simulator lainnya. Untuk informasi selengkapnya tentang fitur yang didukung, lihat contoh yang disediakan di notebook Simulator Lokal OpenQASM.

Untuk informasi lebih lanjut tentang cara bekerja dengan simulator, lihat Contoh Amazon Braket.

Simulator matriks kepadatan lokal (**`braket_dm`**)

Simulator matriks kepadatan lokal (`braket_dm`) adalah bagian dari Amazon Braket SDK yang berjalan secara lokal di lingkungan Anda. Ini sangat cocok untuk pembuatan prototipe cepat pada sirkuit kecil dengan kebisingan (hingga 12qubits) tergantung pada spesifikasi perangkat keras instance notebook Braket Anda atau lingkungan lokal Anda.

Anda dapat membangun sirkuit bising umum dari bawah ke atas menggunakan operasi gerbang kebisingan seperti bit-flip dan kesalahan depolarisasi. Anda juga dapat menerapkan operasi kebisingan ke spesifik qubits dan gerbang sirkuit yang ada yang dimaksudkan untuk berjalan baik dengan maupun tanpa kebisingan.

Simulator `braket_dm` lokal dapat memberikan hasil sebagai berikut, mengingat jumlah yang ditentukanshots:

- Mengurangi matriks densitas: Shots = 0

> **Note**
>
> Simulator lokal mendukung fitur OpenQASM canggih, yang mungkin tidak didukung pada perangkat QPU atau simulator lainnya. Untuk informasi selengkapnya tentang fitur yang didukung, lihat contoh yang disediakan di notebook Simulator Lokal OpenQASM.

Untuk mempelajari lebih lanjut tentang simulator matriks densitas lokal, lihat contoh simulator bunyi pengantar Braket.

Simulator AHS lokal () `braket_ahs`

Simulator AHS (Analog Hamiltonian Simulation) lokal (`braket_ahs`) adalah bagian dari SDK Amazon Braket yang berjalan secara lokal di lingkungan Anda. Ini dapat digunakan untuk mensimulasikan hasil dari program AHS. Ini sangat cocok untuk membuat prototipe pada register kecil (hingga 10-12 atom) tergantung pada spesifikasi perangkat keras instance notebook Braket Anda atau lingkungan lokal Anda.

Simulator lokal mendukung program AHS dengan satu bidang mengemudi yang seragam, satu bidang pergeseran (tidak seragam), dan pengaturan atom sewenang-wenang. Untuk detailnya, lihat kelas Braket AHS dan skema program Braket AHS.

Untuk mempelajari lebih lanjut tentang simulator AHS lokal, lihat Hello AHS: Jalankan halaman Simulasi Hamiltonian Analog pertama Anda dan contoh notebook Simulasi Hamiltonian Analog.

Simulator vektor negara (SV1)

SV1adalah simulator vektor keadaan universal sesuai permintaan, berkinerja tinggi. Itu dapat mensimulasikan sirkuit hingga 34qubits. Anda dapat mengharapkan rangkaian34-qubit, padat, dan persegi (kedalaman sirkuit = 34) membutuhkan waktu sekitar 1-2 jam untuk menyelesaikannya, tergantung pada jenis gerbang yang digunakan dan faktor lainnya. Sirkuit dengan all-to-all gerbang sangat cocok untukSV1. Ini mengembalikan hasil dalam bentuk seperti vektor keadaan penuh atau array amplitudo.

SV1memiliki runtime maksimum 6 jam. Ini memiliki default 35 tugas kuantum bersamaan, dan maksimum 100 (50 di us-west-1 dan eu-west-2) tugas kuantum bersamaan.

SV1hasil

SV1dapat memberikan hasil sebagai berikut, mengingat jumlah yang ditentukanshots:

- Contoh: Shots > 0
- Harapan: Shots >= 0
- Varians: Shots >= 0
- Probabilitas: Shots > 0
- Amplitudo: Shots = 0

- Gradien Bersebelahan: = 0 Shots

Untuk hasil lebih lanjut, lihat Jenis hasil.

SV1selalu tersedia, ia menjalankan sirkuit Anda sesuai permintaan, dan dapat menjalankan beberapa sirkuit secara paralel. Skala runtime secara linier dengan jumlah operasi dan secara eksponensial dengan jumlah. qubits Jumlah shots memiliki dampak kecil pada runtime. Untuk mempelajari lebih lanjut, kunjungi Membandingkan simulator.

Simulator mendukung semua gerbang di SDK Braket, namun perangkat QPU mendukung subset yang lebih kecil. Anda dapat menemukan gerbang perangkat yang didukung di properti perangkat.

Simulator matriks kepadatan (DM1)

DM1adalah simulator matriks kepadatan sesuai permintaan, kinerja tinggi. Hal ini dapat mensimulasikan sirkuit hingga 17qubits.

DM1memiliki runtime maksimum 6 jam, default 35 tugas kuantum bersamaan, dan maksimum 50 tugas kuantum bersamaan.

DM1hasil

DM1dapat memberikan hasil sebagai berikut, mengingat jumlah yang ditentukanshots:

- Contoh: Shots > 0
- Harapan: Shots >= 0
- Varians: Shots >= 0
- Probabilitas: Shots > 0
- Matriks densitas berkurang: Shots = 0, hingga maks 8 qubits

Untuk informasi selengkapnya tentang hasil, lihat Jenis hasil.

DM1selalu tersedia, ia menjalankan sirkuit Anda sesuai permintaan, dan dapat menjalankan beberapa sirkuit secara paralel. Skala runtime secara linier dengan jumlah operasi dan secara eksponensial dengan jumlah. qubits Jumlah shots memiliki dampak kecil pada runtime. Untuk mempelajari lebih lanjut, lihat Bandingkan simulator.

Gerbang kebisingan dan keterbatasan

```
AmplitudeDamping
    Probability has to be within [0,1]
BitFlip
    Probability has to be within [0,0.5]
Depolarizing
    Probability has to be within [0,0.75]
GeneralizedAmplitudeDamping
    Probability has to be within [0,1]
PauliChannel
    The sum of the probabilities has to be within [0,1]
Kraus
    At most 2 qubits
    At most 4 (16) Kraus matrices for 1 (2) qubit
PhaseDamping
    Probability has to be within [0,1]
PhaseFlip
    Probability has to be within [0,0.5]
TwoQubitDephasing
    Probability has to be within [0,0.75]
TwoQubitDepolarizing
    Probability has to be within [0,0.9375]
```

Simulator jaringan tensor () TN1

TN1adalah simulator jaringan tensor sesuai permintaan, kinerja tinggi. TN1dapat mensimulasikan jenis sirkuit tertentu hingga 50 qubits dan kedalaman sirkuit 100 atau lebih kecil. TN1sangat kuat untuk sirkuit jarang, sirkuit dengan gerbang lokal, dan sirkuit lain dengan struktur khusus, seperti sirkuit transformasi Fourier kuantum (QFT). TN1beroperasi dalam dua tahap. Pertama, fase latihan mencoba mengidentifikasi jalur komputasi yang efisien untuk sirkuit Anda, sehingga TN1 dapat memperkirakan runtime tahap berikutnya, yang disebut fase kontraksi. Jika perkiraan waktu kontraksi melebihi batas runtime TN1 simulasi, TN1 tidak mencoba kontraksi.

TN1memiliki batas runtime 6 jam. Ini terbatas pada maksimum 10 (5 di eu-west-2) tugas kuantum bersamaan.

TN1hasil

Fase kontraksi terdiri atas serangkaian perkalian matriks. Rangkaian perkalian berlanjut sampai hasil tercapai atau sampai ditentukan bahwa suatu hasil tidak dapat dicapai.

Catatan: Shots harus > 0.

Jenis hasil meliputi:

- Sampel
- Perkiraan
- Varians

Untuk hasil lebih lanjut, lihat Jenis hasil.

TN1selalu tersedia, ia menjalankan sirkuit Anda sesuai permintaan, dan dapat menjalankan beberapa sirkuit secara paralel. Untuk mempelajari lebih lanjut, lihat Bandingkan simulator.

Simulator mendukung semua gerbang di SDK Braket, namun perangkat QPU mendukung subset yang lebih kecil. Anda dapat menemukan gerbang perangkat yang didukung di properti perangkat.

Kunjungi GitHub repositori Amazon Braket untuk TN1 contoh buku catatan untuk membantu Anda memulai. TN1

Praktik terbaik untuk bekerja dengan TN1

- Hindari all-to-all sirkuit.
- Uji sirkuit atau kelas sirkuit baru dengan sejumlah kecilshots, untuk mempelajari “kekerasan” sirkuit untuk. TN1
- Pisahkan shot simulasi besar pada beberapa tugas kuantum.

Tentang simulator tertanam

Simulator tertanam beroperasi dengan memiliki simulasi tertanam langsung dalam kode algoritma. Juga, itu terkandung dalam wadah yang sama dan menjalankan simulasi langsung pada instance pekerjaan hybrid. Pendekatan ini berguna untuk menghilangkan kemacetan yang biasanya terkait dengan komunikasi antara simulasi dan perangkat jarak jauh. Dengan menjaga semua perhitungan dalam satu lingkungan yang kohesif, simulator tertanam dapat sangat mengurangi kebutuhan memori dan mengurangi jumlah eksekusi sirkuit yang diperlukan untuk mencapai hasil target. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan kinerja yang substansif, seringkali dengan faktor sepuluh atau lebih, dibandingkan dengan pengaturan tradisional yang mengandalkan simulasi jarak jauh. Untuk informasi selengkapnya tentang cara simulator tertanam meningkatkan kinerja dan mengaktifkan pekerjaan hibrida yang efisien, lihat halaman dokumentasi Jalankan pekerjaan hybrid dengan Amazon Braket Hybrid Jobs.

PennyLanesimulator petir

Anda dapat menggunakan PennyLane simulator petir sebagai simulator tertanam di Braket. Dengan PennyLane simulator petir, Anda dapat menggunakan metode komputasi gradien lanjutan, seperti diferensiasi adjoint, untuk mengevaluasi gradien lebih cepat. Simulator lightning.qubit tersedia sebagai perangkat melalui Braket NBIs dan sebagai simulator tertanam, sedangkan simulator lightning.gpu perlu dijalankan sebagai simulator tertanam dengan instance GPU. Lihat simulator Tertanam di notebook Braket Hybrid Jobs untuk contoh penggunaan lightning.gpu.

Bandingkan simulator Amazon Braket

Bagian ini membantu Anda memilih simulator Amazon Braket yang paling cocok untuk tugas kuantum Anda, dengan menjelaskan beberapa konsep, batasan, dan kasus penggunaan.

Memilih antara simulator lokal dan simulator sesuai permintaan (SV1,,) TN1 DM1

Kinerja simulator lokal tergantung pada perangkat keras yang menghosting lingkungan lokal, seperti instance notebook Braket, yang digunakan untuk menjalankan simulator Anda. Simulator sesuai permintaan berjalan di AWS cloud dan dirancang untuk skala di luar lingkungan lokal yang khas. Simulator sesuai permintaan dioptimalkan untuk sirkuit yang lebih besar, tetapi menambahkan beberapa overhead latensi per tugas kuantum atau kumpulan tugas kuantum. Ini dapat menyiratkan trade-off jika banyak tugas kuantum terlibat. Dengan karakteristik kinerja umum ini, panduan berikut dapat membantu Anda memilih cara menjalankan simulasi, termasuk yang berisik.

Untuk simulasi:

- Saat menggunakan kurang dari 18qubits, gunakan simulator lokal.
- Saat mempekerjakan 18-24qubits, pilih simulator berdasarkan beban kerja.
- Saat menggunakan lebih dari 24qubits, gunakan simulator sesuai permintaan.

Untuk simulasi kebisingan:

- Saat menggunakan kurang dari 9qubits, gunakan simulator lokal.
- Saat menggunakan 9-12qubits, pilih simulator berdasarkan beban kerja.
- Saat mempekerjakan lebih dari 12qubits, gunakanDM1.

Apa itu simulator vektor negara?

SV1adalah simulator vektor negara universal. Ini menyimpan fungsi gelombang penuh dari keadaan kuantum dan secara berurutan menerapkan operasi gerbang ke keadaan. Ini menyimpan semua kemungkinan, bahkan yang sangat tidak mungkin. Waktu berjalan SV1 simulator untuk tugas kuantum meningkat secara linier dengan jumlah gerbang di sirkuit.

Apa itu simulator matriks kepadatan?

DM1mensimulasikan sirkuit kuantum dengan noise. Ini menyimpan matriks kepadatan penuh dari sistem dan secara berurutan menerapkan gerbang dan operasi kebisingan sirkuit. Matriks kerapatan akhir berisi informasi lengkap tentang keadaan kuantum setelah rangkaian berjalan. Runtime umumnya menskalakan secara linier dengan jumlah operasi dan secara eksponensial dengan jumlah. qubits

Apa itu simulator jaringan tensor?

TN1mengkodekan sirkuit kuantum menjadi grafik terstruktur.

- Simpul grafik terdiri dari gerbang kuantum, atauqubits.
- Tepi grafik menunjukkan koneksi antargerbang.

Sebagai hasil dari struktur ini, TN1 dapat menemukan solusi simulasi untuk sirkuit kuantum yang relatif besar dan kompleks.

TN1membutuhkan dua fase

Biasanya, TN1 beroperasi dalam pendekatan dua fase untuk mensimulasikan komputasi kuantum.

- Fase latihan: Pada fase ini, TN1 muncul cara untuk melintasi grafik dengan cara yang efisien, yang melibatkan mengunjungi setiap node sehingga Anda dapat memperoleh pengukuran yang Anda inginkan. Sebagai pelanggan, Anda tidak melihat fase ini karena TN1 melakukan kedua fase bersama untuk Anda. Ini menyelesaikan fase pertama dan menentukan apakah akan melakukan fase kedua sendiri berdasarkan kendala praktis. Anda tidak memiliki masukan ke dalam keputusan itu setelah simulasi dimulai.
- Fase kontraksi: Fase ini analog dengan fase eksekusi komputasi dalam komputer klasik. Fase kontraksi terdiri atas serangkaian perkalian matriks. Urutan perkalian ini memiliki efek yang besar pada kesulitan komputasi. Oleh karena itu, fase latihan dilakukan terlebih dahulu untuk menemukan jalur komputasi yang paling efektif di seluruh grafik. Setelah menemukan jalur kontraksi selama fase latihan, TN1 kontraksikan gerbang sirkuit Anda untuk menghasilkan hasil simulasi.

TN1grafik analog dengan peta

Secara metaforis, Anda dapat membandingkan TN1 grafik yang mendasarinya dengan jalan-jalan kota. Di kota dengan grid yang direncanakan, mudah untuk menemukan rute ke tujuan Anda menggunakan peta. Di kota dengan jalan-jalan yang tidak direncanakan, nama jalan duplikat, dan sebagainya, sulit untuk menemukan rute ke tujuan Anda dengan melihat peta.

Jika TN1 tidak melakukan fase latihan, itu akan seperti berjalan di sekitar jalan-jalan kota untuk menemukan tujuan Anda, daripada melihat peta terlebih dahulu. Ini benar-benar lebih menghemat waktu dari segi waktu berjalan dibandingkan waktu yang dihabiskan untuk melihat peta. Demikian pula, fase latihan memberikan informasi berharga.

Anda mungkin mengatakan bahwa TN1 memiliki “kesadaran” tertentu tentang struktur sirkuit yang mendasarinya yang dilaluinya. Ini mendapatkan kesadaran ini selama fase latihan.

Jenis masalah yang paling cocok untuk masing-masing jenis simulator

SV1sangat cocok untuk setiap kelas masalah yang bergantung terutama pada memiliki sejumlah qubits dan gerbang tertentu. Umumnya, waktu yang dibutuhkan tumbuh secara linier dengan jumlah gerbang, sementara itu tidak tergantung pada jumlah. shots SV1umumnya lebih cepat daripada TN1 sirkuit di bawah 28qubits.

SV1bisa lebih lambat untuk qubit angka yang lebih tinggi karena sebenarnya mensimulasikan semua kemungkinan, bahkan yang sangat tidak mungkin. Ini tidak memiliki cara untuk menentukan kemungkinan hasil. Jadi, untuk 30-qubit evaluasi, SV1 harus menghitung 2^30 konfigurasi. Batas 34 qubits untuk SV1 simulator Amazon Braket adalah kendala praktis karena keterbatasan memori dan penyimpanan. Anda dapat memikirkannya seperti ini: Setiap kali Anda qubit menambahkanSV1, masalahnya menjadi dua kali lebih sulit.

Untuk banyak kelas masalah, TN1 dapat mengevaluasi sirkuit yang jauh lebih besar dalam waktu realistis daripada SV1 karena TN1 mengambil keuntungan dari struktur grafik. Ini pada dasarnya melacak evolusi solusi dari tempat awalnya dan hanya mempertahankan konfigurasi yang berkontribusi pada traversal yang efisien. Dengan kata lain, ini menyimpan konfigurasi untuk membuat urutan perkalian matriks yang menghasilkan proses evaluasi yang lebih sederhana.

SebabTN1, jumlah qubits dan gerbang penting, tetapi struktur grafik lebih penting. Misalnya, TN1 sangat baik dalam mengevaluasi sirkuit (grafik) di mana gerbang jarak pendek (yaitu, masing-masing qubit dihubungkan oleh gerbang hanya ke tetangga terdekatnyaqubits), dan sirkuit (grafik) di mana koneksi (atau gerbang) memiliki jangkauan yang sama. Rentang khas untuk TN1 adalah memiliki

masing-masing qubit berbicara hanya dengan qubits yang lain yang qubits berjarak 5. Jika sebagian besar struktur dapat didekomposisi menjadi hubungan yang lebih sederhana seperti ini, yang dapat direpresentasikan dalam matriks yang lebih banyak, lebih kecil, atau lebih seragam, TN1 lakukan evaluasi secara efisien.

Keterbatasan TN1

TN1bisa lebih lambat daripada SV1 tergantung pada kompleksitas struktural grafik. Untuk grafik tertentu, TN1 akhiri simulasi setelah tahap latihan, dan menunjukkan status, karena salah satu dari dua `FAILED` alasan ini:

- Tidak dapat menemukan jalur — Jika grafiknya terlalu rumit, terlalu sulit untuk menemukan jalur traversal yang baik dan simulator menyerah pada komputasi. TN1tidak dapat melakukan kontraksi. Anda mungkin melihat pesan kesalahan yang mirip dengan pesan ini: `No viable contraction path found.`
- Tahap kontraksi terlalu sulit — Dalam beberapa grafik, TN1 dapat menemukan jalur traversal, tetapi sangat panjang dan sangat memakan waktu untuk mengevaluasi. Dalam hal ini, kontraksi sangat mahal sehingga biayanya menjadi penghalang dan sebaliknya, TN1 keluar setelah fase latihan. Anda mungkin melihat pesan kesalahan yang mirip dengan pesan ini: `Predicted runtime based on best contraction path found exceeds TN1 limit.`

> **Note**
>
> Anda ditagih untuk tahap latihan TN1 bahkan jika kontraksi tidak dilakukan dan Anda melihat status. `FAILED`

Runtime yang diprediksi juga tergantung pada shot hitungan. Dalam skenario terburuk, waktu TN1 kontraksi tergantung secara linier pada hitungan. shot Sirkuit mungkin dapat dikontrak dengan lebih sedikitshots. Misalnya, Anda mungkin mengirimkan tugas kuantum dengan 100shots, yang TN1 memutuskan tidak dapat dikontrak, tetapi jika Anda mengirim ulang hanya dengan 10, kontraksi berlanjut. Dalam situasi ini, untuk mencapai 100 sampel, Anda dapat mengirimkan 10 tugas kuantum 10 shots untuk sirkuit yang sama dan menggabungkan hasilnya pada akhirnya.

Sebagai praktik terbaik, kami menyarankan Anda untuk selalu menguji sirkuit atau kelas sirkuit Anda dengan beberapa shots (misalnya, 10) untuk mengetahui seberapa keras sirkuit AndaTN1, sebelum Anda melanjutkan dengan jumlah yang lebih tinggishots.

> **Note**
>
> Rangkaian perkalian yang membentuk fase kontraksi dimulai dengan matriks kecil NxN. Misalnya, 2-qubit gerbang membutuhkan matriks 4x4. Matriks menengah yang diperlukan selama kontraksi yang dinilai terlalu sulit adalah yang berukuran raksasa. Komputasi tersebut akan membutuhkan waktu berhari-hari untuk menyelesaikan. Itulah sebabnya Amazon Braket tidak mencoba kontraksi yang sangat kompleks.

Konkurensi

Semua simulator Braket memberi Anda kemampuan untuk menjalankan beberapa sirkuit secara bersamaan. Batas konkurensi bervariasi menurut simulator dan wilayah. Untuk informasi selengkapnya tentang batas konkurensi, lihat halaman Kuota.

Contoh tugas kuantum di Amazon Braket

Bagian ini berjalan melalui tahapan menjalankan contoh tugas kuantum, mulai dari memilih perangkat hingga melihat hasilnya. Sebagai praktik terbaik untuk Amazon Braket, kami sarankan Anda mulai dengan menjalankan sirkuit pada simulator, seperti. SV1

Di bagian ini:

- Tentukan perangkat
- Kirimkan contoh tugas kuantum
- Kirim tugas parametris
- Tentukan shots
- Polling untuk hasil
- Contoh: Lihat hasilnya

Tentukan perangkat

Pertama, pilih dan tentukan perangkat untuk tugas kuantum Anda. Contoh ini menunjukkan bagaimana memilih simulator,SV1.

```
from braket.aws import AwsDevice
```

```
# Choose the on-demand simulator to run the circuit
device = AwsDevice("arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1")
```

Anda dapat melihat beberapa properti perangkat ini sebagai berikut:

```
print(device.name)
for iter in device.properties.action['braket.ir.jaqcd.program']:
    print(iter)
```

```
SV1
('version', ['1.0', '1.1'])
('actionType', 'braket.ir.jaqcd.program')
('supportedOperations', ['ccnot', 'cnot', 'cphaseshift', 'cphaseshift00',
 'cphaseshift01', 'cphaseshift10', 'cswap', 'cy', 'cz', 'ecr', 'h', 'i', 'iswap',
 'pswap', 'phaseshift', 'rx', 'ry', 'rz', 's', 'si', 'swap', 't', 'ti', 'unitary', 'v',
 'vi', 'x', 'xx', 'xy', 'y', 'yy', 'z', 'zz'])
('supportedResultTypes', [ResultType(name='Sample', observables=['x', 'y', 'z', 'h',
 'i', 'hermitian'], minShots=1, maxShots=100000), ResultType(name='Expectation',
 observables=['x', 'y', 'z', 'h', 'i', 'hermitian'], minShots=0, maxShots=100000),
 ResultType(name='Variance', observables=['x', 'y', 'z', 'h', 'i', 'hermitian'],
 minShots=0, maxShots=100000), ResultType(name='Probability', observables=None,
 minShots=1, maxShots=100000), ResultType(name='Amplitude', observables=None,
 minShots=0, maxShots=0)])
('disabledQubitRewiringSupported', None)
```

Kirimkan contoh tugas kuantum

Kirimkan contoh tugas kuantum untuk dijalankan di simulator sesuai permintaan.

```
from braket.circuits import Circuit, Observable

# Create a circuit with a result type
circ = Circuit().rx(0, 1).ry(1, 0.2).cnot(0, 2).variance(observable=Observable.Z(),
 target=0)
# Add another result type
circ.probability(target=[0, 2])

# Set up S3 bucket (where results are stored)
my_bucket = "amazon-braket-s3-demo-bucket"  # The name of the bucket
my_prefix = "your-folder-name"  # The name of the folder in the bucket
s3_location = (my_bucket, my_prefix)
```

```
# Submit the quantum task to run
my_task = device.run(circ, s3_location, shots=1000, poll_timeout_seconds=100,
 poll_interval_seconds=10)
# The positional argument for the S3 bucket is optional if you want to specify a bucket
 other than the default

# Get results of the quantum task
result = my_task.result()
```

`device.run()`Perintah membuat tugas kuantum melalui `CreateQuantumTask` API. Setelah waktu inisialisasi singkat, tugas kuantum diantrian sampai ada kapasitas untuk menjalankan tugas kuantum pada perangkat. Dalam hal ini, perangkatnyaSV1. Setelah perangkat menyelesaikan perhitungan, Amazon Braket menulis hasilnya ke lokasi Amazon S3 yang ditentukan dalam panggilan. Argumen posisi `s3_location` diperlukan untuk semua perangkat kecuali simulator lokal.

> **Note**
>
> Tindakan tugas kuantum Braket dibatasi hingga 5MB.

Kirim tugas parametris

Amazon Braket sesuai permintaan dan simulator lokal dan QPUs juga mendukung menentukan nilai parameter gratis pada pengiriman tugas. Anda dapat melakukan ini dengan menggunakan `inputs` argumen untuk`device.run()`, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut. `inputs`Harus berupa kamus pasangan string-float, di mana kuncinya adalah nama parameter.

Kompilasi parametrik dapat meningkatkan kinerja mengeksekusi sirkuit parametrik pada tertentu. QPUs Saat mengirimkan sirkuit parametrik sebagai tugas kuantum ke QPU yang didukung, Braket akan mengkompilasi rangkaian sekali, dan menyimpan hasilnya. Tidak ada kompilasi ulang untuk pembaruan parameter berikutnya ke sirkuit yang sama, menghasilkan runtime yang lebih cepat untuk tugas yang menggunakan sirkuit yang sama. Braket secara otomatis menggunakan data kalibrasi yang diperbarui dari penyedia perangkat keras saat menyusun sirkuit Anda untuk memastikan hasil dengan kualitas terbaik.

> **Note**
>
> Kompilasi parametrik didukung pada semua superkonduktor, berbasis gerbang QPUs dari Rigetti Computing dengan pengecualian program tingkat pulsa.

```
from braket.circuits import Circuit, FreeParameter, Observable

# Create the free parameters
alpha = FreeParameter('alpha')
beta = FreeParameter('beta')

# Create a circuit with a result type
circ = Circuit().rx(0, alpha).ry(1, alpha).cnot(0, 2).xx(0, 2, beta)
circ.variance(observable=Observable.Z(), target=0)

# Add another result type
circ.probability(target=[0, 2])

# Submit the quantum task to run
my_task = device.run(circ, inputs={'alpha': 0.1, 'beta': 0.2}, shots=100)
```

Tentukan shots

shotsArgumen mengacu pada jumlah pengukuran yang diinginkanshots. Simulator seperti SV1 mendukung dua mode simulasi.

- Untuk shots = 0, simulator melakukan simulasi yang tepat, mengembalikan nilai sebenarnya untuk semua jenis hasil. (Tidak tersedia diTN1.)
- Untuk nilai bukan nolshots, sampel simulator dari distribusi output untuk meniru shot kebisingan nyata. QPUs Perangkat QPU hanya shots mengizinkan> 0.

Untuk informasi tentang jumlah maksimum bidikan per tugas kuantum, lihat Kuota Braket.

Polling untuk hasil

Saat mengeksekusi`my_task.result()`, SDK memulai polling untuk hasil dengan parameter yang Anda tentukan pada pembuatan tugas kuantum:

- `poll_timeout_seconds`adalah jumlah detik untuk polling tugas kuantum sebelum waktu habis saat menjalankan tugas kuantum pada simulator on-demand dan atau perangkat QPU. Nilai default adalah 432,000 detik, yaitu 5 hari.
- Catatan: Untuk perangkat QPU seperti Rigetti danIonQ, kami sarankan Anda mengizinkan beberapa hari. Jika waktu jajak pendapat terlalu singkat, hasil mungkin tidak dikembalikan dalam waktu jajak pendapat. Sebagai contoh, ketika QPU tidak tersedia, kesalahan waktu habis lokal dikembalikan.

- `poll_interval_seconds`adalah frekuensi tugas kuantum yang disurvei. Ini menentukan seberapa sering Anda memanggil Braket API untuk mendapatkan status ketika tugas kuantum dijalankan pada simulator sesuai permintaan dan pada perangkat QPU. Nilai default adalah 1 detik.

Eksekusi asinkron ini memfasilitasi interaksi dengan perangkat QPU yang tidak selalu tersedia. Misalnya, perangkat mungkin tidak tersedia selama window perawatan rutin.

Hasil yang dikembalikan berisi berbagai metadata yang terkait dengan tugas kuantum. Anda dapat memeriksa hasil pengukuran dengan perintah berikut:

```
print('Measurement results:\n', result.measurements)
print('Counts for collapsed states:\n', result.measurement_counts)
print('Probabilities for collapsed states:\n', result.measurement_probabilities)
```

```
Measurement results:
 [[1 0 1]
 [0 0 0]
 [0 0 0]
 ...
 [0 0 0]
 [0 0 0]
 [1 0 1]]
Counts for collapsed states:
 Counter({'000': 766, '101': 220, '010': 11, '111': 3})
Probabilities for collapsed states:
 {'101': 0.22, '000': 0.766, '010': 0.011, '111': 0.003}
```

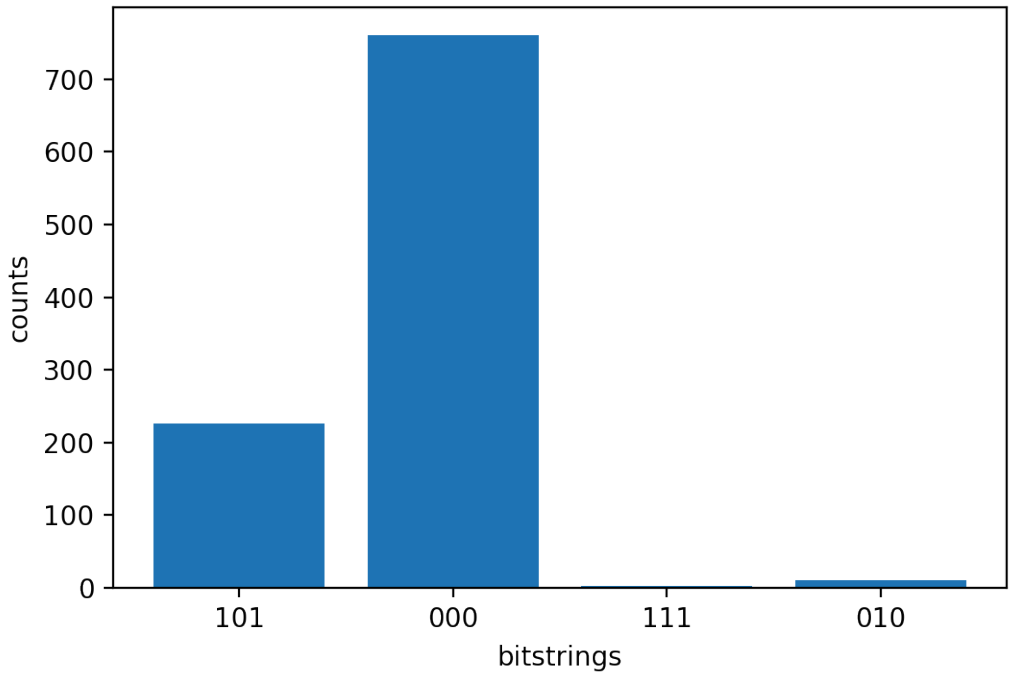
Contoh: Lihat hasilnya

Karena Anda juga telah menentukan`ResultType`, Anda dapat melihat hasil yang dikembalikan. Jenis hasil muncul dalam urutan penambahannya ke sirkuit.

```
print('Result types include:\n', result.result_types)
print('Variance=', result.values[0])
print('Probability=', result.values[1])

# Plot the result and do some analysis
import matplotlib.pyplot as plt
plt.bar(result.measurement_counts.keys(), result.measurement_counts.values())
plt.xlabel('bitstrings')
```

```
plt.ylabel('counts')
```

```
Result types include:
 [ResultTypeValue(type=Variance(observable=['z'], targets=[0], type=<Type.variance:
 'variance'>), value=0.693084), ResultTypeValue(type=Probability(targets=[0, 2],
 type=<Type.probability: 'probability'>), value=array([0.777, 0.   , 0.   , 0.223]))]
Variance= 0.693084
Probability= [0.777 0.    0.    0.223]
Text(0, 0.5, 'counts')
```



Menguji tugas kuantum dengan simulator lokal

Anda dapat mengirim tugas kuantum langsung ke simulator lokal untuk pembuatan prototipe dan pengujian cepat. Simulator ini berjalan di lingkungan lokal Anda, jadi Anda tidak perlu menentukan lokasi Amazon S3. Hasilnya dihitung langsung di sesi Anda. Untuk menjalankan tugas kuantum pada simulator lokal, Anda hanya harus menentukan shots parameternya.

> **Note**
>
> Kecepatan eksekusi dan jumlah maksimum simulator lokal qubits yang dapat diproses tergantung pada jenis instans notebook Amazon Braket, atau pada spesifikasi perangkat keras lokal Anda.

Perintah berikut semuanya identik dan membuat instance simulator lokal vektor status (bebas kebisingan).

```
# Import the LocalSimulator module
from braket.devices import LocalSimulator

# The following are identical commands
device = LocalSimulator()
device = LocalSimulator("default")
device = LocalSimulator(backend="default")
device = LocalSimulator(backend="braket_sv")
```

Kemudian jalankan tugas kuantum dengan yang berikut ini.

```
my_task = device.run(circ, shots=1000)
```

Untuk membuat instance simulator matriks kepadatan lokal (noise), pelanggan mengubah backend sebagai berikut.

```
# Import the LocalSimulator module
from braket.devices import LocalSimulator

device = LocalSimulator(backend="braket_dm")
```

Mengukur qubit tertentu pada simulator lokal

Simulator vektor keadaan lokal dan simulator matriks kepadatan lokal mendukung sirkuit yang sedang berjalan di mana subset dari qubit sirkuit dapat diukur, yang sering disebut pengukuran paral.

Misalnya, dalam kode berikut Anda dapat membuat sirkuit dua-qubit dan hanya mengukur qubit pertama dengan menambahkan `measure` instruksi dengan qubit target ke akhir rangkaian.

```
# Import the LocalSimulator module
```

```
from braket.devices import LocalSimulator

# Use the local simulator device
device = LocalSimulator()

# Define a bell circuit and only measure
circuit = Circuit().h(0).cnot(0, 1).measure(0)

# Run the circuit
task = device.run(circuit, shots=10)

# Get the results
result = task.result()

# Print the measurement counts for qubit 0
print(result.measurement_counts)
```

Emulator perangkat kuantum lokal

Dengan alat emulator lokal Amazon Braket, Anda dapat meniru program kuantum verbatim Anda secara lokal sebelum menjalankannya pada perangkat keras kuantum yang sebenarnya. Emulator menggunakan data kalibrasi perangkat untuk memvalidasi sirkuit kata demi kata, memungkinkan Anda menangkap masalah kompatibilitas lebih awal.

Selain itu, emulator lokal mensimulasikan noise perangkat keras kuantum melalui proses berikut:

- Menggunakan data kalibrasi perangkat untuk membangun model kebisingan
- Menerapkan suara depolarisasi ke setiap gerbang di sirkuit Anda
- Menerapkan kesalahan pembacaan di akhir sirkuit Anda
- Mensimulasikan sirkuit bising dengan simulator matriks kepadatan lokal

Untuk informasi selengkapnya tentang penggunaan emulator lokal, lihat Emulasi lokal untuk sirkuit kata demi kata di Amazon Braket di repositori. amazon-braket-examples GitHub

Di bagian ini:

Manfaat emulasi lokal

- Validasi sirkuit kata demi kata terhadap kendala perangkat menggunakan data kalibrasi real-time atau historis.
- Debug masalah sebelum mengirimkan tugas ke perangkat keras kuantum.
- Bandingkan emulasi tanpa suara dan bising dengan hasil perangkat keras untuk memahami efek kebisingan.
- Merampingkan alur kerja mengembangkan algoritme kuantum sadar kebisingan.

Buat emulator lokal

Emulator perangkat kuantum lokal dapat dibuat langsung dari perangkat kuantum atau satu set properti perangkat. Saat langsung meniru perangkat, emulator menggunakan data kalibrasi terbaru dari perangkat yang dipakai. Contoh kode berikut menunjukkan bagaimana untuk langsung meniru perangkat. Rigetti's Ankaa-3

```
from braket.aws.aws_device import AwsDevice

ankaa3 = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")
ankaa3_emulator = ankaa3.emulator()
```

Contoh berikut menunjukkan pembuatan emulator perangkat lokal dari sekumpulan properti Ankaa-3 perangkat dalam format JSON.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.emulation.local_emulator import LocalEmulator
import json

# Instantiate the device
ankaa3 = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")
ankaa3_properties = ankaa3.properties

# Put the Ankaa-3 properties in a file named ankaa3_device_properties.json
with open("ankaa3_device_properties.json", "w") as f:
    json.dump(ankaa3_properties.json(), f)

# Load the json into the ankaa3_data_json variable
with open("ankaa3_device_properties.json", "r") as json_file:
    ankaa3_data_json = json.load(json_file)
```

```
# Create the Ankaa-3 local emulator from the json file you created
ankaa3_emulator = LocalEmulator.from_json(ankaa3_data_json)
```

Anda dapat menyesuaikan contoh dengan:

- Menggunakan properti dari perangkat QPU yang berbeda
- Menentukan file JSON yang berbeda untuk emulator
- Mengubah nilai properti perangkat sebelum membuat instance emulator

Menjalankan tugas kuantum Anda dengan Amazon Braket

Braket menyediakan akses yang aman dan sesuai permintaan ke berbagai jenis komputer kuantum. Anda memiliki akses ke komputer kuantum berbasis gerbang dariAQT,,, dan IonQ IQMRigetti, serta Simulator Hamiltonian Analog dari. QuEra Anda juga tidak memiliki komitmen di muka, dan tidak perlu mendapatkan akses melalui penyedia individu.

- Konsol Amazon Braket menyediakan informasi dan status perangkat untuk membantu Anda membuat, mengelola, dan memantau sumber daya dan tugas kuantum Anda.
- Kirim dan jalankan tugas kuantum melalui Amazon Braket Python SDK, serta melalui konsol. SDK dapat diakses melalui notebook Amazon Braket yang telah dikonfigurasi sebelumnya.
- Amazon Braket API dapat diakses melalui Amazon Braket Python SDK dan notebook. Anda dapat melakukan panggilan langsung ke API jika Anda sedang membangun aplikasi yang bekerja dengan komputasi kuantum secara terprogram.

Contoh di seluruh bagian ini menunjukkan bagaimana Anda dapat bekerja dengan Amazon Braket API secara langsung menggunakan Amazon Braket Python SDK bersama dengan Python SDK untuk Braket (AWS Boto3).

Lebih lanjut tentang SDK Python Amazon Braket

Untuk bekerja dengan Amazon Braket Python SDK, pertama instal AWS Python SDK untuk Braket (Boto3) sehingga Anda dapat berkomunikasi dengan. AWS API Anda dapat menganggap Amazon Braket Python SDK sebagai pembungkus yang nyaman di sekitar Boto3 untuk pelanggan kuantum.

- Boto3 berisi antarmuka yang perlu Anda manfaatkan. AWS API (Perhatikan bahwa Boto3 adalah SDK Python besar yang berbicara dengan. AWS API Sebagian besar Layanan AWS mendukung antarmuka Boto3.)
- Python SDK Amazon Braket berisi modul perangkat lunak untuk sirkuit, gerbang, perangkat, jenis hasil, dan bagian lain dari tugas kuantum. Setiap kali Anda membuat program, Anda mengimpor modul yang Anda butuhkan untuk tugas kuantum itu.
- Amazon Braket Python SDK dapat diakses melalui notebook, yang sudah dimuat sebelumnya dengan semua modul dan dependensi yang Anda butuhkan untuk menjalankan tugas kuantum.
- Anda dapat mengimpor modul dari Amazon Braket Python SDK ke skrip Python apa pun jika Anda tidak ingin bekerja dengan notebook.

Setelah Anda menginstal Boto3, ikhtisar langkah-langkah untuk membuat tugas kuantum melalui SDK Python Amazon Braket menyerupai yang berikut:

1. (Opsional) Buka buku catatan Anda.
2. Impor modul SDK yang Anda butuhkan untuk sirkuit Anda.
3. Tentukan QPU atau simulator.
4. Instantiasikan sirkuit.
5. Jalankan sirkuit.
6. Kumpulkan hasilnya.

Contoh di bagian ini menunjukkan detail setiap langkah.

Untuk contoh lainnya, lihat repositori Contoh Amazon Braket di. GitHub

Di bagian ini:

- Mengirimkan tugas kuantum ke qPU
- Menjalankan beberapa program
- Kapan tugas kuantum saya akan berjalan?
- Bekerja dengan reservasi
- Teknik mitigasi kesalahan

Mengirimkan tugas kuantum ke qPU

Amazon Braket menyediakan akses ke beberapa perangkat yang dapat menjalankan tugas kuantum. Anda dapat mengirimkan tugas kuantum satu per satu atau Anda dapat mengatur batch tugas kuantum.

Unit pemrosesan kuantum (QPU)

Anda dapat mengirimkan tugas kuantum ke qPU kapan saja, tetapi tugas berjalan dalam jendela ketersediaan tertentu yang ditampilkan di halaman Perangkat konsol Amazon Braket. Anda dapat mengambil hasil tugas kuantum dengan ID tugas kuantum, yang diperkenalkan di bagian berikutnya.

- AQT IBEX-Q1 : `arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/aqt/Ibex-Q1`
- IonQ Forte-1 : `arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/ionq/Forte-1`

- IonQ Forte-Enterprise-1 : `arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/ionq/Forte-Enterprise-1`
- IQM Garnet : `arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/iqm/Garnet`
- IQM Emerald : `arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/iqm/Emerald`
- QuEra Aquila : `arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/quera/Aquila`
- Rigetti Ankaa-3 : `arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3`
- Rigetti Cepheus-1-108Q : `arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Cepheus-1-108Q`

> **Note**
>
> Anda dapat membatalkan tugas kuantum di `CREATED` negara bagian untuk QPU dan simulator sesuai permintaan. Anda dapat membatalkan tugas kuantum di `QUEUED` negara bagian dengan upaya terbaik untuk simulator dan QPU sesuai permintaan. Perhatikan bahwa tugas `QUEUED` kuantum QPU tidak mungkin berhasil dibatalkan selama jendela ketersediaan QPU.

Di bagian ini:

AQT

AQT IBEX-Q1 QPU didasarkan pada kristal ^{40} ion Ca^{+} dalam perangkap frekuensi radio makroskopik yang duduk di ruang vakum ultra-tinggi. Perangkat berjalan pada suhu kamar dan masuk ke dalam dua rak yang kompatibel dengan pusat data 19 inci.

High-fidelity gerbang diaktifkan oleh tingkat pemanasan yang rendah dari perangkap dan penggunaan transisi optik langsung untuk rotasi qubit. Transisi qubit digerakkan oleh laser linewidth sempit dengan stabilitas frekuensi relatif yang sangat tinggi. Qubit juga menampilkan persiapan dan pembacaan status yang efisien melalui rak optik. All-to-all konektivitas dicapai dengan interaksi Coulomb jarak jauh dalam kristal ion. Single-ion pengalamatan dan pembacaan dicapai dengan menggunakan lensa aperture numerik tinggi.

AQTPerangkat ini mendukung gerbang kuantum berikut.

```
'ccnot', 'cnot', 'cphaseshift', 'cphaseshift00', 'cphaseshift01', 'cphaseshift10',
 'cswap', 'swap', 'iswap', 'pswap', 'ecr', 'cy', 'cz', 'xy', 'xx', 'yy', 'zz', 'h',
 'i', 'phaseshift', 'rx', 'ry', 'rz', 's', 'si', 't', 'ti', 'v', 'vi', 'x', 'y', 'z',
 'prx'
```

Dengan kompilasi kata demi kata, AQT perangkat mendukung gerbang asli berikut.

```
'prx', 'xx', 'rz'
```

> **Note**
>
> Berikut ini menjelaskan gerbang setara antara gerbang AQT asli dan Amazon Braket:
>
> - Gerbang AQT Mølmer-Sørensen (MS atau RXX) sesuai dengan gerbang Braket `'xx'`
> - Gerbang AQT R sesuai dengan gerbang Braket `'prx'`
> - Penamaan `'rz'` gerbangnya sama

IonQ

IonQmenawarkan QPU berbasis gerbang berdasarkan teknologi perangkap ion. IonQ'sQPU ion terperangkap dibangun di atas rantai ion 171Yb+yang terperangkap yang dibatasi secara spasial melalui perangkap elektroda permukaan mikrofabrikasi di dalam ruang vakum.

IonQperangkat mendukung gerbang kuantum berikut.

```
'x', 'y', 'z', 'rx', 'ry', 'rz', 'h', 'cnot', 's', 'si', 't', 'ti', 'v', 'vi', 'xx',
 'yy', 'zz', 'swap'
```

Dengan kompilasi kata demi kata, IonQ QPU mendukung gerbang asli berikut.

```
'gpi', 'gpi2', 'ms'
```

Jika Anda hanya menentukan dua parameter fase saat menggunakan gerbang MS asli, gerbang MS yang sepenuhnya terjerat berjalan. Gerbang MS yang terjerat sepenuhnya selalu melakukan rotasi π/2. Untuk menentukan sudut yang berbeda dan menjalankan gerbang MS yang terjerat sebagian, Anda menentukan sudut yang diinginkan dengan menambahkan parameter ketiga. Untuk informasi selengkapnya, lihat modul braket.circuits.gate.

Gerbang asli ini hanya dapat digunakan dengan kompilasi kata demi kata. Untuk mempelajari lebih lanjut tentang kompilasi kata demi kata, lihat Kompilasi Verbatim.

IQM

IQMprosesor kuantum adalah perangkat model gerbang universal berdasarkan qubit transmon superkonduktor. IQM GarnetIni adalah perangkat 20-qubit, sedangkan IQM Emerald perangkat 54-qubit. Kedua perangkat ini menggunakan topologi kisi persegi, juga dikenal sebagai topologi kisi kristal.

IQMPerangkat mendukung gerbang kuantum berikut.

```
"ccnot", "cnot", "cphaseshift", "cphaseshift00", "cphaseshift01", "cphaseshift10",
 "cswap", "swap", "iswap", "pswap", "ecr", "cy", "cz", "xy", "xx", "yy", "zz", "h",
 "i", "phaseshift", "rx", "ry", "rz", "s", "si", "t", "ti", "v", "vi", "x", "y", "z"
```

Dengan kompilasi kata demi kata, IQM perangkat mendukung gerbang asli berikut.

```
'cz', 'prx'
```

Rigetti

Rigettiprosesor kuantum adalah mesin model gerbang universal yang didasarkan pada superkonduktor yang dapat disetel semua. qubits

- Ankaa-3Sistem ini adalah perangkat 84-qubit yang menggunakan teknologi multi-chip yang dapat diskalakan.
- Cepheus-1-108QSistem ini adalah perangkat 108-qubit yang menggunakan teknologi multi-chip yang dapat diskalakan.

RigettiPerangkat ini mendukung gerbang kuantum berikut.

```
'cz', 'xy', 'ccnot', 'cnot', 'cphaseshift', 'cphaseshift00', 'cphaseshift01',
 'cphaseshift10', 'cswap', 'h', 'i', 'iswap', 'phaseshift', 'pswap', 'rx', 'ry', 'rz',
 's', 'si', 'swap', 't', 'ti', 'x', 'y', 'z'
```

Dengan kompilasi kata demi kata, Ankaa-3 mendukung gerbang asli berikut.

```
'rx', 'rz', 'iswap'
```

Rigettiprosesor kuantum superkonduktor dapat menjalankan gerbang 'rx' hanya dengan sudut ±π/2 atau ±π.

Pulse-level kontrol tersedia pada perangkat Rigetti, yang mendukung satu set frame yang telah ditentukan dari jenis berikut untuk sistem. Ankaa-3

```
`flux_tx`, `charge_tx`, `readout_rx`, `readout_tx`
```

Ankaa-3Perangkat ini memiliki batas maksimum 20.000 gerbang per sirkuit. Sirkuit yang melebihi batas ini ditolak dengan kesalahan validasi. Ini adalah batas tetap yang tidak dapat ditingkatkan. Hitungan gerbang mengacu pada sirkuit yang dikompilasi, yang mungkin berbeda dari jumlah gerbang dari sirkuit asli yang belum dikompilasi. Untuk memperkirakan jumlah gerbang yang dikompilasi sebelum mengirimkan ke QPU, Anda dapat menggunakan kompilasi kata demi kata secara lokal atau mengubah sirkuit Anda ke set gerbang asli (,,). `rx` `rz` `iswap`

QuEra

QuEramenawarkan perangkat berbasis atom netral yang dapat menjalankan tugas kuantum Analog Hamiltonian Simulation (AHS). Perangkat tujuan khusus ini dengan setia mereproduksi dinamika kuantum yang bergantung pada waktu dari ratusan qubit yang berinteraksi secara bersamaan.

Seseorang dapat memprogram perangkat ini dalam paradigma Simulasi Hamiltonian Analog dengan menentukan tata letak register qubit dan ketergantungan temporal dan spasial dari bidang manipulasi. Amazon Braket menyediakan utilitas untuk membangun program tersebut melalui modul AHS dari python SDK,. `braket.ahs`

Untuk informasi lebih lanjut, lihat contoh buku catatan Simulasi Hamiltonian Analog atau halaman Kirim program analog menggunakan halaman Aquila. QuEra

Contoh: Mengirimkan tugas kuantum ke QPU

Amazon Braket mengizinkan Anda untuk menjalankan sirkuit kuantum pada perangkat QPU. Contoh berikut menunjukkan cara mengirimkan tugas kuantum ke Rigetti atau IonQ perangkat.

Pilih Rigetti Ankaa-3 perangkat, lalu lihat grafik konektivitas terkait

```
# import the QPU module
from braket.aws import AwsDevice
# choose the Rigetti device
device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3")

# take a look at the device connectivity graph
device.properties.dict()['paradigm']['connectivity']
```

```
{'fullyConnected': False,
 'connectivityGraph': {'0': ['1', '7'],
  '1': ['0', '2', '8'],
  '2': ['1', '3', '9'],
  '3': ['2', '4', '10'],
  '4': ['3', '5', '11'],
  '5': ['4', '6', '12'],
  '6': ['5', '13'],
  '7': ['0', '8', '14'],
  '8': ['1', '7', '9', '15'],
  '9': ['2', '8', '10', '16'],
  '10': ['3', '9', '11', '17'],
  '11': ['4', '10', '12', '18'],
  '12': ['5', '11', '13', '19'],
  '13': ['6', '12', '20'],
  '14': ['7', '15', '21'],
  '15': ['8', '14', '22'],
  '16': ['9', '17', '23'],
  '17': ['10', '16', '18', '24'],
  '18': ['11', '17', '19', '25'],
  '19': ['12', '18', '20', '26'],
  '20': ['13', '19', '27'],
  '21': ['14', '22', '28'],
  '22': ['15', '21', '23', '29'],
  '23': ['16', '22', '24', '30'],
  '24': ['17', '23', '25', '31'],
  '25': ['18', '24', '26', '32'],
  '26': ['19', '25', '33'],
```

```
    '27': ['20', '34'],
    '28': ['21', '29', '35'],
    '29': ['22', '28', '30', '36'],
    '30': ['23', '29', '31', '37'],
    '31': ['24', '30', '32', '38'],
    '32': ['25', '31', '33', '39'],
    '33': ['26', '32', '34', '40'],
    '34': ['27', '33', '41'],
    '35': ['28', '36', '42'],
    '36': ['29', '35', '37', '43'],
    '37': ['30', '36', '38', '44'],
    '38': ['31', '37', '39', '45'],
    '39': ['32', '38', '40', '46'],
    '40': ['33', '39', '41', '47'],
    '41': ['34', '40', '48'],
    '42': ['35', '43', '49'],
    '43': ['36', '42', '44', '50'],
    '44': ['37', '43', '45', '51'],
    '45': ['38', '44', '46', '52'],
    '46': ['39', '45', '47', '53'],
    '47': ['40', '46', '48', '54'],
    '48': ['41', '47', '55'],
    '49': ['42', '56'],
    '50': ['43', '51', '57'],
    '51': ['44', '50', '52', '58'],
    '52': ['45', '51', '53', '59'],
    '53': ['46', '52', '54'],
    '54': ['47', '53', '55', '61'],
    '55': ['48', '54', '62'],
    '56': ['49', '57', '63'],
    '57': ['50', '56', '58', '64'],
    '58': ['51', '57', '59', '65'],
    '59': ['52', '58', '60', '66'],
    '60': ['59'],
    '61': ['54', '62', '68'],
    '62': ['55', '61', '69'],
    '63': ['56', '64', '70'],
    '64': ['57', '63', '65', '71'],
    '65': ['58', '64', '66', '72'],
    '66': ['59', '65', '67'],
    '67': ['66', '68'],
    '68': ['61', '67', '69', '75'],
    '69': ['62', '68', '76'],
    '70': ['63', '71', '77'],
```

```
  '71': ['64', '70', '72', '78'],
  '72': ['65', '71', '73', '79'],
  '73': ['72', '80'],
  '75': ['68', '76', '82'],
  '76': ['69', '75', '83'],
  '77': ['70', '78'],
  '78': ['71', '77', '79'],
  '79': ['72', '78', '80'],
  '80': ['73', '79', '81'],
  '81': ['80', '82'],
  '82': ['75', '81', '83'],
  '83': ['76', '82']}}
```

Kamus sebelumnya `connectivityGraph` mencantumkan qubit tetangga untuk setiap qubit di perangkat. Rigetti

Pilih IonQ Forte-Enterprise-1 perangkat

Untuk IonQ Forte-Enterprise-1 perangkat, kosong, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut, karena perangkat menawarkan konektivitas all-to-all. `connectivityGraph` Oleh karena itu, `connectivityGraph` rinci tidak diperlukan.

```
# or choose the IonQ Forte-Enterprise-1 device
device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/ionq/Forte-Enterprise-1")

# take a look at the device connectivity graph
device.properties.dict()['paradigm']['connectivity']
```

```
{'fullyConnected': True, 'connectivityGraph': {...}}
```

Seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut, Anda memiliki opsi untuk menyesuaikan shots (default=1000), `poll_timeout_seconds` (default = 432000 = 5 hari), `poll_interval_seconds` (default = 1), dan lokasi bucket S3 (`s3_location`) tempat hasil Anda akan disimpan jika Anda memilih untuk menentukan lokasi selain bucket default.

```
my_task = device.run(circ, s3_location = 'amazon-braket-my-folder', shots=100,
 poll_timeout_seconds = 100, poll_interval_seconds = 10)
```

RigettiPerangkat IonQ dan mengkompilasi sirkuit yang disediakan ke dalam set gerbang asli masing-masing secara otomatis, dan mereka memetakan qubit indeks abstrak ke fisik qubits pada QPU masing-masing.

> **Note**
>
> Perangkat QPU memiliki kapasitas terbatas. Anda dapat mengharapkan waktu tunggu lebih lama saat kapasitas tercapai.

Amazon Braket dapat menjalankan tugas kuantum QPU dalam jendela ketersediaan tertentu, tetapi Anda masih dapat mengirimkan tugas kuantum kapan saja (24/7) karena semua data dan metadata yang sesuai disimpan dengan andal di bucket S3 yang sesuai. Seperti yang ditunjukkan di bagian berikutnya, Anda dapat memulihkan tugas kuantum Anda menggunakan `AwsQuantumTask` dan ID tugas kuantum unik Anda.

Memeriksa sirkuit yang dikompilasi

Ketika sirkuit kuantum perlu dijalankan pada perangkat keras, seperti unit pemrosesan kuantum (QPU), sirkuit harus terlebih dahulu dikompilasi ke dalam format yang dapat diterima yang dapat dipahami dan diproses oleh perangkat. Misalnya, transpiling sirkuit kuantum tingkat tinggi ke gerbang asli tertentu yang didukung oleh perangkat keras QPU target. Memeriksa output kompilasi aktual dari sirkuit kuantum bisa sangat berguna untuk tujuan debugging dan optimasi. Pengetahuan ini dapat membantu mengidentifikasi potensi masalah, kemacetan, atau peluang untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi aplikasi kuantum. Anda dapat melihat dan menganalisis output yang dikompilasi dari sirkuit kuantum Anda untuk keduanya Rigetti dan perangkat komputasi IQM kuantum menggunakan kode yang disediakan di bawah ini.

```
task = AwsQuantumTask(arn=task_id, aws_session=session)
# After the task has finished running
task_result = task.result()
compiled_circuit = task_result.get_compiled_circuit()
```

> **Note**
>
> Saat ini, melihat output sirkuit yang dikompilasi untuk IonQ perangkat tidak didukung.

Menjalankan beberapa program

Amazon Braket menawarkan dua pendekatan untuk menjalankan beberapa program kuantum secara efisien: Kumpulan program dan batch tugas kuantum.

Set program adalah cara yang lebih disukai untuk menjalankan beban kerja dengan beberapa program. Mereka memungkinkan Anda untuk mengemas beberapa program ke dalam satu tugas kuantum Amazon Braket. Set program memberikan peningkatan kinerja dan penghematan biaya dibandingkan dengan mengirimkan program secara individual, terutama ketika jumlah eksekusi program mendekati 100.

Saat ini, IQM dan Rigetti perangkat mendukung set program. Sebelum mengirimkan set program ke QPU, disarankan untuk menguji pada Simulator Lokal Amazon Braket terlebih dahulu. Untuk memeriksa apakah perangkat mendukung set program, Anda dapat melihat properti perangkat menggunakan Amazon Braket SDK atau melihat halaman perangkat di Amazon Braket Console.

Contoh berikut menunjukkan bagaimana menjalankan program set.

```
from math import pi
from braket.devices import LocalSimulator
from braket.program_sets import ProgramSet
from braket.circuits import Circuit

program_set = ProgramSet([
    Circuit().h(0).cnot(0,1),
    Circuit().rx(0, pi/4).ry(1, pi/8).cnot(1,0),
    Circuit().t(0).t(1).cz(0,1).s(0).cz(1,2).s(1).s(2),
])

device = LocalSimulator()
result = device.run(program_set, shots=300).result()
print(result[0][0].counts)  # The result of the first program in the program set
```

Untuk mempelajari lebih lanjut tentang berbagai cara membangun kumpulan program (Misalnya, membuat set program dari banyak observable atau parameter dengan satu program) dan mengambil hasil set program, lihat bagian set program di Panduan Pengembang Amazon Braket dan folder set program di repositori Github contoh Braket.

Pengumpulan tugas kuantum tersedia di setiap perangkat Amazon Braket. Batching sangat berguna untuk tugas kuantum yang Anda jalankan pada simulator sesuai permintaan (SV1, DM1 atauTN1) karena mereka dapat memproses beberapa tugas kuantum secara paralel. Batching memungkinkan Anda untuk meluncurkan tugas kuantum secara paralel. Misalnya, jika Anda ingin membuat perhitungan yang membutuhkan 10 tugas kuantum dan program dalam tugas kuantum tersebut tidak tergantung satu sama lain, disarankan untuk menggunakan pengelompokan tugas. Gunakan

pengelompokan tugas kuantum saat menjalankan beban kerja dengan beberapa program pada perangkat yang tidak mendukung set program.

Contoh berikut menunjukkan bagaimana menjalankan batch tugas kuantum.

```
from braket.circuits import Circuit
from braket.devices import LocalSimulator

bell = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
circuits = [bell for _ in range(5)]

device = LocalSimulator()
batch = device.run_batch(circuits, shots=100)
print(batch.results()[0].measurement_counts)  # The result of the first quantum task in
 the batch
```

Untuk informasi lebih spesifik tentang batching, lihat contoh Amazon Braket di. GitHub

Di bagian ini:

- Tentang set program dan biaya
- Tentang pengelompokan tugas kuantum dan biaya
- Pengelompokan tugas kuantum dan PennyLane
- Pengelompokan tugas dan sirkuit parametris

Tentang set program dan biaya

Set program secara efisien menjalankan beberapa program kuantum dengan mengemas hingga 100 program atau set parameter ke dalam satu tugas kuantum. Dengan set program, Anda hanya membayar satu biaya per tugas ditambah biaya per tembakan berdasarkan total tembakan di semua program, secara signifikan mengurangi biaya dibandingkan dengan mengirimkan program secara individual. Pendekatan ini sangat bermanfaat untuk beban kerja dengan banyak program dan dengan jumlah tembakan per program yang rendah. Set program saat ini didukung pada IQM dan Rigetti perangkat, serta Simulator Lokal Amazon Braket.

Untuk informasi selengkapnya, lihat bagian Set program untuk langkah-langkah implementasi terperinci, praktik terbaik, dan contoh kode.

Tentang pengelompokan tugas kuantum dan biaya

Beberapa peringatan yang perlu diingat mengenai biaya batching dan penagihan tugas kuantum:

- Secara default, pengelompokan tugas kuantum mencoba ulang sepanjang waktu atau gagal tugas kuantum 3 kali.
- Sejumlah tugas kuantum yang berjalan lama, seperti 34 qubits untukSV1, dapat menimbulkan biaya besar. Pastikan untuk memeriksa ulang nilai `run_batch` penetapan dengan hati-hati sebelum Anda memulai serangkaian tugas kuantum. Kami tidak merekomendasikan menggunakan TN1 dengan`run_batch`.
- TN1dapat menimbulkan biaya untuk tugas fase latihan yang gagal (lihat deskripsi TN1 untuk informasi lebih lanjut). Percobaan ulang otomatis dapat menambah biaya sehingga kami merekomendasikan pengaturan jumlah 'max_retries' pada batching ke 0 saat menggunakan TN1 (lihat Quantum Task Batching, Line 186).

Pengelompokan tugas kuantum dan PennyLane

Manfaatkan batching saat Anda menggunakan PennyLane di Amazon Braket dengan `parallel = True` menyetel saat Anda membuat instance perangkat Amazon Braket, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

```
import pennylane as qml

# Define the number of wires (qubits) you want to use
wires = 2  # For example, using 2 qubits

# Define your S3 bucket
my_bucket = "amazon-braket-s3-demo-bucket"
my_prefix = "pennylane-batch-output"
s3_folder = (my_bucket, my_prefix)

device = qml.device("braket.aws.qubit",
                    device_arn="arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1",
                    wires=wires,
                    s3_destination_folder=s3_folder,
                    parallel=True)
```

Untuk informasi lebih lanjut tentang batching dengan PennyLane, lihat Optimalisasi paralel sirkuit kuantum.

Pengelompokan tugas dan sirkuit parametris

Saat mengirimkan batch tugas kuantum yang berisi sirkuit parametris, Anda dapat menyediakan `inputs` kamus, yang digunakan untuk semua tugas kuantum dalam batch, atau kamus input, dalam hal ini kamus -th dipasangkan dengan tugas `i` -th, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut`i`. `list`

```
from braket.circuits import Circuit, FreeParameter, Observable
from braket.aws import AwsQuantumTaskBatch, AwsDevice

# Define your quantum device
device = AwsDevice("arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1")

# Create the free parameters
alpha = FreeParameter('alpha')
beta = FreeParameter('beta')

# Create two circuits
circ_a = Circuit().rx(0, alpha).ry(1, alpha).cnot(0, 2).xx(0, 2, beta)
circ_a.variance(observable=Observable.Z(), target=0)

circ_b = Circuit().rx(0, alpha).rz(1, alpha).cnot(0, 2).zz(0, 2, beta)
circ_b.expectation(observable=Observable.Z(), target=2)

# Use the same inputs for both circuits in one batch
tasks = device.run_batch([circ_a, circ_b], inputs={'alpha': 0.1, 'beta': 0.2})

# Or provide each task its own set of inputs
inputs_list = [{'alpha': 0.3, 'beta': 0.1}, {'alpha': 0.1, 'beta': 0.4}]

tasks = device.run_batch([circ_a, circ_b], inputs=inputs_list)
```

Anda juga dapat menyiapkan daftar kamus input untuk rangkaian parametrik tunggal dan mengirimkannya sebagai kumpulan tugas kuantum. Jika ada kamus masukan N dalam daftar, batch berisi N tugas kuantum. Tugas kuantum `i` ke--sesuai dengan rangkaian yang dijalankan dengan kamus masukan `i` ke--th.

```
from braket.circuits import Circuit, FreeParameter

# Create a parametric circuit
circ = Circuit().rx(0, FreeParameter('alpha'))
```

```
# Provide a list of inputs to execute with the circuit
inputs_list = [{'alpha': 0.1}, {'alpha': 0.2}, {'alpha': 0.3}]

tasks = device.run_batch(circ, inputs=inputs_list, shots=100)
```

Kapan tugas kuantum saya akan berjalan?

Ketika Anda mengirimkan sebuah sirkuit, Amazon Braket mengirimkannya ke perangkat yang Anda tentukan. Quantum Processing Unit (QPU) dan tugas kuantum simulator sesuai permintaan diantrian dan diproses sesuai urutan penerimaannya. Waktu yang diperlukan untuk memproses tugas kuantum Anda setelah Anda mengirimkannya bervariasi tergantung pada jumlah dan kompleksitas tugas yang diajukan oleh pelanggan Amazon Braket lainnya dan ketersediaan QPU yang dipilih.

Di bagian ini:

- Windows dan status ketersediaan QPU
- Visibilitas antrian
- Mengatur notifikasi email atau SMS

Windows dan status ketersediaan QPU

Ketersediaan QPU bervariasi dari perangkat ke perangkat.

Di halaman Perangkat konsol Amazon Braket, Anda dapat melihat jendela ketersediaan saat ini dan yang akan datang serta status perangkat. Selain itu, setiap halaman perangkat menunjukkan kedalaman antrian individu untuk tugas kuantum dan pekerjaan hibrida.

Perangkat dianggap offline jika tidak tersedia untuk pelanggan, terlepas dari window ketersediaan. Misalnya, ini mungkin offline karena masalah pemeliharaan terjadwal, upgrade, atau operasional.

Visibilitas antrian

Sebelum mengirimkan tugas kuantum atau pekerjaan hibrida, Anda dapat melihat berapa banyak tugas kuantum atau pekerjaan hibrida di depan Anda dengan memeriksa kedalaman antrian perangkat.

Kedalaman antrian

Queue depthmengacu pada jumlah tugas kuantum dan pekerjaan hibrida yang diantrian untuk perangkat tertentu. Tugas kuantum perangkat dan jumlah antrian pekerjaan hibrida dapat diakses melalui Braket Software Development Kit (SDK) atauAmazon Braket Management Console.

1. Kedalaman antrian tugas mengacu pada jumlah total tugas kuantum yang saat ini menunggu untuk dijalankan dalam prioritas normal.
2. Kedalaman antrian tugas prioritas mengacu pada jumlah total tugas kuantum yang dikirimkan yang menunggu untuk dijalankan. Amazon Braket Hybrid Jobs Tugas-tugas ini berjalan sebelum tugas mandiri.
3. Kedalaman antrian pekerjaan hibrida mengacu pada jumlah total pekerjaan hibrida yang saat ini mengantri di perangkat. Quantum tasksdiajukan sebagai bagian dari pekerjaan hibrida memiliki prioritas, dan digabungkan dalam. Priority Task Queue

Pelanggan yang ingin melihat kedalaman antrian melalui Braket SDK dapat memodifikasi cuplikan kode berikut untuk mendapatkan posisi antrian tugas kuantum atau pekerjaan hibrida mereka:

```
device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/ionq/Forte-Enterprise-1")

# returns the number of quantum tasks queued on the device
print(device.queue_depth().quantum_tasks)
{<QueueType.NORMAL: 'Normal'>: '0', <QueueType.PRIORITY: 'Priority'>: '0'}


# returns the number of hybrid jobs queued on the device
print(device.queue_depth().jobs)
'3'
```

Mengirimkan tugas kuantum atau pekerjaan hibrida ke QPU dapat mengakibatkan beban kerja Anda berada dalam keadaan. `QUEUED` Amazon Braket memberikan visibilitas pelanggan ke tugas kuantum dan posisi antrian pekerjaan hibrida mereka.

Posisi antrian

Queue positionmengacu pada posisi tugas kuantum Anda saat ini atau pekerjaan hibrida dalam antrian perangkat masing-masing. Ini dapat diperoleh untuk tugas-tugas kuantum atau pekerjaan hibrida melalui Braket Software Development Kit (SDK) atauAmazon Braket Management Console.

Pelanggan yang ingin melihat posisi antrian melalui Braket SDK dapat memodifikasi cuplikan kode berikut untuk mendapatkan posisi antrian tugas kuantum atau pekerjaan hibrida mereka:

```
# choose the device to run your circuit
device = AwsDevice("arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/iqm/Garnet")

#execute the circuit
task = device.run(bell, s3_folder, shots=100)

# retrieve the queue position information
print(task.queue_position().queue_position)

# Returns the number of Quantum Tasks queued ahead of you
'2'


from braket.aws import AwsQuantumJob

job = AwsQuantumJob.create(
    "arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/iqm/Garnet",
    source_module="algorithm_script.py",
    entry_point="algorithm_script:start_here",
    wait_until_complete=False
)

# retrieve the queue position information
print(job.queue_position().queue_position)
'3' # returns the number of hybrid jobs queued ahead of you
```

Mengatur notifikasi email atau SMS

Amazon Braket mengirimkan peristiwa ke Amazon EventBridge ketika ketersediaan QPU berubah atau ketika status tugas kuantum Anda berubah. Ikuti langkah-langkah ini untuk menerima pemberitahuan perubahan status tugas perangkat dan kuantum melalui email atau pesan SMS:

1. Buat topik Amazon SNS dan berlangganan ke email atau SMS. Ketersediaan email atau SMS tergantung pada Wilayah Anda. Untuk informasi selengkapnya, lihat Memulai Amazon SNS dan Mengirim pesan SMS.
2. Buat aturan EventBridge yang memicu notifikasi ke topik SNS Anda. Untuk informasi selengkapnya, lihat Memantau Amazon Braket dengan Amazon. EventBridge

(Opsional) Siapkan notifikasi SNS

Anda dapat mengatur notifikasi melalui Amazon Simple Notification Service (SNS) sehingga Anda menerima peringatan saat tugas kuantum Amazon Braket Anda selesai. Pemberitahuan aktif berguna jika Anda mengharapkan waktu tunggu yang lama; misalnya, saat Anda mengirimkan tugas kuantum besar atau saat Anda mengirimkan tugas kuantum di luar jendela ketersediaan perangkat. Jika Anda tidak ingin menunggu tugas kuantum selesai, Anda dapat mengatur pemberitahuan SNS.

Notebook Amazon Braket memandu Anda melalui langkah-langkah pengaturan. Untuk informasi selengkapnya, lihat contoh Amazon Braket GitHub dan, khususnya, buku catatan contoh untuk menyiapkan notifikasi.

Bekerja dengan reservasi

Reservasi memberi Anda akses eksklusif ke perangkat kuantum pilihan Anda. Anda dapat menjadwalkan reservasi sesuai keinginan Anda, sehingga Anda tahu persis kapan beban kerja Anda dimulai dan berakhir eksekusi. Pemesanan tersedia dalam kenaikan 1 jam untuk semua perangkat Braket dan dapat dibatalkan hingga 48 jam sebelumnya, tanpa biaya tambahan. Kami merekomendasikan antrian tugas kuantum dan pekerjaan hibrida untuk reservasi yang akan datang sebelumnya, menggunakan ARN Reservasi Langsung Braket Anda, atau mengirimkan beban kerja selama reservasi Anda.

Biaya akses perangkat khusus didasarkan pada durasi reservasi Anda, terlepas dari berapa banyak tugas kuantum dan pekerjaan hibrida yang Anda jalankan di unit pemrosesan kuantum (QPU). Daftar terbaru komputer kuantum yang tersedia untuk pemesanan dapat ditemukan di halaman harga kami atau melalui konsol manajemen Amazon Braket.

> **Note**
>
> Dalam reservasi, tidak ada batas gateshot. Selain itu, untuk IonQ perangkat, jumlah tembakan minimum untuk tugas mitigasi Kesalahan dikurangi menjadi 500 (vs. 2500 untuk on-demand).

Kapan menggunakan reservasi

Memanfaatkan akses reservasi memberi Anda kenyamanan dan prediktabilitas untuk mengetahui dengan tepat kapan beban kerja kuantum Anda dimulai dan berakhir eksekusi. Dibandingkan dengan

mengirimkan tugas dan pekerjaan hibrida sesuai permintaan, Anda tidak perlu menunggu dalam antrian dengan tugas pelanggan lainnya. Karena Anda memiliki akses eksklusif ke perangkat selama reservasi, hanya beban kerja Anda yang berjalan di perangkat untuk keseluruhan reservasi.

Sebaiknya gunakan akses sesuai permintaan untuk fase desain dan pembuatan prototipe penelitian Anda, memungkinkan iterasi algoritme Anda yang cepat dan hemat biaya. Setelah Anda siap untuk menghasilkan hasil percobaan akhir, pertimbangkan untuk menjadwalkan reservasi perangkat sesuai keinginan Anda untuk memastikan bahwa Anda dapat memenuhi tenggat waktu proyek atau publikasi. Kami juga merekomendasikan penggunaan reservasi saat Anda menginginkan eksekusi tugas selama waktu tertentu, seperti saat Anda menjalankan demo langsung atau lokakarya di komputer kuantum.

Di bagian ini:

Cara membuat reservasi

Untuk membuat reservasi, hubungi tim Braket dengan mengikuti langkah-langkah berikut:

1. Buka konsol Amazon Braket.
2. Pilih Braket Direct di panel kiri, lalu di bagian Reservasi, pilih Perangkat cadangan.
3. Pilih Perangkat yang ingin Anda pesan.
4. Berikan informasi kontak Anda termasuk Nama dan Email. Pastikan untuk memberikan alamat email yang valid yang Anda periksa secara teratur.
5. Di bawah Beri tahu kami tentang beban kerja Anda, berikan detail apa pun tentang beban kerja yang harus dijalankan menggunakan reservasi Anda. Misalnya, panjang reservasi yang diinginkan, kendala yang relevan, atau jadwal yang diinginkan.

Setelah Anda mengirimkan formulir, Anda menerima email dari tim Braket dengan langkah selanjutnya. Setelah reservasi Anda dikonfirmasi, Anda akan menerima ARN reservasi melalui email Anda. Anda akan perlu untuk menggunakan ARN reservasi untuk membuat tugas reservasi. Tugas

yang dibuat tanpa reservasi ARN akan diserahkan ke antrian sesuai permintaan reguler dan TIDAK akan berjalan selama reservasi Anda.

> **Note**
>
> Reservasi Anda hanya dikonfirmasi setelah Anda menerima ARN reservasi.

Reservasi tersedia dalam kenaikan minimal 1 jam dan perangkat tertentu mungkin memiliki batasan lama reservasi tambahan (termasuk durasi reservasi minimum dan maksimum). Tim Braket membagikan informasi yang relevan dengan Anda sebelum mengonfirmasi reservasi.

Tim Braket akan menghubungi Anda melalui email Anda untuk mengatur sesi 30 menit dengan ahli Braket.

Menjalankan tugas kuantum selama reservasi

Setelah mendapatkan ARN reservasi yang valid dari Buat reservasi, Anda dapat membuat tugas kuantum untuk dijalankan selama reservasi. Tugas kuantum dan pekerjaan hybrid yang dikirimkan dengan reservasi ARN tidak akan muncul dalam antrian perangkat. Tugas yang diajukan sebelum waktu mulai reservasi akan tetap berada di `QUEUED` negara bagian sampai reservasi Anda dimulai.

> **Note**
>
> Reservasi bersifat khusus untuk AWS akun dan perangkat. Hanya AWS akun yang membuat reservasi yang dapat menggunakan ARN reservasi Anda.
> Selama reservasi, reservasi dan tugas reguler dapat dibuat. Untuk memverifikasi bahwa tugas kuantum Braket yang dibuat dikaitkan dengan reservasi, periksa bidang “ARN Reservasi” pada halaman tugas kuantum di konsol Braket, atau kueri bidang yang sama di metadata tugas menggunakan SDK. Sisa halaman ini menjelaskan cara menentukan tugas mana yang terkait dengan reseravasi.

Anda dapat membuat tugas kuantum menggunakan Python SDKs seperti Braket,, CUDA-Q, PennyLaneQiskit, atau langsung dengan boto3 (Bekerja dengan Boto3). Untuk menggunakan reservasi, Anda harus memiliki versi v1.79.0 atau lebih tinggi dari Amazon Braket. Python SDK Anda dapat memperbarui ke Braket SDK, Qiskit penyedia dan PennyLane plugin terbaru dengan kode berikut.

```
pip install --upgrade amazon-braket-sdk amazon-braket-pennylane-plugin qiskit-braket-
provider
```

Jalankan tugas dengan manajer **`DirectReservation`** konteks

Cara yang disarankan untuk menjalankan tugas dalam reservasi terjadwal Anda adalah dengan menggunakan pengelola `DirectReservation` konteks. Dengan menentukan perangkat target dan ARN reservasi Anda, manajer konteks memastikan bahwa semua tugas yang dibuat dalam pernyataan `with` Python dijalankan dengan akses eksklusif ke perangkat.

Pertama, tentukan sirkuit kuantum dan perangkat. Kemudian gunakan konteks reservasi dan jalankan tugas. Pastikan seluruh beban kerja Anda dijalankan di dalam **`with`** blok; apa pun yang berjalan di luar cakupan **`with`** blok tidak akan dikaitkan dengan reservasi Anda!

```
from braket.aws import AwsDevice, DirectReservation
from braket.circuits import Circuit
from braket.devices import Devices

bell = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
device = AwsDevice(Devices.IonQ.ForteEnterprise1)

# run the circuit in a reservation
with DirectReservation(device, reservation_arn="<my_reservation_arn>"):
    task = device.run(bell, shots=100)
```

Anda dapat membuat tugas kuantum dalam reservasi menggunakan CUDA-QPennyLane,, dan Qiskit plugin, selama `DirectReservation` konteksnya aktif saat membuat tugas kuantum. Misalnya, dengan Qiskit-Braket penyedia, Anda dapat menjalankan tugas sebagai berikut.

```
from braket.devices import Devices
from braket.aws import DirectReservation
from qiskit import QuantumCircuit
from qiskit_braket_provider import BraketProvider


qc = QuantumCircuit(2)
qc.h(0)
qc.cx(0, 1)

qpu = BraketProvider().get_backend("Forte Enterprise 1")
```

```
# run the circuit in a reservation
with DirectReservation(Devices.IonQ.ForteEnterprise1,
 reservation_arn="<my_reservation_arn>"):
    qpu_task = qpu.run(qc, shots=10)
```

Demikian pula, kode berikut menjalankan sirkuit selama reservasi menggunakan Braket-PennyLane plugin.

```
from braket.devices import Devices
from braket.aws import DirectReservation
import pennylane as qml


dev = qml.device("braket.aws.qubit", device_arn=Devices.IonQ.ForteEnterprise1.value,
 wires=2, shots=10)

@qml.qnode(dev)
def bell_state():
    qml.Hadamard(wires=0)
    qml.CNOT(wires=[0, 1])
    return qml.probs(wires=[0, 1])

# run the circuit in a reservation
with DirectReservation(Devices.IonQ.ForteEnterprise1,
 reservation_arn="<my_reservation_arn>"):
    probs = bell_state()
```

Mengatur konteks reservasi secara manual

Atau, Anda dapat mengatur konteks reservasi secara manual dengan kode berikut.

```
# set reservation context
reservation_context = DirectReservation(device,
 reservation_arn="<my_reservation_arn>").start()

# run circuit during reservation
task = device.run(bell, shots=100)
```

Ini sangat ideal untuk notebook Jupyter di mana konteksnya dapat dijalankan di sel pertama dan semua tugas berikutnya akan berjalan di reservasi.

> **Note**
>
> Sel yang berisi `.start()` panggilan hanya boleh dijalankan sekali.

Untuk beralih kembali ke mode sesuai permintaan: Mulai ulang notebook Jupyter, atau hubungi yang berikut ini untuk mengubah konteks kembali ke mode sesuai permintaan.

```
reservation_context.stop()  # unset reservation context
```

> **Note**
>
> Reservasi memiliki waktu mulai dan berakhir yang telah ditentukan sebelumnya (lihat Membuat reservasi). `reservation_context.stop()`Metode `reservation_context.start()` dan tidak memulai atau mengakhiri reservasi. Sebaliknya, saat konteksnya aktif, tugas kuantum apa pun yang Anda buat akan dikaitkan dengan reservasi Anda, dan hanya akan berjalan selama reservasi terjadwal Anda. Konteks reservasi tidak berpengaruh pada waktu reservasi yang dijadwalkan.

Secara eksplisit lulus ARN reservasi saat membuat tugas

Cara lain untuk membuat tugas selama reservasi adalah dengan secara eksplisit melewati ARN reservasi saat menelepon. `device.run()`

```
task = device.run(bell, shots=100, reservation_arn="<my_reservation_arn>")
```

Metode ini secara langsung mengaitkan tugas kuantum dengan ARN reservasi, memastikannya berjalan selama periode cadangan. Untuk opsi ini, tambahkan ARN reservasi ke setiap tugas yang Anda rencanakan untuk dijalankan selama reservasi. Namun, perhatikan bahwa saat menggunakan pustaka pihak ketiga seperti Qiskit atauPennyLane, mungkin sulit untuk memastikan bahwa tugas yang dikirimkan menggunakan ARN reservasi yang benar. Untuk alasan ini, disarankan menggunakan manajer DirectReservation konteks.

Saat langsung menggunakan boto3, lewati ARN reservasi sebagai asosiasi saat membuat tugas.

```
import boto3
```

```
braket_client = boto3.client("braket")


kwargs["associations"] = [
    {
        "arn": "<my_reservation_arn>",
        "type": "RESERVATION_TIME_WINDOW_ARN",
    }
]

response = braket_client.create_quantum_task(**kwargs)
```

Menjalankan pekerjaan hybrid selama reservasi

Setelah Anda memiliki fungsi Python untuk dijalankan sebagai pekerjaan hybrid, Anda dapat menjalankan pekerjaan hybrid dalam reservasi dengan meneruskan argumen `reservation_arn` kata kunci. Semua tugas dalam pekerjaan hybrid menggunakan ARN reservasi. Yang penting, pekerjaan hybrid dengan `reservation_arn` hanya memutar komputasi klasik setelah reservasi Anda dimulai.

> **Note**
>
> Pekerjaan hybrid yang berjalan selama reservasi hanya berhasil menjalankan tugas kuantum pada perangkat yang dipesan. Mencoba menggunakan perangkat Braket sesuai permintaan yang berbeda akan menghasilkan kesalahan. Jika Anda perlu menjalankan tugas pada simulator sesuai permintaan dan perangkat yang dipesan dalam pekerjaan hibrida yang sama, gunakan `DirectReservation` sebagai gantinya.

Kode berikut menunjukkan cara menjalankan pekerjaan hybrid selama reservasi.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.devices import Devices
from braket.jobs import get_job_device_arn, hybrid_job

@hybrid_job(device=Devices.IonQ.ForteEnterprise1,
 reservation_arn="<my_reservation_arn>")
def example_hybrid_job():
    # declare AwsDevice within the hybrid job
    device = AwsDevice(get_job_device_arn())
    bell = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
```

```
    task = device.run(bell, shots=10)
```

Untuk pekerjaan hybrid yang menggunakan skrip Python (lihat bagian tentang Membuat Job Hybrid pertama Anda di panduan pengembang), Anda dapat menjalankannya dalam reservasi dengan meneruskan argumen `reservation_arn` kata kunci saat membuat pekerjaan.

```
from braket.aws import AwsQuantumJob
from braket.devices import Devices

job = AwsQuantumJob.create(
    Devices.IonQ.ForteEnterprise1,
    source_module="algorithm_script.py",
    entry_point="algorithm_script:start_here",
    reservation_arn="<my_reservation_arn>"
)
```

Apa yang terjadi di akhir reservasi Anda

Setelah reservasi berakhir, Anda tidak lagi memiliki akses khusus ke perangkat. Beban kerja yang tersisa yang diantri dengan reservasi ini akan dibatalkan secara otomatis.

> **Note**
>
> Pekerjaan apa pun yang `RUNNING` berstatus saat reservasi berakhir dibatalkan. Kami merekomendasikan menggunakan pos pemeriksaan untuk menyimpan dan memulai kembali pekerjaan sesuai keinginan Anda.

Reservasi yang sedang berlangsung, seperti setelah reservasi dimulai dan sebelum reservasi berakhir, tidak dapat diperpanjang karena setiap reservasi mewakili akses perangkat khusus mandiri. Misalnya, dua reservasi back-to-back dianggap terpisah dan setiap tugas yang tertunda dari reservasi pertama dibatalkan secara otomatis. Mereka tidak melanjutkan di reservasi kedua.

> **Note**
>
> Reservasi mewakili akses perangkat khusus untuk AWS akun Anda. Bahkan jika perangkat tetap menganggur, tidak ada pelanggan lain yang dapat menggunakannya. Oleh karena itu, Anda dikenakan biaya untuk jangka waktu yang dipesan, terlepas dari waktu yang digunakan.

Membatalkan atau menjadwal ulang reservasi yang sudah ada

Anda dapat membatalkan reservasi Anda tidak kurang dari 48 jam sebelum waktu mulai reservasi yang dijadwalkan. Untuk membatalkan, tanggapi email konfirmasi reservasi yang Anda terima dengan permintaan pembatalan Anda.

Untuk menjadwal ulang, Anda harus membatalkan reservasi yang ada, dan kemudian membuat yang baru.

Teknik mitigasi kesalahan

Mitigasi kesalahan kuantum adalah seperangkat teknik yang bertujuan mengurangi efek kesalahan dalam komputer kuantum.

Perangkat kuantum tunduk pada kebisingan lingkungan yang menurunkan kualitas perhitungan yang dilakukan. Sementara komputasi kuantum toleran kesalahan menjanjikan solusi untuk masalah ini, perangkat kuantum saat ini dibatasi oleh jumlah qubit dan tingkat kesalahan yang relatif tinggi. Untuk mengatasi hal ini dalam waktu dekat, para peneliti sedang menyelidiki metode untuk meningkatkan akurasi komputasi kuantum yang bising. Pendekatan ini, yang dikenal sebagai mitigasi kesalahan kuantum, melibatkan penggunaan berbagai teknik untuk mengekstrak sinyal terbaik dari data pengukuran yang bising.

Di bagian ini:

- Teknik mitigasi kesalahan pada IonQ perangkat

Teknik mitigasi kesalahan pada IonQ perangkat

Mitigasi kesalahan melibatkan menjalankan beberapa sirkuit fisik dan menggabungkan pengukuran mereka untuk memberikan hasil yang lebih baik.

> **Note**
>
> Untuk semua IonQ perangkat: Saat menggunakan model sesuai permintaan, ada batas 1 Juta gateshot, dan minimal 2500 bidikan untuk tugas mitigasi Kesalahan. Untuk reservasi langsung, tidak ada batas gateshot, dan minimal 500 tembakan untuk tugas mitigasi Kesalahan.

Debiasing

IonQperangkat memiliki metode mitigasi kesalahan yang disebut debiasing.

Debiasing memetakan rangkaian menjadi beberapa varian yang bekerja pada permutasi qubit yang berbeda atau dengan dekomposisi gerbang yang berbeda. Ini mengurangi efek kesalahan sistematis seperti rotasi berlebih gerbang atau qubit tunggal yang salah dengan menggunakan implementasi sirkuit yang berbeda yang dapat membiaskan hasil pengukuran. Ini datang dengan mengorbankan overhead ekstra untuk mengkalibrasi beberapa qubit dan gerbang.

Untuk informasi lebih lanjut tentang debiasing, lihat Meningkatkan kinerja komputer kuantum melalui simetrisasi.

> **Note**
>
> Menggunakan debiasing membutuhkan minimal 2500 bidikan.

Anda dapat menjalankan tugas kuantum dengan debiasing pada IonQ perangkat menggunakan kode berikut:

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import Circuit
from braket.error_mitigation import Debias

# choose an IonQ device
device = AwsDevice("arn:aws:braket:us-east-1::device/qpu/ionq/Forte-Enterprise-1")
circuit = Circuit().h(0).cnot(0, 1)

task = device.run(circuit, shots=2500, device_parameters={"errorMitigation": Debias()})

result = task.result()
print(result.measurement_counts)
>>> {"00": 1245, "01": 5, "10": 10 "11": 1240} # result from debiasing
```

Ketika tugas kuantum selesai, Anda dapat melihat probabilitas pengukuran dan jenis hasil apa pun dari tugas kuantum. Probabilitas pengukuran dan hitungan dari semua varian digabungkan menjadi satu distribusi. Setiap jenis hasil yang ditentukan dalam rangkaian, seperti nilai ekspektasi, dihitung menggunakan jumlah pengukuran agregat.

Mengasah

Anda juga dapat mengakses probabilitas pengukuran yang dihitung dengan strategi pasca-pemrosesan yang berbeda yang disebut penajaman. Penajaman membandingkan hasil setiap varian dan membuang bidikan yang tidak konsisten, mendukung hasil pengukuran yang paling mungkin di seluruh varian. Untuk informasi lebih lanjut, lihat Meningkatkan kinerja komputer kuantum melalui simetrisasi.

Yang penting, penajaman mengasumsikan bentuk distribusi keluaran menjadi jarang dengan sedikit keadaan probabilitas tinggi dan banyak keadaan probabilitas nol. Ini dapat mendistorsi distribusi probabilitas jika asumsi ini tidak valid.

Anda dapat mengakses probabilitas dari distribusi yang dipertajam di `additional_metadata` bidang pada SDK Python `GateModelTaskResult` Braket. Perhatikan bahwa penajaman tidak mengembalikan jumlah pengukuran, melainkan mengembalikan distribusi probabilitas yang dinormalisasi ulang. Cuplikan kode berikut menunjukkan cara mengakses distribusi setelah mengasah.

```
print(result.additional_metadata.ionqMetadata.sharpenedProbabilities)
>>> {"00": 0.51, "11": 0.549} # sharpened probabilities
```

Bekerja dengan Pekerjaan Amazon Braket Hybrid

Amazon Braket Hybrid Jobs menawarkan cara bagi Anda untuk menjalankan algoritma kuantum klasik hibrida yang membutuhkan AWS sumber daya klasik dan unit pemrosesan kuantum (QPU). Hybrid Jobs dirancang untuk memutar sumber daya klasik yang diminta, menjalankan algoritme Anda, dan merilis instance setelah selesai sehingga Anda hanya membayar untuk apa yang Anda gunakan.

Hybrid Jobs sangat ideal untuk algoritma berulang yang berjalan lama yang melibatkan penggunaan sumber daya komputasi klasik dan sumber daya komputasi kuantum. Dengan Hybrid Jobs, setelah mengirimkan algoritme Anda untuk dijalankan, Braket akan menjalankan algoritme Anda dalam lingkungan yang dapat diskalakan dan terkontainer. Setelah algoritma selesai, Anda kemudian dapat mengambil hasilnya.

Selain itu, tugas kuantum yang dibuat dari pekerjaan hibrida mendapat manfaat dari antrian prioritas yang lebih tinggi ke perangkat QPU target. Prioritas ini memastikan bahwa perhitungan kuantum Anda diproses dan berjalan di depan tugas lain yang menunggu dalam antrian. Ini sangat menguntungkan untuk algoritma hibrida iteratif, di mana hasil dari satu tugas kuantum bergantung pada hasil tugas kuantum sebelumnya. Contoh algoritme tersebut termasuk Algoritma Pengoptimalan Perkiraan Kuantum (QAOA), pemecah eigen kuantum variasional, atau pembelajaran mesin kuantum. Anda juga dapat memantau kemajuan algoritme Anda dalam waktu nyaris nyata, memungkinkan Anda melacak biaya, anggaran, atau metrik khusus seperti kehilangan pelatihan atau nilai ekspektasi.

Anda dapat mengakses pekerjaan hybrid di Braket menggunakan:

- SDK Python Amazon Braket.
- Konsol Amazon Braket.
- Amazon BraketAPI.

Di bagian ini:

- Buat Job Hybrid
- Membatalkan Job Hybrid
- Menyesuaikan Job Hybrid Anda
- Menggunakan PennyLane dengan Amazon Braket
- Menggunakan CUDA-Q dengan Amazon Braket

Kapan menggunakan Amazon Braket Hybrid Jobs

Amazon Braket Hybrid Jobs memungkinkan Anda menjalankan algoritme klasik kuantum hibrida, seperti Variational Quantum Eigensolver (VQE) dan Quantum Perkiraan Optimalisasi Algoritma (QAOA), yang menggabungkan sumber daya komputasi klasik dengan perangkat komputasi kuantum untuk mengoptimalkan kinerja sistem kuantum saat ini. Amazon Braket Hybrid Jobs memberikan tiga manfaat utama:

1. Kinerja: Amazon Braket Hybrid Jobs memberikan kinerja yang lebih baik daripada menjalankan algoritma hybrid dari lingkungan Anda sendiri. Saat pekerjaan Anda berjalan, ia memiliki akses prioritas ke QPU target yang dipilih. Tugas dari pekerjaan Anda berjalan di depan tugas lain yang antri di perangkat. Ini menghasilkan runtime yang lebih pendek dan lebih dapat diprediksi untuk algoritma hybrid. Amazon Braket Hybrid Jobs juga mendukung kompilasi parametrik. Anda dapat mengirimkan sirkuit menggunakan parameter gratis dan Braket mengkompilasi sirkuit sekali, tanpa perlu mengkompilasi ulang untuk pembaruan parameter berikutnya ke sirkuit yang sama, menghasilkan runtime yang lebih cepat.
2. Kenyamanan: Amazon Braket Hybrid Jobs menyederhanakan pengaturan dan pengelolaan lingkungan komputasi Anda dan menjaganya tetap berjalan saat algoritma hybrid Anda berjalan. Anda cukup memberikan skrip algoritme Anda dan memilih perangkat kuantum (baik unit pemrosesan kuantum atau simulator) untuk dijalankan. Amazon Braket menunggu perangkat target tersedia, memutar sumber daya klasik, menjalankan beban kerja di lingkungan kontainer yang sudah dibuat sebelumnya, mengembalikan hasilnya ke Amazon Simple Storage Service (Amazon S3), dan merilis sumber daya komputasi.
3. Metrik: Amazon Braket Hybrid Jobs memberikan wawasan langsung tentang algoritme yang sedang berjalan dan memberikan metrik algoritme yang dapat disesuaikan dalam waktu dekat ke Amazon CloudWatch dan konsol Amazon Braket sehingga Anda dapat melacak kemajuan algoritme Anda.

Menjalankan pekerjaan hybrid dengan Amazon Braket Hybrid Jobs

Untuk menjalankan pekerjaan hybrid dengan Amazon Braket Hybrid Jobs, Anda harus terlebih dahulu menentukan algoritme Anda. Anda dapat mendefinisikannya dengan menulis skrip algoritma dan, secara opsional, file ketergantungan lainnya menggunakan Amazon Braket Python SDK atau. PennyLane Jika Anda ingin menggunakan pustaka lain (open source atau proprietary), Anda dapat menentukan gambar kontainer kustom Anda sendiri menggunakan Docker, yang menyertakan pustaka ini. Untuk informasi selengkapnya, lihat Membawa wadah Anda sendiri (BYOC).

Dalam kedua kasus tersebut, selanjutnya Anda membuat pekerjaan hybrid menggunakan Amazon BraketAPI, tempat Anda menyediakan skrip atau wadah algoritme Anda, pilih perangkat kuantum target yang akan digunakan oleh hybrid, lalu pilih dari berbagai pengaturan opsional. Nilai default yang disediakan untuk pengaturan opsional ini berfungsi untuk sebagian besar kasus penggunaan. Agar perangkat target dapat menjalankan Hybrid Job Anda, Anda memiliki pilihan antara QPU, simulator sesuai permintaan (sepertiSV1, DM1 atauTN1), atau instance pekerjaan hybrid klasik itu sendiri. Dengan simulator sesuai permintaan atau QPU, wadah pekerjaan hybrid Anda membuat panggilan API ke perangkat jarak jauh. Dengan simulator tertanam, simulator tertanam dalam wadah yang sama dengan skrip algoritme Anda. Simulator petir dari PennyLane disematkan dengan wadah pekerjaan hibrida bawaan bawaan untuk Anda gunakan. Jika Anda menjalankan kode Anda menggunakan PennyLane simulator tertanam atau simulator khusus, Anda dapat menentukan jenis instance serta berapa banyak instance yang ingin Anda gunakan. Lihat halaman Harga Amazon Braket untuk biaya yang terkait dengan setiap pilihan.

Jika perangkat target Anda adalah simulator sesuai permintaan atau tertanam, Amazon Braket mulai menjalankan pekerjaan hybrid segera. Ini memutar instance pekerjaan hibrida (Anda dapat menyesuaikan jenis instans dalam API panggilan), menjalankan algoritme Anda, menulis hasilnya ke Amazon S3, dan melepaskan sumber daya Anda. Rilis sumber daya ini memastikan bahwa Anda hanya membayar untuk apa yang Anda gunakan.

Jumlah total pekerjaan hibrida bersamaan per unit pemrosesan kuantum (QPU) dibatasi. Saat ini, hanya satu pekerjaan hybrid yang dapat berjalan pada QPU pada waktu tertentu. Antrian digunakan untuk mengontrol jumlah pekerjaan hibrida yang diizinkan untuk dijalankan agar tidak melebihi batas yang diizinkan. Jika perangkat target Anda adalah QPU, pekerjaan hybrid Anda terlebih dahulu memasuki antrian pekerjaan QPU yang dipilih. Amazon Braket memutar instance pekerjaan hybrid yang diperlukan dan menjalankan pekerjaan hybrid Anda di perangkat. Selama algoritme Anda, pekerjaan hibrida Anda memiliki akses prioritas, yang berarti bahwa tugas kuantum dari pekerjaan hibrida Anda berjalan di depan tugas kuantum Braket lainnya yang antri di perangkat, asalkan tugas kuantum pekerjaan diserahkan ke QPU setiap beberapa menit sekali. Setelah pekerjaan hybrid Anda selesai, sumber daya dilepaskan, artinya Anda hanya membayar untuk apa yang Anda gunakan.

> **Note**
>
> Perangkat bersifat regional dan pekerjaan hybrid Anda berjalan Wilayah AWS sama dengan perangkat utama Anda.

Dalam skenario target simulator dan QPU, Anda memiliki opsi untuk menentukan metrik algoritma khusus, seperti energi Hamiltonian Anda, sebagai bagian dari algoritme Anda. Metrik ini secara otomatis dilaporkan ke Amazon CloudWatch dan dari sana, mereka ditampilkan hampir real-time di konsol Amazon Braket.

> **Note**
>
> Jika Anda ingin menggunakan instance berbasis GPU, pastikan untuk menggunakan salah satu simulator yang tersedia dengan GPU-based simulator tertanam di Braket (misalnya,). `lightning.gpu` Jika Anda memilih salah satu simulator CPU-based tertanam (misalnya,, ataubraket:default-simulator)`lightning.qubit`, GPU tidak akan digunakan dan Anda mungkin dikenakan biaya yang tidak perlu.

Konsep kunci untuk Pekerjaan Hybrid

Bagian ini menjelaskan konsep kunci dari `AwsQuantumJob.create` fungsi yang disediakan oleh Amazon Braket Python SDK dan pemetaan ke struktur file container.

Selain file atau file yang membentuk skrip algoritme lengkap Anda, pekerjaan hybrid Anda dapat memiliki input dan output tambahan. Saat pekerjaan hybrid Anda dimulai, Amazon Braket menyalin input yang disediakan sebagai bagian dari pembuatan pekerjaan hybrid ke dalam wadah yang menjalankan skrip algoritme. Saat pekerjaan hybrid selesai, semua output yang ditentukan selama algoritme akan disalin ke lokasi Amazon S3 yang ditentukan.

> **Note**
>
> Metrik algoritma dilaporkan secara real time dan tidak mengikuti prosedur keluaran ini.

Amazon Braket juga menyediakan beberapa variabel lingkungan dan fungsi pembantu untuk menyederhanakan interaksi dengan input dan output kontainer. Untuk informasi selengkapnya, lihat paket braket.jobs di Amazon Braket SDK.

Di bagian ini:

- Masukan
- Output
- Variabel lingkungan
- Fungsi pembantu

Masukan

Data input: Data input dapat diberikan ke algoritma hybrid dengan menentukan file data input, yang diatur sebagai kamus, dengan `input_data` argumen. Pengguna mendefinisikan `input_data` argumen dalam `AwsQuantumJob.create` fungsi di SDK. Ini menyalin data input ke sistem file kontainer di lokasi yang diberikan oleh variabel lingkungan`"AMZN_BRAKET_INPUT_DIR"`. Untuk beberapa contoh bagaimana data input digunakan dalam algoritma hybrid, lihat QAOA dengan Amazon Braket Hybrid Jobs PennyLane dan dan Quantum machine learning di notebook Amazon Braket Hybrid Jobs Jupyter.

> **Note**
>
> Ketika data input besar (> 1GB), akan ada waktu tunggu yang lama sebelum pekerjaan hybrid diajukan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa data input lokal pertama-tama akan diunggah ke bucket S3, kemudian jalur S3 akan ditambahkan ke permintaan pekerjaan hybrid, dan, akhirnya, permintaan pekerjaan hybrid diajukan ke layanan Braket.

Hyperparameters: Jika Anda masuk`hyperparameters`, mereka tersedia di bawah variabel `"AMZN_BRAKET_HP_FILE"` lingkungan.

> **Note**
>
> Untuk informasi selengkapnya tentang cara membuat hyperparameters dan data input dan kemudian meneruskan informasi ini ke skrip pekerjaan hybrid, lihat bagian Use hyperparameters dan halaman github ini.

Checkpoints: Untuk menentukan pos pemeriksaan `job-arn` yang ingin Anda gunakan dalam pekerjaan hybrid baru, gunakan perintah. `copy_checkpoints_from_job` Perintah ini menyalin data pos pemeriksaan ke `checkpoint_configs3Uri` pekerjaan hybrid baru, membuatnya tersedia di jalur yang diberikan oleh variabel lingkungan `AMZN_BRAKET_CHECKPOINT_DIR` saat pekerjaan berjalan. Defaultnya adalah`None`, artinya data pos pemeriksaan dari pekerjaan hybrid lain tidak akan digunakan dalam pekerjaan hybrid baru.

Output

Quantum Tasks: Hasil tugas kuantum disimpan di lokasi `s3://amazon-braket-<region>-<accountID>/jobs/<job-name>/tasks` S3.

Hasil pekerjaan: Semua yang disimpan skrip algoritme Anda ke direktori yang diberikan oleh variabel lingkungan `"AMZN_BRAKET_JOB_RESULTS_DIR"` disalin ke lokasi S3 yang ditentukan. `output_data_config` Jika nilai tidak ditentukan, defaultnya. `s3://amazon-braket-<region>-<accountID>/jobs/<job-name>/<timestamp>/data` Kami menyediakan fungsi pembantu SDK **`save_job_result`**, yang dapat Anda gunakan untuk menyimpan hasil dengan nyaman dalam bentuk kamus saat dipanggil dari skrip algoritme Anda.

Checkpoints: Jika Anda ingin menggunakan pos pemeriksaan, Anda dapat menyimpannya di direktori yang diberikan oleh variabel lingkungan. `"AMZN_BRAKET_CHECKPOINT_DIR"` Anda juga dapat menggunakan fungsi `save_job_checkpoint` pembantu SDK sebagai gantinya.

Metrik algoritma: Anda dapat menentukan metrik algoritme sebagai bagian dari skrip algoritme yang dipancarkan ke CloudWatch Amazon dan ditampilkan secara real time di Amazon konsol Braket saat pekerjaan hybrid Anda berjalan. Untuk contoh cara menggunakan metrik algoritme, lihat Menggunakan Pekerjaan Hibrid Amazon Braket untuk menjalankan algoritma QAOA.

Untuk informasi selengkapnya tentang menyimpan output pekerjaan Anda, lihat Menyimpan hasil Anda di dokumentasi Pekerjaan Hybrid.

Variabel lingkungan

Amazon Braket menyediakan beberapa variabel lingkungan untuk menyederhanakan interaksi dengan input dan output kontainer. Kode berikut mencantumkan variabel lingkungan yang digunakan Braket.

- `AMZN_BRAKET_INPUT_DIR`— Direktori data masukan opt/braket/input/data.
- `AMZN_BRAKET_JOB_RESULTS_DIR`— Direktori opt/braket keluaran/model untuk menulis hasil pekerjaan ke.
- `AMZN_BRAKET_JOB_NAME`- Nama pekerjaan.
- `AMZN_BRAKET_CHECKPOINT_DIR`— Direktori pos pemeriksaan.
- `AMZN_BRAKET_HP_FILE`— File yang berisi hyperparameters.
- `AMZN_BRAKET_DEVICE_ARN`— Perangkat ARN (Nama AWS Sumber Daya).
- `AMZN_BRAKET_OUT_S3_BUCKET`- Bucket Amazon S3 keluaran, seperti yang ditentukan dalam `CreateJob` permintaan. `OutputDataConfig`
- `AMZN_BRAKET_SCRIPT_ENTRY_POINT`— Titik masuk seperti yang ditentukan dalam `CreateJob` permintaan`ScriptModeConfig`.
- `AMZN_BRAKET_SCRIPT_COMPRESSION_TYPE`— Jenis kompresi seperti yang ditentukan dalam `CreateJob` permintaan`ScriptModeConfig`.
- `AMZN_BRAKET_SCRIPT_S3_URI`— Lokasi Amazon S3 dari skrip pengguna seperti yang ditentukan dalam `CreateJob` permintaan. `ScriptModeConfig`
- `AMZN_BRAKET_TASK_RESULTS_S3_URI`— Lokasi Amazon S3 tempat SDK akan menyimpan hasil tugas kuantum secara default untuk pekerjaan tersebut.

- `AMZN_BRAKET_JOB_RESULTS_S3_PATH`— Lokasi Amazon S3 tempat hasil pekerjaan akan disimpan, seperti yang ditentukan dalam `CreateJob` permintaan. `OutputDataConfig`
- `AMZN_BRAKET_JOB_TOKEN`— String yang harus diteruskan ke `CreateQuantumTask` `jobToken` parameter untuk tugas kuantum yang dibuat dalam wadah pekerjaan.

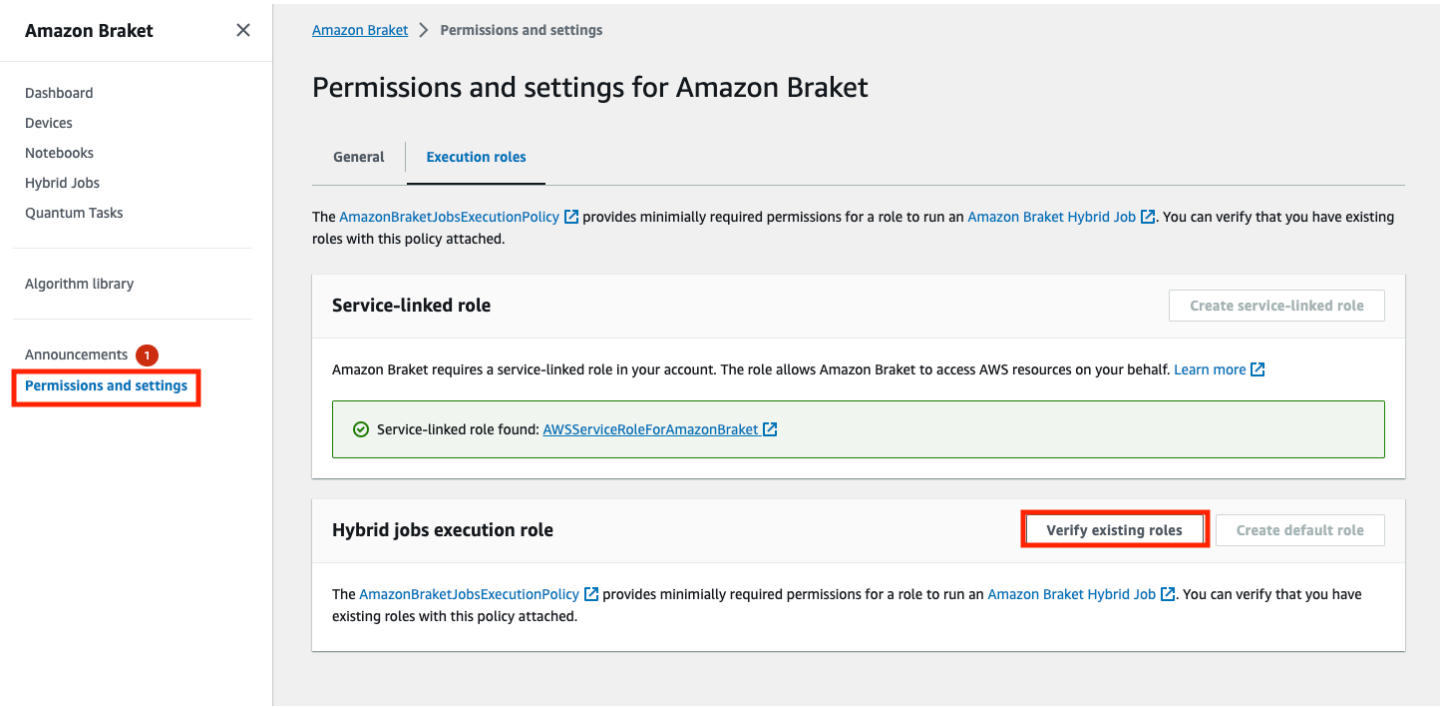
Fungsi pembantu

Amazon Braket menyediakan beberapa fungsi pembantu untuk menyederhanakan interaksi dengan input dan output kontainer. Fungsi pembantu ini akan dipanggil dari dalam skrip algoritma yang digunakan untuk menjalankan Job Hybrid Anda. Contoh berikut menunjukkan cara menggunakannya.

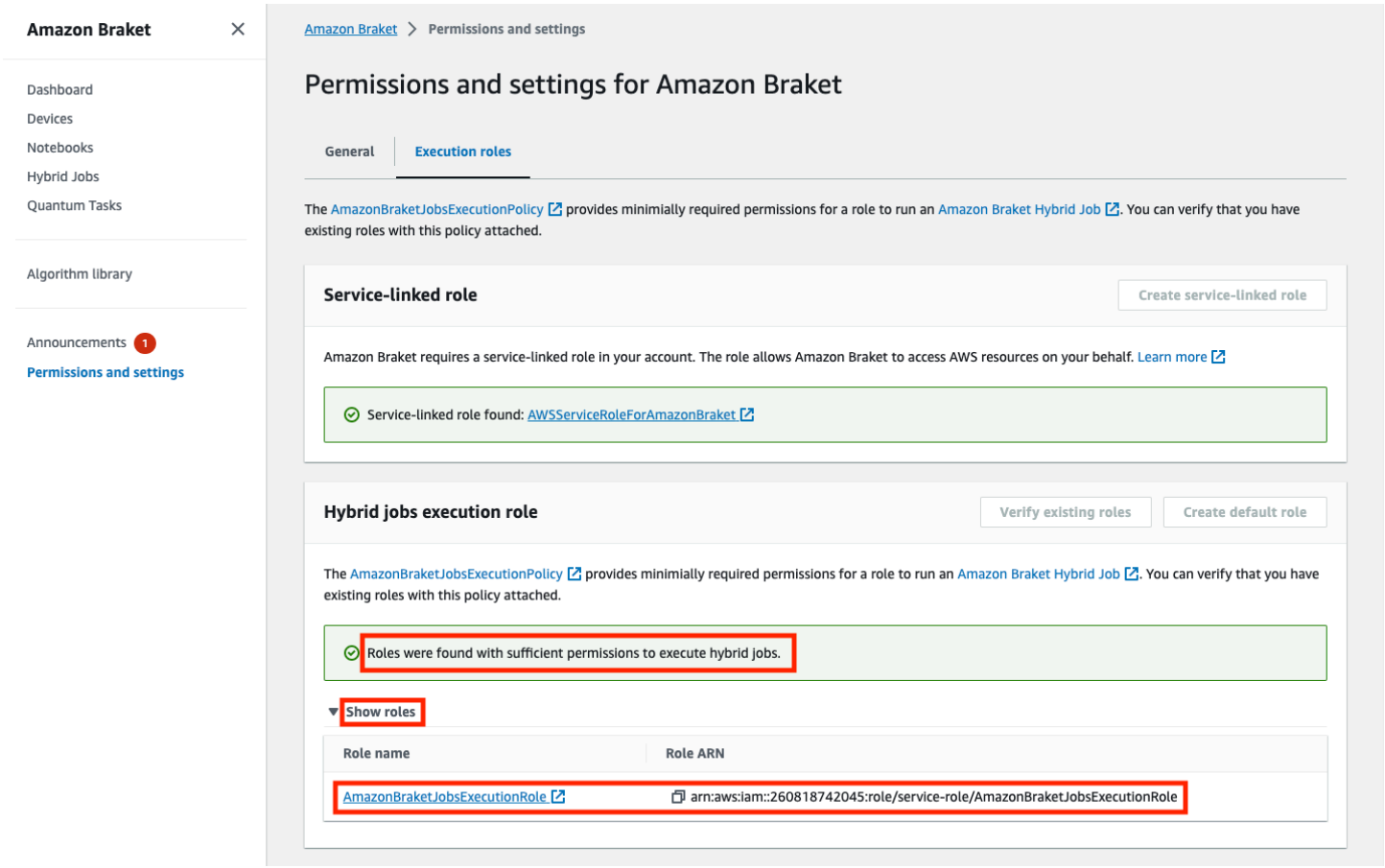
```
from braket.jobs import get_checkpoint_dir, get_hyperparameters, get_input_data_dir,
 get_job_device_arn, get_job_name, get_results_dir, save_job_result,
 save_job_checkpoint, load_job_checkpoint

get_checkpoint_dir() # Get the checkpoint directory
get_hyperparameters() # Get the hyperparameters as strings
get_input_data_dir() # Get the input data directory
get_job_device_arn() # Get the device specified by the hybrid job
get_job_name() # Get the name of the hybrid job.
get_results_dir() # Get the path to a results directory
save_job_result(result_data='data') # Save hybrid job results
save_job_checkpoint(checkpoint_data={'key': 'value'}) # Save a checkpoint
load_job_checkpoint() # Load a previously saved checkpoint
```

Prasyarat

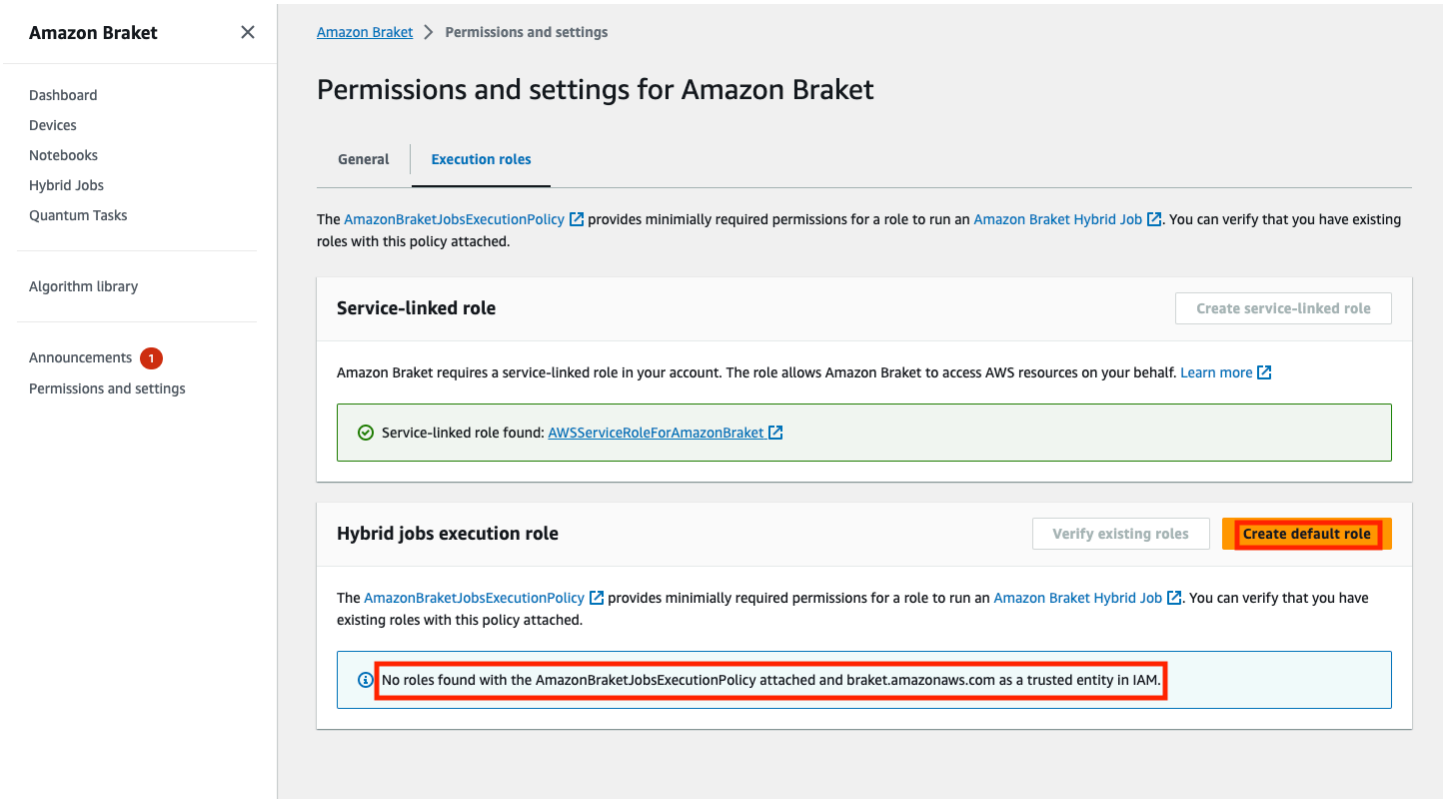
Sebelum Anda menjalankan pekerjaan hybrid pertama Anda, Anda harus memastikan bahwa Anda memiliki izin yang cukup untuk melanjutkan tugas ini. Untuk menentukan bahwa Anda memiliki izin yang benar, pilih Izin dari menu di sisi kiri Konsol Braket. Halaman Manajemen Izin untuk Amazon Braket membantu Anda memverifikasi apakah salah satu peran yang ada memiliki izin yang cukup untuk menjalankan pekerjaan hibrida atau memandu Anda melalui pembuatan peran default yang dapat digunakan untuk menjalankan pekerjaan hibrida jika Anda belum memiliki peran seperti itu.



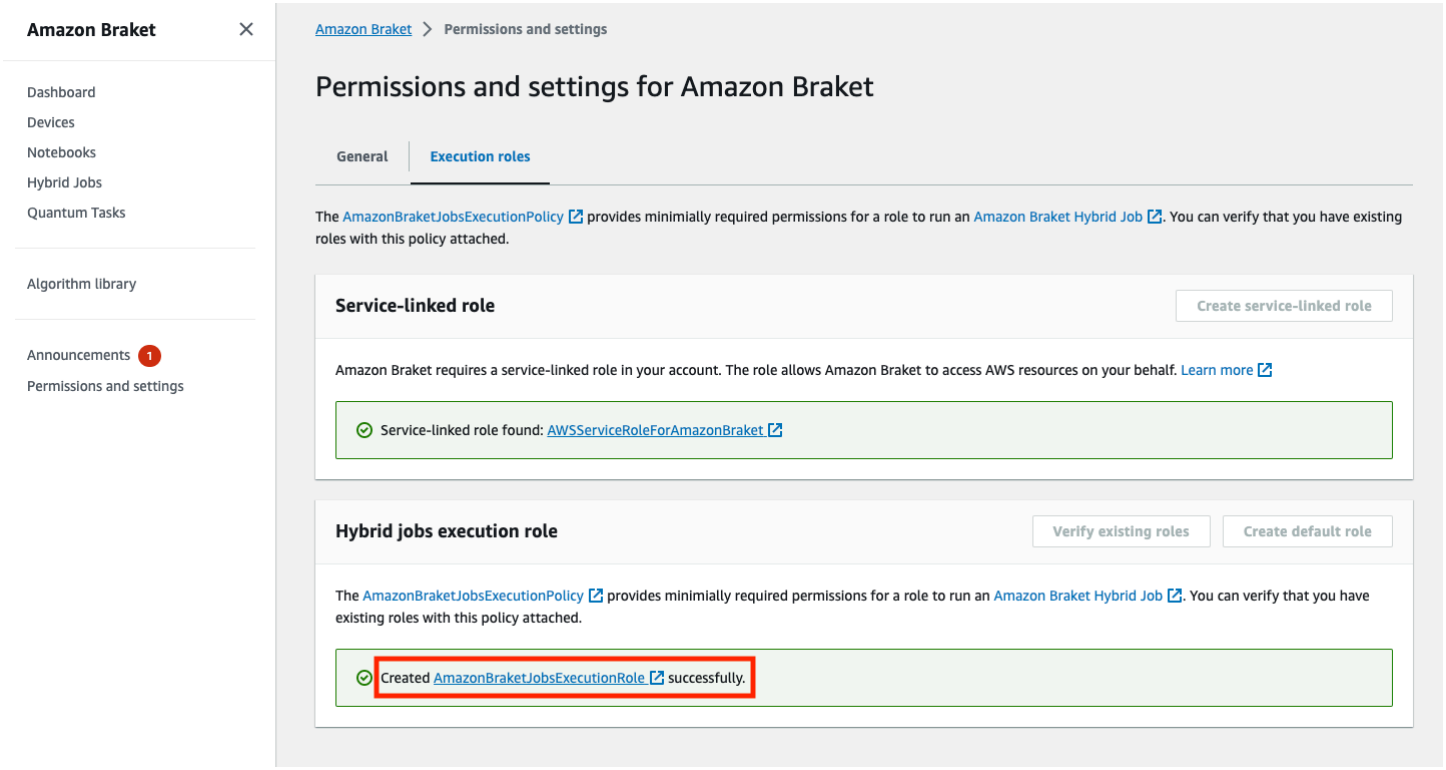
Untuk memverifikasi bahwa Anda memiliki peran dengan izin yang cukup untuk menjalankan pekerjaan hibrida, pilih tombol Verifikasi peran yang ada. Jika ya, Anda mendapat pesan bahwa peran itu ditemukan. Untuk melihat nama peran dan ARN peran mereka, pilih tombol Tampilkan peran.



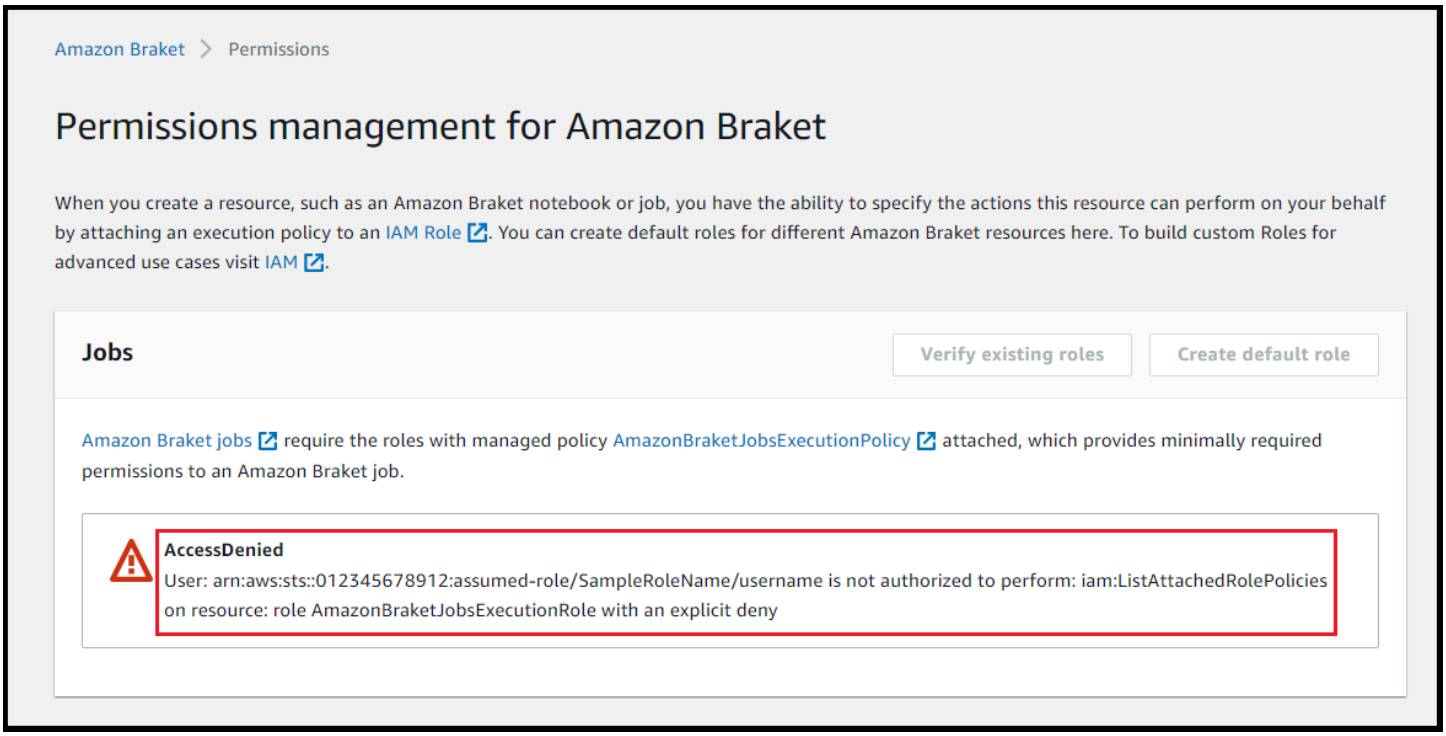
Jika Anda tidak memiliki peran dengan izin yang cukup untuk menjalankan pekerjaan hibrida, Anda mendapatkan pesan bahwa peran tersebut tidak ditemukan. Pilih tombol Buat peran default untuk mendapatkan peran dengan izin yang memadai.



Jika peran berhasil dibuat, Anda mendapatkan pesan yang mengonfirmasi hal ini.



Jika Anda tidak memiliki izin untuk mengajukan pertanyaan ini, Anda akan ditolak aksesnya. Dalam hal ini, hubungi AWS administrator internal Anda.



Buat Job Hybrid

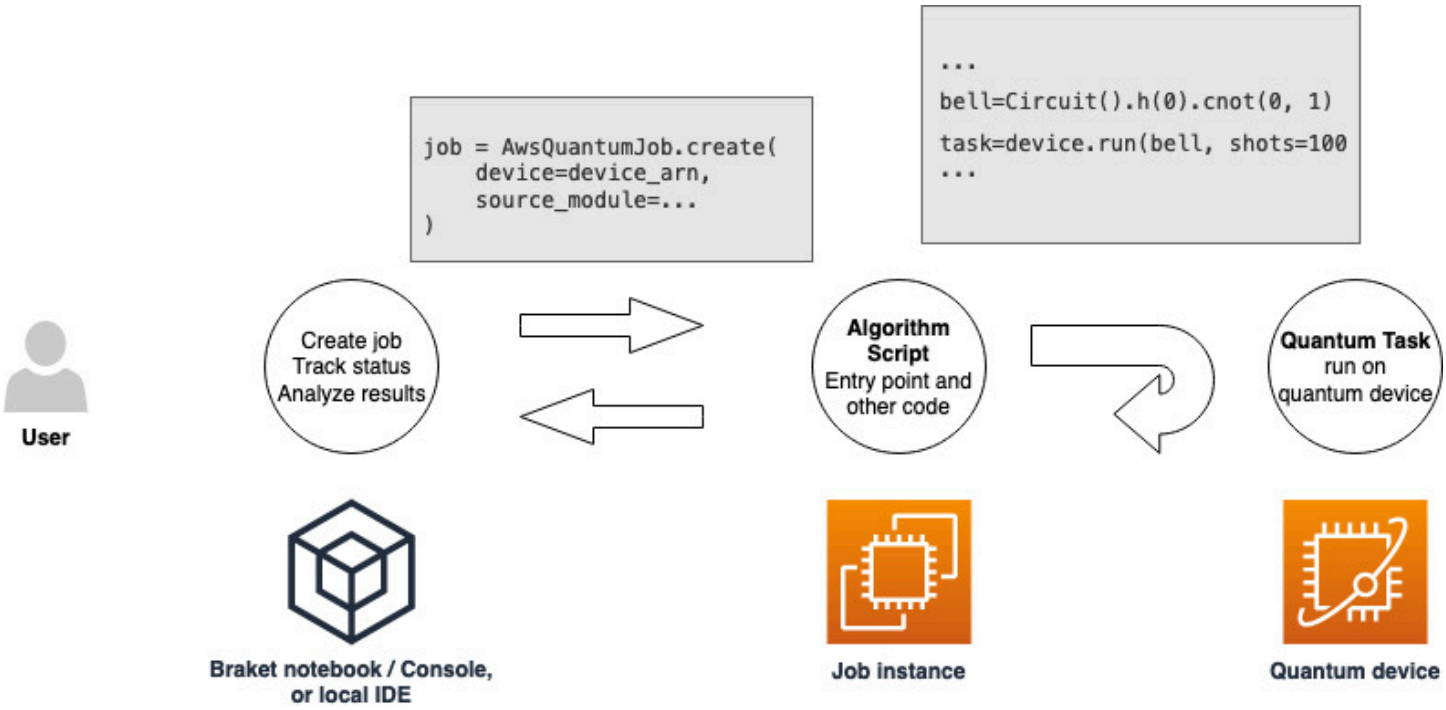
Bagian ini menunjukkan kepada Anda cara membuat Job Hybrid menggunakan skrip Python. Atau, untuk membuat pekerjaan hybrid dari kode Python lokal, seperti lingkungan pengembangan terintegrasi (IDE) pilihan Anda atau notebook Braket, lihat. Jalankan kode lokal Anda sebagai pekerjaan hibrida

Di bagian ini:

- Buat dan jalankan
- Pantau hasil Anda
- Simpan hasil Anda
- Menggunakan pos pemeriksaan
- Jalankan kode lokal Anda sebagai pekerjaan hibrida
- Menggunakan API dengan Hybrid Jobs
- Buat dan debug pekerjaan hybrid dengan mode lokal

Buat dan jalankan

Setelah Anda memiliki peran dengan izin untuk menjalankan pekerjaan hibrida, Anda siap untuk melanjutkan. Bagian kunci dari pekerjaan hybrid Braket pertama Anda adalah skrip algoritma. Ini mendefinisikan algoritma yang ingin Anda jalankan dan berisi logika klasik dan tugas kuantum yang merupakan bagian dari algoritma Anda. Selain skrip algoritme Anda, Anda dapat menyediakan file ketergantungan lainnya. Skrip algoritma bersama dengan dependensinya disebut modul sumber. Titik masuk mendefinisikan file atau fungsi pertama yang dijalankan di modul sumber Anda saat pekerjaan hybrid dimulai.



Pertama, pertimbangkan contoh dasar berikut dari skrip algoritme yang menciptakan lima status lonceng dan mencetak hasil pengukuran yang sesuai.

```
import os

from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import Circuit


def start_here():

    print("Test job started!")

    # Use the device declared in the job script
```

```
    device = AwsDevice(os.environ["AMZN_BRAKET_DEVICE_ARN"])

    bell = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
    for count in range(5):
        task = device.run(bell, shots=100)
        print(task.result().measurement_counts)

    print("Test job completed!")
```

Simpan file ini dengan nama algorithm_script.py di direktori kerja Anda saat ini di notebook Braket atau lingkungan lokal Anda. File algorithm_script.py memiliki `start_here()` titik masuk yang direncanakan.

Selanjutnya, buat file Python atau notebook Python di direktori yang sama dengan file algorithm_script.py. Skrip ini memulai pekerjaan hybrid dan menangani pemrosesan asinkron apa pun, seperti mencetak status atau hasil utama yang kami minati. Minimal, skrip ini perlu menentukan skrip pekerjaan hybrid dan perangkat utama Anda.

> **Note**
>
> Untuk informasi selengkapnya tentang cara membuat buku catatan Braket atau mengunggah file, seperti file algorithm_script.py, di direktori yang sama dengan notebook, lihat Menjalankan sirkuit pertama Anda menggunakan Amazon Braket Python SDK

Untuk kasus pertama dasar ini, Anda menargetkan simulator. Jenis perangkat kuantum apa pun yang Anda targetkan, simulator atau unit pemrosesan kuantum aktual (QPU), perangkat yang Anda tentukan `device` dalam skrip berikut digunakan untuk menjadwalkan pekerjaan hibrida dan tersedia untuk skrip algoritme sebagai variabel lingkungan. `AMZN_BRAKET_DEVICE_ARN`

> **Note**
>
> Anda hanya dapat menggunakan perangkat yang tersedia di Wilayah AWS pekerjaan hybrid Anda. Amazon Braket SDK auto memilih ini. Wilayah AWS Misalnya, pekerjaan hybrid di us-east-1 dapat IonQ menggunakanSV1,,, TN1 dan perangkatDM1, tetapi bukan perangkat. Rigetti

Jika Anda memilih komputer kuantum alih-alih simulator, Braket menjadwalkan pekerjaan hibrida Anda untuk menjalankan semua tugas kuantum mereka dengan akses prioritas.

```
from braket.aws import AwsQuantumJob
from braket.devices import Devices

job = AwsQuantumJob.create(
    Devices.Amazon.SV1,
    source_module="algorithm_script.py",
    entry_point="algorithm_script:start_here",
    wait_until_complete=True
)
```

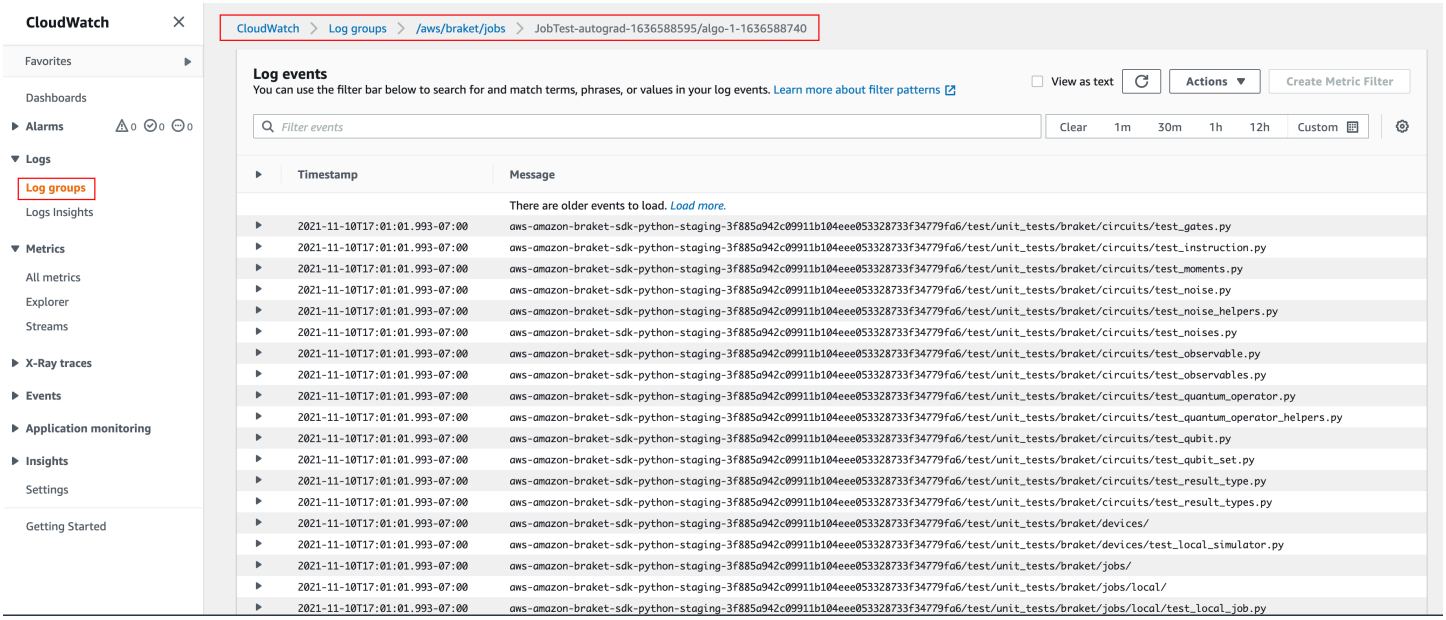
Parameter `wait_until_complete=True` menetapkan mode verbose sehingga pekerjaan Anda mencetak output dari pekerjaan yang sebenarnya saat sedang berjalan. Anda akan melihat output yang mirip dengan contoh berikut.

```
Initializing Braket Job: arn:aws:braket:us-west-2:111122223333:job/braket-job-
default-123456789012
Job queue position: 1
Job queue position: 1
Job queue position: 1
.............
.
.
.
Beginning Setup
Checking for Additional Requirements
Additional Requirements Check Finished
Running Code As Process
Test job started!
Counter({'00': 58, '11': 42})
Counter({'00': 55, '11': 45})
Counter({'11': 51, '00': 49})
Counter({'00': 56, '11': 44})
Counter({'11': 56, '00': 44})
Test job completed!
Code Run Finished
2025-09-24 23:13:40,962 sagemaker-training-toolkit INFO     Reporting training SUCCESS
```

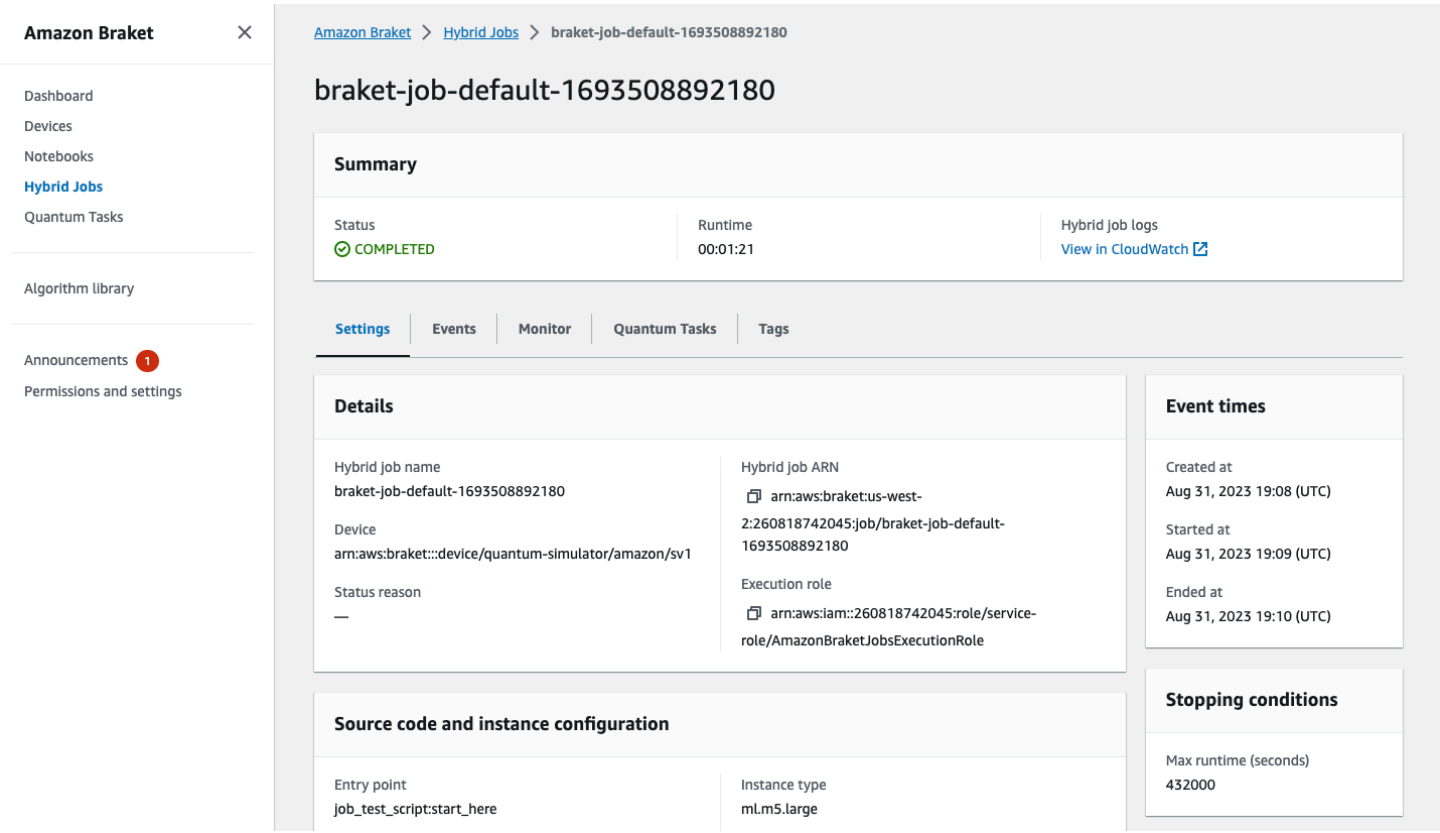
> **Note**
>
> Anda juga dapat menggunakan modul yang dibuat khusus dengan AwsQuantumJob.createmetode ini dengan meneruskan lokasinya (baik jalur ke direktori atau file lokal, atau URI S3 dari file tar.gz). Untuk contoh kerja, lihat Parallelize_training_for_QMLfile.ipynb di folder pekerjaan hybrid di repo Github contoh Amazon Braket.

Pantau hasil Anda

Atau, Anda dapat mengakses output log dari Amazon CloudWatch. Untuk melakukan ini, buka tab Grup log di menu kiri halaman detail pekerjaan, pilih grup log`aws/braket/jobs`, lalu pilih aliran log yang berisi nama pekerjaan. Dalam contoh di atas, ini adalah`braket-job-default-1631915042705/algo-1-1631915190`.



Anda juga dapat melihat status pekerjaan hybrid di konsol dengan memilih halaman Pekerjaan Hybrid dan kemudian memilih Pengaturan.



Pekerjaan hybrid Anda menghasilkan beberapa artefak di Amazon S3 saat berjalan. Nama bucket S3 default adalah `amazon-braket-<region>-<accountid>` dan isinya ada di `jobs/<jobname>/<timestamp>` direktori. Anda dapat mengonfigurasi lokasi S3 tempat artefak ini disimpan dengan menentukan yang berbeda `code_location` saat pekerjaan hybrid dibuat dengan Braket Python SDK.

> **Note**
>
> Bucket S3 ini harus terletak Wilayah AWS sama dengan skrip pekerjaan Anda.

`jobs/<jobname>/<timestamp>`Direktori berisi subfolder dengan output dari skrip titik masuk dalam `model.tar.gz` file. Ada juga direktori bernama `script` yang berisi artefak skrip algoritme Anda dalam sebuah `source.tar.gz` file. Hasil dari tugas kuantum Anda yang sebenarnya ada di direktori bernama`jobs/<jobname>/tasks`.

Simpan hasil Anda

Anda dapat menyimpan hasil yang dihasilkan oleh skrip algoritme sehingga tersedia dari objek pekerjaan hibrida dalam skrip pekerjaan hibrida serta dari folder keluaran di Amazon S3 (dalam file tar-zip bernama model.tar.gz).

Output harus disimpan dalam file menggunakan format JavaScript Object Notation (JSON). Jika data tidak dapat dengan mudah diserialisasikan ke teks, seperti dalam kasus array numpy, Anda dapat meneruskan opsi untuk membuat serial menggunakan format data acar. Lihat modul braket.jobs.data_persistence untuk detail selengkapnya.

Untuk menyimpan hasil pekerjaan hybrid, tambahkan baris berikut yang dikomentari dengan #ADD ke file algorithm_script.py.

```
import os

from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import Circuit
from braket.jobs import save_job_result  # ADD


def start_here():

    print("Test job started!")

    device = AwsDevice(os.environ['AMZN_BRAKET_DEVICE_ARN'])

    results = []  # ADD

    bell = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
    for count in range(5):
        task = device.run(bell, shots=100)
        print(task.result().measurement_counts)
        results.append(task.result().measurement_counts)  # ADD

        save_job_result({"measurement_counts": results})  # ADD

    print("Test job completed!")
```

Anda kemudian dapat menampilkan hasil pekerjaan dari skrip pekerjaan Anda dengan menambahkan baris yang **`print(job.result())`**dikomentari dengan #ADD.

```
import time
from braket.aws import AwsQuantumJob

job = AwsQuantumJob.create(
    source_module="algorithm_script.py",
    entry_point="algorithm_script:start_here",
    device="arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1",
)

print(job.arn)
while job.state() not in AwsQuantumJob.TERMINAL_STATES:
    print(job.state())
    time.sleep(10)

print(job.state())
print(job.result())   # ADD
```

Dalam contoh ini, kami telah menghapus `wait_until_complete=True` untuk menekan output verbose. Anda dapat menambahkannya kembali untuk debugging. Ketika Anda menjalankan pekerjaan hibrida ini, ia mengeluarkan pengenal dan`job-arn`, diikuti oleh status pekerjaan hibrida setiap 10 detik hingga pekerjaan hibrida`COMPLETED`, setelah itu menunjukkan kepada Anda hasil sirkuit bel. Lihat contoh berikut ini.

```
arn:aws:braket:us-west-2:111122223333:job/braket-job-default-123456789012
INITIALIZED
RUNNING
RUNNING
RUNNING
RUNNING
RUNNING
RUNNING
RUNNING
RUNNING
RUNNING
RUNNING
...
RUNNING
RUNNING
COMPLETED
{'measurement_counts': [{'11': 53, '00': 47},..., {'00': 51, '11': 49}]}
```

Menggunakan pos pemeriksaan

Anda dapat menyimpan iterasi perantara dari pekerjaan hybrid Anda menggunakan pos pemeriksaan. Dalam contoh skrip algoritma dari bagian sebelumnya, Anda akan menambahkan baris berikut yang dikomentari dengan #ADD untuk membuat file pos pemeriksaan.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import Circuit
from braket.jobs import save_job_checkpoint  # ADD
import os


def start_here():

    print("Test job starts!")

    device = AwsDevice(os.environ["AMZN_BRAKET_DEVICE_ARN"])

    # ADD the following code
    job_name = os.environ["AMZN_BRAKET_JOB_NAME"]
    save_job_checkpoint(checkpoint_data={"data": f"data for checkpoint from
 {job_name}"}, checkpoint_file_suffix="checkpoint-1")  # End of ADD

    bell = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
    for count in range(5):
        task = device.run(bell, shots=100)
        print(task.result().measurement_counts)

    print("Test hybrid job completed!")
```

Saat Anda menjalankan pekerjaan hybrid, itu membuat file -checkpoint-1.json <jobname>di artefak pekerjaan hybrid Anda di direktori pos pemeriksaan dengan jalur default. `/opt/jobs/checkpoints` Skrip pekerjaan hybrid tetap tidak berubah kecuali Anda ingin mengubah jalur default ini.

Jika Anda ingin memuat pekerjaan hybrid dari pos pemeriksaan yang dihasilkan oleh pekerjaan hybrid sebelumnya, skrip algoritme menggunakan`from braket.jobs import load_job_checkpoint`. Logika untuk memuat dalam skrip algoritma Anda adalah sebagai berikut.

```
from braket.jobs import load_job_checkpoint

checkpoint_1 = load_job_checkpoint(
    "previous_job_name",
```

```
    checkpoint_file_suffix="checkpoint-1",
)
```

Setelah memuat pos pemeriksaan ini, Anda dapat melanjutkan logika berdasarkan konten yang dimuat`checkpoint-1`.

> **Note**
>
> Checkpoint_file_suffix harus cocok dengan akhiran yang ditentukan sebelumnya saat membuat pos pemeriksaan.

Skrip orkestrasi Anda perlu menentukan `job-arn` dari pekerjaan hybrid sebelumnya dengan baris yang dikomentari dengan #ADD.

```
from braket.aws import AwsQuantumJob

job = AwsQuantumJob.create(
    source_module="source_dir",
    entry_point="source_dir.algorithm_script:start_here",
    device="arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1",
    copy_checkpoints_from_job="<previous-job-ARN>", #ADD
    )
```

Jalankan kode lokal Anda sebagai pekerjaan hibrida

Amazon Braket Hybrid Jobs menyediakan orkestrasi algoritma klasik kuantum hibrida yang dikelola sepenuhnya, menggabungkan sumber daya komputasi Amazon EC2 dengan akses Unit Pemrosesan Kuantum Amazon Braket (QPU). Tugas kuantum yang dibuat dalam pekerjaan hibrida memiliki antrian prioritas di atas tugas kuantum individu sehingga algoritme Anda tidak akan terganggu oleh fluktuasi dalam antrian tugas kuantum. Setiap QPU mempertahankan antrian pekerjaan hibrida yang terpisah, memastikan bahwa hanya satu pekerjaan hibrida yang dapat berjalan pada waktu tertentu.

Di bagian ini:

- Buat pekerjaan hybrid dari kode Python lokal
- Instal paket Python tambahan dan kode sumber
- Menyimpan dan memuat data ke dalam instance pekerjaan hibrida
- Praktik terbaik untuk dekorator pekerjaan hibrida

Buat pekerjaan hybrid dari kode Python lokal

Anda dapat menjalankan kode Python lokal Anda sebagai Amazon Braket Hybrid Job. Anda dapat melakukan ini dengan membuat anotasi kode Anda dengan `@hybrid_job` dekorator, seperti yang ditunjukkan pada contoh kode berikut. Untuk lingkungan khusus, Anda dapat memilih untuk menggunakan wadah khusus dari Amazon Elastic Container Registry (ECR).

> **Note**
>
> Hanya Python 3.12 yang didukung secara default.

Anda dapat menggunakan `@hybrid_job` dekorator untuk membubuhi keterangan suatu fungsi. Braket mengubah kode di dalam dekorator menjadi skrip algoritma pekerjaan hibrida Braket. Pekerjaan hybrid kemudian memanggil fungsi di dalam dekorator pada instans Amazon EC2. Anda dapat memantau kemajuan pekerjaan dengan `job.state()` atau dengan konsol Braket. Contoh kode berikut menunjukkan bagaimana menjalankan urutan lima status padaState Vector Simulator (SV1) device.

```
from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import Circuit, FreeParameter, Observable
from braket.devices import Devices
from braket.jobs.hybrid_job import hybrid_job
from braket.jobs.metrics import log_metric

device_arn = Devices.Amazon.SV1


@hybrid_job(device=device_arn)  # Choose priority device
def run_hybrid_job(num_tasks=1):
    device = AwsDevice(device_arn)  # Declare AwsDevice within the hybrid job

    # Create a parametric circuit
    circ = Circuit()
    circ.rx(0, FreeParameter("theta"))
    circ.cnot(0, 1)
    circ.expectation(observable=Observable.X(), target=0)

    theta = 0.0  # Initial parameter

    for i in range(num_tasks):
```

```
        task = device.run(circ, shots=100, inputs={"theta": theta})  # Input parameters
        exp_val = task.result().values[0]

        theta += exp_val  # Modify the parameter (possibly gradient descent)

        log_metric(metric_name="exp_val", value=exp_val, iteration_number=i)

    return {"final_theta": theta, "final_exp_val": exp_val}
```

Anda membuat pekerjaan hybrid dengan menjalankan fungsi seperti yang Anda lakukan pada fungsi Python normal. Namun, fungsi dekorator mengembalikan pegangan pekerjaan hibrida daripada hasil fungsi. Untuk mengambil hasil setelah selesai, gunakan`job.result()`.

```
job = run_hybrid_job(num_tasks=1)
result = job.result()
```

Argumen perangkat di `@hybrid_job` dekorator menentukan perangkat yang memiliki akses prioritas pekerjaan hybrid - dalam hal ini, simulator. SV1 Untuk mendapatkan prioritas QPU, Anda harus memastikan bahwa perangkat ARN yang digunakan dalam fungsi cocok dengan yang ditentukan dalam dekorator. Untuk kenyamanan, Anda dapat menggunakan fungsi pembantu `get_job_device_arn()` untuk menangkap perangkat yang dideklarasikan ARN. `@hybrid_job`

> **Note**
>
> Setiap pekerjaan hybrid memiliki setidaknya satu menit waktu startup karena menciptakan lingkungan kontainer di Amazon EC2. Jadi untuk beban kerja yang sangat singkat, seperti rangkaian tunggal atau sekumpulan sirkuit, mungkin cukup bagi Anda untuk menggunakan tugas kuantum.

Hiperparameter

`run_hybrid_job()`Fungsi mengambil argumen `num_tasks` untuk mengontrol jumlah tugas kuantum yang dibuat. Pekerjaan hybrid secara otomatis menangkap ini sebagai hyperparameter.

> **Note**
>
> Hyperparameters ditampilkan di konsol Braket sebagai string, yang dibatasi hingga 2500 karakter.

Metrik dan pencatatan

Dalam `run_hybrid_job()` fungsi tersebut, metrik dari algoritma iteratif direkam dengan. `log_metrics` Metrik secara otomatis diplot di halaman konsol Braket di bawah tab pekerjaan hybrid. Anda dapat menggunakan metrik untuk melacak biaya tugas kuantum secara mendekati waktu nyata selama pekerjaan hibrida dijalankan dengan pelacak biaya Braket. Contoh di atas menggunakan nama metrik “probabilitas” yang mencatat probabilitas pertama dari jenis hasil.

Mengambil hasil

Setelah pekerjaan hybrid selesai, Anda gunakan `job.result()` untuk mengambil hasil pekerjaan hibrida. Setiap objek dalam pernyataan pengembalian secara otomatis ditangkap oleh Braket. Perhatikan bahwa objek yang dikembalikan oleh fungsi harus berupa tupel dengan setiap elemen menjadi serializable. Misalnya, kode berikut menunjukkan contoh yang berfungsi, dan gagal.

```
import numpy as np


# Working example
@hybrid_job(device=Devices.Amazon.SV1)
def passing():
    np_array = np.random.rand(5)
    return np_array  # Serializable

# # Failing example
# @hybrid_job(device=Devices.Amazon.SV1)
# def failing():
#     return MyObject() # Not serializable
```

Nama Job

Secara default, nama untuk pekerjaan hybrid ini disimpulkan dari nama fungsi. Anda juga dapat menentukan nama kustom hingga 50 karakter. Misalnya, dalam kode berikut nama pekerjaan adalah “my-job-name”.

```
@hybrid_job(device=Devices.Amazon.SV1, job_name="my-job-name")
def function():
    pass
```

Modus lokal

Pekerjaan lokal dibuat dengan menambahkan argumen `local=True` ke dekorator. Ini menjalankan pekerjaan hybrid di lingkungan kontainer di lingkungan komputasi lokal Anda, seperti laptop Anda. Pekerjaan lokal tidak memiliki antrian prioritas untuk tugas-tugas kuantum. Untuk kasus lanjutan seperti multi-node atau MPI, pekerjaan lokal mungkin memiliki akses ke variabel lingkungan Braket yang diperlukan. Kode berikut membuat pekerjaan hybrid lokal dengan perangkat sebagai simulator SV1.

```
@hybrid_job(device=Devices.Amazon.SV1, local=True)
def run_hybrid_job(num_tasks=1):
    return ...
```

Semua opsi pekerjaan hybrid lainnya didukung. Untuk daftar opsi, lihat modul braket.jobs.quantum_job_creation.

Instal paket Python tambahan dan kode sumber

Anda dapat menyesuaikan lingkungan runtime Anda untuk menggunakan paket Python pilihan Anda. Anda dapat menggunakan `requirements.txt` file, daftar nama paket, atau membawa wadah Anda sendiri (BYOC). Misalnya, `requirements.txt` file tersebut mungkin menyertakan paket lain untuk diinstal.

```
qiskit
pennylane >= 0.31
mitiq == 0.29
```

Untuk menyesuaikan lingkungan runtime menggunakan `requirements.txt` file, lihat contoh kode berikut.

```
@hybrid_job(device=Devices.Amazon.SV1, dependencies="requirements.txt")
def run_hybrid_job(num_tasks=1):
    return ...
```

Atau, Anda dapat memberikan nama paket sebagai daftar Python sebagai berikut.

```
@hybrid_job(device=Devices.Amazon.SV1, dependencies=["qiskit", "pennylane>=0.31",
 "mitiq==0.29"])
def run_hybrid_job(num_tasks=1):
    return ...
```

Kode sumber tambahan dapat ditentukan baik sebagai daftar modul, atau modul tunggal seperti pada contoh kode berikut.

```
@hybrid_job(device=Devices.Amazon.SV1, include_modules=["my_module1", "my_module2"])
def run_hybrid_job(num_tasks=1):
    return ...
```

Menyimpan dan memuat data ke dalam instance pekerjaan hibrida

Menentukan data pelatihan input

Saat membuat pekerjaan hybrid, Anda dapat memberikan kumpulan data pelatihan input dengan menentukan bucket Amazon Simple Storage Service (Amazon S3). Anda juga dapat menentukan jalur lokal, lalu Braket secara otomatis mengunggah data ke Amazon S3 di. `s3://<default_bucket_name>/jobs/<job_name>/<timestamp>/data/<channel_name>` Jika Anda menentukan jalur lokal, nama saluran default ke “input”. Kode berikut menunjukkan file numpy dari jalur `data/file.npy` lokal.

```
import numpy as np


@hybrid_job(device=Devices.Amazon.SV1, input_data="data/file.npy")
def run_hybrid_job(num_tasks=1):
    data = np.load("data/file.npy")
    return ...
```

Untuk S3, Anda harus menggunakan fungsi `get_input_data_dir()` pembantu.

```
import numpy as np
from braket.jobs import get_input_data_dir

s3_path = "s3://amazon-braket-us-east-1-123456789012/job-data/file.npy"


@hybrid_job(device=None, input_data=s3_path)
def job_s3_input():
    np.load(get_input_data_dir() + "/file.npy")


@hybrid_job(device=None, input_data={"channel": s3_path})
def job_s3_input_channel():
```

```
    np.load(get_input_data_dir("channel") + "/file.npy")
```

Anda dapat menentukan beberapa sumber data input dengan menyediakan kamus nilai saluran dan URI S3 atau jalur lokal.

```
import numpy as np
from braket.jobs import get_input_data_dir

input_data = {
    "input": "data/file.npy",
    "input_2": "s3://amzn-s3-demo-bucket/data.json"
}


@hybrid_job(device=None, input_data=input_data)
def multiple_input_job():
    np.load(get_input_data_dir("input") + "/file.npy")
    np.load(get_input_data_dir("input_2") + "/data.json")
```

> **Note**
>
> Ketika data input besar (> 1GB), ada waktu tunggu yang lama sebelum pekerjaan dibuat. Ini karena data input lokal saat pertama kali diunggah ke bucket S3, kemudian jalur S3 ditambahkan ke permintaan pekerjaan. Akhirnya, permintaan pekerjaan diajukan ke layanan Braket.

Menyimpan hasil ke S3

Untuk menyimpan hasil yang tidak termasuk dalam pernyataan pengembalian fungsi yang didekorasi, Anda harus menambahkan direktori yang benar ke semua operasi penulisan file. Contoh berikut, menunjukkan menyimpan array numpy dan angka matplotlib.

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np


@hybrid_job(device=Devices.Amazon.SV1)
def run_hybrid_job(num_tasks=1):
    result = np.random.rand(5)
```

```
    # Save a numpy array
    np.save("result.npy", result)

    # Save a matplotlib figure
    plt.plot(result)
    plt.savefig("fig.png")
    return ...
```

Semua hasil dikompresi menjadi file bernama`model.tar.gz`. Anda dapat mengunduh hasilnya dengan fungsi Python`job.result()`, atau dengan menavigasi ke folder hasil dari halaman pekerjaan hybrid di konsol manajemen Braket.

Menyimpan dan melanjutkan dari pos pemeriksaan

Untuk pekerjaan hybrid yang berjalan lama, disarankan untuk secara berkala menyimpan keadaan perantara algoritma. Anda dapat menggunakan fungsi `save_job_checkpoint()` pembantu bawaan, atau menyimpan file ke `AMZN_BRAKET_JOB_RESULTS_DIR` jalur. Nanti tersedia dengan fungsi `get_job_results_dir()` pembantu.

Berikut ini adalah contoh kerja minimal untuk menyimpan dan memuat pos pemeriksaan dengan dekorator pekerjaan hybrid:

```
from braket.jobs import save_job_checkpoint, load_job_checkpoint, hybrid_job


@hybrid_job(device=None, wait_until_complete=True)
def function():
    save_job_checkpoint({"a": 1})


job = function()
job_name = job.name
job_arn = job.arn


@hybrid_job(device=None, wait_until_complete=True, copy_checkpoints_from_job=job_arn)
def continued_function():
    load_job_checkpoint(job_name)


continued_job = continued_function()
```

Dalam pekerjaan hybrid pertama, `save_job_checkpoint()` disebut dengan kamus yang berisi data yang ingin kita simpan. Secara default, setiap nilai harus dapat diserialkan sebagai teks. Untuk memeriksa objek Python yang lebih kompleks, seperti array numpy, Anda dapat mengatur. `data_format = PersistedJobDataFormat.PICKLED_V4` Kode ini membuat dan menimpa file pos pemeriksaan dengan nama default di artefak pekerjaan hibrida Anda `<jobname>.json` di bawah subfolder yang disebut “pos pemeriksaan”.

Untuk membuat pekerjaan hybrid baru untuk melanjutkan dari pos pemeriksaan, kita harus lulus `copy_checkpoints_from_job=job_arn` di `job_arn` mana ARN pekerjaan hybrid dari pekerjaan sebelumnya. Kemudian kita gunakan `load_job_checkpoint(job_name)` untuk memuat dari pos pemeriksaan.

Praktik terbaik untuk dekorator pekerjaan hibrida

Merangkul asinkron

Pekerjaan hibrida yang dibuat dengan anotasi dekorator tidak sinkron - mereka berjalan setelah sumber daya klasik dan kuantum tersedia. Anda memantau kemajuan algoritma menggunakan Braket Management Console atau Amazon CloudWatch. Saat Anda mengirimkan algoritme untuk dijalankan, Braket menjalankan algoritme Anda di lingkungan kontainer yang dapat diskalakan dan hasilnya diambil saat algoritme selesai.

Jalankan algoritma variasi berulang

Pekerjaan hybrid memberi Anda alat untuk menjalankan algoritme klasik kuantum berulang. Untuk masalah kuantum murni, gunakan tugas kuantum atau sekumpulan tugas kuantum. Akses prioritas ke QPU tertentu paling bermanfaat untuk algoritme variasional yang berjalan lama yang membutuhkan beberapa panggilan berulang ke QPU dengan pemrosesan klasik di antaranya.

Debug menggunakan mode lokal

Sebelum Anda menjalankan pekerjaan hybrid pada QPU, disarankan untuk pertama kali menjalankan simulator SV1 untuk mengonfirmasi bahwa itu berjalan seperti yang diharapkan. Untuk pengujian skala kecil, Anda dapat menjalankan dengan mode lokal untuk iterasi cepat dan debugging.

Tingkatkan reproduktifitas dengan Bring your own container (BYOC)

Buat eksperimen yang dapat direproduksi dengan mengenkapsulasi perangkat lunak Anda dan dependensinya dalam lingkungan kontainerisasi. Dengan mengemas semua kode, dependensi, dan pengaturan Anda dalam wadah, Anda mencegah potensi konflik dan masalah pembuatan versi.

Multi-instance simulator terdistribusi

Untuk menjalankan sejumlah besar sirkuit, pertimbangkan untuk menggunakan dukungan MPI bawaan untuk menjalankan simulator lokal pada beberapa instance dalam satu pekerjaan hybrid. Untuk informasi selengkapnya, lihat simulator tertanam.

Gunakan sirkuit parametrik

Sirkuit parametrik yang Anda kirimkan dari pekerjaan hybrid secara otomatis dikompilasi pada QPU tertentu menggunakan kompilasi parametrik untuk meningkatkan runtime algoritme Anda.

Pos pemeriksaan secara berkala

Untuk pekerjaan hybrid yang berjalan lama, disarankan untuk secara berkala menyimpan keadaan perantara algoritma.

Untuk contoh lebih lanjut, kasus penggunaan, dan praktik terbaik, lihat contoh Amazon GitHub Braket.

Menggunakan API dengan Hybrid Jobs

Anda dapat mengakses dan berinteraksi dengan Amazon Braket Hybrid Jobs secara langsung menggunakan. API Namun, metode default dan kenyamanan tidak tersedia saat menggunakan secara langsung. API

> **Note**
>
> Kami sangat menyarankan agar Anda berinteraksi dengan Amazon Braket Hybrid Jobs menggunakan Amazon Braket Python SDK. Ini menawarkan default dan perlindungan yang nyaman yang membantu pekerjaan hibrida Anda berjalan dengan sukses.

Topik ini mencakup dasar-dasar penggunaanAPI. Jika Anda memilih untuk menggunakan API, perlu diingat bahwa pendekatan ini bisa lebih kompleks dan bersiaplah untuk beberapa iterasi agar pekerjaan hybrid Anda berjalan.

Untuk menggunakan API, akun Anda harus memiliki peran dengan kebijakan `AmazonBraketFullAccess` terkelola.

> **Note**
>
> Untuk informasi selengkapnya tentang cara mendapatkan peran dengan kebijakan `AmazonBraketFullAccess` terkelola, lihat halaman Aktifkan Amazon Braket.

Selain itu, Anda memerlukan peran eksekusi. Peran ini akan diteruskan ke layanan. Anda dapat membuat peran menggunakan konsol Amazon Braket. Gunakan tab Peran eksekusi pada halaman Izin dan pengaturan untuk membuat peran default untuk pekerjaan hibrida.

Ini `CreateJob` API mengharuskan Anda menentukan semua parameter yang diperlukan untuk pekerjaan hybrid. Untuk menggunakan Python, kompres file skrip algoritme Anda ke bundel tar, seperti file input.tar.gz, dan jalankan skrip berikut. Perbarui bagian kode dalam kurung miring (<>) agar sesuai dengan informasi akun Anda dan titik masuk yang menentukan jalur, file, dan metode tempat pekerjaan hibrida Anda dimulai.

```
from braket.aws import AwsDevice, AwsSession
import boto3
from datetime import datetime

s3_client = boto3.client("s3")
client = boto3.client("braket")

project_name = "job-test"
job_name = project_name + "-" + datetime.strftime(datetime.now(), "%Y%m%d%H%M%S")
bucket = "amazon-braket-<your_bucket>"
s3_prefix = job_name

job_script = "input.tar.gz"
job_object = f"{s3_prefix}/script/{job_script}"
s3_client.upload_file(job_script, bucket, job_object)

input_data = "inputdata.csv"
input_object = f"{s3_prefix}/input/{input_data}"
s3_client.upload_file(input_data, bucket, input_object)

job = client.create_job(
    jobName=job_name,
    roleArn="arn:aws:iam::<your_account>:role/service-role/
AmazonBraketJobsExecutionRole",  # https://docs.aws.amazon.com/braket/latest/
developerguide/braket-manage-access.html#about-amazonbraketjobsexecution
```

```
    algorithmSpecification={
        "scriptModeConfig": {
            "entryPoint": "<your_execution_module>:<your_execution_method>",
            "containerImage": {"uri": "292282985366.dkr.ecr.us-west-1.amazonaws.com/
amazon-braket-base-jobs:1.0-cpu-py37-ubuntu18.04"},   # Change to the specific region
 you are using
            "s3Uri": f"s3://{bucket}/{job_object}",
            "compressionType": "GZIP"
        }
    },
    inputDataConfig=[
        {
            "channelName": "hellothere",
            "compressionType": "NONE",
            "dataSource": {
                "s3DataSource": {
                    "s3Uri": f"s3://{bucket}/{s3_prefix}/input",
                    "s3DataType": "S3_PREFIX"
                }
            }
        }
    ],
    outputDataConfig={
        "s3Path": f"s3://{bucket}/{s3_prefix}/output"
    },
    instanceConfig={
        "instanceType": "ml.m5.large",
        "instanceCount": 1,
        "volumeSizeInGb": 1
    },
    checkpointConfig={
        "s3Uri":  f"s3://{bucket}/{s3_prefix}/checkpoints",
        "localPath": "/opt/omega/checkpoints"
    },
    deviceConfig={
        "priorityAccess": {
            "devices": [
                "arn:aws:braket:us-west-1::device/qpu/rigetti/Ankaa-3"
            ]
        }
    },
    hyperParameters={
        "hyperparameter key you wish to pass": "<hyperparameter value you wish to
 pass>",
```

```
    },
    stoppingCondition={
        "maxRuntimeInSeconds": 1200,
        "maximumTaskLimit": 10
    },
)
```

Setelah Anda membuat pekerjaan hybrid, Anda dapat mengakses detail pekerjaan hybrid melalui `GetJob` API atau konsol. Untuk mendapatkan rincian pekerjaan hybrid dari sesi Python di mana Anda menjalankan `createJob` kode seperti pada contoh sebelumnya, gunakan perintah Python berikut.

```
getJob = client.get_job(jobArn=job["jobArn"])
```

Untuk membatalkan pekerjaan hibrida, hubungi `CancelJob` API dengan Amazon Resource Name pekerjaan ('JobArn').

```
cancelJob = client.cancel_job(jobArn=job["jobArn"])
```

Anda dapat menentukan pos pemeriksaan sebagai bagian dari `createJob` API penggunaan `checkpointConfig` parameter.

```
    checkpointConfig = {
        "localPath" : "/opt/omega/checkpoints",
        "s3Uri": f"s3://{bucket}/{s3_prefix}/checkpoints"
    },
```

> **Note**
>
> LocalPath `checkpointConfig` tidak dapat memulai dengan salah satu jalur cadangan berikut:`/opt/ml`,, `/opt/braket/tmp`, atau. `/usr/local/nvidia`

Buat dan debug pekerjaan hybrid dengan mode lokal

Saat Anda membangun algoritma hybrid baru, mode lokal membantu Anda men-debug dan menguji skrip algoritme Anda. Mode lokal adalah fitur yang memungkinkan Anda menjalankan kode yang Anda rencanakan untuk digunakan di Amazon Braket Hybrid Jobs, tetapi tanpa perlu Braket untuk

mengelola infrastruktur untuk menjalankan pekerjaan hybrid. Sebagai gantinya, jalankan pekerjaan hybrid secara lokal di instans Notebook Amazon Braket Anda atau pada klien pilihan, seperti laptop atau komputer desktop.

Dalam mode lokal, Anda masih dapat mengirim tugas kuantum ke perangkat yang sebenarnya, tetapi Anda tidak mendapatkan manfaat kinerja saat menjalankan unit pemrosesan Quantum (QPU) yang sebenarnya saat dalam mode lokal.

Untuk menggunakan mode lokal, ubah `AwsQuantumJob` ke `LocalQuantumJob` mana pun itu terjadi di dalam program Anda. Misalnya, untuk menjalankan contoh dari Buat pekerjaan hybrid pertama Anda, edit skrip pekerjaan hybrid dalam kode sebagai berikut.

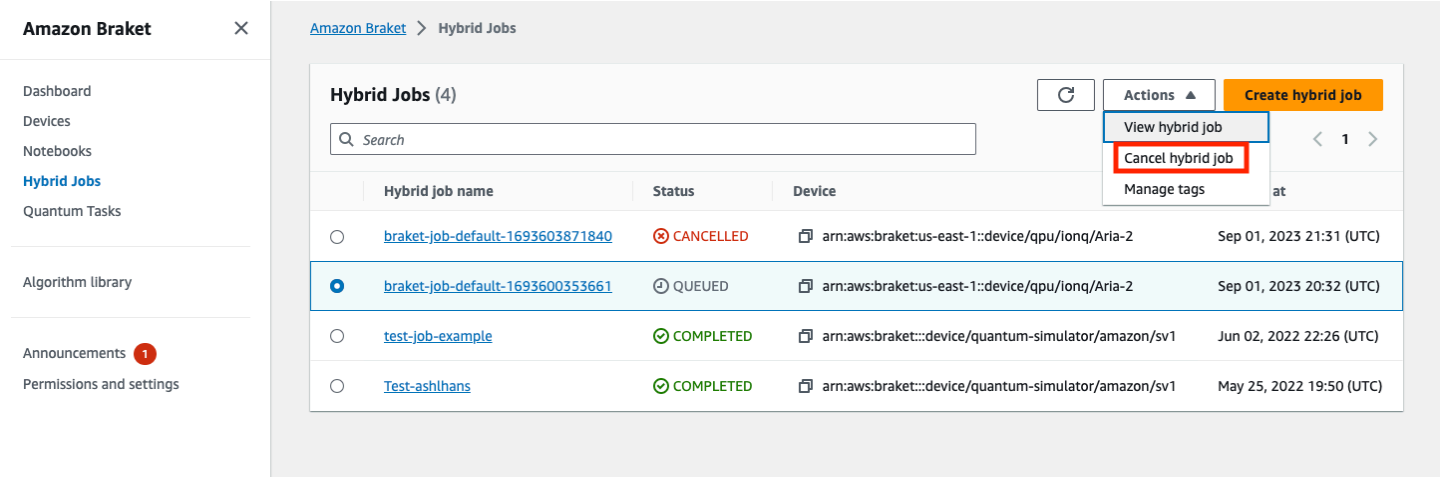
```
from braket.jobs.local import LocalQuantumJob

job = LocalQuantumJob.create(
    device="arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1",
    source_module="algorithm_script.py",
    entry_point="algorithm_script:start_here",
)
```

> **Note**
>
> Docker, yang sudah diinstal sebelumnya di notebook Amazon Braket, perlu diinstal di lingkungan lokal Anda untuk menggunakan fitur ini. Petunjuk untuk menginstal Docker dapat ditemukan di halaman Get Docker. Selain itu, tidak semua parameter didukung dalam mode lokal.

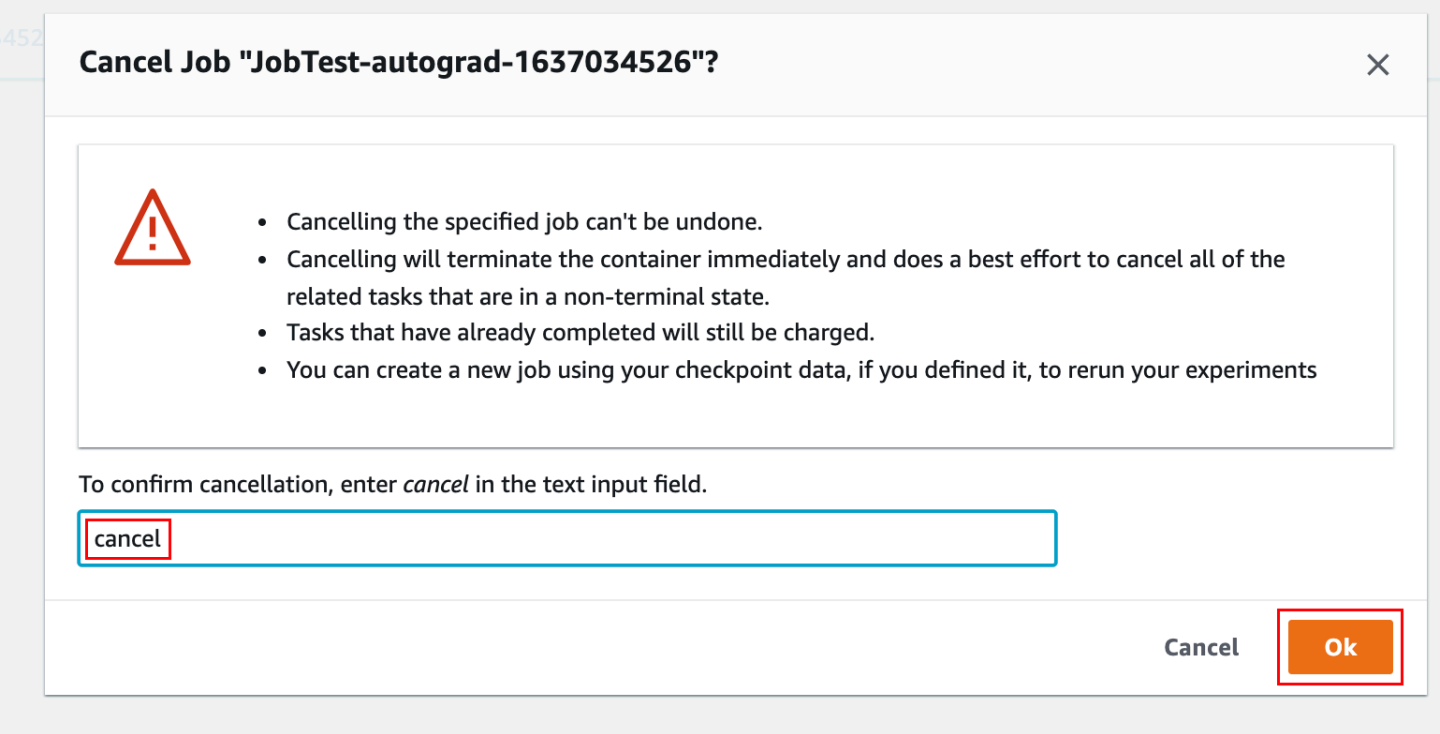
Membatalkan Job Hybrid

Anda mungkin perlu membatalkan pekerjaan hibrida dalam keadaan non-terminal. Ini dapat dilakukan di konsol atau dengan kode.

Untuk membatalkan pekerjaan hibrida Anda di konsol, pilih pekerjaan hibrida yang akan dibatalkan dari halaman Pekerjaan Hybrid, lalu pilih Batalkan pekerjaan hibrida dari menu tarik-turun Tindakan.



Untuk mengonfirmasi pembatalan, masukkan batal ke bidang input saat diminta dan kemudian pilih OK.



Untuk membatalkan pekerjaan hybrid Anda menggunakan kode dari SDK Python Braket, gunakan `job_arn` untuk mengidentifikasi pekerjaan hybrid dan kemudian panggil perintah di atasnya seperti `cancel` yang ditunjukkan pada kode berikut.

```
job = AwsQuantumJob(arn=job_arn)
job.cancel()
```

`cancel`Perintah segera menghentikan wadah pekerjaan hibrida klasik dan melakukan upaya terbaik untuk membatalkan semua tugas kuantum terkait yang masih dalam keadaan non-terminal.

Menyesuaikan Job Hybrid Anda

Amazon Braket menyediakan beberapa cara untuk menyesuaikan cara kerja hybrid Anda berjalan, memungkinkan Anda menyesuaikan lingkungan dengan kebutuhan spesifik Anda. Bagian ini mengeksplorasi opsi untuk menyesuaikan pekerjaan hibrida, mulai dari mendefinisikan lingkungan skrip algoritme hingga membawa wadah Anda sendiri. Anda akan mempelajari cara mengoptimalkan alur kerja menggunakan hyperparameters, mengonfigurasi instance pekerjaan, dan memanfaatkan kompilasi parametrik untuk meningkatkan kinerja. Teknik penyesuaian ini membantu Anda memaksimalkan potensi perhitungan kuantum hibrida Anda di Amazon Braket.

Di bagian ini:

- Tentukan lingkungan untuk skrip algoritme Anda
- Menggunakan hyperparameters
- Konfigurasikan instance pekerjaan hybrid Anda
- Menggunakan kompilasi parametrik untuk mempercepat Pekerjaan Hybrid

Tentukan lingkungan untuk skrip algoritme Anda

Amazon Braket mendukung lingkungan yang ditentukan oleh kontainer untuk skrip algoritme Anda:

- Sebuah wadah dasar (default, jika tidak `image_uri` ditentukan)
- Sebuah wadah dengan CUDA-Q
- Wadah dengan Tensorflow dan PennyLane
- Sebuah wadah dengan PyTorch, PennyLane, dan CUDA-Q

Tabel berikut memberikan rincian tentang wadah dan pustaka yang disertakan.

Wadah Amazon Braket

Tipe	Basis	CUDA-Q	TensorFlow	PyTorch
URI Gambar	292282985 366.dkr.ecr.us-	292282985 366.dkr.ecr.us-	292282985 366.dkr.ecr.us-	292282985 366.dkr.ecr.us-

Tipe	Basis	CUDA-Q	TensorFlow	PyTorch
	west-2.amazonaws. com/amazon-braket-base-jobs :terbaru	west-2.amazonaws. com/amazon-braket-cudaq-pekerjaan:terbaru	east-1.amazonaws. com/amazon-braket-tensorflow-pekerjaan:terbaru	west-2.amazonaws. com/amazon-braket-pytorch-pekerjaan:terbaru

Tipe	Basis	CUDA-Q	TensorFlow	PyTorch
Perpustakaan Warisan		• simulator default-rem amazon- • amazon-br aket-penn ylane-plugin • skema rem amazon • amazon-rem-sdk • awscli • botocore • boto3 • dask • matplotlib • numpy • panda • PennyLane • PennyLane-Lightning • penyedia rem qiskit • permintaan • pelatihan sagemaker- • scikit-belajar • scipy	• awscli • numpy • panda • scipy	• awscli • numpy • panda • scipy

Tipe	Basis	CUDA-Q	TensorFlow	PyTorch
Perpustakaan Tambahan	• simulator default-rem amazon- • amazon-br aket-penn ylane-plugin • skema rem amazon • amazon-rem-sdk • awscli • boto3 • ipykernel • matplotlib • jaringanx • numpy • openbabel • panda • PennyLane • protobuf • psi4 • rsa • scipy	• cudaq • cudaq-qec • pemecah cudaq	• simulator default-rem amazon- • amazon-br aket-penn ylane-plugin • skema rem amazon • amazon-rem-sdk • ipykernel • keras • matplotlib • jaringanx • openbabel • PennyLane • protobuf • psi4 • rsa • PennyLane-Lightning-gpu • CuQuantum	• simulator default-rem amazon- • amazon-br aket-penn ylane-plugin • skema rem amazon • amazon-rem-sdk • ipykernel • keras • matplotlib • jaringanx • openbabel • PennyLane • protobuf • psi4 • rsa • PennyLane-Lightning-gpu • CuQuantum • cudaq • cudaq-qec • pemecah cudaq

Anda dapat melihat dan mengakses definisi wadah open source di aws/amazon-braket-containers. Pilih wadah yang paling cocok dengan kasus penggunaan Anda. Anda dapat menggunakan salah satu AWS Wilayah yang tersedia di Braket (us-east-1, us-west-1, us-west-2, eu-north-1, eu-west-2,

eu-west-2), tetapi Wilayah penampung harus cocok dengan Wilayah untuk pekerjaan hibrida Anda. Tentukan gambar kontainer saat Anda membuat pekerjaan hibrida dengan menambahkan salah satu dari tiga argumen berikut ke `create(…)` panggilan Anda dalam skrip pekerjaan hybrid. Anda dapat menginstal dependensi tambahan ke dalam wadah yang Anda pilih saat runtime (dengan biaya startup atau runtime) karena kontainer Amazon Braket memiliki konektivitas internet. Contoh berikut adalah untuk Wilayah us-west-2.

- Gambar dasar: image_uri="292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws. com/amazon-braket-base-jobs:latest”
- CUDA-Q image: image_uri="292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws. com/amazon-braket-cudaq-jobs:terbaru”
- Gambar tensorflow: image_uri="292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws. com/amazon-braket-tensorflow-jobs:terbaru”
- PyTorch image: image_uri="292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws. com/amazon-braket-pytorch-jobs:terbaru”

Ini juga `image-uris` dapat diambil menggunakan `retrieve_image()` fungsi di Amazon Braket SDK. Contoh berikut menunjukkan cara mengambilnya dari Wilayah AWS us-west-2.

```
from braket.jobs.image_uris import retrieve_image, Framework

image_uri_base = retrieve_image(Framework.BASE, "us-west-2")
image_uri_cudaq = retrieve_image(Framework.CUDAQ, "us-west-2")
image_uri_tf = retrieve_image(Framework.PL_TENSORFLOW, "us-west-2")
image_uri_pytorch = retrieve_image(Framework.PL_PYTORCH, "us-west-2")
```

Bawa wadah Anda sendiri (BYOC)

Amazon Braket Hybrid Jobs menyediakan tiga kontainer pra-bangun untuk menjalankan kode di lingkungan yang berbeda. Jika salah satu wadah ini mendukung kasus penggunaan Anda, Anda hanya perlu menyediakan skrip algoritme saat membuat pekerjaan hibrida. Dependensi kecil yang hilang dapat ditambahkan dari skrip algoritme Anda atau dari `requirements.txt` file yang menggunakan. `pip`

Jika tidak ada kontainer ini yang mendukung kasus penggunaan Anda, atau jika Anda ingin mengembangkannya, Braket Hybrid Jobs mendukung menjalankan pekerjaan hibrida dengan gambar Docker penampung kustom Anda sendiri, atau membawa wadah Anda sendiri (BYOC). Pastikan itu adalah fitur yang tepat untuk kasus penggunaan Anda.

Di bagian ini:

- Kapan membawa wadah saya sendiri keputusan yang tepat?
- Resep untuk membawa wadah Anda sendiri
- Menjalankan pekerjaan hybrid Braket di wadah Anda sendiri

Kapan membawa wadah saya sendiri keputusan yang tepat?

Membawa wadah Anda sendiri (BYOC) ke Braket Hybrid Jobs menawarkan fleksibilitas untuk menggunakan perangkat lunak Anda sendiri dengan menginstalnya di lingkungan yang dikemas. Bergantung pada kebutuhan spesifik Anda, mungkin ada cara untuk mencapai fleksibilitas yang sama tanpa harus melalui BYOC Docker build penuh - unggahan Amazon ECR - siklus URI gambar khusus.

> **Note**
>
> BYOC mungkin bukan pilihan yang tepat jika Anda ingin menambahkan sejumlah kecil paket Python tambahan (umumnya kurang dari 10) yang tersedia untuk umum. Misalnya, jika Anda menggunakan PyPi.

Dalam hal ini, Anda dapat menggunakan salah satu gambar Braket yang sudah dibuat sebelumnya, dan kemudian menyertakan `requirements.txt` file di direktori sumber Anda pada pengiriman pekerjaan. File secara otomatis dibaca, dan `pip` akan menginstal paket dengan versi yang ditentukan seperti biasa. Jika Anda menginstal sejumlah besar paket, runtime pekerjaan Anda mungkin meningkat secara substansional. Periksa Python dan, jika ada, versi CUDA dari wadah bawaan yang ingin Anda gunakan untuk menguji apakah perangkat lunak Anda akan berfungsi.

BYOC diperlukan ketika Anda ingin menggunakan bahasa non-Python (seperti C ++ atau Rust) untuk skrip pekerjaan Anda, atau jika Anda ingin menggunakan versi Python yang tidak tersedia melalui wadah pra-bangun Braket. Ini juga merupakan pilihan yang baik jika:

- Anda menggunakan perangkat lunak dengan kunci lisensi, dan Anda perlu mengautentikasi kunci itu terhadap server lisensi untuk menjalankan perangkat lunak. Dengan BYOC, Anda dapat menyematkan kunci lisensi dalam Docker gambar Anda dan menyertakan kode untuk mengotentikasi itu.

- Anda menggunakan perangkat lunak yang tidak tersedia untuk umum. Misalnya, perangkat lunak di-host di pribadi GitLab atau GitHub repositori yang Anda perlukan kunci SSH tertentu untuk diakses.
- Anda perlu menginstal serangkaian besar perangkat lunak yang tidak dikemas dalam wadah yang disediakan Braket. BYOC akan memungkinkan Anda untuk menghilangkan waktu startup yang lama untuk wadah pekerjaan hybrid Anda karena instalasi perangkat lunak.

BYOC juga memungkinkan Anda membuat SDK atau algoritme khusus Anda tersedia bagi pelanggan dengan membangun Docker wadah dengan perangkat lunak Anda dan membuatnya tersedia bagi pengguna Anda. Anda dapat melakukan ini dengan menetapkan izin yang sesuai di Amazon ECR.

> **Note**
>
> Anda harus mematuhi semua lisensi perangkat lunak yang berlaku.

Resep untuk membawa wadah Anda sendiri

Di bagian ini, kami menyediakan panduan langkah demi langkah tentang apa yang Anda butuhkan bring your own container (BYOC) untuk Braket Hybrid Jobs — skrip, file, dan langkah-langkah untuk menggabungkannya agar dapat bangkit dan berjalan dengan gambar kustom Docker Anda. Resep untuk dua kasus umum:

1. Instal perangkat lunak tambahan dalam Docker gambar dan gunakan hanya skrip algoritma Python dalam pekerjaan Anda.
2. Gunakan skrip algoritma yang ditulis dalam bahasa non-Python dengan Hybrid Jobs, atau arsitektur CPU selain x86.

Mendefinisikan skrip entri kontainer lebih kompleks untuk kasus 2.

Saat Braket menjalankan Job Hybrid Anda, Braket akan meluncurkan nomor dan jenis instans Amazon EC2 yang diminta, lalu menjalankan gambar Docker yang ditentukan oleh input URI gambar ke pembuatan pekerjaan pada mereka. Saat menggunakan fitur BYOC, Anda menentukan URI gambar yang dihosting di repositori ECR Amazon pribadi yang memiliki akses Baca. Braket Hybrid Jobs menggunakan gambar kustom itu untuk menjalankan pekerjaan.

Komponen spesifik yang Anda butuhkan untuk membangun Docker gambar yang dapat digunakan dengan Hybrid Jobs. Jika Anda tidak terbiasa menulis dan membangun`Dockerfiles`, lihat dokumentasi Dockerfile dan dokumentasinya. Amazon ECR CLI

Persyaratan:

- Gambar dasar untuk Dockerfile Anda
- (Opsional) Skrip titik masuk kontainer yang dimodifikasi
- Instal perangkat lunak dan skrip kontainer yang diperlukan dengan Dockerfile

Gambar dasar untuk Dockerfile Anda

Jika Anda menggunakan Python dan ingin menginstal perangkat lunak di atas apa yang disediakan dalam wadah yang disediakan Braket, opsi untuk gambar dasar adalah salah satu gambar wadah Braket, yang dihosting di GitHub repo kami dan di Amazon ECR. Anda perlu mengautentikasi ke Amazon ECR untuk menarik gambar dan membangun di atasnya. Misalnya, baris pertama Docker file BYOC Anda dapat berupa: `FROM [IMAGE_URI_HERE]`

Selanjutnya, isi sisa Dockerfile untuk menginstal dan mengatur perangkat lunak yang ingin Anda tambahkan ke wadah. Gambar Braket yang sudah dibuat sebelumnya sudah berisi skrip titik masuk kontainer yang sesuai, jadi Anda tidak perlu khawatir untuk memasukkannya.

Jika Anda ingin menggunakan bahasa non-Python, seperti C ++, Rust, atau Julia, atau jika Anda ingin membuat gambar untuk arsitektur CPU non-x86, seperti ARM, Anda mungkin perlu membangun di atas gambar publik barebone. Anda dapat menemukan banyak gambar seperti itu di Galeri Publik Amazon Elastic Container Registry. Pastikan Anda memilih salah satu yang sesuai untuk arsitektur CPU, dan jika perlu, GPU yang ingin Anda gunakan.

(Opsional) Skrip titik masuk kontainer yang dimodifikasi

> **Note**
>
> Jika Anda hanya menambahkan perangkat lunak tambahan ke gambar Braket yang sudah dibuat sebelumnya, Anda dapat melewati bagian ini.

Untuk menjalankan kode non-Python sebagai bagian dari pekerjaan hybrid Anda, modifikasi skrip Python yang mendefinisikan titik masuk kontainer. Misalnya, skrip `braket_container.py` python di Amazon Braket Github. Ini adalah skrip gambar yang dibuat sebelumnya oleh Braket digunakan

untuk meluncurkan skrip algoritme Anda dan mengatur variabel lingkungan yang sesuai. Skrip titik masuk kontainer itu sendiri harus menggunakan Python, tetapi dapat meluncurkan skrip non-Python. Dalam contoh pra-bangun, Anda dapat melihat bahwa skrip algoritma Python diluncurkan baik sebagai subproses Python atau sebagai proses yang sepenuhnya baru. Dengan memodifikasi logika ini, Anda dapat mengaktifkan skrip titik masuk untuk meluncurkan skrip algoritma non-Python. Misalnya, Anda dapat memodifikasi `thekick_off_customer_script()`fungsi untuk meluncurkan proses Rust tergantung pada akhir ekstensi file.

Anda juga dapat memilih untuk menulis yang benar-benar baru`braket_container.py`. Ini harus menyalin data input, arsip sumber, dan file lain yang diperlukan dari Amazon S3 ke dalam wadah, dan menentukan variabel lingkungan yang sesuai.

Instal perangkat lunak dan skrip kontainer yang diperlukan dengan **`Dockerfile`**

> **Note**
>
> Jika Anda menggunakan gambar Braket yang sudah dibuat sebelumnya sebagai gambar Docker dasar Anda, skrip kontainer sudah ada.

Jika Anda membuat skrip kontainer yang dimodifikasi pada langkah sebelumnya, Anda harus menyalinnya ke dalam wadah dan menentukan variabel `SAGEMAKER_PROGRAM` lingkungan`braket_container.py`, atau apa yang telah Anda beri nama skrip titik masuk kontainer baru Anda.

Berikut ini adalah contoh dari `Dockerfile` yang memungkinkan Anda untuk menggunakan Julia pada instance GPU-accelerated Jobs:

```
FROM nvidia/cuda:12.2.0-devel-ubuntu22.04


 ARG DEBIAN_FRONTEND=noninteractive
 ARG JULIA_RELEASE=1.8
 ARG JULIA_VERSION=1.8.3


 ARG PYTHON=python3.11
 ARG PYTHON_PIP=python3-pip
 ARG PIP=pip
```

```
ARG JULIA_URL = https://julialang-s3.julialang.org/bin/linux/x64/${JULIA_RELEASE}/
ARG TAR_NAME = julia-${JULIA_VERSION}-linux-x86_64.tar.gz


ARG PYTHON_PKGS = # list your Python packages and versions here


RUN curl -s -L ${JULIA_URL}/${TAR_NAME} | tar -C /usr/local -x -z --strip-components=1
-f -


RUN apt-get update \

   && apt-get install -y --no-install-recommends \

   build-essential \

   tzdata \

   openssh-client \

   openssh-server \

   ca-certificates \

   curl \

   git \

   libtemplate-perl \

   libssl1.1 \

   openssl \

   unzip \

   wget \

   zlib1g-dev \

   ${PYTHON_PIP} \

   ${PYTHON}-dev \
```

```
 RUN ${PIP} install --no-cache --upgrade ${PYTHON_PKGS}


 RUN ${PIP} install --no-cache --upgrade sagemaker-training==4.1.3


 # Add EFA and SMDDP to LD library path
 ENV LD_LIBRARY_PATH="/opt/conda/lib/python${PYTHON_SHORT_VERSION}/site-packages/
smdistributed/dataparallel/lib:$LD_LIBRARY_PATH"
 ENV LD_LIBRARY_PATH=/opt/amazon/efa/lib/:$LD_LIBRARY_PATH


 # Julia specific installation instructions
 COPY Project.toml /usr/local/share/julia/environments/v${JULIA_RELEASE}/
 RUN JULIA_DEPOT_PATH=/usr/local/share/julia \

    julia -e 'using Pkg; Pkg.instantiate(); Pkg.API.precompile()'
 # generate the device runtime library for all known and supported devices
 RUN JULIA_DEPOT_PATH=/usr/local/share/julia \

    julia -e 'using CUDA; CUDA.precompile_runtime()'


 # Open source compliance scripts
 RUN HOME_DIR=/root \

 && curl -o ${HOME_DIR}/oss_compliance.zip https://aws-dlinfra-
utilities.s3.amazonaws.com/oss_compliance.zip \

 && unzip ${HOME_DIR}/oss_compliance.zip -d ${HOME_DIR}/ \

 && cp ${HOME_DIR}/oss_compliance/test/testOSSCompliance /usr/local/bin/
testOSSCompliance \

 && chmod +x /usr/local/bin/testOSSCompliance \

 && chmod +x ${HOME_DIR}/oss_compliance/generate_oss_compliance.sh \

 && ${HOME_DIR}/oss_compliance/generate_oss_compliance.sh ${HOME_DIR} ${PYTHON} \
```

```
 && rm -rf ${HOME_DIR}/oss_compliance*


 # Copying the container entry point script
 COPY braket_container.py /opt/ml/code/braket_container.py
 ENV SAGEMAKER_PROGRAM braket_container.py
```

Contoh ini, mengunduh dan menjalankan skrip yang disediakan oleh AWS untuk memastikan kepatuhan terhadap semua Open-Source lisensi yang relevan. Misalnya, dengan menghubungkan kode yang diinstal dengan benar yang diatur oleh file. MIT license

Jika Anda perlu menyertakan kode non-publik, misalnya kode yang di-host di privat GitHub atau GitLab repositori, jangan sematkan kunci SSH pada gambar untuk mengaksesnyaDocker. Sebagai gantinya, gunakan Docker Compose saat Anda membangun Docker untuk memungkinkan mengakses SSH pada mesin host tempat ia dibangun. Untuk informasi selengkapnya, lihat Securely using SSH keys in Docker to access private Github repositories guide.

Membangun dan mengunggah gambar Anda Docker

Dengan didefinisikan dengan benar`Dockerfile`, Anda sekarang siap untuk mengikuti langkah-langkah untuk membuat repositori Amazon ECR pribadi, jika belum ada. Anda juga dapat membuat, menandai, dan mengunggah gambar kontainer Anda ke repositori.

Anda siap untuk membangun, menandai, dan mendorong gambar. Lihat dokumentasi build Docker untuk penjelasan lengkap tentang opsi `docker build` dan beberapa contoh.

Untuk file contoh yang ditentukan di atas, Anda dapat menjalankan:

```
aws ecr get-login-password --region ${your_region} | docker login --username AWS --
password-stdin ${aws_account_id}.dkr.ecr.${your_region}.amazonaws.com
 docker build -t braket-julia .
 docker tag braket-julia:latest ${aws_account_id}.dkr.ecr.${your_region}.amazonaws.com/
braket-julia:latest
 docker push ${aws_account_id}.dkr.ecr.${your_region}.amazonaws.com/braket-julia:latest
```

Menetapkan izin ECR Amazon yang sesuai

Braket Hybrid Jobs Dockergambar harus di-host di repositori Amazon ECR pribadi. Secara default, repo Amazon ECR pribadi tidak menyediakan akses baca ke Braket Hybrid Jobs IAM role atau ke pengguna lain yang ingin menggunakan gambar Anda, seperti kolaborator atau siswa. Anda harus

menetapkan kebijakan repositori untuk memberikan izin yang sesuai. Secara umum, hanya berikan izin kepada pengguna dan IAM peran tertentu yang ingin Anda akses ke gambar Anda, daripada mengizinkan siapa pun image URI yang menariknya.

Menjalankan pekerjaan hybrid Braket di wadah Anda sendiri

Untuk membuat pekerjaan hybrid dengan container Anda sendiri, panggil `AwsQuantumJob.create()` dengan argumen yang `image_uri` ditentukan. Anda dapat menggunakan QPU, simulator sesuai permintaan, atau menjalankan kode Anda secara lokal pada prosesor klasik yang tersedia dengan Braket Hybrid Jobs. Kami merekomendasikan pengujian kode Anda pada simulator seperti SV1, DM1, atau TN1 sebelum berjalan pada QPU nyata.

Untuk menjalankan kode Anda pada prosesor klasik, tentukan `instanceType` dan yang `instanceCount` Anda gunakan dengan memperbarui file`InstanceConfig`. Perhatikan bahwa jika Anda menentukan `instance_count` > 1, Anda perlu memastikan bahwa kode Anda dapat berjalan di beberapa host. Batas atas untuk jumlah instance yang dapat Anda pilih adalah 5. Contoh:

```
job = AwsQuantumJob.create(
    source_module="source_dir",
    entry_point="source_dir.algorithm_script:start_here",
    image_uri="111122223333.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/my-byoc-container:latest",
    instance_config=InstanceConfig(instanceType="ml.g4dn.xlarge", instanceCount=3),
    device="local:braket/braket.local.qubit",
    # ...)
```

> **Note**
>
> Gunakan perangkat ARN untuk melacak simulator yang Anda gunakan sebagai metadata pekerjaan hibrida. Nilai yang dapat diterima harus mengikuti format`device = "local:<provider>/<simulator_name>"`. Ingat itu `<provider>` dan `<simulator_name>` harus hanya terdiri dari huruf, angka,`_`,`-`, dan`.`. String dibatasi hingga 256 karakter.
>
> Jika Anda berencana untuk menggunakan BYOC dan Anda tidak menggunakan Braket SDK untuk membuat tugas kuantum, Anda harus meneruskan nilai variabel lingkungan `AMZN_BRAKET_JOB_TOKEN` ke `jobToken` parameter dalam permintaan. `CreateQuantumTask` Jika tidak, tugas kuantum tidak mendapatkan prioritas dan ditagih sebagai tugas kuantum mandiri biasa.

Menggunakan hyperparameters

Anda dapat menentukan hiperparameter yang dibutuhkan oleh algoritme Anda, seperti tingkat pembelajaran atau ukuran langkah, saat Anda membuat pekerjaan hibrida. Nilai hyperparameter biasanya digunakan untuk mengontrol berbagai aspek algoritma, dan sering dapat disetel untuk mengoptimalkan kinerja algoritma. Untuk menggunakan hyperparameters dalam pekerjaan hybrid Braket, Anda perlu menentukan nama dan nilainya secara eksplisit sebagai kamus. Tentukan nilai hyperparameter yang akan diuji saat mencari set nilai optimal. Langkah pertama untuk menggunakan hyperparameters adalah mengatur dan mendefinisikan hyperparameters sebagai kamus, yang dapat dilihat pada kode berikut.

```
from braket.devices import Devices

device_arn = Devices.Amazon.SV1

hyperparameters = {"shots": 1_000}
```

Kemudian berikan hyperparameters yang didefinisikan dalam cuplikan kode yang diberikan di atas untuk digunakan dalam algoritma pilihan Anda. Untuk menjalankan contoh kode berikut, buat direktori bernama “src” di jalur yang sama dengan file hyperparameter Anda. Di dalam direktori “src”, tambahkan file kode 0_ Getting_started_papermill .ipynb, notebook_runner.py, dan requirements.txt.

```
import time
from braket.aws import AwsQuantumJob

job = AwsQuantumJob.create(
    device=device_arn,
    source_module="src",
    entry_point="src.notebook_runner:run_notebook",
    input_data="src/0_Getting_started_papermill.ipynb",
    hyperparameters=hyperparameters,
    job_name=f"papermill-job-demo-{int(time.time())}",
)

# Print job to record the ARN
print(job)
```

Untuk mengakses hyperparameters Anda dari dalam skrip pekerjaan hybrid Anda, lihat `load_jobs_hyperparams()` fungsi dalam file python notebook_runner.py. Untuk mengakses hyperparameters Anda di luar skrip pekerjaan hybrid Anda, jalankan kode berikut.

```
from braket.aws import AwsQuantumJob

# Get the job using the ARN
job_arn = "arn:aws:braket:us-east-1:111122223333:job/5eabb790-d3ff-47cc-98ed-
b4025e9e296f"  # Replace with your job ARN
job = AwsQuantumJob(arn=job_arn)

# Access the hyperparameters
job_metadata = job.metadata()
hyperparameters = job_metadata.get("hyperParameters", {})
print(hyperparameters)
```

Untuk informasi lebih lanjut tentang mempelajari cara menggunakan hyperparamters, lihat QAOA dengan Amazon Braket Hybrid Jobs dan PennyLane dan Quantum machine learning di Amazon Braket Hybrid Jobs tutorial.

Konfigurasikan instance pekerjaan hybrid Anda

Tergantung pada algoritma Anda, Anda mungkin memiliki persyaratan yang berbeda. Secara default, Amazon Braket menjalankan skrip algoritme Anda pada sebuah `ml.m5.large` instance. Namun, Anda dapat menyesuaikan jenis instance ini saat membuat pekerjaan hibrida menggunakan argumen impor dan konfigurasi berikut.

```
from braket.jobs.config import InstanceConfig

job = AwsQuantumJob.create(
    ...
    instance_config=InstanceConfig(instanceType="ml.g4dn.xlarge"), # Use NVIDIA T4
 instance with 4 GPUs.
    ...
    ),
```

Jika Anda menjalankan simulasi tertanam dan telah menetapkan perangkat lokal dalam konfigurasi perangkat, Anda juga dapat meminta lebih dari satu instance `InstanceConfig` dengan menentukan `instanceCount` dan menyetelnya menjadi lebih besar dari satu. Batas atas adalah 5. Misalnya, Anda dapat memilih 3 contoh sebagai berikut.

```
from braket.jobs.config import InstanceConfig
job = AwsQuantumJob.create(
    ...
```

```
    instance_config=InstanceConfig(instanceType="ml.g4dn.xlarge", instanceCount=3), #
Use 3 NVIDIA T4 instances
    ...
    ),
```

Saat Anda menggunakan beberapa instance, pertimbangkan untuk mendistribusikan pekerjaan hybrid Anda menggunakan fitur data parallel. Lihat contoh buku catatan berikut untuk detail selengkapnya tentang cara melihat pelatihan Parallelize untuk contoh QML ini.

Tiga tabel berikut mencantumkan jenis dan spesifikasi instans yang tersedia untuk instans standar, kinerja tinggi, dan akselerasi GPU.

> **Note**
>
> Untuk melihat kuota instans komputasi klasik default untuk Pekerjaan Hybrid, lihat halaman Kuota Amazon Braket.

Instans Standar	vCPU	Memori (GiB)
db.t3.large	2	8
db.t3.xlarge	4	16
ml.t3.2xlarge	8	32
ml.m5.large (default)	4	16
db.m5.xlarge	4	16
ml.m5.2xlarge	8	32
ml.m5.4xlarge	16	64
ml.m5.12xlarge	48	192
ml.m5.24xlarge	96	384

Instans kinerja tinggi	vCPU	Memori (GiB)
ml.c5.xlarge	4	8
ml.c5.2xlarge	8	16
ml.c5.4xlarge	16	32
ml.c5.9xlarge	36	72
ml.c5.18xlarge	72	144
ml.c5n.xlarge	4	10.5
ml.c5n.2xbesar	8	21
ml.c5n.4xbesar	16	32
ml.c5n.9xlarge	36	72
ml.c5n.18xlarge	72	192

Instans yang dipercepat GPU	GPU	vCPU	Memori (GiB)	Memori GPU (GiB)
ml.p4d.24xlarge	8	96	1152	320
ml.g4dn.xlarge	1	4	16	16
ml.g4dn.2xbesar	1	8	32	16
ml.g4dn.4xbesar	1	16	64	16
ml.g4dn.8xlarge	1	32	128	16
ml.g4dn.12xlarge	4	48	192	64
ml.g4dn.16xlarge	1	64	256	16
ml.g6.xlarge	1	4	16	24

Instans yang dipercepat GPU	GPU	vCPU	Memori (GiB)	Memori GPU (GiB)
ml.g6.2xbesar	1	8	32	24
ml.g6.4xbesar	1	16	64	24
ml.g6.8xlarge	1	32	128	24
ml.g6.12xlarge	4	48	192	96
ml.g6.16xlarge	1	64	256	24
ml.g6.24xbesar	4	96	384	96
ml.g6.48xlarge	8	192	768	192
ml.g6e.xlarge	1	4	32	48
ml.g6e.2xlarge	1	8	64	48
ml.g6e.4xlarge	1	16	128	48
ml.g6e.8xlarge	1	32	256	48
ml.g6e.12xlarge	4	48	384	192
ml.g6e.16xlarge	1	64	512	48
ml.g6e.24xlarge	4	96	768	192
ml.g6e.48xlarge	8	192	1536	384

Setiap instans menggunakan konfigurasi default penyimpanan data (SSD) sebesar 30 GB. Tetapi Anda dapat menyesuaikan penyimpanan dengan cara yang sama seperti yang Anda konfigurasikan`instanceType`. Contoh berikut menunjukkan cara meningkatkan total penyimpanan menjadi 50 GB.

```
from braket.jobs.config import InstanceConfig

job = AwsQuantumJob.create(
```

```
    ...
    instance_config=InstanceConfig(
        instanceType="ml.g4dn.xlarge",
        volumeSizeInGb=50,
    ),
    ...
    ),
```

Konfigurasikan bucket default di **`AwsSession`**

Memanfaatkan `AwsSession` instans Anda sendiri memberi Anda fleksibilitas yang ditingkatkan, seperti kemampuan untuk menentukan lokasi khusus untuk bucket Amazon S3 default Anda. Secara default, a `AwsSession` memiliki lokasi bucket Amazon S3 yang telah dikonfigurasi sebelumnya. `"amazon-braket-{id}-{region}"` Namun, Anda memiliki opsi untuk mengganti lokasi bucket Amazon S3 default saat membuat file. `AwsSession` Pengguna dapat secara opsional meneruskan `AwsSession` objek ke dalam `AwsQuantumJob.create()` metode, dengan memberikan `aws_session` parameter seperti yang ditunjukkan dalam contoh kode berikut.

```
aws_session = AwsSession(default_bucket="amazon-braket-s3-demo-bucket")

# Then you can use that AwsSession when creating a hybrid job
job = AwsQuantumJob.create(
    ...
    aws_session=aws_session
)
```

Menggunakan kompilasi parametrik untuk mempercepat Pekerjaan Hybrid

Amazon Braket mendukung kompilasi parametrik pada QPU tertentu. Ini memungkinkan Anda untuk mengurangi overhead yang terkait dengan langkah kompilasi yang mahal secara komputasi dengan mengkompilasi sirkuit hanya sekali dan tidak untuk setiap iterasi dalam algoritme hybrid Anda. Ini dapat meningkatkan runtime secara dramatis untuk Hybrid Jobs, karena Anda menghindari kebutuhan untuk mengkompilasi ulang sirkuit Anda di setiap langkah. Cukup kirimkan sirkuit parametris ke salah satu QPU kami yang didukung sebagai Braket Hybrid Job. Untuk pekerjaan hybrid yang berjalan lama, Braket secara otomatis menggunakan data kalibrasi yang diperbarui dari penyedia perangkat keras saat menyusun sirkuit Anda untuk memastikan hasil dengan kualitas terbaik.

Untuk membuat rangkaian parametrik, pertama-tama Anda harus memberikan parameter sebagai input dalam skrip algoritme Anda. Dalam contoh ini, kami menggunakan sirkuit parametrik kecil

dan mengabaikan pemrosesan klasik antara setiap iterasi. Untuk beban kerja tipikal, Anda akan mengirimkan banyak sirkuit dalam batch dan melakukan pemrosesan klasik seperti memperbarui parameter di setiap iterasi.

```
import os

from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import Circuit, FreeParameter

def start_here():

    print("Test job started.")

    # Use the device declared in the job script
    device = AwsDevice(os.environ["AMZN_BRAKET_DEVICE_ARN"])

    circuit = Circuit().rx(0, FreeParameter("theta"))
    parameter_list = [0.1, 0.2, 0.3]

    for parameter in parameter_list:
        result = device.run(circuit, shots=1000, inputs={"theta": parameter})

    print("Test job completed.")
```

Anda dapat mengirimkan skrip algoritma untuk dijalankan sebagai Hybrid Job dengan skrip pekerjaan berikut. Saat menjalankan Hybrid Job pada QPU yang mendukung kompilasi parametrik, sirkuit dikompilasi hanya pada proses pertama. Dalam proses berikutnya, sirkuit yang dikompilasi digunakan kembali, meningkatkan kinerja runtime dari Hybrid Job tanpa baris kode tambahan.

```
from braket.aws import AwsQuantumJob

job = AwsQuantumJob.create(
    device=device_arn,
    source_module="algorithm_script.py",
)
```

> **Note**
>
> Kompilasi parametrik didukung pada semua QPU superkonduktor berbasis gerbang Rigetti Computing dengan pengecualian program tingkat pulsa.

Menggunakan PennyLane dengan Amazon Braket

Algoritma hibrida adalah algoritma yang berisi instruksi klasik dan kuantum. Instruksi klasik dijalankan pada perangkat keras klasik (instans EC2 atau laptop Anda), dan instruksi kuantum dijalankan baik pada simulator atau pada komputer kuantum. Kami menyarankan Anda menjalankan algoritma hybrid menggunakan fitur Hybrid Jobs. Untuk informasi selengkapnya, lihat Kapan menggunakan Pekerjaan Amazon Braket.

Amazon Braket memungkinkan Anda untuk mengatur dan menjalankan algoritma kuantum hybrid dengan bantuan PennyLane plugin Amazon Braket, atau dengan Amazon Braket Python SDK dan contoh repositori notebook. Notebook contoh Amazon Braket, berdasarkan SDK, memungkinkan Anda untuk mengatur dan menjalankan algoritma hybrid tertentu tanpa plugin. PennyLane Namun, kami merekomendasikan PennyLane karena memberikan pengalaman yang lebih kaya.

Tentang algoritma kuantum hibrida

Algoritma kuantum hibrida penting bagi industri saat ini karena perangkat komputasi kuantum kontemporer umumnya menghasilkan noise, dan karenanya, kesalahan. Setiap gerbang kuantum yang ditambahkan ke komputasi meningkatkan kemungkinan menambahkan noise; oleh karena itu, algoritma yang berjalan lama dapat kewalahan oleh noise, yang menghasilkan komputasi yang salah.

Algoritma kuantum murni seperti Shor (contoh Estimasi Fase Kuantum) atau Grover (contoh Grover) membutuhkan ribuan, atau jutaan, operasi. Karena alasan ini, mereka tidak praktis untuk perangkat kuantum yang ada, yang umumnya disebut perangkat (NISQ) kuantum berisikskala menengah.

Dalam algoritme kuantum hibrid, unit pemrosesan kuantum (QPU) bekerja sebagai co-prosesor untuk CPU klasik, khususnya untuk mempercepat penghitungan tertentu dalam algoritme klasik. Eksekusi sirkuit menjadi jauh lebih pendek, dalam jangkauan kemampuan perangkat saat ini.

Di bagian ini:

- Amazon Braket dengan PennyLane
- Algoritme hibrid di notebook contoh Amazon Braket
- Algoritma hybrid dengan simulator tertanam PennyLane
- Gradien bersebelahan menyala PennyLane dengan simulator Amazon Braket
- Menggunakan Hybrid Jobs dan PennyLane menjalankan algoritma QAOA
- Jalankan beban kerja hybrid dengan simulator PennyLane tertanam

Amazon Braket dengan PennyLane

Amazon Braket menyediakan dukungan untuk PennyLane, kerangka kerja perangkat lunak open-source yang dibangun di sekitar konsep pemrograman kuantum yang dapat dibedakan. Anda dapat menggunakan kerangka kerja ini untuk melatih sirkuit kuantum dengan cara yang sama seperti Anda melatih jaringan saraf untuk menemukan solusi untuk masalah komputasi dalam kimia kuantum, pembelajaran mesin kuantum, dan optimasi.

PennyLane Perpustakaan menyediakan antarmuka ke alat pembelajaran mesin yang sudah dikenal, termasuk PyTorch dan TensorFlow, untuk membuat sirkuit kuantum pelatihan cepat dan intuitif.

- PennyLane Perpustakaan -- PennyLane sudah diinstal sebelumnya di notebook Amazon Braket. Untuk akses ke perangkat Amazon Braket dari PennyLane, buka buku catatan dan impor PennyLane perpustakaan dengan perintah berikut.

```
import pennylane as qml
```

Notebook tutorial membantu Anda memulai dengan cepat. Atau, Anda dapat menggunakan PennyLane Amazon Braket dari IDE pilihan Anda.

- PennyLane Plugin Amazon Braket — Untuk menggunakan IDE Anda sendiri, Anda dapat menginstal PennyLane plugin Amazon Braket secara manual. Plugin terhubung PennyLane dengan Amazon Braket Python SDK, sehingga Anda dapat menjalankan sirkuit di perangkat Braket. PennyLane Amazon Untuk menginstal PennyLane plugin, gunakan perintah berikut.

```
pip install amazon-braket-pennylane-plugin
```

Contoh berikut menunjukkan cara mengatur akses ke perangkat Amazon Braket di: PennyLane

```
# to use SV1
import pennylane as qml
sv1 = qml.device("braket.aws.qubit", device_arn="arn:aws:braket:::device/quantum-
simulator/amazon/sv1", wires=2)

# to run a circuit:
@qml.qnode(sv1)
def circuit(x):
    qml.RZ(x, wires=0)
```

```
    qml.CNOT(wires=[0,1])
    qml.RY(x, wires=1)
    return qml.expval(qml.PauliZ(1))

result = circuit(0.543)


#To use the local sim:
local = qml.device("braket.local.qubit", wires=2)
```

Untuk contoh tutorial dan informasi selengkapnya PennyLane, lihat repositori contoh Amazon Braket.

PennyLane Plugin Amazon Braket memungkinkan Anda untuk beralih antara Amazon Braket QPU dan perangkat simulator tertanam PennyLane dengan satu baris kode. Ini menawarkan dua perangkat kuantum Amazon Braket untuk bekerja dengan PennyLane:

- `braket.aws.qubit`untuk berjalan dengan perangkat kuantum layanan Amazon Braket, termasuk QPU dan simulator
- `braket.local.qubit`untuk berjalan dengan simulator lokal Amazon Braket SDK

PennyLane Plugin Amazon Braket adalah open source. Anda dapat menginstalnya dari GitHub repositori PennyLane Plugin.

Untuk informasi lebih lanjut tentang PennyLane, lihat dokumentasi di PennyLane situs web.

Algoritme hibrid di notebook contoh Amazon Braket

Amazon Braket memang menyediakan berbagai contoh notebook yang tidak bergantung pada PennyLane plugin untuk menjalankan algoritma hybrid. Anda dapat memulai dengan salah satu dari notebook contoh hibrid Amazon Braket yang menggambarkan metode variasional, seperti Algoritme Pengoptimuman Perkiraan Kuantum (QAOA) atau Variational Quantum Eigensolver (VQE).

Notebook contoh Amazon Braket tergantung pada SDK Python Amazon Braket. SDK menyediakan kerangka kerja untuk berinteraksi dengan perangkat keras komputasi kuantum melalui Amazon Braket. Ini adalah pustaka open source yang dirancang untuk membantu Anda dengan bagian kuantum dari alur kerja hibrida Anda.

Anda dapat menjelajahi Amazon Braket lebih lanjut dengan contoh notebook kami.

Algoritma hybrid dengan simulator tertanam PennyLane

Amazon Braket Hybrid Jobs sekarang hadir dengan CPU berkinerja tinggi dan simulator GPU-based tertanam dari. PennyLane Keluarga simulator tertanam ini dapat disematkan langsung di dalam wadah pekerjaan hibrida Anda dan mencakup `lightning.qubit` simulator vektor status cepat, simulator yang dipercepat menggunakan perpustakaan CuQuantum NVIDIA, dan lainnya. `lightning.gpu` Simulator tertanam ini sangat cocok untuk algoritma variasional seperti pembelajaran mesin kuantum yang dapat mengambil manfaat dari metode canggih seperti metode diferensiasi adjoint. Anda dapat menjalankan simulator tertanam ini pada satu atau beberapa instance CPU atau GPU.

Dengan Hybrid Jobs, Anda sekarang dapat menjalankan kode algoritma variasional Anda menggunakan kombinasi co-prosesor klasik dan QPU, simulator sesuai permintaan Amazon Braket sepertiSV1, atau langsung menggunakan simulator tertanam dari. PennyLane

Simulator tertanam sudah tersedia dengan wadah Hybrid Jobs, Anda perlu menghias fungsi Python utama Anda dengan dekorator. `@hybrid_job` Untuk menggunakan PennyLane `lightning.gpu` simulator, Anda juga perlu menentukan instance GPU `InstanceConfig` seperti yang ditunjukkan pada cuplikan kode berikut:

```
import pennylane as qml
from braket.jobs import hybrid_job
from braket.jobs.config import InstanceConfig


@hybrid_job(device="local:pennylane/lightning.gpu",
 instance_config=InstanceConfig(instanceType="ml.g4dn.xlarge"))
def function(wires):
    dev = qml.device("lightning.gpu", wires=wires)
    ...
```

Lihat contoh notebook untuk memulai menggunakan simulator PennyLane tertanam dengan Hybrid Jobs.

Gradien bersebelahan menyala PennyLane dengan simulator Amazon Braket

Dengan PennyLane plugin untuk Amazon Braket, Anda dapat menghitung gradien menggunakan metode diferensiasi adjoint saat berjalan di simulator vektor status lokal atau SV1.

Catatan: Untuk menggunakan metode diferensiasi adjoint, Anda harus menentukan **`diff_method='device'`** dalam metode Anda**`qnode`**, dan bukan. `diff_method='adjoint'` Lihat contoh berikut ini.

```
device_arn = "arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1"
dev = qml.device("braket.aws.qubit", wires=wires, shots=0, device_arn=device_arn)

@qml.qnode(dev, diff_method="device")
def cost_function(params):
    circuit(params)
    return qml.expval(cost_h)

gradient = qml.grad(circuit)
initial_gradient = gradient(params0)
```

> **Note**
>
> Saat ini, PennyLane akan menghitung indeks pengelompokan untuk QAOA Hamiltonians dan menggunakannya untuk membagi Hamiltonian menjadi beberapa nilai ekspektasi. Jika Anda ingin menggunakan kemampuan diferensiasi adjoint SV1 saat menjalankan QAOA dariPennyLane, Anda perlu merekonstruksi biaya Hamiltonian dengan menghapus indeks pengelompokan, seperti: `cost_h, mixer_h = qml.qaoa.max_clique(g, constrained=False) cost_h = qml.Hamiltonian(cost_h.coeffs, cost_h.ops)`

Menggunakan Hybrid Jobs dan PennyLane menjalankan algoritma QAOA

Di bagian ini, Anda akan menggunakan apa yang telah Anda pelajari untuk menulis program hybrid yang sebenarnya menggunakan PennyLane dengan kompilasi parametrik. Anda menggunakan skrip algoritma untuk mengatasi masalah Algoritma Pengoptimalan Perkiraan Kuantum (QAOA). Program ini menciptakan fungsi biaya yang sesuai dengan masalah optimasi Max Cut klasik, menentukan sirkuit kuantum parametris, dan menggunakan metode penurunan gradien untuk mengoptimalkan parameter sehingga fungsi biaya diminimalkan. Dalam contoh ini, kami menghasilkan grafik masalah dalam skrip algoritme untuk kesederhanaan, tetapi untuk kasus penggunaan yang lebih umum, praktik terbaik adalah memberikan spesifikasi masalah melalui saluran khusus dalam konfigurasi data input. Bendera `parametrize_differentiable` default `True` sehingga Anda secara otomatis

mendapatkan manfaat dari peningkatan kinerja runtime dari kompilasi parametrik pada QPU yang didukung.

```
import os
import json
import time

from braket.jobs import save_job_result
from braket.jobs.metrics import log_metric

import networkx as nx
import pennylane as qml
from pennylane import numpy as np
from matplotlib import pyplot as plt

def init_pl_device(device_arn, num_nodes, shots, max_parallel):
    return qml.device(
        "braket.aws.qubit",
        device_arn=device_arn,
        wires=num_nodes,
        shots=shots,
        # Set s3_destination_folder=None to output task results to a default folder
        s3_destination_folder=None,
        parallel=True,
        max_parallel=max_parallel,
        parametrize_differentiable=True, # This flag is True by default.
    )

def start_here():
    input_dir = os.environ["AMZN_BRAKET_INPUT_DIR"]
    output_dir = os.environ["AMZN_BRAKET_JOB_RESULTS_DIR"]
    job_name = os.environ["AMZN_BRAKET_JOB_NAME"]
    checkpoint_dir = os.environ["AMZN_BRAKET_CHECKPOINT_DIR"]
    hp_file = os.environ["AMZN_BRAKET_HP_FILE"]
    device_arn = os.environ["AMZN_BRAKET_DEVICE_ARN"]

    # Read the hyperparameters
    with open(hp_file, "r") as f:
        hyperparams = json.load(f)

    p = int(hyperparams["p"])
    seed = int(hyperparams["seed"])
    max_parallel = int(hyperparams["max_parallel"])
```

```
    num_iterations = int(hyperparams["num_iterations"])
    stepsize = float(hyperparams["stepsize"])
    shots = int(hyperparams["shots"])

    # Generate random graph
    num_nodes = 6
    num_edges = 8
    graph_seed = 1967
    g = nx.gnm_random_graph(num_nodes, num_edges, seed=graph_seed)

    # Output figure to file
    positions = nx.spring_layout(g, seed=seed)
    nx.draw(g, with_labels=True, pos=positions, node_size=600)
    plt.savefig(f"{output_dir}/graph.png")

    # Set up the QAOA problem
    cost_h, mixer_h = qml.qaoa.maxcut(g)

    def qaoa_layer(gamma, alpha):
        qml.qaoa.cost_layer(gamma, cost_h)
        qml.qaoa.mixer_layer(alpha, mixer_h)

    def circuit(params, **kwargs):
        for i in range(num_nodes):
            qml.Hadamard(wires=i)
        qml.layer(qaoa_layer, p, params[0], params[1])

    dev = init_pl_device(device_arn, num_nodes, shots, max_parallel)

    np.random.seed(seed)
    cost_function = qml.ExpvalCost(circuit, cost_h, dev, optimize=True)
    params = 0.01 * np.random.uniform(size=[2, p])

    optimizer = qml.GradientDescentOptimizer(stepsize=stepsize)
    print("Optimization start")

    for iteration in range(num_iterations):
        t0 = time.time()

        # Evaluates the cost, then does a gradient step to new params
        params, cost_before = optimizer.step_and_cost(cost_function, params)
        # Convert cost_before to a float so it's easier to handle
        cost_before = float(cost_before)
```

```
        t1 = time.time()

        if iteration == 0:
            print("Initial cost:", cost_before)
        else:
            print(f"Cost at step {iteration}:", cost_before)

        # Log the current loss as a metric
        log_metric(
            metric_name="Cost",
            value=cost_before,
            iteration_number=iteration,
        )

        print(f"Completed iteration {iteration + 1}")
        print(f"Time to complete iteration: {t1 - t0} seconds")

    final_cost = float(cost_function(params))
    log_metric(
        metric_name="Cost",
        value=final_cost,
        iteration_number=num_iterations,
    )

    # We're done with the hybrid job, so save the result.
    # This will be returned in job.result()
    save_job_result({"params": params.numpy().tolist(), "cost": final_cost})
```

> **Note**
>
> Kompilasi parametrik didukung pada semua QPU superkonduktor berbasis gerbang Rigetti Computing dengan pengecualian program tingkat pulsa.

Jalankan beban kerja hybrid dengan simulator PennyLane tertanam

Mari kita lihat bagaimana Anda dapat menggunakan simulator tertanam dari PennyLane di Amazon Braket Hybrid Jobs untuk menjalankan beban kerja hybrid. Simulator GPU-based tertanam Pennylane,`lightning.gpu`, menggunakan perpustakaan Nvidia CuQuantum untuk mempercepat simulasi sirkuit. Simulator GPU tertanam sudah dikonfigurasi sebelumnya di semua wadah pekerjaan

Braket yang dapat digunakan pengguna di luar kotak. Di halaman ini, kami menunjukkan cara menggunakan `lightning.gpu` untuk mempercepat beban kerja hybrid Anda.

Menggunakan **`lightning.gpu`** untuk beban kerja QAOA

Pertimbangkan contoh Quantum Perkiraan Optimasi Algoritma (QAOA) dari buku catatan ini. Untuk memilih simulator tertanam, Anda menentukan `device` argumen untuk menjadi string dari formulir:`"local:<provider>/<simulator_name>"`. Misalnya, Anda akan mengatur `"local:pennylane/lightning.gpu"` untuk`lightning.gpu`. String perangkat yang Anda berikan ke Job Hybrid saat diluncurkan diteruskan ke job sebagai variabel lingkungan`"AMZN_BRAKET_DEVICE_ARN"`.

```
device_string = os.environ["AMZN_BRAKET_DEVICE_ARN"]
prefix, device_name = device_string.split("/")
device = qml.device(simulator_name, wires=n_wires)
```

Di halaman ini, bandingkan dua simulator vektor PennyLane keadaan tertanam `lightning.qubit` (yaitu CPU-based) dan `lightning.gpu` (yang GPU-based). Sediakan simulator dengan dekomposisi gerbang khusus untuk menghitung berbagai gradien.

Sekarang Anda siap menyiapkan skrip peluncuran pekerjaan hibrida. Jalankan algoritma QAOA menggunakan dua jenis instance: `ml.m5.2xlarge` dan. `ml.g4dn.xlarge` Jenis `ml.m5.2xlarge` instans sebanding dengan laptop pengembang standar. `ml.g4dn.xlarge`Ini adalah instance komputasi yang dipercepat yang memiliki GPU NVIDIA T4 tunggal dengan memori 16GB.

Untuk menjalankan GPU, pertama-tama kita perlu menentukan gambar yang kompatibel dan instance yang benar (yang default ke instance). `ml.m5.2xlarge`

```
from braket.aws import AwsSession
from braket.jobs.image_uris import Framework, retrieve_image

image_uri = retrieve_image(Framework.PL_PYTORCH, AwsSession().region)
instance_config = InstanceConfig(instanceType="ml.g4dn.xlarge")
```

Kita kemudian perlu memasukkan ini ke dekorator pekerjaan hybrid, bersama dengan parameter perangkat yang diperbarui baik di sistem dan argumen pekerjaan hybrid.

```
@hybrid_job(
        device="local:pennylane/lightning.gpu",
        input_data=input_file_path,
```

```
        image_uri=image_uri,
        instance_config=instance_config)
def run_qaoa_hybrid_job_gpu(p=1, steps=10):
    params = np.random.rand(2, p)

    braket_task_tracker = Tracker()

    graph = nx.read_adjlist(input_file_path, nodetype=int)
    wires = list(graph.nodes)
    cost_h, _mixer_h = qaoa.maxcut(graph)

    device_string = os.environ["AMZN_BRAKET_DEVICE_ARN"]
    prefix, device_name = device_string.split("/")
    dev= qml.device(simulator_name, wires=len(wires))
    ...
```

> **Note**
>
> Jika Anda menentukan `instance_config` sebagai menggunakan GPU-based instance, tetapi memilih `device` untuk menjadi CPU-based simulator tertanam (`lightning.qubit`), GPU tidak akan digunakan. Pastikan untuk menggunakan GPU-based simulator tertanam jika Anda ingin menargetkan GPU!

Waktu iterasi rata-rata untuk `m5.2xlarge` instance adalah sekitar 73 detik, sedangkan untuk `ml.g4dn.xlarge` instance sekitar 0,6 detik. Untuk alur kerja 21-qubit ini, instance GPU memberi kita percepatan 100x. Jika Anda melihat halaman harga Amazon Braket Hybrid Jobs, Anda dapat melihat bahwa biaya per menit untuk sebuah `m5.2xlarge` instans adalah $0,00768, sedangkan untuk contoh itu adalah $0,01227. `ml.g4dn.xlarge` Dalam hal ini lebih cepat dan lebih murah untuk dijalankan pada instance GPU.

Pembelajaran mesin kuantum dan paralelisme data

Jika jenis beban kerja Anda adalah pembelajaran mesin kuantum (QML/Quantum Machine Learning) yang melatih pada kumpulan data, Anda dapat lebih mempercepat beban kerja Anda menggunakan paralelisme data. Dalam QML, model berisi satu atau lebih sirkuit kuantum. Model mungkin atau mungkin juga tidak mengandung jaring saraf klasik. Saat melatih model dengan kumpulan data, parameter dalam model diperbarui untuk meminimalkan fungsi kerugian. Fungsi kerugian biasanya didefinisikan untuk satu titik data, dan total kerugian untuk kerugian rata-rata atas seluruh kumpulan

data. Dalam QML, kerugian biasanya dihitung secara serial sebelum dirata-ratakan ke total kerugian untuk perhitungan gradien. Prosedur ini memakan waktu, terutama ketika ada ratusan titik data.

Karena kerugian dari satu titik data tidak tergantung pada titik data lain, kerugian dapat dievaluasi secara paralel! Kerugian dan gradien yang terkait dengan titik data yang berbeda dapat dievaluasi secara bersamaan. Ini dikenal sebagai paralelisme data. Dengan SageMaker perpustakaan paralel data terdistribusi, Amazon Braket Hybrid Jobs memudahkan Anda menggunakan paralelisme data untuk mempercepat pelatihan Anda.

Pertimbangkan beban kerja QML berikut untuk paralelisme data yang menggunakan dataset data Sonar dari repositori UCI yang terkenal sebagai contoh untuk klasifikasi biner. Dataset Sonar memiliki 208 titik data masing-masing dengan 60 fitur yang dikumpulkan dari sinyal sonar yang memantul dari material. Setiap titik data diberi label sebagai “M” untuk tambang atau “R” untuk batu. Model QML kami terdiri dari lapisan input, sirkuit kuantum sebagai lapisan tersembunyi, dan lapisan keluaran. Lapisan input dan output adalah jaring saraf klasik yang diimplementasikan di PyTorch. Sirkuit kuantum terintegrasi dengan jaring PyTorch saraf menggunakan modul PennyLane qml.qnn. Lihat contoh notebook kami untuk detail lebih lanjut tentang beban kerja. Seperti contoh QAOA di atas, Anda dapat memanfaatkan kekuatan GPU dengan menggunakan GPU-based simulator tertanam seperti PennyLane ini `lightning.gpu` untuk meningkatkan kinerja dibandingkan simulator tertanam. CPU-based

Untuk membuat pekerjaan hybrid, Anda dapat memanggil `AwsQuantumJob.create` dan menentukan skrip algoritma, perangkat, dan konfigurasi lainnya melalui argumen kata kunci.

```
instance_config = InstanceConfig(instanceType='ml.g4dn.xlarge')

hyperparameters={"nwires": "10",
                 "ndata": "32",
                 ...
}

job = AwsQuantumJob.create(
    device="local:pennylane/lightning.gpu",
    source_module="qml_source",
    entry_point="qml_source.train_single",
    hyperparameters=hyperparameters,
    instance_config=instance_config,
    ...
)
```

Untuk menggunakan paralelisme data, Anda perlu memodifikasi beberapa baris kode dalam skrip algoritme agar pustaka SageMaker terdistribusi dapat memparalelkan pelatihan dengan benar. Pertama, Anda mengimpor `smdistributed` paket yang melakukan sebagian besar peningkatan berat untuk mendistribusikan beban kerja Anda di beberapa GPU dan beberapa instance. Paket ini sudah dikonfigurasi sebelumnya di Braket PyTorch dan TensorFlow kontainer. `dist`Modul ini memberi tahu skrip algoritme kami berapa jumlah total GPU untuk pelatihan (`world_size`) serta inti `rank` dan `local_rank` inti GPU. `rank`adalah indeks absolut GPU di semua instance, sedangkan `local_rank` indeks GPU dalam sebuah instance. Misalnya, jika ada empat instance masing-masing dengan delapan GPU yang dialokasikan untuk pelatihan, `rank` rentang dari 0 hingga 31 dan `local_rank` rentang dari 0 hingga 7.

```
import smdistributed.dataparallel.torch.distributed as dist

dp_info = {
    "world_size": dist.get_world_size(),
    "rank": dist.get_rank(),
    "local_rank": dist.get_local_rank(),
}
batch_size //= dp_info["world_size"] // 8
batch_size = max(batch_size, 1)
```

Selanjutnya, Anda mendefinisikan `DistributedSampler` sesuai dengan `world_size` `rank` dan kemudian meneruskannya ke pemuat data. Sampler ini menghindari GPU mengakses potongan dataset yang sama.

```
train_sampler = torch.utils.data.distributed.DistributedSampler(
    train_dataset,
    num_replicas=dp_info["world_size"],
    rank=dp_info["rank"]
)
train_loader = torch.utils.data.DataLoader(
    train_dataset,
    batch_size=batch_size,
    shuffle=False,
    num_workers=0,
    pin_memory=True,
    sampler=train_sampler,
)
```

Selanjutnya, Anda menggunakan `DistributedDataParallel` kelas untuk mengaktifkan paralelisme data.

```
from smdistributed.dataparallel.torch.parallel.distributed import
 DistributedDataParallel as DDP

model = DressedQNN(qc_dev).to(device)
model = DDP(model)
torch.cuda.set_device(dp_info["local_rank"])
model.cuda(dp_info["local_rank"])
```

Di atas adalah perubahan yang Anda butuhkan untuk menggunakan paralelisme data. Di QHTML, Anda sering ingin menyimpan hasil dan mencetak kemajuan pelatihan. Jika setiap GPU menjalankan perintah penyimpanan dan pencetakan, log akan dibanjiri dengan informasi berulang dan hasilnya akan saling menimpa. Untuk menghindari hal ini, Anda hanya dapat menyimpan dan mencetak dari GPU yang memiliki `rank` 0.

```
if dp_info["rank"]==0:
    print('elapsed time: ', elapsed)
    torch.save(model.state_dict(), f"{output_dir}/test_local.pt")
    save_job_result({"last loss": loss_before})
```

Amazon Braket Hybrid Jobs mendukung jenis `ml.g4dn.12xlarge` instans untuk library paralel SageMaker data terdistribusi. Anda mengonfigurasi tipe instance melalui `InstanceConfig` argumen di Hybrid Jobs. Agar pustaka paralel data SageMaker terdistribusi mengetahui bahwa paralelisme data diaktifkan, Anda perlu menambahkan dua hiperparameter tambahan, `"sagemaker_distributed_dataparallel_enabled"` pengaturan ke `"true"` dan `"sagemaker_instance_type"` pengaturan ke jenis instance yang Anda gunakan. Kedua hyperparameters ini digunakan oleh `smdistributed` paket. Skrip algoritme Anda tidak perlu menggunakannya secara eksplisit. Di Amazon Braket SDK, ini menyediakan argumen kata kunci yang nyaman. `distribution` `distribution="data_parallel"`Dengan penciptaan lapangan kerja hybrid, Amazon Braket SDK secara otomatis menyisipkan dua hyperparameter untuk Anda. Jika Anda menggunakan Amazon Braket API, Anda harus menyertakan dua hyperparameters ini.

Dengan paralelisme instance dan data yang dikonfigurasi, Anda sekarang dapat mengirimkan pekerjaan hybrid Anda. Ada 4 GPU dalam satu `ml.g4dn.12xlarge` contoh. Saat Anda mengatur`instanceCount=1`, beban kerja didistribusikan di 8 GPU dalam instance. Bila Anda menyetel `instanceCount` lebih dari satu, beban kerja didistribusikan ke seluruh GPU yang tersedia di semua instance. Saat menggunakan beberapa instance, setiap instans dikenakan biaya

berdasarkan berapa lama Anda menggunakannya. Misalnya, saat Anda menggunakan empat instance, waktu yang dapat ditagih adalah empat kali waktu proses per instance karena ada empat instance yang menjalankan beban kerja Anda secara bersamaan.

```
instance_config = InstanceConfig(instanceType='ml.g4dn.12xlarge',
                                 instanceCount=1,
)

hyperparameters={"nwires": "10",
                 "ndata": "32",
                 ...,
}

job = AwsQuantumJob.create(
    device="local:pennylane/lightning.gpu",
    source_module="qml_source",
    entry_point="qml_source.train_dp",
    hyperparameters=hyperparameters,
    instance_config=instance_config,
    distribution="data_parallel",
    ...
)
```

> **Note**
>
> Dalam penciptaan pekerjaan hibrida di atas, `train_dp.py` adalah skrip algoritma yang dimodifikasi untuk menggunakan paralelisme data. Perlu diingat bahwa paralelisme data hanya berfungsi dengan benar ketika Anda memodifikasi skrip algoritme Anda sesuai dengan bagian di atas. Jika opsi paralelisme data diaktifkan tanpa skrip algoritme yang dimodifikasi dengan benar, pekerjaan hibrida dapat menimbulkan kesalahan, atau setiap GPU dapat berulang kali memproses irisan data yang sama, yang tidak efisien.

Jika digunakan dengan benar, menggunakan beberapa instance dapat menyebabkan urutan pengurangan besaran baik dalam waktu maupun biaya. Lihat contoh buku catatan untuk lebih jelasnya.

Menggunakan CUDA-Q dengan Amazon Braket

NVIDIA's CUDA-Qadalah perpustakaan perangkat lunak yang dirancang untuk pemrograman algoritma kuantum hibrida yang menggabungkan CPU, GPU, dan unit pemrosesan Quantum (QPU). Ini menyediakan model pemrograman terpadu, memungkinkan pengembang untuk mengekspresikan instruksi klasik dan kuantum dalam satu program, merampingkan alur kerja. CUDA-Qmempercepat simulasi program kuantum dan runtime dengan simulator CPU dan GPU bawaannya. CUDA-Qtersedia dengan instans notebook Braket asli (NBI) dan Pekerjaan Hibrida Amazon Braket.

Di bagian ini:

- CUDA-Q di NBI
- CUDA-Q in Pekerjaan Hybrid

CUDA-Q di NBI

CUDA-Qdiinstal secara default di lingkungan Braket NBI. Anda dapat membuka CUDA-Q contoh notebook dengan membuka halaman peluncur Jupyter dan memilih ubin dan BraketCUDA-Q. Ini membuka contoh notebook `0_Getting_started_with_CUDA-Q.ipynb` di jendela utama. Untuk CUDA-Q contoh lainnya, lihat panel kiri di `nvidia_cuda_q/` direktori.

Anda juga dapat memverifikasi versi CUDA-Q atau paket pihak ketiga lainnya yang diinstal di NBI Anda. Misalnya, Anda dapat menjalankan perintah berikut di sel kode notebook untuk memverifikasi versiCUDA-Q, Qiskit, PennyLane, dan paket Braket yang diinstal di lingkungan.

```
%pip freeze | grep -i -e cudaq -e qiskit -e pennylane -e braket
```

CUDA-Q in Pekerjaan Hybrid

Menggunakan CUDA-Q di Amazon Braket Hybrid Jobs menawarkan lingkungan komputasi yang fleksibel dan sesuai permintaan. Instans komputasi hanya berjalan selama durasi beban kerja Anda, memastikan Anda hanya membayar untuk apa yang Anda gunakan. Amazon Braket Hybrid Jobs juga memberikan pengalaman yang terukur. Pengguna dapat memulai dengan instance yang lebih kecil untuk pembuatan prototipe dan pengujian, kemudian meningkatkan skala hingga instans yang lebih besar yang mampu menangani beban kerja yang lebih besar untuk eksperimen penuh.

Amazon Braket Hybrid Jobs mendukung GPU yang penting untuk memaksimalkan CUDA-Q potensi. GPU secara signifikan mempercepat simulasi program kuantum dibandingkan dengan CPU-based

simulator, terutama ketika bekerja dengan sirkuit jumlah qubit tinggi. Paralelisasi menjadi mudah saat menggunakan di Amazon CUDA-Q Braket Hybrid Jobs. Hybrid Jobs menyederhanakan distribusi circuit sampling dan evaluasi yang dapat diamati di beberapa node komputasi. Paralelisasi CUDA-Q beban kerja yang mulus ini memungkinkan pengguna untuk lebih fokus pada pengembangan beban kerja mereka daripada menyiapkan infrastruktur untuk eksperimen skala besar.

Untuk memulai, lihat contoh CUDA-Q starter pada contoh Amazon Braket Github untuk menggunakan wadah pekerjaan CUDA-Q hybrid yang disediakan oleh Braket.

Cuplikan kode berikut adalah `hello-world` contoh untuk menjalankan CUDA-Q program dengan Amazon Braket Hybrid Jobs.

```
image_uri = retrieve_image(Framework.CUDAQ, AwsSession().region)

@hybrid_job(device='local:nvidia/qpp-cpu', image_uri=image_uri)
def hello_quantum():
    import cudaq

    # define the backend
    device=get_job_device_arn()
    cudaq.set_target(device.split('/')[-1])

    # define the Bell circuit
    kernel = cudaq.make_kernel()
    qubits = kernel.qalloc(2)
    kernel.h(qubits[0])
    kernel.cx(qubits[0], qubits[1])

    # sample the Bell circuit
    result = cudaq.sample(kernel, shots_count=1000)
    measurement_probabilities = dict(result.items())

    return measurement_probabilities
```

Contoh di atas mensimulasikan sirkuit Bell pada simulator CPU. Contoh ini berjalan secara lokal di laptop atau notebook Braket Jupyter Anda. Karena `local=True` pengaturan, ketika Anda menjalankan skrip ini, sebuah wadah akan mulai di lingkungan lokal Anda untuk menjalankan CUDA-Q program untuk pengujian dan debugging. Setelah Anda selesai menguji, Anda dapat menghapus `local=True` bendera dan menjalankan pekerjaan Anda AWS. Untuk mempelajari lebih lanjut, lihat Bekerja dengan Pekerjaan Hibrida Amazon Braket.

Jika beban kerja Anda memiliki jumlah qubit yang tinggi, sejumlah besar sirkuit atau sejumlah besar iterasi, Anda dapat menggunakan sumber daya komputasi CPU yang lebih kuat dengan menentukan pengaturan. `instance_config` Cuplikan kode berikut menunjukkan cara mengkonfigurasi `instance_config` pengaturan di dekorator. `hybrid_job` Untuk informasi selengkapnya tentang jenis instans yang didukung, lihat Mengonfigurasi instance pekerjaan hibrid Anda. Untuk daftar jenis instans, lihat Jenis instans Amazon EC2.

```
@hybrid_job(
    device="local:nvidia/qpp-cpu",
    image_uri=image_uri,
    instance_config=InstanceConfig(instanceType="ml.c5.2xlarge"),
)
def my_job_script():
    ...
```

Untuk beban kerja yang lebih menuntut, Anda dapat menjalankan beban kerja Anda pada simulator CUDA-Q GPU. Untuk mengaktifkan simulator GPU, gunakan nama backend. `nvidia` `nvidia`Backend beroperasi sebagai simulator CUDA-Q GPU. Selanjutnya, pilih jenis instans Amazon EC2 yang mendukung GPU. NVIDIA Cuplikan kode berikut menunjukkan dekorator. GPU-configured `hybrid_job`

```
@hybrid_job(
    device="local:nvidia/nvidia",
    image_uri=image_uri,
    instance_config=InstanceConfig(instanceType="ml.g4dn.xlarge"),
)
def my_job_script():
    ...
```

Amazon Braket Hybrid Jobs dan NBI mendukung simulasi GPU paralel dengan. CUDA-Q Anda dapat memparalelkan evaluasi beberapa yang dapat diamati atau beberapa sirkuit untuk meningkatkan kinerja beban kerja Anda. Untuk memparalelkan beberapa observable, buat perubahan berikut pada skrip algoritme Anda.

Tetapkan `mgpu` opsi `nvidia` backend. Ini diperlukan untuk memparalelkan yang dapat diamati. Paralelisasi menggunakan MPI untuk komunikasi antar GPU, sehingga MPI perlu diinisialisasi sebelum eksekusi dan diselesaikan setelahnya.

Selanjutnya, tentukan mode eksekusi dengan pengaturan`execution=cudaq.parallel.mpi`. Cuplikan kode berikut menunjukkan perubahan ini.

```
cudaq.set_target("nvidia", option="mqpu")
cudaq.mpi.initialize()
result = cudaq.observe(
    kernel, hamiltonian, shots_count=n_shots, execution=cudaq.parallel.mpi
)
cudaq.mpi.finalize()
```

Di `hybrid_job` dekorator tentukan jenis instance yang menghosting beberapa GPU seperti yang ditunjukkan pada cuplikan kode berikut.

```
@hybrid_job(
    device="local:nvidia/nvidia-mqpu",
    instance_config=InstanceConfig(instanceType="ml.g4dn.12xlarge", instanceCount=1),
    image_uri=image_uri,
)
def parallel_observables_gpu_job(sagemaker_mpi_enabled=True):
    ...
```

Notebook simulasi paralel dalam contoh Amazon Braket Github memberikan contoh ujung ke ujung yang menunjukkan cara menjalankan simulasi program kuantum pada backend GPU dan melakukan simulasi paralel yang dapat diamati dan batch sirkuit.

Menjalankan beban kerja Anda di komputer kuantum

Setelah menyelesaikan pengujian simulator, Anda dapat beralih ke menjalankan eksperimen pada QPU. Cukup alihkan target ke QPU Amazon Braket, seperti,, atau IQM perangkatIonQ. Rigetti Cuplikan kode berikut menggambarkan cara mengatur target ke perangkat. IQM Garnet Untuk daftar QPU yang tersedia, lihat konsol Amazon Braket.

```
device_arn = "arn:aws:braket:eu-north-1::device/qpu/iqm/Garnet"
cudaq.set_target("braket", machine=device_arn)
```

Untuk informasi selengkapnya tentang Pekerjaan Hybrid, lihat Bekerja dengan Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di panduan pengembang. Untuk mempelajari selengkapnya tentang CUDA-Q, lihat NVIDIA CUDA-Q dokumentasi.

Memecahkan Masalah Amazon Braket

Gunakan informasi dan solusi pemecahan masalah di bagian ini untuk membantu menyelesaikan masalah dengan Amazon Braket.

Di bagian ini:

AccessDeniedException

Jika Anda menerima AccessDeniedExceptionsaat mengaktifkan atau menggunakan Braket, Anda mungkin mencoba mengaktifkan atau menggunakan Braket di wilayah di mana peran terbatas Anda tidak memiliki akses.

Dalam kasus seperti itu, hubungi AWS administrator internal Anda untuk memahami kondisi berikut mana yang berlaku:

- Jika ada pembatasan peran yang mencegah akses ke suatu wilayah.
- Jika peran yang Anda coba gunakan diizinkan untuk menggunakan Braket.

Jika peran Anda tidak memiliki akses ke wilayah tertentu saat menggunakan Braket, maka Anda tidak akan dapat menggunakan perangkat di wilayah tertentu.

Terjadi kesalahan (ValidationException) saat memanggil CreateQuantumTask operasi

Jika Anda menerima kesalahan yang mirip dengan: `An error occurred (ValidationException) when calling the CreateQuantumTask operation: Caller`

`doesn't have access to amazon-braket-…` Periksa apakah Anda merujuk ke folder s3_yang ada. Braket tidak secara otomatis membuat bucket dan awalan Amazon S3 baru untuk Anda.

Jika Anda mengakses secara API langsung dan menerima kesalahan yang mirip dengan: `Failed to create quantum task: Caller doesn't have access to s3://MY_BUCKET` Periksa apakah Anda tidak termasuk `s3://` dalam jalur bucket Amazon S3.

Fitur SDK tidak bekerja

Versi Python Anda harus 3.10 atau lebih tinggi. Untuk Pekerjaan Hibrida Amazon Braket, kami merekomendasikan Python 3.12.

Verifikasi SDK dan skema Anda. up-to-date Untuk memperbarui SDK dari notebook atau editor python Anda, jalankan perintah berikut:

```
pip install amazon-braket-sdk --upgrade --upgrade-strategy eager
```

Untuk memperbarui skema, jalankan perintah berikut:

```
pip install amazon-braket-schemas --upgrade
```

Jika Anda mengakses Amazon Braket dari klien Anda sendiri, verifikasi Wilayah AWS Anda disetel ke wilayah yang didukung oleh Amazon Braket.

Pekerjaan hybrid gagal karena ServiceQuotaExceededException

Pekerjaan hibrida yang menjalankan tugas kuantum terhadap simulator Amazon Braket dapat gagal dibuat jika Anda melebihi batas tugas kuantum bersamaan untuk perangkat simulator yang Anda targetkan. Untuk informasi selengkapnya tentang batas layanan, lihat topik Kuota.

Jika Anda menjalankan tugas bersamaan terhadap perangkat simulator dalam beberapa pekerjaan hybrid dari akun Anda, Anda dapat mengalami kesalahan ini.

Untuk melihat jumlah tugas kuantum bersamaan terhadap perangkat simulator tertentu, gunakan `search-quantum-tasks`API, seperti yang ditunjukkan pada contoh kode berikut.

```
DEVICE_ARN=arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1
```

```
task_list=""
for status_value in "CREATED" "QUEUED" "RUNNING" "CANCELLING"; do
    tasks=$(aws braket search-quantum-tasks --filters
 name=status,operator=EQUAL,values=${status_value}
 name=deviceArn,operator=EQUAL,values=$DEVICE_ARN --max-results 100 --query
 'quantumTasks[*].quantumTaskArn' --output text)
    task_list="$task_list $tasks"
done;
echo "$task_list" | tr -s ' \t' '[\n*]' | sort | uniq
```

Anda juga dapat melihat tugas kuantum yang dibuat terhadap perangkat menggunakan CloudWatch metrik Amazon: Braket > Berdasarkan Perangkat.

Untuk menghindari kesalahan ini:

1. Minta peningkatan kuota layanan untuk jumlah tugas kuantum bersamaan untuk perangkat simulator. Ini hanya berlaku untuk SV1 perangkat.
2. Tangani `ServiceQuotaExceeded` pengecualian dalam kode Anda dan coba lagi.

Komponen berhenti bekerja di instance notebook

Jika beberapa komponen notebook Anda berhenti bekerja, coba hal berikut:

1. Unduh buku catatan apa pun yang Anda buat atau modifikasi ke drive lokal.
2. Hentikan instans notebook Anda.
3. Hapus instans notebook Anda.
4. Buat instans notebook baru dengan nama yang berbeda.
5. Unggah notebook ke instans baru.

Pemecahan Masalah Peningkatan Python 3.12

Tanggal Efektif: 21 Januari 2026

Ikhtisar

Efektif 21 Januari 2026, Amazon Braket meningkatkan runtime Python dari 3.10 menjadi 3.12 untuk semua Instans Notebook dan image container terkelola (Basis, CUDA-Q,, dan). TensorFlow PyTorch Panduan ini memberikan solusi untuk masalah kompatibilitas umum.

Di bagian ini:

Pesan Kesalahan Umum

Kesalahan Ketidakcocokan Versi Python SDK

Kesalahan:

```
RuntimeError: Python version must match between local environment and container. Client
 is running Python 3.10 locally, but container uses Python 3.12.
```

Penyebab: Braket SDK mendeteksi notebook Anda menjalankan Python 3.10 tetapi container Hybrid Job menjalankan Python 3.12.

Solusi: Tingkatkan notebook Anda ke Python 3.12 atau pin ke kontainer Python 3.10.

Kesalahan Serialisasi Cloudpickle

Kesalahan:

```
TypeError: code() argument 13 must be str, not int
```

Penyebab: Jika validasi SDK dilewati, cloudpickle gagal membuat serial kode antara Python 3.10 dan 3.12 karena perubahan konstruktor pada Python 3.12. CodeType

Solusi: Pastikan notebook dan wadah Anda menggunakan versi Python yang sama.

Notebook Dikelola Braket

Jika Anda menjalankan Instance Notebook Braket di Python 3.10 dan mengirimkan Pekerjaan Hybrid, Anda akan menemukan kesalahan ketidakcocokan versi karena container pekerjaan sekarang menggunakan Python 3.12 secara default.

Anda memiliki dua pilihan:

1. [Direkomendasikan] Buat Instance Notebook baru dengan Python 3.12 - lihat Peningkatan Instans Notebook Braket
2. Sematkan ke kontainer Python 3.10 - lihat Hybrid Job Decorator

Hybrid Job Decorator

Untuk menggunakan `@hybrid_job` dekorator, versi Python lingkungan Anda harus cocok dengan versi Python container.

Opsi 1: Gunakan Python 3.12 Container (Disarankan)

Jika Anda telah memutakhirkan lingkungan Anda ke Python 3.12, ia menggunakan tag terbaru (perilaku default).

Opsi 2: Gunakan Python 3.10 Container

Jika Anda harus tetap menggunakan Python 3.10, tentukan parameter secara eksplisit di dekorator. `image_uri` `@hybrid_job`

Python 3.10 Tag Kontainer:

Nama Gambar	Tag
Basis	1.0-cpu-py310-ubuntu22.04
CUDA-Q	0.12.0-cpu-py310-0.12.0
PyTorch	2.2.0-gpu-py310-cu121-ubuntu20.04
TensorFlow	2.14.1-gpu-py310-cu118-ubuntu20.04

Contoh berikut adalah untuk Wilayah us-west-2.

Gambar penuh URIs:

```
Base:       292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-base-jobs:1.0-
cpu-py310-ubuntu22.04
CUDA-Q:     292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-cudaq-
jobs:0.12.0-cpu-py310-0.12.0
```

```
PyTorch:    292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-pytorch-
jobs:2.2.0-gpu-py310-cu121-ubuntu20.04
TensorFlow: 292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-tensorflow-
jobs:2.14.1-gpu-py310-cu118-ubuntu20.04
```

Contoh:

```
from braket.jobs.hybrid_job import hybrid_job
from braket.devices import Devices

device_arn = Devices.Amazon.SV1

@hybrid_job(
    device=device_arn,
    image_uri="292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-base-
jobs:1.0-cpu-py310-ubuntu22.04"
)
def my_job():
    pass
```

Note

- Kontainer Python 3.10 akan tetap tersedia tetapi tidak akan menerima pembaruan.
- Lihat Mendefinisikan lingkungan untuk skrip algoritme Anda.

Bring-Your-Own-Container (BYOC)

Jika Dockerfile Anda menggunakan gambar terkelola Braket dengan tag terbaru, membangun kembali setelah 21 Januari 2026 akan menarik gambar yang didukung Python 3.12.

Untuk tetap menggunakan gambar terkelola Braket yang didukung Python 3.10, perbarui Dockerfile Anda:

Sebelum (mendapat Python 3.12 setelah peningkatan):

```
FROM 292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-base-jobs:latest
FROM 292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-cudaq-jobs:latest
FROM 292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-tensorflow-jobs:latest
FROM 292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-pytorch-jobs:latest
```

Setelah (tetap menggunakan Python 3.10):

```
FROM 292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-base-jobs:1.0-cpu-
py310-ubuntu22.04
FROM 292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-cudaq-jobs:0.12.0-cpu-
py310-0.12.0
FROM 292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-pytorch-jobs:2.2.0-gpu-
py310-cu121-ubuntu20.04
FROM 292282985366.dkr.ecr.us-west-2.amazonaws.com/amazon-braket-tensorflow-jobs:2.14.1-
gpu-py310-cu118-ubuntu20.04
```

Peningkatan Instans Notebook Braket

Ikuti langkah-langkah berikut untuk meningkatkan ke Python 3.12:

> **Important**
>
> Sebelum menghapus instance notebook Anda, pastikan Anda telah mengunduh semua buku catatan dan file yang ingin Anda simpan. Data ini tidak dapat dipulihkan setelah penghapusan.

1. Unduh buku catatan apa pun yang Anda buat atau modifikasi ke drive lokal.
2. Hentikan instans notebook Anda.
3. Hapus instans notebook Anda.
4. Buat instance notebook baru dengan nama yang berbeda.
5. Unggah buku catatan Anda ke instans baru.

Pemecahan Masalah OpenQASM

Bagian ini menyediakan pointer pemecahan masalah yang mungkin berguna saat menghadapi kesalahan menggunakan OpenQASM 3.0.

Di bagian ini:

- Sertakan kesalahan pernyataan
- Kesalahan tidak bersebelahan qubits
- Mencampur fisik qubits dengan qubits kesalahan virtual

- Meminta jenis hasil dan mengukur qubits dalam kesalahan program yang sama
- Batas klasik dan qubit register melebihi kesalahan
- Kotak tidak didahului oleh kesalahan pragma kata demi kata
- Kotak kata demi kata kehilangan kesalahan gerbang asli
- Kotak kata demi kata kehilangan kesalahan fisik qubits
- Pragma kata demi kata tidak memiliki kesalahan “braket”
- Kesalahan tunggal qubits tidak dapat diindeks
- Fisik qubits di dua qubit gerbang tidak terhubung kesalahan
- Peringatan dukungan simulator lokal

Sertakan kesalahan pernyataan

Braket saat ini tidak memiliki file perpustakaan gerbang standar untuk disertakan dalam program OpenQASM. Misalnya, contoh berikut menimbulkan kesalahan parser.

```
OPENQASM 3;
include "standardlib.inc";
```

Kode ini menghasilkan pesan kesalahan: `No terminal matches '"' in the current parser context, at line 2 col 17.`

Kesalahan tidak bersebelahan qubits

Menggunakan perangkat yang tidak qubits bersebelahan yang `requiresContiguousQubitIndices` disetel ke `true` dalam kemampuan perangkat menghasilkan kesalahan.

Saat menjalankan tugas kuantum pada simulator danIonQ, program berikut memicu kesalahan.

```
OPENQASM 3;

qubit[4] q;

h q[0];
cnot q[0], q[2];
cnot q[0], q[3];
```

Kode ini menghasilkan pesan kesalahan: `Device requires contiguous qubits. Qubit register q has unused qubits q[1], q[4].`

Mencampur fisik qubits dengan qubits kesalahan virtual

Pencampuran fisik qubits dengan virtual qubits dalam program yang sama tidak diperbolehkan dan menghasilkan kesalahan. Kode berikut menghasilkan kesalahan.

```
OPENQASM 3;

qubit[2] q;
cnot q[0], $1;
```

Kode ini menghasilkan pesan kesalahan: `[line 4] mixes physical qubits and qubits registers.`

Meminta jenis hasil dan mengukur qubits dalam kesalahan program yang sama

Meminta jenis hasil dan yang diukur qubits secara eksplisit dalam program yang sama menghasilkan kesalahan. Kode berikut menghasilkan kesalahan.

```
OPENQASM 3;

qubit[2] q;

h q[0];
cnot q[0], q[1];
measure q;

#pragma braket result expectation x(q[0]) @ z(q[1])
```

Kode ini menghasilkan pesan kesalahan: `Qubits should not be explicitly measured when result types are requested.`

Batas klasik dan qubit register melebihi kesalahan

Hanya satu register klasik dan satu qubit register yang diizinkan. Kode berikut menghasilkan kesalahan.

```
OPENQASM 3;

qubit[2] q0;
qubit[2] q1;
```

Kode ini menghasilkan pesan kesalahan: `[line 4] cannot declare a qubit register. Only 1 qubit register is supported.`

Kotak tidak didahului oleh kesalahan pragma kata demi kata

Semua kotak harus didahului dengan pragma kata demi kata. Kode berikut menghasilkan kesalahan.

```
box{
rx(0.5) $0;
}
```

Kode ini menghasilkan pesan kesalahan: `In verbatim boxes, native gates are required. x is not a device native gate.`

Kotak kata demi kata kehilangan kesalahan gerbang asli

Kotak kata demi kata harus memiliki gerbang asli dan fisik. qubits Kode berikut menghasilkan kesalahan gerbang asli.

```
#pragma braket verbatim
box{
x $0;
}
```

Kode ini menghasilkan pesan kesalahan: `In verbatim boxes, native gates are required. x is not a device native gate.`

Kotak kata demi kata kehilangan kesalahan fisik qubits

Kotak kata demi kata harus memiliki fisik. qubits Kode berikut menghasilkan qubits kesalahan fisik yang hilang.

```
qubit[2] q;

#pragma braket verbatim
```

```
box{
rx(0.1) q[0];
}
```

Kode ini menghasilkan pesan kesalahan: `Physical qubits are required in verbatim box.`

Pragma kata demi kata tidak memiliki kesalahan “braket”

Anda harus memasukkan “braket” dalam pragma kata demi kata. Kode berikut menghasilkan kesalahan.

```
#pragma braket verbatim          // Correct
#pragma verbatim                 // wrong
```

Kode ini menghasilkan pesan kesalahan: `You must include “braket” in the verbatim pragma`

Kesalahan tunggal qubits tidak dapat diindeks

Single qubits tidak dapat diindeks. Kode berikut menghasilkan kesalahan.

```
OPENQASM 3;

qubit q;
h q[0];
```

Kode ini menghasilkan kesalahan: `[line 4] single qubit cannot be indexed.`

Namun, qubit array tunggal dapat diindeks sebagai berikut:

```
OPENQASM 3;

qubit[1] q;
h q[0];   // This is valid
```

Fisik qubits di dua qubit gerbang tidak terhubung kesalahan

Untuk menggunakan fisikqubits, pertama-tama konfirmasikan bahwa perangkat menggunakan fisik qubits dengan memeriksa

`device.properties.action[DeviceActionType.OPENQASM].supportPhysicalQubits` dan kemudian memverifikasi grafik konektivitas dengan memeriksa `device.properties.paradigm.connectivity.connectivityGraph` atau`device.properties.paradigm.connectivity.fullyConnected`.

```
OPENQASM 3;

cnot $0, $14;
```

Kode ini menghasilkan pesan kesalahan: `[line 3] has disconnected qubits 0 and 14`

Peringatan dukungan simulator lokal

Ini `LocalSimulator` mendukung fitur-fitur canggih di OpenQASM yang mungkin tidak tersedia pada QPUs atau simulator sesuai permintaan. Jika program Anda berisi fitur bahasa khusus hanya untuk`LocalSimulator`, seperti yang terlihat pada contoh berikut, Anda akan menerima peringatan.

```
qasm_string = """
qubit[2] q;

h q[0];
ctrl @ x q[0], q[1];
"""
qasm_program = Program(source=qasm_string)
```

Kode ini menghasilkan peringatan: `Program ini menggunakan fitur bahasa OpenQASM yang hanya didukung di. LocalSimulator Beberapa fitur ini mungkin tidak didukung pada QPUs atau simulator sesuai permintaan.

Untuk informasi lebih lanjut tentang fitur OpenQASM yang didukung, jelajahi halaman Dukungan fitur lanjutan untuk OpenQASM di Simulator Lokal.

Keamanan di Amazon Braket

Keamanan cloud di AWS adalah prioritas tertinggi. Sebagai AWS pelanggan, Anda mendapat manfaat dari pusat data dan arsitektur jaringan yang dibangun untuk memenuhi persyaratan organisasi yang paling sensitif terhadap keamanan.

Keamanan adalah tanggung jawab bersama antara Anda AWS dan Anda. Model tanggung jawab bersama menjelaskan hal ini sebagai keamanan dari cloud dan keamanan dalam cloud:

- Keamanan cloud — AWS bertanggung jawab untuk melindungi infrastruktur yang menjalankan AWS layanan di AWS Cloud. AWS juga memberi Anda layanan yang dapat Anda gunakan dengan aman. Third-party auditor secara teratur menguji dan memverifikasi efektivitas keamanan kami sebagai bagian dari Program Kepatuhan Program AWS Kepatuhan Program AWS . Untuk mempelajari tentang program kepatuhan yang berlaku untuk Amazon Braket, lihat AWS Layanan dalam Lingkup berdasarkan AWS Layanan Program Kepatuhan dalam Lingkup oleh Program .
- Keamanan di cloud — Tanggung jawab Anda ditentukan oleh AWS layanan yang Anda gunakan. Anda juga bertanggung jawab atas faktor lain, termasuk sensitivitas data Anda, persyaratan perusahaan Anda, serta undang-undang dan peraturan yang berlaku.

Dokumentasi ini membantu Anda memahami cara menerapkan model tanggung jawab bersama saat menggunakan Braket. Topik berikut menunjukkan cara mengkonfigurasi Braket untuk memenuhi tujuan keamanan dan kepatuhan Anda. Anda juga mempelajari cara menggunakan AWS layanan lain yang membantu Anda memantau dan mengamankan sumber daya Braket Anda.

Di bagian ini:

Tanggung jawab bersama untuk keamanan

Keamanan adalah tanggung jawab bersama antara Anda AWS dan Anda. Model tanggung jawab bersama menggambarkan hal ini sebagai keamanan dari cloud dan keamanan di cloud:

- Keamanan cloud — AWS bertanggung jawab untuk melindungi infrastruktur yang berjalan Layanan AWS di dalamnya AWS Cloud. AWS juga memberi Anda layanan yang dapat Anda gunakan dengan aman. Third-party Auditor secara teratur menguji dan memverifikasi efektivitas keamanan kami sebagai bagian dari Program AWS Kepatuhan. Untuk mempelajari tentang program kepatuhan yang berlaku untuk Amazon Braket, lihat AWS Layanan dalam Lingkup berdasarkan Program Kepatuhan.
- Keamanan di cloud — Anda bertanggung jawab untuk menjaga kontrol atas konten Anda yang di-host di AWS infrastruktur ini. Konten ini mencakup konfigurasi keamanan dan tugas manajemen untuk Layanan AWS yang Anda gunakan.

Perlindungan data

Model tanggung jawab AWS bersama model berlaku untuk perlindungan data di Amazon Braket. Seperti yang dijelaskan dalam model AWS ini, bertanggung jawab untuk melindungi infrastruktur global yang menjalankan semua AWS Cloud. Anda bertanggung jawab untuk mempertahankan kendali atas konten yang di-host pada infrastruktur ini. Anda juga bertanggung jawab atas tugas-tugas konfigurasi dan manajemen keamanan untuk Layanan AWS yang Anda gunakan. Untuk informasi selengkapnya tentang privasi data, lihat FAQ Privasi Data AWS . Untuk informasi tentang perlindungan data di Eropa, lihat Pusat Peraturan Perlindungan Data Umum (GDPR).

Untuk tujuan perlindungan data, kami menyarankan Anda melindungi Akun AWS kredensyal dan mengatur pengguna individu dengan AWS IAM Identity Center atau AWS Identity and Access Management (IAM). Dengan cara itu, setiap pengguna hanya diberi izin yang diperlukan untuk memenuhi tanggung jawab tugasnya. Kami juga menyarankan supaya Anda mengamankan data dengan cara-cara berikut:

- Gunakan autentikasi multi-faktor (MFA) pada setiap akun.
- Gunakan SSL/TLS untuk berkomunikasi dengan AWS sumber daya. Kami mensyaratkan TLS 1.2 dan menganjurkan TLS 1.3.
- Siapkan API dan pencatatan aktivitas pengguna dengan AWS CloudTrail. Untuk informasi tentang penggunaan CloudTrail jejak untuk menangkap AWS aktivitas, lihat Bekerja dengan CloudTrail jejak di AWS CloudTrail Panduan Pengguna.

- Gunakan solusi AWS enkripsi, bersama dengan semua kontrol keamanan default di dalamnya Layanan AWS.
- Gunakan layanan keamanan terkelola tingkat lanjut seperti Amazon Macie, yang membantu menemukan dan mengamankan data sensitif yang disimpan di Amazon S3.
- Jika Anda memerlukan modul kriptografi tervalidasi FIPS 140-3 saat mengakses AWS melalui antarmuka baris perintah atau API, gunakan titik akhir FIPS. Lihat informasi selengkapnya tentang titik akhir FIPS yang tersedia di Standar Pemrosesan Informasi Federal (FIPS) 140-3.

Kami sangat merekomendasikan agar Anda tidak pernah memasukkan informasi identifikasi yang sensitif, seperti nomor rekening pelanggan Anda, ke dalam tanda atau bidang isian bebas seperti bidang Nama. Ini termasuk saat Anda bekerja dengan Amazon Braket atau lainnya Layanan AWS menggunakan konsol, API AWS CLI, atau AWS SDK. Data apa pun yang Anda masukkan ke dalam tanda atau bidang isian bebas yang digunakan untuk nama dapat digunakan untuk log penagihan atau log diagnostik. Saat Anda memberikan URL ke server eksternal, kami sangat menganjurkan supaya Anda tidak menyertakan informasi kredensial di dalam URL untuk memvalidasi permintaan Anda ke server itu.

Retensi data

Setelah 90 hari, Amazon Braket secara otomatis menghapus semua ID tugas kuantum dan metadata lain yang terkait dengan tugas kuantum Anda. Akibat kebijakan penyimpanan data ini, tugas dan hasil ini tidak lagi dapat diambil dengan mencari dari konsol Amazon Braket, meskipun mereka tetap disimpan dalam bucket S3 Anda.

Jika Anda memerlukan akses ke tugas kuantum historis dan hasil yang disimpan di bucket S3 selama lebih dari 90 hari, Anda harus menyimpan catatan terpisah dari ID tugas Anda dan metadata lain yang terkait dengan data tersebut. Pastikan untuk menyimpan informasi sebelum 90 hari. Anda dapat menggunakan informasi yang disimpan untuk mengambil data historis.

Mengelola akses ke Amazon Braket

Bab ini menjelaskan izin yang diperlukan untuk menjalankan Amazon Braket, atau untuk membatasi akses pengguna dan peran tertentu. Anda dapat memberikan (atau menolak) izin yang diperlukan untuk setiap pengguna atau peran di akun Anda. Untuk melakukannya, lampirkan kebijakan Amazon Braket yang sesuai ke pengguna atau peran tersebut di akun Anda seperti yang dijelaskan di bagian berikut.

Sebagai prasyarat, Anda harus Mengaktifkan Amazon Braket. Untuk mengaktifkan Braket, pastikan untuk masuk sebagai pengguna atau peran yang memiliki (1) izin administrator atau (2) ditetapkan AmazonBraketFullAccesskebijakan dan memiliki izin untuk membuat bucket Amazon Simple Storage Service (Amazon S3).

Di bagian ini:

- Sumber daya Amazon Braket
- Notebook dan peran
- AWS kebijakan terkelola untuk Amazon Braket
- Batasi akses pengguna ke perangkat tertentu
- Batasi akses pengguna ke instance notebook tertentu
- Batasi akses pengguna ke bucket S3 tertentu

Sumber daya Amazon Braket

Braket menciptakan satu jenis sumber daya: sumber daya tugas kuantum. Nama AWS Sumber Daya (ARN) untuk jenis sumber daya ini adalah sebagai berikut:

- Nama Sumber Daya:: :Service AWS: :Braket
- ARN Regex: arn: $ {Partition} :braket: $ {Wilayah} :$ {Akun} :quantum-task/$ {} RandomId

Notebook dan peran

Anda dapat menggunakan jenis sumber daya noteboook di Braket. Notebook adalah sumber daya SageMaker AI Amazon yang dapat dibagikan oleh Braket. Untuk menggunakan notebook dengan Braket, Anda harus menentukan peran IAM dengan nama yang dimulai dengan. `AmazonBraketServiceSageMakerNotebook`

Untuk membuat buku catatan, Anda harus menggunakan peran dengan izin admin atau yang memiliki kebijakan sebaris berikut yang dilampirkan padanya.

JSON

```
{
  "Version":"2012-10-17",
```

```
  "Statement": [
    {
      "Sid": "CreateTheRole",
      "Effect": "Allow",
      "Action": "iam:CreateRole",
      "Resource": "arn:aws:iam::*:role/service-role/
AmazonBraketServiceSageMakerNotebookRole*"
    },
    {
      "Sid": "CreateThePolicy",
      "Effect": "Allow",
      "Action": "iam:CreatePolicy",
      "Resource": [
        "arn:aws:iam::*:policy/service-role/
AmazonBraketServiceSageMakerNotebookAccess*",
        "arn:aws:iam::*:policy/service-role/
AmazonBraketServiceSageMakerNotebookRole*"
      ]
    },
    {
      "Sid": "AttachTheRolePolicy",
      "Effect": "Allow",
      "Action": "iam:AttachRolePolicy",
      "Resource": "arn:aws:iam::*:role/service-role/
AmazonBraketServiceSageMakerNotebookRole*",
      "Condition": {
        "ArnLike": {
          "iam:PolicyARN": [
            "arn:aws:iam::aws:policy/AmazonBraketFullAccess",
            "arn:aws:iam::*:policy/service-role/
AmazonBraketServiceSageMakerNotebookAccess*",
            "arn:aws:iam::*:policy/service-role/
AmazonBraketServiceSageMakerNotebookRole*"
          ]
        }
      }
    }
  ]
}
```

Untuk membuat peran, ikuti langkah-langkah yang diberikan di halaman Buat buku catatan atau minta administrator membuatnya untuk Anda. Pastikan AmazonBraketFullAccesskebijakan tersebut terlampir.

Setelah Anda membuat peran, Anda dapat menggunakan kembali peran itu untuk semua notebook yang Anda luncurkan di masa mendatang.

AWS kebijakan terkelola untuk Amazon Braket

Kebijakan AWS terkelola adalah kebijakan mandiri yang dibuat dan dikelola oleh AWS. AWS Kebijakan terkelola dirancang untuk memberikan izin bagi banyak kasus penggunaan umum sehingga Anda dapat mulai menetapkan izin kepada pengguna, grup, dan peran.

Perlu diingat bahwa kebijakan AWS terkelola mungkin tidak memberikan izin hak istimewa paling sedikit untuk kasus penggunaan spesifik Anda karena tersedia untuk digunakan semua pelanggan. AWS Kami menyarankan Anda untuk mengurangi izin lebih lanjut dengan menentukan kebijakan yang dikelola pelanggan yang khusus untuk kasus penggunaan Anda.

Anda tidak dapat mengubah izin yang ditentukan dalam kebijakan AWS terkelola. Jika AWS memperbarui izin yang ditentukan dalam kebijakan AWS terkelola, pembaruan akan memengaruhi semua identitas utama (pengguna, grup, dan peran) yang dilampirkan kebijakan tersebut. AWS kemungkinan besar akan memperbarui kebijakan AWS terkelola saat baru Layanan AWS diluncurkan atau operasi API baru tersedia untuk layanan yang ada.

Untuk informasi selengkapnya, lihat Kebijakan terkelola AWS dalam Panduan Pengguna IAM.

Topik

- AWS kebijakan terkelola: AmazonBraketFullAccess
- AWS kebijakan terkelola: AmazonBraketJobsExecutionPolicy
- AWS kebijakan terkelola: AmazonBraketServiceRolePolicy
- Amazon Braket memperbarui kebijakan terkelola AWS

AWS kebijakan terkelola: AmazonBraketFullAccess

AmazonBraketFullAccessKebijakan ini memberikan izin untuk operasi Amazon Braket, termasuk izin untuk tugas ini:

- Unduh kontainer dari Amazon Elastic Container Registry — Untuk membaca dan mengunduh gambar kontainer yang digunakan untuk fitur Amazon Braket Hybrid Jobs. Wadah harus sesuai dengan format “arn:aws:ecr: ::repository/amazon-braket”.
- Simpan AWS CloudTrail log — Untuk semua tindakan deskripsikan, dapatkan, dan daftar selain memulai dan menghentikan kueri, menguji filter metrik, dan memfilter peristiwa log. File AWS CloudTrail log berisi catatan semua API aktivitas Amazon Braket yang terjadi di akun Anda.
- Memanfaatkan peran untuk mengontrol sumber daya — Untuk membuat peran terkait layanan di akun Anda. Peran terkait layanan memiliki akses ke AWS sumber daya atas nama Anda. Ini hanya bisa digunakan oleh layanan Amazon Braket. Juga, untuk meneruskan peran IAM ke Amazon `CreateJob` API Braket dan untuk membuat peran dan melampirkan kebijakan yang dicakup AmazonBraketFullAccess ke peran tersebut.
- Buat grup log, peristiwa log, dan grup log kueri untuk mempertahankan file log penggunaan untuk akun Anda — Untuk membuat, menyimpan, dan melihat informasi pencatatan tentang penggunaan Amazon Braket di akun Anda. Metrik kueri pada grup log pekerjaan hibrida. Mencakup jalur Braket yang tepat dan memungkinkan menempatkan data log. Masukkan data metrik CloudWatch.
- Buat dan simpan data di bucket Amazon S3, dan daftarkan semua bucket — Untuk membuat bucket S3, daftarkan bucket S3 di akun Anda, lalu masukkan objek ke dalam dan dapatkan objek dari bucket apa pun di akun Anda yang namanya dimulai dengan amazon-braket-. Izin ini diperlukan untuk Braket untuk menempatkan file yang berisi hasil dari tugas kuantum yang diproses ke dalam bucket dan mengambilnya dari bucket.
- Lulus peran IAM — Untuk meneruskan peran IAM ke. `CreateJob` API
- Amazon SageMaker AI Notebook — Untuk membuat dan mengelola instance SageMaker notebook yang dicakup ke sumber daya dari “arn:aws:sagemaker: ::notebook-instance/amazon-braket-”.
- Validasi kuota layanan — Untuk membuat notebook SageMaker AI dan pekerjaan Amazon Braket Hybrid, jumlah sumber daya Anda tidak dapat melebihi kuota untuk akun Anda.
- Lihat harga produk — Tinjau dan rencanakan biaya perangkat keras kuantum sebelum mengirimkan beban kerja Anda.

Untuk melihat izin kebijakan ini, lihat AmazonBraketFullAccessdi Referensi Kebijakan Terkelola AWS.

AWS kebijakan terkelola: AmazonBraketJobsExecutionPolicy

AmazonBraketJobsExecutionPolicyKebijakan ini memberikan izin untuk peran eksekusi yang digunakan dalam Pekerjaan Hibrid Amazon Braket sebagai berikut:

- Unduh kontainer dari Amazon Elastic Container Registry - Izin untuk membaca dan mengunduh gambar kontainer yang digunakan untuk fitur Pekerjaan Hibrida Amazon Braket. Wadah harus sesuai dengan format “arn:aws:ecr: *:*:repository/amazon-braket*”.
- Buat grup log dan peristiwa log dan grup log kueri untuk mempertahankan file log penggunaan untuk akun Anda — Buat, simpan, dan lihat informasi pencatatan tentang penggunaan Amazon Braket di akun Anda. Metrik kueri pada grup log pekerjaan hibrida. Mencakup jalur Braket yang tepat dan memungkinkan menempatkan data log. Masukkan data metrik CloudWatch.
- Simpan data di bucket Amazon S3 — Cantumkan bucket S3 di akun Anda, masukkan objek ke dalam dan dapatkan objek dari bucket apa pun di akun Anda yang dimulai dengan amazon-braket - dalam namanya. Izin ini diperlukan untuk Braket untuk menempatkan file yang berisi hasil dari tugas kuantum yang diproses ke dalam bucket, dan untuk mengambilnya dari bucket.
- Lulus peran IAM — Melewati peran IAM ke. CreateJob API Peran harus sesuai dengan format arn:aws:iam: :* *. :role/service-role/AmazonBraketJobsExecutionRole

Untuk melihat izin kebijakan ini, lihat AmazonBraketJobsExecutionPolicydi Referensi Kebijakan Terkelola AWS.

AWS kebijakan terkelola: AmazonBraketServiceRolePolicy

AmazonBraketServiceRolePolicyKebijakan ini memberikan izin untuk operasi Amazon Braket, termasuk izin untuk tugas ini:

- Amazon S3 — izin untuk mencantumkan bucket di akun Anda, dan memasukkan objek ke dalam dan mendapatkan objek dari bucket apa pun di akun Anda dengan nama yang dimulai dengan. `amazon-braket-`
- Amazon CloudWatch Logs — izin untuk membuat daftar dan membuat grup log, membuat aliran log terkait, dan memasukkan peristiwa ke dalam grup log yang dibuat untuk Amazon Braket.

Untuk informasi selengkapnya tentang peran terkait layanan, lihat peran terkait layanan Amazon Braket.

Untuk melihat izin kebijakan ini, lihat AmazonBraketServiceRolePolicydi Referensi Kebijakan Terkelola AWS.

Amazon Braket memperbarui kebijakan terkelola AWS

Tabel berikut memberikan rincian tentang pembaruan kebijakan AWS terkelola untuk Amazon Braket sejak layanan ini mulai melacak perubahan ini.

Ubah	Deskripsi	Tanggal
AmazonBraketServiceRolePolicy- Kebijakan manajemen sumber daya	Menambahkan cakupan kondisi “aws:ResourceAccount": “${aws:PrincipalAccount}” ke Amazon S3 dan CloudWatch mencatat tindakan.	Juli 11, 2025
AmazonBraketFullAccess- Kebijakan akses penuh untuk Braket	Menambahkan tindakan “harga:GetProducts”.	April 14, 2025
AmazonBraketFullAccess- Kebijakan akses penuh untuk Braket	Menambahkan cakupan kondisi ResourceAccount“aws: “: “${aws:PrincipalAccount}” ke tindakan S3.	7 Maret 2025
AmazonBraketFullAccess- Kebijakan akses penuh untuk Braket	Menambahkan tindakan servicequotas: GetServiceQuota dan cloudwatch:. GetMetricData	24 Maret 2023
AmazonBraketFullAccess- Kebijakan akses penuh untuk Braket	Menambahkan ListAllMyBuckets izin s3: untuk melihat dan memeriksa bucket Amazon S3 yang digunakan.	31 Maret 2022
AmazonBraketFullAccess- Kebijakan akses penuh untuk Braket	Braket disesuaikan iam: PassRole izin AmazonBra ketFullAccess untuk menyertak an jalur. `service-role/`	29 November 2021
AmazonBraketJobsExecutionPolicy- Kebijakan eksekusi pekerjaan Hybrid untuk Amazon Braket Hybrid Jobs	Braket memperbarui peran eksekusi pekerjaan hybrid ARN	29 November 2021

Ubah	Deskripsi	Tanggal
	untuk memasukkan `service-role/` jalur.	
Braket mulai melacak perubahan	Braket mulai melacak perubahan untuk kebijakan yang AWS dikelola.	29 November 2021

Batasi akses pengguna ke perangkat tertentu

Untuk membatasi akses pengguna untuk perangkat Braket tertentu, Anda dapat menambahkan kebijakan penolakan izin ke peran tertentu. IAM

Tindakan berikut dapat dibatasi:

- `CreateQuantumTask`- untuk menolak pembuatan tugas kuantum pada perangkat tertentu.
- `CreateJob`- untuk menolak penciptaan lapangan kerja hybrid pada perangkat tertentu.
- `GetDevice`- untuk menolak mendapatkan detail perangkat yang ditentukan.

Contoh berikut membatasi akses ke semua QPUs untuk. Akun AWS `123456789012`

JSON

```
{
  "Version":"2012-10-17",
  "Statement": [
    {
    "Effect": "Deny",
    "Action": [
      "braket:CreateQuantumTask",
      "braket:CreateJob",
      "braket:GetDevice"
    ],
    "Resource": [
    "arn:aws:braket:*:*:device/qpu/*"
    ],
    "Condition": {
             "StringEquals": {
```

```
                "aws:PrincipalAccount": "123456789012"
            }
        }
    }
  ]
}
```

> **Note**
>
> Kecualikan `braket:GetDevice` Tindakan dari kebijakan untuk mengaktifkan akses Baca pengguna ke properti perangkat seperti ketersediaan perangkat, data kalibrasi, dan harga melalui konsol Braket.

Untuk mengadaptasi kode ini, gantikan Amazon Resource Number (ARN) dari perangkat terbatas untuk string yang ditunjukkan pada contoh sebelumnya. String ini memberikan nilai Resource. Di Braket, perangkat mewakili QPU atau simulator yang dapat Anda panggil untuk menjalankan tugas kuantum. Perangkat yang tersedia tercantum di halaman Perangkat. Ada dua skema yang digunakan untuk menentukan akses ke perangkat ini:

- `arn:aws:braket:<region>:*:device/qpu/<provider>/<device_id>`
- `arn:aws:braket:<region>:*:device/quantum-simulator/<provider>/<device_id>`

Berikut adalah contoh untuk berbagai jenis akses perangkat

- Untuk memilih semua QPUs di semua wilayah: `arn:aws:braket:*:*:device/qpu/*`
- Untuk memilih semua QPUs di wilayah us-west-2 SAJA: `arn:aws:braket:us-west-2:*:device/qpu/*`
- Secara setara, untuk memilih semua QPUs di wilayah us-west-2 SAJA (karena perangkat adalah sumber daya layanan, bukan sumber daya pelanggan): `arn:aws:braket:us-west-2:*:device/qpu/*`
- Untuk membatasi akses ke semua perangkat simulator sesuai permintaan: `arn:aws:braket:*:*:device/quantum-simulator/*`
- Untuk membatasi akses ke perangkat dari penyedia tertentu (misalnya, ke Rigetti QPU perangkat): `arn:aws:braket:*:*:device/qpu/rigetti/*`

- Untuk membatasi akses ke TN1 perangkat: `arn:aws:braket:*:*:device/quantum-simulator/amazon/tn1`
- Untuk membatasi akses ke semua `Create` tindakan: `braket:Create*`

Batasi akses pengguna ke instance notebook tertentu

Untuk membatasi akses bagi pengguna tertentu ke instance notebook Braket tertentu, Anda dapat menambahkan kebijakan penolakan izin ke peran, pengguna, atau grup tertentu.

Contoh berikut menggunakan variabel kebijakan untuk secara efisien membatasi izin untuk memulai, menghentikan, dan mengakses instance notebook tertentu di Akun AWS `123456789012`, yang dinamai sesuai dengan pengguna yang seharusnya memiliki akses (misalnya, pengguna `Alice` akan memiliki akses ke instance notebook bernama). `amazon-braket-Alice`

JSON

```
{
  "Version":"2012-10-17",
  "Statement": [
    {
      "Sid": "DenyCreateDeleteUpdateNotebookInstances",
      "Effect": "Deny",
      "Action": [
        "sagemaker:CreateNotebookInstance",
        "sagemaker:DeleteNotebookInstance",
        "sagemaker:UpdateNotebookInstance",
        "sagemaker:CreateNotebookInstanceLifecycleConfig",
        "sagemaker:DeleteNotebookInstanceLifecycleConfig",
        "sagemaker:UpdateNotebookInstanceLifecycleConfig"
      ],
      "Resource": "*"
    },
    {
      "Sid": "DenyDescribeStartStopNotebookInstances",
      "Effect": "Deny",
      "Action": [
        "sagemaker:DescribeNotebookInstance",
        "sagemaker:StartNotebookInstance",
        "sagemaker:StopNotebookInstance"
      ],
```

```
      "NotResource": [
        "arn:aws:sagemaker:*:123456789012:notebook-instance/amazon-braket-
${aws:username}"
      ]
    },
    {
      "Sid": "DenyNotebookInstanceUrl",
      "Effect": "Deny",
      "Action": [
        "sagemaker:CreatePresignedNotebookInstanceUrl"
      ],
      "NotResource": [
        "arn:aws:sagemaker:*:123456789012:notebook-instance/amazon-braket-
${aws:username}*"
      ]
    }
  ]
}
```

Batasi akses pengguna ke bucket S3 tertentu

Untuk membatasi akses pengguna tertentu ke bucket Amazon S3 tertentu, Anda dapat menambahkan kebijakan penolakan ke peran, pengguna, atau grup tertentu.

Contoh berikut membatasi izin untuk mengambil dan menempatkan objek ke dalam S3 bucket (`arn:aws:s3:::amazon-braket-us-east-1-123456789012-Alice`) tertentu dan juga membatasi daftar objek tersebut.

JSON

```
{
  "Version":"2012-10-17",
  "Statement": [
    {
      "Effect": "Deny",
      "Action": [
        "s3:ListBucket"
      ],
      "NotResource": [
        "arn:aws:s3:::amazon-braket-us-east-1-123456789012-Alice"
      ]
```

```
    },
    {
      "Effect": "Deny",
      "Action": [
        "s3:GetObject"
      ],
      "NotResource": [
        "arn:aws:s3:::amazon-braket-us-east-1-123456789012-Alice/*"
      ]
    }
  ]
}
```

Untuk membatasi akses ke bucket untuk instance notebook tertentu, Anda dapat menambahkan kebijakan sebelumnya ke peran eksekusi notebook.

Peran tertaut layanan Amazon Braket

Saat Anda mengaktifkan Amazon Braket, peran tertaut layanan dibuat di akun Anda.

Peran tertaut layanan adalah tipe IAM role unik yang, dalam hal ini, ditautkan langsung ke Amazon Braket. Peran terkait layanan Amazon Braket telah ditentukan sebelumnya untuk menyertakan semua izin yang diperlukan Braket saat memanggil orang lain atas nama Anda. Layanan AWS

Peran terkait layanan membuat pengaturan Amazon Braket lebih mudah karena Anda tidak perlu menambahkan izin yang diperlukan secara manual. Amazon Braket mendefinisikan izin peran tertaut layanan. Kecuali Anda mengubah definisi ini, hanya Amazon Braket dapat mengasumsikan perannya. Izin yang ditentukan mencakup kebijakan kepercayaan dan kebijakan izin. Kebijakan izin tidak dapat dilampirkan ke entitas IAM lainnya.

Peran terkait layanan yang disiapkan Amazon Braket adalah bagian dari kemampuan peran terkait layanan (IAM). AWS Identity and Access Management Untuk informasi tentang peran lain Layanan AWS yang mendukung peran terkait layanan, lihat AWS Layanan yang Bekerja dengan IAM dan cari layanan yang memiliki Ya di kolom Peran Tertaut Layanan. Pilih Ya dengan tautan untuk melihat dokumentasi peran yang terkait dengan layanan untuk layanan tersebut.

Untuk informasi selengkapnya tentang kebijakan AWS terkelola untuk peran terkait layanan, lihat. AmazonBraketServiceRolePolicy

Validasi Kepatuhan untuk Amazon Braket

> **Note**
>
> AWS Laporan kepatuhan tidak mencakup QPU dari penyedia perangkat keras pihak ketiga yang dapat memilih untuk melalui audit independen mereka sendiri.

Untuk mempelajari apakah an Layanan AWS berada dalam lingkup program kepatuhan tertentu, lihat Layanan AWS di Lingkup oleh Program Kepatuhan Layanan AWS dan pilih program kepatuhan yang Anda minati. Untuk informasi umum, lihat Program AWS Kepatuhan Program AWS .

Anda dapat mengunduh laporan audit pihak ketiga menggunakan AWS Artifact. Untuk informasi selengkapnya, lihat Mengunduh Laporan di AWS Artifact .

Tanggung jawab kepatuhan Anda saat menggunakan Layanan AWS ditentukan oleh sensitivitas data Anda, tujuan kepatuhan perusahaan Anda, dan hukum dan peraturan yang berlaku. Untuk informasi selengkapnya tentang tanggung jawab kepatuhan Anda saat menggunakan Layanan AWS, lihat Dokumentasi AWS Keamanan.

Keamanan Infrastruktur di Amazon Braket

Sebagai layanan terkelola, Amazon Braket dilindungi oleh keamanan jaringan AWS global. Untuk informasi tentang layanan AWS keamanan dan cara AWS melindungi infrastruktur, lihat Keamanan AWS Cloud. Untuk mendesain AWS lingkungan Anda menggunakan praktik terbaik untuk keamanan infrastruktur, lihat Perlindungan Infrastruktur dalam Kerangka Kerja yang AWS Diarsiteksikan dengan Baik Pilar Keamanan.

Anda menggunakan panggilan API yang AWS dipublikasikan untuk mengakses Amazon Braket melalui jaringan. Klien harus mendukung hal-hal berikut:

- Keamanan Lapisan Pengangkutan (TLS). Kami mensyaratkan TLS 1.2 dan menganjurkan TLS 1.3.
- Sandi cocok dengan sistem kerahasiaan maju sempurna (perfect forward secrecy, PFS) seperti DHE (Ephemeral Diffie-Hellman) atau ECDHE (Elliptic Curve Ephemeral Diffie-Hellman). Sebagian besar sistem modern seperti Java 7 dan versi lebih baru mendukung mode-mode ini.

Anda dapat memanggil operasi API ini dari lokasi jaringan mana pun, tetapi Braket mendukung kebijakan akses berbasis sumber daya, yang dapat mencakup pembatasan berdasarkan alamat

IP sumber. Anda juga dapat menggunakan kebijakan Braket untuk mengontrol akses dari titik akhir Amazon Virtual Private Cloud (Amazon VPC) tertentu atau spesifik. VPCs Secara efektif, ini mengisolasi akses jaringan ke sumber daya Braket tertentu hanya dari VPC tertentu dalam jaringan. AWS

Keamanan Penyedia Perangkat Keras Amazon Braket

QPUs di Amazon Braket di-host oleh penyedia perangkat keras pihak ketiga. Saat Anda menjalankan tugas kuantum di QPU, Amazon Braket menggunakan DevicEarn sebagai pengenal saat mengirim sirkuit ke QPU yang ditentukan untuk diproses.

Jika Anda menggunakan Amazon Braket untuk akses ke perangkat keras komputasi kuantum yang dioperasikan oleh salah satu penyedia perangkat keras pihak ketiga, sirkuit Anda dan data terkaitnya diproses oleh penyedia perangkat keras di luar fasilitas yang dioperasikan oleh. AWS Informasi tentang lokasi fisik dan AWS Wilayah tempat setiap QPU tersedia dapat ditemukan di bagian Detail Perangkat di konsol Amazon Braket.

Konten Anda dianonimkan. Hanya konten yang diperlukan untuk memproses sirkuit yang dikirim ke pihak ketiga. Akun AWS informasi tidak dikirimkan ke pihak ketiga.

Semua data dienkripsi saat istirahat dan dalam transit. Data didekripsi untuk pemrosesan saja. Penyedia pihak ketiga Amazon Braket tidak diizinkan untuk menyimpan atau menggunakan konten Anda untuk tujuan selain memproses sirkuit Anda. Setelah rangkaian selesai, hasilnya dikembalikan ke Amazon Braket dan disimpan dalam bucket S3 Anda.

Keamanan penyedia perangkat keras kuantum pihak ketiga Amazon Braket diaudit secara berkala, untuk memastikan bahwa standar keamanan jaringan, kontrol akses, perlindungan data, dan keamanan fisik terpenuhi.

Amazon VPC endpoint untuk Amazon Braket

Anda dapat membangun koneksi privat antara VPC Anda dan Amazon Braket dengan membuat VPC endpoint antarmuka. Endpoint antarmuka didukung oleh AWS PrivateLink, teknologi yang memungkinkan akses ke Braket API tanpa gateway internet, perangkat NAT, koneksi VPN, atau koneksi. Direct Connect Instans di VPC Anda tidak memerlukan alamat IP publik untuk berkomunikasi dengan Braket API.

Setiap titik akhir antarmuka diwakili oleh satu atau beberapa Antarmuka Jaringan Elastis di subnet Anda.

Dengan AWS PrivateLink, lalu lintas antara VPC dan Braket Anda tidak meninggalkan Amazon jaringan, yang meningkatkan keamanan data yang Anda bagikan dengan aplikasi berbasis cloud, karena mengurangi paparan data Anda ke internet publik. Untuk informasi selengkapnya, lihat Mengakses AWS layanan menggunakan titik akhir VPC antarmuka di Panduan Pengguna Amazon VPC.

Di bagian ini:

- Pertimbangan untuk VPC endpoint Amazon Braket
- Mengatur Braket dan PrivateLink
- Informasi tambahan tentang membuat titik akhir
- Mengontrol akses dengan kebijakan Amazon VPC endpoint

Pertimbangan untuk VPC endpoint Amazon Braket

Sebelum menyiapkan titik akhir VPC antarmuka untuk Braket, pastikan Anda meninjau prasyarat titik akhir Antarmuka di Panduan Pengguna Amazon VPC.

Braket mendukung panggilan ke semua tindakan API miliknya dari VPC Anda.

Secara default, akses penuh ke Braket diizinkan melalui VPC endpoint. Anda dapat mengontrol akses jika Anda menentukan kebijakan VPC endpoint. Untuk informasi selengkapnya, lihat Mengontrol akses ke titik akhir VPC menggunakan kebijakan titik akhir di Panduan Pengguna Amazon VPC.

Mengatur Braket dan PrivateLink

Untuk menggunakan AWS PrivateLink Amazon Braket, Anda harus membuat titik akhir Amazon Virtual Private Cloud (Amazon VPC) sebagai antarmuka, lalu sambungkan ke titik akhir melalui layanan Amazon Braket. API

Berikut adalah langkah-langkah umum proses ini, yang dijelaskan secara rinci di bagian selanjutnya.

- Konfigurasikan dan luncurkan VPC Amazon untuk meng-host sumber daya Anda AWS . Jika Anda sudah memiliki VPC, Anda dapat melewati langkah ini.
- Buat Amazon VPC endpoint untuk Braket
- Connect dan jalankan tugas kuantum Braket melalui endpoint Anda

Langkah 1: Luncurkan Amazon VPC jika diperlukan

Ingat bahwa Anda dapat melewati langkah ini jika akun Anda sudah memiliki VPC yang beroperasi.

VPC mengendalikan pengaturan jaringan Anda, seperti jangkauan alamat IP, subnet, tabel rute, dan gateway jaringan. Pada dasarnya, Anda meluncurkan AWS sumber daya Anda di jaringan virtual khusus. Untuk informasi lebih lanjut tentang Amazon VPC, lihat Panduan Pengguna Amazon VPC.

Buka Konsol Amazon VPC dan buat VPC baru dengan subnet, grup keamanan, dan gateway jaringan.

Langkah 2: Buat VPC endpoint antarmuka untuk Braket

Anda dapat membuat titik akhir VPC untuk layanan Braket menggunakan konsol VPC Amazon atau (). AWS Command Line Interface AWS CLI Untuk informasi selengkapnya, lihat Membuat titik akhir VPC di Panduan Pengguna Amazon VPC.

Untuk membuat VPC endpoint di konsol, buka Konsol Amazon VPC, buka laman Titik akhir, dan lanjutkan untuk membuat titik akhir baru. Buat catatan dari ID titik akhir untuk referensi di kemudian hari. Ini diperlukan sebagai bagian dari `–endpoint-url` bendera saat Anda melakukan panggilan tertentu ke BraketAPI.

Buat VPC endpoint untuk Braket menggunakan nama layanan berikut:

- `com.amazonaws.substitute_your_region.braket`

Untuk informasi selengkapnya, lihat Mengakses AWS layanan menggunakan titik akhir VPC antarmuka di Panduan Pengguna Amazon VPC.

Langkah 3: Connect dan jalankan tugas kuantum Braket melalui endpoint Anda

Setelah Anda membuat titik akhir VPC, Anda dapat menjalankan perintah CLI yang menyertakan `endpoint-url` parameter untuk menentukan titik akhir antarmuka ke API atau runtime, seperti contoh berikut:

```
aws braket search-quantum-tasks --endpoint-url
 VPC_Endpoint_ID.braket.substituteYourRegionHere.vpce.amazonaws.com
```

Jika Anda mengaktifkan nama host DNS pribadi untuk titik akhir VPC Anda, Anda tidak perlu menentukan titik akhir sebagai URL dalam perintah CLI Anda. Sebagai gantinya, nama host API DNS

Amazon Braket, yang digunakan CLI dan Braket SDK secara default, diselesaikan ke titik akhir VPC Anda. Ini memiliki bentuk yang ditunjukkan dalam contoh berikut:

```
https://braket.substituteYourRegionHere.amazonaws.com
```

Posting blog yang disebut Akses langsung ke notebook Amazon SageMaker AI dari Amazon VPC dengan menggunakan AWS PrivateLink titik akhir memberikan contoh cara mengatur titik akhir untuk membuat koneksi aman ke notebook, yang SageMaker mirip dengan notebook Braket. Amazon

Jika Anda mengikuti langkah-langkah dalam posting blog, ingatlah untuk mengganti nama AmazonBraket untuk Amazon SageMaker AI. Untuk Nama Layanan, masukkan `com.amazonaws.us-east-1.braket` atau ganti Wilayah AWS nama Anda yang benar ke dalam string itu, jika Wilayah Anda bukan us-east-1.

Informasi tambahan tentang membuat titik akhir

- Untuk informasi tentang cara membuat VPC dengan subnet pribadi, lihat Membuat VPC dengan subnet pribadi.
- Untuk informasi tentang membuat dan mengonfigurasi titik akhir menggunakan konsol VPC Amazon atau konsol AWS CLI, lihat Membuat titik akhir VPC di Panduan Pengguna Amazon VPC.
- Untuk informasi tentang membuat dan mengonfigurasi titik akhir menggunakan CloudFormation, lihat sumber daya AWS: :EC2: :VPCendPoint di Panduan Pengguna.CloudFormation

Mengontrol akses dengan kebijakan Amazon VPC endpoint

Untuk mengontrol akses konektivitas ke Amazon Braket, Anda dapat melampirkan kebijakan endpoint AWS Identity and Access Management (IAM) ke endpoint Amazon VPC Anda. Kebijakan titik akhir menentukan informasi berikut:

- (Pengguna atau peran) utama yang dapat melakukan tindakan.
- Tindakan yang dapat dilakukan.
- Sumber daya yang menjadi target tindakan.

Untuk informasi selengkapnya, lihat Mengontrol akses ke titik akhir VPC menggunakan kebijakan titik akhir di Panduan Pengguna Amazon VPC.

Contoh: Kebijakan titik akhir VPC untuk tindakan Braket

Berikut adalah contoh kebijakan VPC endpoint untuk Braket. Jika dilampirkan ke titik akhir, kebijakan ini memberikan akses ke tindakan Braket yang terdaftar untuk semua yang utama di semua sumber daya.

```
{
 "Statement":[
 {
   "Principal":"*",
   "Effect":"Allow",
   "Action":[
     “braket:action-1",
     “braket:action-2",
     “braket:action-3”
     ],
   "Resource":"*"
   }
  ]
}
```

Anda dapat membuat aturan IAM kompleks dengan melampirkan beberapa kebijakan titik akhir. Untuk informasi lebih lanjut dan contoh, lihat:

- Kebijakan Titik Akhir Amazon Virtual Private Cloud untuk Step Functions
- Membuat Izin IAM Granular untuk Pengguna Non-Admin
- Kontrol akses ke titik akhir VPC menggunakan kebijakan titik akhir

Pencatatan log dan pemantauan

Setelah Anda mengirimkan tugas kuantum melalui layanan Amazon Braket, Anda dapat memantau status dan perkembangan tugas itu dengan cermat melalui SDK dan konsol Amazon Braket. Ini memberi Anda antarmuka terpusat untuk melacak implementasi beban kerja Anda, mengidentifikasi potensi kemacetan atau masalah, dan mengambil tindakan yang tepat untuk mengoptimalkan kinerja dan keandalan aplikasi kuantum Anda. Saat tugas kuantum selesai, Braket menyimpan hasilnya di lokasi Amazon S3 yang Anda tentukan. Waktu penyelesaian untuk tugas kuantum dapat bervariasi, terutama bagi mereka yang berjalan pada perangkat Quantum Processing Unit (QPU). Ini sebagian besar disebabkan oleh lamanya antrian eksekusi, karena sumber daya perangkat keras kuantum dibagi di antara beberapa pengguna.

Daftar jenis status:

- `CREATED`— Amazon Braket menerima tugas kuantum Anda.
- `QUEUED`— Amazon Braket memproses tugas kuantum Anda dan sekarang menunggu untuk berjalan di perangkat.
- `RUNNING`— Tugas kuantum Anda berjalan pada QPU atau simulator sesuai permintaan.
- `COMPLETED`— Tugas kuantum Anda selesai berjalan di QPU atau simulator sesuai permintaan.
- `FAILED`— Tugas kuantum Anda berusaha untuk berjalan dan gagal. Bergantung pada alasan tugas kuantum Anda gagal, coba kirimkan tugas kuantum Anda lagi.
- `CANCELLED`— Anda membatalkan tugas kuantum. Tugas kuantum tidak berjalan.

Di bagian ini:

Melacak tugas kuantum dari Amazon Braket SDK

Perintah `device.run(…)` mendefinisikan tugas kuantum dengan ID tugas kuantum yang unik. Anda dapat membuat kueri dan melacak status dengan `task.state()` seperti yang ditunjukkan dalam contoh berikut.

Catatan: `task = device.run()` adalah operasi asinkron, yang berarti Anda dapat terus bekerja saat sistem memproses tugas kuantum Anda di latar belakang.

Ambil hasilnya

Saat Anda menelepon`task.result()`, SDK mulai melakukan polling Amazon Braket untuk melihat apakah tugas kuantum selesai. SDK menggunakan parameter jajak pendapat yang Anda tetapkan di `.run()`. Setelah tugas kuantum selesai, SDK mengambil hasil dari bucket S3 dan mengembalikannya sebagai objek. `QuantumTaskResult`

```
# create a circuit, specify the device and run the circuit
circ = Circuit().rx(0, 0.15).ry(1, 0.2).cnot(0,2)
device = AwsDevice("arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1")
task = device.run(circ, s3_location, shots=1000)

# get ID and status of submitted task
task_id = task.id
status = task.state()
print('ID of task:', task_id)
print('Status of task:', status)
# wait for job to complete
while status != 'COMPLETED':
    status = task.state()
    print('Status:', status)
```

```
ID of task:
arn:aws:braket:us-west-2:123412341234:quantum-task/b68ae94b-1547-4d1d-aa92-1500b82c300d
Status of task: QUEUED
Status: QUEUED
Status: QUEUED
Status: QUEUED
Status: QUEUED
Status: QUEUED
Status: QUEUED
Status: QUEUED
Status: RUNNING
```

```
Status: RUNNING
Status: COMPLETED
```

Batalkan tugas kuantum

Untuk membatalkan tugas kuantum, panggil `cancel()` metode, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

```
# cancel quantum task
task.cancel()
status = task.state()
print('Status of task:', status)
```

```
Status of task: CANCELLING
```

Periksa metadata

Anda dapat memeriksa metadata tugas kuantum yang sudah selesai, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.

```
# get the metadata of the quantum task
metadata = task.metadata()
# example of metadata
shots = metadata['shots']
date = metadata['ResponseMetadata']['HTTPHeaders']['date']
# print example metadata
print("{} shots taken on {}.".format(shots, date))

# print name of the s3 bucket where the result is saved
results_bucket = metadata['outputS3Bucket']
print('Bucket where results are stored:', results_bucket)
# print the s3 object key (folder name)
results_object_key = metadata['outputS3Directory']
print('S3 object key:', results_object_key)

# the entire look-up string of the saved result data
look_up = 's3://'+results_bucket+'/'+results_object_key
print('S3 URI:', look_up)
```

```
1000 shots taken on Wed, 05 Aug 2020 14:44:22 GMT.
Bucket where results are stored: amazon-braket-123412341234
S3 object key: simulation-output/b68ae94b-1547-4d1d-aa92-1500b82c300d
```

```
S3 URI: s3://amazon-braket-123412341234/simulation-output/b68ae94b-1547-4d1d-
aa92-1500b82c300d
```

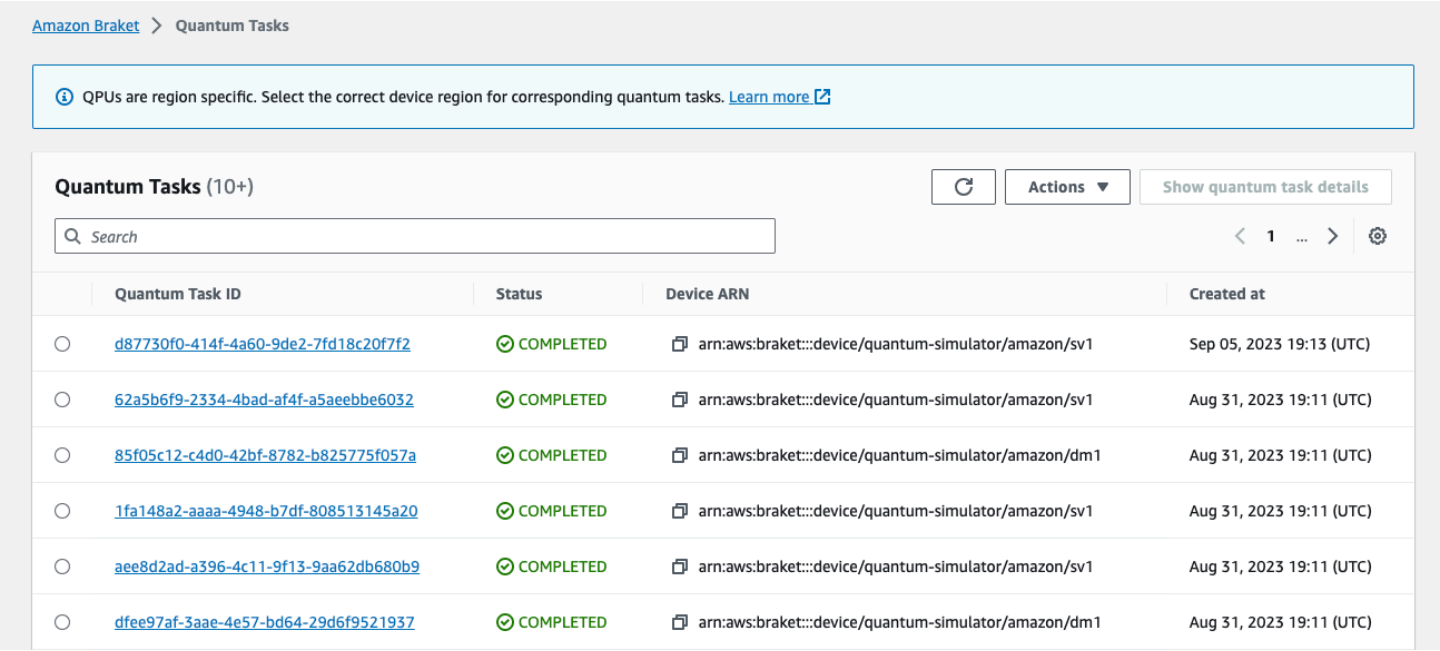
Mengambil tugas atau hasil kuantum

Jika kernel Anda mati setelah Anda mengirimkan tugas kuantum atau jika Anda menutup notebook atau komputer Anda, Anda dapat merekonstruksi `task` objek dengan ARN (Quantum Task ID) yang unik. Kemudian Anda dapat memanggil `task.result()` untuk mendapatkan hasil dari bucket S3 tempat penyimpanannya.

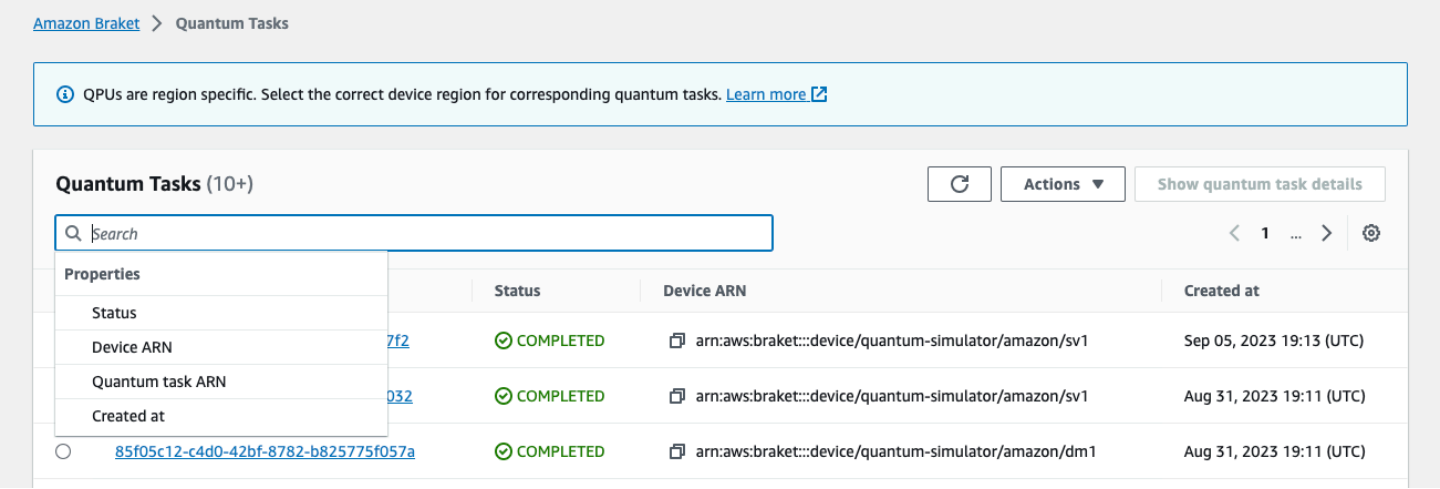
```
from braket.aws import AwsSession, AwsQuantumTask

# restore task with unique arn
task_load = AwsQuantumTask(arn=task_id)
# retrieve the result of the task
result = task_load.result()
```

Memantau tugas kuantum melalui konsol Amazon Braket

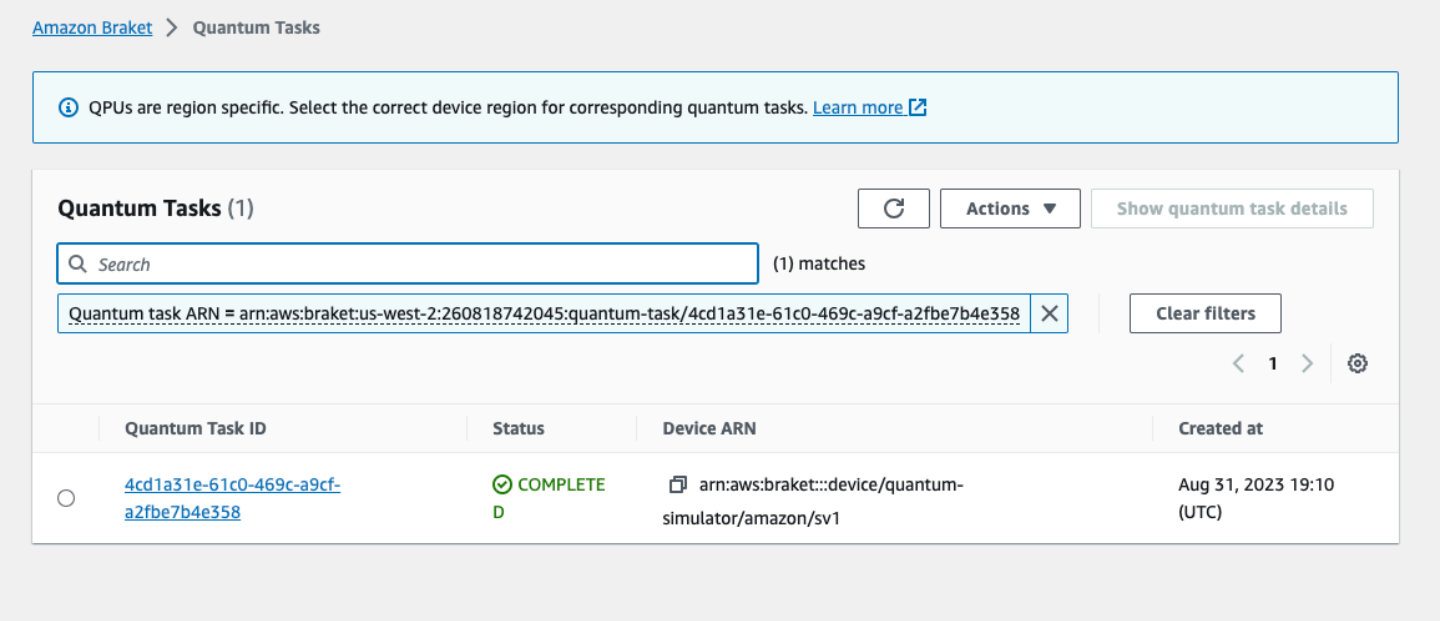
Amazon Braket menawarkan cara mudah untuk memantau tugas kuantum melalui konsol Amazon Braket. Semua tugas kuantum yang dikirimkan tercantum di bidang Quantum Tasks seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut. Layanan ini khusus Wilayah, yang berarti Anda hanya dapat melihat tugas-tugas kuantum yang dibuat secara spesifik. Wilayah AWS



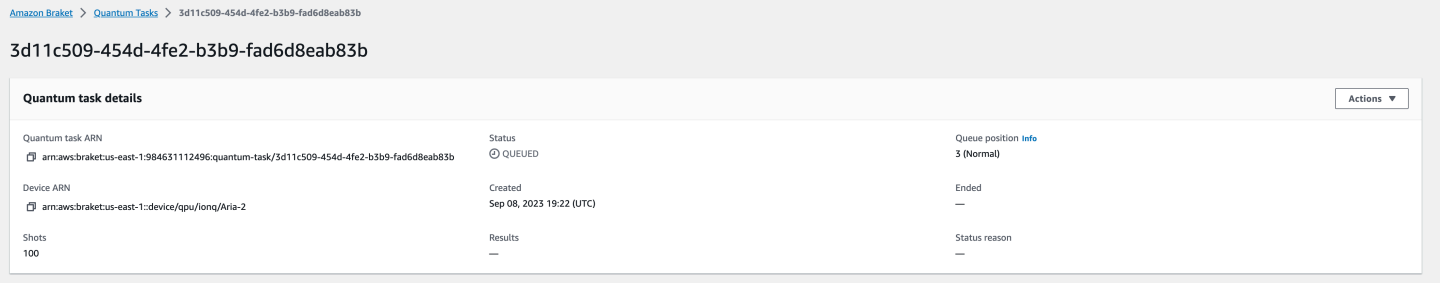
Anda dapat mencari tugas kuantum tertentu melalui bilah navigasi. Pencarian dapat didasarkan pada Quantum Task ARN (ID), status, perangkat, dan waktu pembuatan. Opsi muncul secara otomatis ketika Anda memilih bilah navigasi, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut.



Gambar berikut menunjukkan contoh pencarian tugas kuantum berdasarkan ID tugas kuantum uniknya, yang dapat diperoleh dengan menelepon`task.id`.



Selain itu, terlihat pada gambar di bawah ini, status tugas kuantum dapat dipantau saat berada dalam QUEUED keadaan. Mengklik pada ID tugas kuantum menunjukkan halaman detail. Halaman ini menampilkan posisi antrian dinamis untuk tugas kuantum Anda relatif terhadap perangkat yang akan diprosesnya.



Tugas kuantum yang diajukan sebagai bagian dari pekerjaan hibrida akan diprioritaskan saat dalam antrian. Tugas kuantum yang diajukan di luar pekerjaan hibrida akan memiliki prioritas antrian normal.

Pelanggan yang ingin menanyakan SDK Braket, dapat memperoleh tugas kuantum dan posisi antrian pekerjaan hibrida mereka secara terprogram. Untuk informasi lebih lanjut, lihat halaman Kapan tugas saya akan dijalankan.

Penandaan sumber daya Amazon Braket

Tag adalah label atribut kustom yang Anda tetapkan atau yang ditetapkan ke AWS sumber daya. AWS Tag adalah metadata yang menceritakan lebih lanjut tentang sumber daya Anda. Setiap tanda terdiri atas kunci dan nilai. Bersama-sama ini dikenal sebagai pasangan nilai kunci. Untuk tag yang Anda tetapkan, Anda menentukan kunci dan nilai.

Di konsol Amazon Braket, Anda dapat menavigasi ke tugas kuantum atau buku catatan dan melihat daftar tag yang terkait dengannya. Anda dapat menambahkan tag, menghapus tag, atau memodifikasi tag. Anda dapat menandai tugas kuantum atau buku catatan saat pembuatan, dan kemudian mengelola tag terkait melalui konsol, AWS CLI, atauAPI.

Lebih lanjut tentang AWS dan tag

- Untuk informasi umum tentang penandaan, termasuk konvensi penamaan dan penggunaan, lihat Apa itu Editor Tag? di AWS Sumber Daya Penandaan dan Panduan Pengguna Editor Tag.
- Untuk informasi tentang pembatasan penandaan, lihat Batas dan persyaratan penamaan tag di Panduan Pengguna AWS Sumber Daya Penandaan dan Editor Tag.
- Untuk praktik terbaik dan strategi penandaan, lihat Praktik Terbaik untuk Menandai Sumber Daya AWS.
- Untuk daftar layanan yang men-support penggunaan tag, lihat Referensi API Penandaan Resource Groups.

Bagian berikut menyediakan informasi lebih khusus tentang tag untuk Amazon Braket.

Di bagian ini:

Menggunakan tag

Tag dapat mengatur sumber daya Anda ke dalam kategori yang berguna bagi Anda. Misalnya, Anda dapat menetapkan tag "Departemen" untuk menentukan departemen yang memiliki sumber daya ini.

Setiap tag memiliki dua bagian:

- Kunci tag (misalnya, CostCenter, Lingkungan, atau Proyek). Kunci tag peka huruf besar dan kecil.
- Bidang opsional yang dikenal sebagai nilai tag (misalnya, 111122223333 atau Produksi). Mengabaikan nilai tag sama dengan menggunakan string kosong. Seperti kunci tag, nilai tag peka huruf besar dan kecil.

Tag membantu Anda melakukan hal-hal berikut:

- Identifikasi dan atur AWS sumber daya Anda. Banyak penandaan Layanan AWS dukungan, sehingga Anda dapat menetapkan tag yang sama ke sumber daya dari layanan yang berbeda untuk menunjukkan bahwa sumber daya terkait.
- Lacak AWS biaya Anda. Anda mengaktifkan tag ini di AWS Manajemen Penagihan dan Biaya dasbor. AWS menggunakan tag untuk mengkategorikan biaya Anda dan mengirimkan laporan alokasi biaya bulanan kepada Anda. Untuk informasi selengkapnya, lihat Menggunakan tag alokasi biaya di Panduan AWS Manajemen Penagihan dan Biaya Pengguna.
- Kontrol akses ke AWS sumber daya Anda. Untuk informasi selengkapnya, lihat Mengontrol akses menggunakan tag.

Sumber daya yang didukung untuk penandaan di Amazon Braket

Sumber daya berikut di Amazon Braket mendukung penandaan:

- Sumber daya `quantum-task`
- Nama sumber daya: `AWS::Service::Braket`
- ARN Regex: `arn:${Partition}:braket:${Region}:${Account}:quantum-task/${RandomId}`

Catatan: Anda dapat menerapkan dan mengelola tag untuk notebook Amazon Braket Anda di konsol Amazon Braket, dengan menggunakan konsol untuk menavigasi ke sumber daya notebook, meskipun notebook sebenarnya adalah sumber daya Amazon AI. SageMaker Untuk informasi selengkapnya, lihat Metadata Instance Notebook di dokumentasi. SageMaker

Menandai dengan Amazon Braket API

- Jika Anda menggunakan Amazon Braket API untuk menyiapkan tag pada sumber daya, hubungi. `TagResource`API

```
aws braket tag-resource --resource-arn $YOUR_TASK_ARN --tags {\"city\":
\"Seattle\"}
```

- Untuk menghapus tag dari sumber daya, panggil file `UntagResource`API.

```
aws braket list-tags-for-resource --resource-arn $YOUR_TASK_ARN
```

- Untuk mencantumkan semua tag yang dilampirkan ke sumber daya tertentu, hubungi file `ListTagsForResource`API.

```
aws braket tag-resource --resource-arn $YOUR_TASK_ARN --tag-keys "[\"city
\",\"state\"]"
```

Batasan penandaan

Pembatasan dasar berikut berlaku untuk tag pada sumber daya Amazon Braket:

- Jumlah tanda maksimum tag yang dapat Anda tetapkan ke sumber daya: 50

- Panjang kunci maksimum: 128 karakter Unicode
- Panjang nilai maksimum: 256 karakter Unicode
- Karakter yang valid untuk kunci dan nilai: `a-z, A-Z, 0-9, space`, dan karakter-karakter ini: `_ . : / = + -` dan `@`
- Kunci dan nilai peka huruf besar dan kecil.
- Jangan gunakan `aws` sebagai awalan untuk kunci; itu dicadangkan untuk AWS digunakan.

Mengelola tag di Amazon Braket

Anda mengatur tag sebagai Properti di sumber daya. Anda dapat melihat, menambah, memodifikasi, mencantumkan, dan menghapus tag melalui konsol Amazon Braket, Amazon API Braket, atau. AWS CLI Untuk informasi lebih lanjut, lihat Referensi API Amazon Braket.

Di bagian ini:

- Menambahkan tanda
- Melihat tanda
- Mengedit tag
- Menghapus tanda

Menambahkan tanda

Anda dapat menambahkan sumber daya yang dapat ditag pada waktu-waktu berikut:

- Saat Anda membuat sumber daya: Gunakan konsol, atau sertakan `Tags` parameter dengan `Create` operasi di AWS API.
- Setelah Anda membuat sumber daya: Gunakan konsol untuk menavigasi ke tugas kuantum atau sumber daya notebook, atau panggil `TagResource` operasi di AWS API.

Untuk menambahkan tag ke sumber daya saat Anda membuatnya, Anda juga memerlukan izin untuk membuat sumber daya dari jenis yang ditentukan.

Melihat tanda

Anda dapat melihat tag di salah satu sumber daya yang dapat diberi tag di Amazon Braket menggunakan konsol untuk menavigasi ke tugas atau sumber daya buku catatan, atau dengan memanggil operasi. AWS `ListTagsForResource` API

Anda dapat menggunakan AWS API perintah berikut untuk melihat tag pada sumber daya:

- AWS API: `ListTagsForResource`

Mengedit tag

Anda dapat mengedit tag menggunakan konsol untuk menavigasi ke tugas kuantum atau sumber daya buku catatan atau Anda dapat menggunakan perintah berikut untuk mengubah nilai tag yang dilampirkan ke sumber daya yang dapat diberi tag. Ketika Anda menentukan kunci tag yang sudah ada, nilai untuk kunci tersebut ditimpa:

- AWS API: `TagResource`

Menghapus tanda

Anda dapat menghapus tag dari sumber daya dengan menentukan kunci yang akan dihapus, dengan menggunakan konsol untuk menavigasi ke tugas kuantum atau sumber daya notebook, atau saat memanggil `UntagResource` operasi.

- AWS API: `UntagResource`

Contoh AWS CLI penandaan di Amazon Braket

Saat Anda bekerja dengan AWS Command Line Interface (AWS CLI) untuk berinteraksi dengan Amazon Braket, kode berikut adalah contoh perintah yang menunjukkan cara membuat tag yang berlaku untuk tugas kuantum yang Anda buat. Dalam contoh ini, tugas sedang dijalankan pada simulator SV1 kuantum dengan pengaturan parameter yang ditentukan untuk unit pemrosesan Rigetti kuantum (QPU). Sangat penting bahwa di dalam perintah contoh tag ditentukan di bagian paling akhir, setelah semua parameter lain yang diperlukan. Dalam hal ini, tag memiliki Kunci `state` dan Nilai`Washington`. Tag ini dapat digunakan untuk membantu mengkategorikan atau mengidentifikasi tugas kuantum khusus ini.

```
aws braket create-quantum-task --action /
"{\"braketSchemaHeader\": {\"name\": \"braket.ir.jaqcd.program\", /
    \"version\": \"1\"}, /
    \"instructions\": [{\"angle\": 0.15, \"target\": 0, \"type\": \"rz\"}], /
    \"results\": null, /
    \"basis_rotation_instructions\": null}" /
  --device-arn "arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1" /
  --output-s3-bucket  "my-example-braket-bucket-name" /
  --output-s3-key-prefix "my-example-username"  /
  --shots 100   /
  --device-parameters /
  "{\"braketSchemaHeader\": /
     {\"name\": \"braket.device_schema.rigetti.rigetti_device_parameters\", /
      \"version\": \"1\"}, \"paradigmParameters\": /
       {\"braketSchemaHeader\": /
         {\"name\": \"braket.device_schema.gate_model_parameters\", /
          \"version\": \"1\"}, /
          \"qubitCount\": 2}}" /
          --tags {\"state\":\"Washington\"}
```

Contoh ini menunjukkan bagaimana Anda dapat menerapkan tag ke tugas kuantum Anda saat menjalankannya melalui AWS CLI, yang sangat membantu untuk mengatur dan melacak sumber daya Braket Anda.

Memantau tugas kuantum Anda dengan EventBridge

Amazon EventBridge memantau peristiwa perubahan status dalam tugas kuantum Amazon Braket. Acara dari Amazon Braket dikirim ke EventBridge, hampir secara real time. Anda dapat menulis aturan yang menunjukkan acara mana yang menarik bagi Anda, termasuk tindakan otomatis yang harus diambil saat acara cocok dengan aturan. Tindakan otomatis yang dapat dipicu meliputi berikut ini:

- Memanggil fungsi AWS Lambda
- Mengaktifkan mesin AWS Step Functions negara
- Memberi tahu topik Amazon SNS

EventBridge memantau peristiwa perubahan status Amazon Braket ini:

- Keadaan tugas qauntum berubah

Amazon Braket menjamin pengiriman peristiwa perubahan status tugas kuantum. Peristiwa ini disampaikan setidaknya sekali, tetapi mungkin rusak.

Untuk informasi selengkapnya, lihat Acara di Amazon EventBridge.

Di bagian ini:

- Pantau status tugas kuantum dengan EventBridge
- Contoh acara Amazon Braket EventBridge

Pantau status tugas kuantum dengan EventBridge

Dengan EventBridge, Anda dapat membuat aturan yang menentukan tindakan yang harus diambil saat Amazon Braket mengirimkan pemberitahuan perubahan status terkait tugas kuantum Braket. Misalnya, Anda dapat membuat aturan yang mengirimi Anda pesan email setiap kali status tugas kuantum berubah.

1. Masuk untuk AWS menggunakan akun yang memiliki izin untuk menggunakan EventBridge dan Amazon Braket.
2. Buka EventBridge konsol Amazon.
3. Dengan menggunakan nilai-nilai berikut, buat EventBridge aturan:
   - Untuk Tipe aturan, pilih Aturan dengan pola peristiwa.
   - Untuk sumber acara, pilih Lainnya.
   - Di bagian Pola acara, pilih Pola kustom (editor JSON), lalu tempelkan pola acara berikut ke area teks:

     ```
     {
       "source": [
         "aws.braket"
       ],
       "detail-type": [
         "Braket Task State Change"
       ]
     }
     ```

     Untuk menangkap semua peristiwa dari Amazon Braket, kecualikan `detail-type` bagian seperti yang ditunjukkan pada kode berikut:

```
{
  "source": [
    "aws.braket"
  ]
}
```

- Untuk jenis Target Layanan AWS, pilih, dan untuk Pilih target, pilih target seperti topik atau AWS Lambda fungsi Amazon SNS. Target dipicu ketika peristiwa perubahan status tugas kuantum diterima dari Amazon Braket.

  Misalnya, Anda dapat menggunakan topik Amazon Simple Notification Service (SNS) untuk mengirim email atau pesan teks ketika peristiwa terjadi. Caranya, Anda harus terlebih dahulu membuat topik Amazon SNS menggunakan konsol Amazon SNS. Untuk mempelajari lebih lanjut, lihat Menggunakan Amazon SNS untuk pemberitahuan pengguna.

Untuk detail tentang membuat aturan, lihat Membuat EventBridge aturan Amazon yang bereaksi terhadap peristiwa.

Contoh acara Amazon Braket EventBridge

Untuk informasi tentang bidang untuk peristiwa Perubahan Status Tugas Kuantum Amazon Braket, lihat Peristiwa di Amazon. EventBridge

Atribut berikut muncul di bidang “detail” JSON.

- **`quantumTaskArn`**(str): Tugas kuantum tempat peristiwa ini dihasilkan.
- **`status`**(Opsional [str]): Status transisi tugas kuantum.
- **`deviceArn`**(str): Perangkat yang ditentukan oleh pengguna tempat tugas kuantum ini dibuat.
- shots(int): Jumlah yang shots diminta oleh pengguna.
- **`outputS3Bucket`**(str): Bucket keluaran yang ditentukan oleh pengguna.
- **`outputS3Directory`**(str): Output key prefix ditentukan oleh pengguna.
- **`createdAt`**(str): Waktu pembuatan tugas kuantum sebagai string ISO-8601.
- **`endedAt`**(Opsional [str]): Waktu di mana tugas kuantum mencapai status terminal. Bidang ini hadir hanya ketika tugas kuantum telah dialihkan ke status terminal.

Kode JSON berikut menunjukkan contoh peristiwa Perubahan Status Tugas Quantum Amazon Braket.

```
{
    "version":"0",
    "id":"6101452d-8caf-062b-6dbc-ceb5421334c5",
    "detail-type":"Braket Task State Change",
    "source":"aws.braket",
    "account":"012345678901",
    "time":"2021-10-28T01:17:45Z",
    "region":"us-east-1",
    "resources":[
        "arn:aws:braket:us-east-1:012345678901:quantum-task/834b21ed-77a7-4b36-a90c-
c776afc9a71e"
    ],
    "detail":{
        "quantumTaskArn":"arn:aws:braket:us-east-1:012345678901:quantum-
task/834b21ed-77a7-4b36-a90c-c776afc9a71e",
        "status":"COMPLETED",
        "deviceArn":"arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1",
        "shots":"100",
        "outputS3Bucket":"amazon-braket-0260a8bc871e",
        "outputS3Directory":"sns-testing/834b21ed-77a7-4b36-a90c-c776afc9a71e",
        "createdAt":"2021-10-28T01:17:42.898Z",
        "eventName":"MODIFY",
        "endedAt":"2021-10-28T01:17:44.735Z"
      }
}
```

Memantau metrik Anda dengan CloudWatch

Anda dapat memantau Amazon Braket menggunakan Amazon CloudWatch, yang mengumpulkan data mentah dan memprosesnya menjadi metrik yang dapat dibaca, mendekati real-time. Anda melihat informasi historis yang dihasilkan hingga 15 bulan yang lalu atau metrik pencarian yang telah diperbarui dalam 2 minggu terakhir di CloudWatch konsol Amazon untuk mendapatkan perspektif yang lebih baik tentang kinerja Amazon Braket. Untuk mempelajari lebih lanjut, lihat Menggunakan CloudWatch metrik.

> **Note**
>
> Anda dapat melihat aliran CloudWatch log untuk notebook Amazon Braket dengan menavigasi ke halaman detail Notebook di konsol Amazon AI. SageMaker Pengaturan notebook Amazon Braket tambahan tersedia melalui konsol. SageMaker

Di bagian ini:

Metrik dan dimensi Amazon Braket

Metrik adalah konsep dasar dalam CloudWatch. Metrik mewakili kumpulan titik data yang diurutkan waktu yang dipublikasikan ke CloudWatch. Setiap metrik dicirikan oleh serangkaian dimensi. Untuk mempelajari lebih lanjut tentang dimensi metrik CloudWatch, lihat CloudWatch dimensi.

Amazon Braket mengirimkan data metrik berikut, khusus untuk Amazon Braket, ke dalam metrik Amazon: CloudWatch

Metrik Tugas Kuantum

Metrik tersedia jika ada tugas kuantum. Mereka ditampilkan di AWS bawah/Braket/By Device di konsol. CloudWatch

Metrik	Deskripsi
Hitungan	Jumlah tugas kuantum.
Latensi	Metrik ini dipancarkan ketika tugas kuantum telah selesai. Ini mewakili total waktu dari inisialisasi tugas kuantum hingga penyelesaian.

Dimensi untuk Metrik Tugas Kuantum

Metrik tugas kuantum diterbitkan dengan dimensi berdasarkan `deviceArn` parameter, yang memiliki bentuk arn:aws:braket: ::device/xxx.

Mencatat tugas kuantum Anda dengan CloudTrail

Amazon Braket terintegrasi dengan AWS CloudTrail, layanan yang menyediakan catatan tindakan yang diambil oleh pengguna, peran, atau Layanan AWS di Amazon Braket. CloudTrail menangkap semua API panggilan untuk Amazon Braket sebagai acara. Panggilan yang diambil termasuk panggilan dari konsol Amazon Braket dan panggilan kode ke operasi Amazon Braket. Jika Anda membuat jejak, Anda dapat mengaktifkan pengiriman CloudTrail acara secara terus menerus ke bucket Amazon S3, termasuk acara untuk Amazon Braket. Jika Anda tidak mengonfigurasi jejak, Anda masih dapat melihat peristiwa terbaru di CloudTrail konsol di Riwayat acara. Dengan menggunakan informasi yang dikumpulkan oleh CloudTrail, Anda dapat menentukan permintaan yang dibuat untuk Amazon Braket, alamat IP dari mana permintaan dibuat, siapa yang membuat permintaan, kapan dibuat, dan detail tambahan.

Untuk mempelajari selengkapnya CloudTrail, lihat Panduan AWS CloudTrail Pengguna.

Di bagian ini:

- Informasi Amazon Braket di CloudTrail
- Memahami entri file log Amazon Braket

Informasi Amazon Braket di CloudTrail

CloudTrail diaktifkan pada Akun AWS saat Anda membuat akun. Ketika aktivitas terjadi di Amazon Braket, aktivitas tersebut direkam dalam suatu CloudTrail peristiwa bersama dengan Layanan AWS peristiwa lain dalam riwayat Acara. Anda dapat melihat, mencari, dan mengunduh acara terbaru di situs Anda Akun AWS. Untuk informasi selengkapnya, lihat Melihat Acara dengan Riwayat CloudTrail Acara.

Untuk catatan acara yang sedang berlangsung di Anda Akun AWS, termasuk acara untuk Amazon Braket, buat jejak. Jejak memungkinkan CloudTrail untuk mengirimkan file log ke bucket Amazon S3. Secara default, saat Anda membuat jejak di konsol, jejak tersebut berlaku untuk semua Wilayah AWS. Jejak mencatat peristiwa dari semua Wilayah di AWS partisi dan mengirimkan file log ke bucket Amazon S3 yang Anda tentukan. Selain itu, Anda dapat mengonfigurasi lainnya Layanan AWS untuk menganalisis lebih lanjut dan menindaklanjuti data peristiwa yang dikumpulkan dalam CloudTrail log. Untuk informasi selengkapnya, lihat berikut:

- Gambaran Umum untuk Membuat Jejak
- CloudTrail Layanan dan Integrasi yang Didukung

- Mengkonfigurasi Notifikasi Amazon SNS untuk CloudTrail
- Menerima File CloudTrail Log dari Beberapa Wilayah dan Menerima File CloudTrail Log dari Beberapa Akun

Semua tindakan Amazon Braket dicatat oleh CloudTrail. Misalnya, panggilan ke `GetQuantumTask` atau `GetDevice` tindakan menghasilkan entri dalam file CloudTrail log.

Setiap entri peristiwa atau log berisi informasi tentang entitas yang membuat permintaan tersebut. Informasi identitas membantu Anda menentukan hal berikut ini:

- Apakah permintaan tersebut dibuat dengan kredensial keamanan sementara untuk satu peran atau pengguna gabungan.
- Apakah permintaan tersebut dibuat oleh Layanan AWS lain.

Untuk informasi lain, lihat Elemen userIdentity CloudTrail .

Memahami entri file log Amazon Braket

Trail adalah konfigurasi yang memungkinkan pengiriman peristiwa sebagai file log ke bucket Amazon S3 yang Anda tentukan. CloudTrail file log berisi satu atau lebih entri log. Peristiwa mewakili permintaan tunggal dari sumber manapun dan mencakup informasi tentang tindakan yang diminta, tanggal dan waktu tindakan, parameter permintaan, dan sebagainya. CloudTrail file log bukanlah jejak tumpukan yang diurutkan dari API panggilan publik, sehingga tidak muncul dalam urutan tertentu.

Contoh berikut adalah entri log untuk tindakan `GetQuantumTask`, yang mendapat detail tugas kuantum.

```
{
  "eventVersion": "1.05",
  "userIdentity": {
    "type": "AssumedRole",
    "principalId": "foobar",
    "arn": "foobar",
    "accountId": "foobar",
    "accessKeyId": "foobar",
    "sessionContext": {
      "sessionIssuer": {
        "type": "Role",
```

```
        "principalId": "foobar",
        "arn": "foobar",
        "accountId": "foobar",
        "userName": "foobar"
      },
      "webIdFederationData": {},
      "attributes": {
        "mfaAuthenticated": "false",
        "creationDate": "2020-08-07T00:56:57Z"
      }
    }
  },
  "eventTime": "2020-08-07T01:00:08Z",
  "eventSource": "braket.amazonaws.com",
  "eventName": "GetQuantumTask",
  "awsRegion": "us-east-1",
  "sourceIPAddress": "foobar",
  "userAgent": "aws-cli/1.18.110 Python/3.6.10
 Linux/4.9.184-0.1.ac.235.83.329.metal1.x86_64 botocore/1.17.33",
  "requestParameters": {
    "quantumTaskArn": "foobar"
  },
  "responseElements": null,
  "requestID": "20e8000c-29b8-4137-9cbc-af77d1dd12f7",
  "eventID": "4a2fdb22-a73d-414a-b30f-c0797c088f7c",
  "readOnly": true,
  "eventType": "AwsApiCall",
  "recipientAccountId": "foobar"
}
```

Berikut ini menunjukkan entri log untuk tindakan `GetDevice`, yang mengembalikan detail kejadian perangkat.

```
{
  "eventVersion": "1.05",
  "userIdentity": {
    "type": "AssumedRole",
    "principalId": "foobar",
    "arn": "foobar",
    "accountId": "foobar",
    "accessKeyId": "foobar",
    "sessionContext": {
      "sessionIssuer": {
```

```
        "type": "Role",
        "principalId": "foobar",
        "arn": "foobar",
        "accountId": "foobar",
        "userName": "foobar"
      },
      "webIdFederationData": {},
      "attributes": {
        "mfaAuthenticated": "false",
        "creationDate": "2020-08-07T00:46:29Z"
      }
    }
  },
  "eventTime": "2020-08-07T00:46:32Z",
  "eventSource": "braket.amazonaws.com",
  "eventName": "GetDevice",
  "awsRegion": "us-east-1",
  "sourceIPAddress": "foobar",
  "userAgent": "Boto3/1.14.33 Python/3.7.6 Linux/4.14.158-129.185.amzn2.x86_64 exec-
env/AWS_ECS_FARGATE Botocore/1.17.33",
  "errorCode": "404",
  "requestParameters": {
    "deviceArn": "foobar"
  },
  "responseElements": null,
  "requestID": "c614858b-4dcf-43bd-83c9-bcf9f17f522e",
  "eventID": "9642512a-478b-4e7b-9f34-75ba5a3408eb",
  "readOnly": true,
  "eventType": "AwsApiCall",
  "recipientAccountId": "foobar"
}
```

Pencatatan lanjutan dengan Amazon Braket

Anda dapat merekam seluruh proses pengolahan tugas menggunakan logger. Teknik pencatatan lanjutan ini mengizinkan Anda melihat jajak pendapat latar belakang dan membuat catatan untuk debugging nanti.

Untuk menggunakan logger, kami sarankan untuk mengubah `poll_interval_seconds` parameter `poll_timeout_seconds` dan, sehingga tugas kuantum dapat berjalan lama dan status tugas kuantum dicatat terus menerus, dengan hasil disimpan ke file. Anda dapat mentransfer kode ini ke

penulisan Python bukan notebook Jupyter, sehingga penulisan dapat berjalan sebagai proses di latar belakang.

Konfigurasikan logger

Pertama, konfigurasikan logger sehingga semua catatan ditulis ke dalam file teks secara otomatis, seperti yang ditunjukkan pada baris contoh berikut.

```
# import the module
import logging
from datetime import datetime

# set filename for logs
log_file = 'device_logs-'+datetime.strftime(datetime.now(), '%Y%m%d%H%M%S')+'.txt'
print('Task info will be logged in:', log_file)

# create new logger object
logger = logging.getLogger("newLogger")

# configure to log to file device_logs.txt in the appending mode
logger.addHandler(logging.FileHandler(filename=log_file, mode='a'))

# add to file all log messages with level DEBUG or above
logger.setLevel(logging.DEBUG)
```

```
Task info will be logged in: device_logs-20200803203309.txt
```

Buat dan jalankan sirkuit

Sekarang Anda dapat membuat sirkuit, mengirimkannya ke perangkat untuk dijalankan, dan melihat apa yang terjadi seperti yang ditunjukkan dalam contoh ini.

```
# define circuit
circ_log = Circuit().rx(0, 0.15).ry(1, 0.2).rz(2, 0.25).h(3).cnot(control=0,
 target=2).zz(1, 3, 0.15).x(4)
print(circ_log)
# define backend
device = AwsDevice("arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1")
# define what info to log
logger.info(
    device.run(circ_log, s3_location,
```

```
                poll_timeout_seconds=1200, poll_interval_seconds=0.25, logger=logger,
 shots=1000)
    .result().measurement_counts
)
```

Periksa file log

Anda dapat memeriksa apa yang tertulis ke dalam file dengan memasukkan perintah berikut.

```
# print logs
! cat {log_file}
```

```
Task arn:aws:braket:us-west-2:123412341234:quantum-
task/5088ec6c-89cf-4338-9750-9f5bb12a0dc4: start polling for completion
Task arn:aws:braket:us-west-2:123412341234:quantum-
task/5088ec6c-89cf-4338-9750-9f5bb12a0dc4: task status CREATED
Task arn:aws:braket:us-west-2:123412341234:quantum-
task/5088ec6c-89cf-4338-9750-9f5bb12a0dc4: task status CREATED
Task arn:aws:braket:us-west-2:123412341234:quantum-
task/5088ec6c-89cf-4338-9750-9f5bb12a0dc4: task status QUEUED
Task arn:aws:braket:us-west-2:123412341234:quantum-
task/5088ec6c-89cf-4338-9750-9f5bb12a0dc4: task status RUNNING
Task arn:aws:braket:us-west-2:123412341234:quantum-
task/5088ec6c-89cf-4338-9750-9f5bb12a0dc4: task status RUNNING
Task arn:aws:braket:us-west-2:123412341234:quantum-
task/5088ec6c-89cf-4338-9750-9f5bb12a0dc4: task status COMPLETED
Counter({'00001': 493, '00011': 493, '01001': 5, '10111': 4, '01011': 3, '10101': 2})
```

Dapatkan ARN dari file log

Dari output file log yang dikembalikan, seperti yang ditunjukkan pada contoh sebelumnya, Anda dapat memperoleh informasi ARN. Dengan ARN ID, Anda dapat mengambil hasil dari tugas kuantum yang diselesaikan.

```
# parse log file for arn
with open(log_file) as openfile:
    for line in openfile:
        for part in line.split():
            if "arn:" in part:
                arn = part
                break
# remove final semicolon in logs
```

```
arn = arn[:-1]

# with this arn you can restore again task from unique arn
task_load = AwsQuantumTask(arn=arn, aws_session=AwsSession())

# get results of task
result = task_load.result()
```

Kuota Amazon Braket

Tabel berikut memuat daftar service quotas untuk Amazon Braket. Kuota layanan, juga disebut sebagai batas, adalah jumlah maksimum sumber daya layanan atau operasi untuk Anda Akun AWS.

Beberapa kuota dapat ditingkatkan. Untuk informasi lebih lanjut, lihat Layanan AWS kuota.

- Kuota tarif ledakan tidak dapat ditingkatkan.
- Kenaikan tarif maksimum untuk kuota yang dapat disesuaikan (kecuali tarif ledakam, yang tidak dapat disesuaikan) adalah 2x batas tarif default yang ditentukan. Misalnya, kuota default 60 dapat disesuaikan dengan maksimum 120.
- Kuota yang dapat disesuaikan untuk tugas kuantum concurrent SV1 (DM1) memungkinkan maksimum 60 per. Wilayah AWS
- Jumlah maksimum instans komputasi yang diizinkan untuk pekerjaan hibrida adalah 1, dan kuota dapat disesuaikan.

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan
Permintaan tarif API	Jumlah maksimum permintaan per detik yang dapat Anda kirim di akun ini di Wilayah saat ini.	140	Ya
Permintaan tarif lonjakan API	Jumlah maksimum permintaan tambahan per detik (RPS) yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	600	Tidak
Permintaan tarif `CreateQuantumTask`	Jumlah maksimum permintaan `CreateQuantumTask` yang	20 per detik	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan
	dapat Anda kirim per detik di akun ini per Wilayah.		
Permintaan tarif lonjakan `CreateQuantumTask`	Jumlah maksimum tambahan permintaan per detik (RPS) `CreateQuantumTask` yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	40	Tidak
Permintaan tarif `SearchQuantumTasks`	Jumlah maksimum permintaan `SearchQuantumTasks` yang dapat Anda kirim per detik di akun ini per Wilayah.	5 per detik	Ya
Permintaan tarif lonjakan `SearchQuantumTasks`	Jumlah maksimum tambahan permintaan per detik (RPS) `SearchQuantumTasks` yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	50	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan
Permintaan tarif `GetQuantumTask`	Jumlah maksimum permintaan `GetQuantumTask` yang dapat Anda kirim per detik di akun ini per Wilayah.	100 per detik	Ya
Permintaan tarif lonjakan `GetQuantumTask`	Jumlah maksimum tambahan permintaan per detik (RPS) `GetQuantumTask` yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	500	Tidak
Permintaan tarif `CancelQuantumTask`	Jumlah maksimum permintaan `CancelQuantumTask` yang dapat Anda kirim per detik di akun ini per Wilayah.	2 per detik	Ya
Permintaan tarif lonjakan `CancelQuantumTask`	Jumlah maksimum tambahan permintaan per detik (RPS) `CancelQuantumTask` yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	20	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan
Permintaan tarif `GetDevice`	Jumlah maksimum permintaan `GetDevice` yang dapat Anda kirim per detik di akun ini per Wilayah.	5 per detik	Ya
Permintaan tarif lonjakan `GetDevice`	Jumlah maksimum tambahan permintaan per detik (RPS) `GetDevice` yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	50	Tidak
Permintaan tarif `SearchDevices`	Jumlah maksimum permintaan `SearchDevices` yang dapat Anda kirim per detik di akun ini per Wilayah.	5 per detik	Ya
Permintaan tarif lonjakan `SearchDevices`	Jumlah maksimum tambahan permintaan per detik (RPS) `SearchDevices` yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	50	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan
Permintaan tarif `CreateJob`	Jumlah maksimum permintaan `CreateJob` yang dapat Anda kirim per detik di akun ini per Wilayah.	1 per detik	Ya
Permintaan tarif lonjakan `CreateJob`	Jumlah maksimum tambahan permintaan per detik (RPS) `CreateJob` yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	5	Tidak
Permintaan tarif `SearchJobs`	Jumlah maksimum permintaan `SearchJob` yang dapat Anda kirim per detik di akun ini per Wilayah.	5 per detik	Ya
Permintaan tarif lonjakan `SearchJobs`	Jumlah maksimum tambahan permintaan per detik (RPS) `SearchJob` yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	50	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan
Permintaan tarif `GetJob`	Jumlah maksimum permintaan `GetJob` yang dapat Anda kirim per detik di akun ini per Wilayah.	5 per detik	Ya
Permintaan tarif lonjakan `GetJob`	Jumlah maksimum tambahan permintaan per detik (RPS) `GetJob` yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	25	Tidak
Permintaan tarif `CancelJob`	Jumlah maksimum permintaan `CancelJob` yang dapat Anda kirim per detik di akun ini per Wilayah.	2 per detik	Ya
Permintaan tarif lonjakan `CancelJob`	Jumlah maksimum tambahan permintaan per detik (RPS) `CancelJob` yang dapat Anda kirim dalam satu ledakan di akun ini di Wilayah saat ini.	5	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan
Jumlah tugas SV1kuantum bersamaan	Jumlah maksimum tugas kuantum bersamaan yang berjalan pada simulator vektor status (SV1) di Wilayah saat ini.	100 kita-timur-1, 50 kita-barat-1, 100 kami-barat-2, 50 eu-west-2	Tidak
Jumlah tugas DM1kuantum bersamaan	Jumlah maksimum tugas kuantum bersamaan yang berjalan pada simulator matriks kepadatan (DM1) di Wilayah saat ini.	100 kita-timur-1, 50 kita-barat-1, 100 kami-barat-2, 50 eu-west-2	Tidak
Jumlah tugas TN1kuantum bersamaan	Jumlah maksimum tugas kuantum bersamaan yang berjalan pada simulator jaringan tensor (TN1) di Wilayah saat ini.	10 kita-timur-1, 10 kami-barat-2, 5 eu-barat-2,	Ya
Jumlah pekerjaan hibrida bersamaan	Jumlah maksimum pekerjaan hibrida bersamaan di Wilayah saat ini.	3	Ya
Batas runtime pekerjaan hybrid	Jumlah waktu maksimum dalam beberapa hari yang dapat dijalankan oleh pekerjaan hibrida.	5	Tidak

Berikut ini adalah kuota contoh komputasi klasik default untuk Hybrid Jobs. Untuk menaikkan kuota ini, hubungi Dukungan. Selain itu, wilayah yang tersedia ditentukan untuk setiap instance.

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c4.xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c4.xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak
Jumlah maksimum instance ml.c4.2xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c4.2xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
	Braket di akun dan wilayah ini.							
Jumlah maksimum instance ml.c4.4xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c4.4xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c4.8xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c4.8xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c5.xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c5.xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c5.2xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c5.2xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c5.4xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c5.4xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	1	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c5.9xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c5.9xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	1	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c5.18xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c5.18xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c5n.xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c5n.xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c5n.2xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c5n.2xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c5n.4xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c5n.4xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c5n.9xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c5n.9xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.c5n.18xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.c5n.18xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g4dn.xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g4dn.xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g4dn.2xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g4dn.2xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g4dn.4xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g4dn.4xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g4dn.8xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g4dn.8xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g4dn.12xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g4dn.12xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g4dn.16xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g4dn.16xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6.xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6.xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6.2xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6.2xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6.4xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6.4xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instans ml.g6.8xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6.8xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6.12xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6.12xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6.16xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6.16xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6.24xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6.24xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	1	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6.48xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6.48xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	1	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6e.xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6e.xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6e.2xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6e.2xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6e.4xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6e.4xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6e.8xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6e.8xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6e.12xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6e.12xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	1	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6e.16xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6e.16xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	1	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6e.24xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6e.24xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	1	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.g6e.48xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.g6e.48xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	1	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m4.xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m4.xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m4.2xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m4.2xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m4.4xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m4.4xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	2	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m4.10x large untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m4.10x large diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m4.16x large untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m4.16x large diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m5.large untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m5.large diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m5.xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m5.xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m5.2xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m5.2xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m5.4xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m5.4xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m5.12x large untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m5.12x large diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.m5.24x large untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.m5.24x large diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.p2.xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.p2.xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instans ml.p2.8xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.p2.8xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instans ml.p2.16xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.p2.16xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.p4d.24xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.p4d.24xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	0	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.t3.large untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.t3.large diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.t3.xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.t3.xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber daya	Deskripsi	Batas	Dapat Disesuaikan	us-east-1	us-west-1	us-west-2	eu-west-2	eu-north-1
Jumlah maksimum instance ml.t3.2xlarge untuk pekerjaan hybrid	Jumlah maksimum instance tipe ml.t3.2xlarge diizinkan untuk semua Pekerjaan Hibrida Amazon Braket di akun dan wilayah ini.	5	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Meminta pembaruan batas

Jika Anda menerima ServiceQuotaExceeded pengecualian untuk jenis instans dan tidak memiliki instans yang cukup tersedia untuknya, Anda dapat meminta peningkatan batas dari halaman Service Quotas di AWS konsol dan mencari Amazon Braket di bawah Layanan. AWS

> **Note**
>
> Jika pekerjaan hybrid Anda tidak dapat menyediakan kapasitas komputasi ML yang diminta, gunakan wilayah lain. Selain itu, jika Anda tidak melihat instance dalam tabel, itu tidak tersedia untuk Hybrid Jobs.

Kuota dan batas tambahan

- Tindakan tugas kuantum Amazon Braket dibatasi hingga ukuran 5MB.
- Untuk SV1, durasi berjalan maksimum adalah 3 jam untuk sirkuit hingga 31 qubit, dan 11 jam untuk sirkuit lebih dari 31 qubit.
- Jumlah maksimum bidikan per tugas yang diizinkan untukSV1,DM1, dan Rigetti perangkat adalah 50.000.
- Jumlah maksimum tembakan per tugas yang diizinkan TN1 adalah 1000.
- Untuk AQT IBEX-Q1 perangkat, maksimum adalah 2000 tembakan per tugas.
- Untuk semua IonQ perangkat: Jumlah minimum tembakan per tugas adalah 100. Saat menggunakan model sesuai permintaan, ada batas 1 Juta gateshot, dan minimal 2500 bidikan untuk tugas mitigasi Kesalahan. Untuk reservasi langsung, tidak ada batas gateshot, dan minimal 500 tembakan untuk tugas mitigasi Kesalahan.
- Untuk QuEra perangkat Aquila, maksimumnya adalah 1.000 tembakan per tugas.
- Untuk IQM Emerald perangkat Garnet dan perangkat, maksimumnya adalah 20.000 tembakan per tugas.
- Untuk TN1 dan perangkat QPU, bidikan per tugas harus> 0.

Riwayat dokumen untuk Panduan Pengembang Amazon Braket

Tabel berikut menjelaskan rilis dokumentasi untuk Amazon Braket.

- Pembaruan API Referensi Terbaru: 20 November 2025
- Pembaruan dokumentasi terbaru: 14 Mei 2026

Ubah	Deskripsi	Tanggal
Kuota tipe instance pekerjaan hybrid baru	Menambahkan kuota layanan untukml.g6,ml.g6e, dan jenis ml.t3 instans untuk Pekerjaan Hibrid Amazon Braket.	14 Mei 2026
Perangkat baru Rigetti Cepheus-1-108Q	Menambahkan dukungan untuk Rigetti Cepheus-1-108Q perangkat. Perangkat 108-qubit yang menggunakan teknologi multi-chip yang dapat diskalakan.	April 7, 2026
Pensiun Aria-1 perangkat IonQ	Dukungan yang dihapus untuk Aria-1 perangkat ionQ.	Maret 2, 2026
Perbarui halaman “Bekerja dengan reservasi”	Peningkatan kejelasan halaman “Bekerja dengan reservasi”	Februari 3, 2026
Support Python versi 3.12 untuk notebook Braket dan kontainer terkelola	Menambahkan dukungan Python versi 3.12 untuk notebook Amazon Braket dan kontainer terkelola (Base,,,, CUDA-Q dan Tensorflo w). PennyLane Termasuk panduan pemecahan masalah	Januari 21, 2026

	untuk peningkatan Python 3.12.	
Hapus contoh P3	SageMaker Pensiun keluarga `ml.p3` contoh mereka. Contoh yang diganti dengan keluarga `ml.g4dn` instance yang direkomendasikan.	Desember 19, 2025
Fitur batas pengeluaran baru	Menambahkan dukungan untuk fitur batas pengeluaran Amazon Braket, yang memungkinkan untuk menetapkan batas anggaran opsional pada QPU individu yang secara otomatis memvalidasi dan menolak tugas yang melebihi ambang batas pengeluaran yang dikonfigurasi.	November 20, 2025
Perangkat Braket baru AQT IBEX-Q1	Menambahkan dukungan untuk AQT IBEX-Q1perangkat. Perangkat ini didasarkan pada kristal ^{40} ion Ca^{+} dalam perangkap frekuensi radio makroskopik yang duduk di ruang vakum ultra-tinggi.	November 18, 2025
Dukungan asli baru untuk CUDA-Q NBI Amazon Braket	Menambahkan dukungan asli untuk CUDA-Q instans notebook Amazon Braket. Untuk informasi lebih lanjut, lihat CUDA-Q di NBI.	November 10, 2025
IonQ Aria-2perangkat pensiun	Dukungan yang dihapus untuk IonQ Aria-2 perangkat.	Oktober 27, 2025

Dokumentasi Pekerjaan Hybrid Konsolidasi	Mengkonsolidasikan bagian pekerjaan Hybrid untuk muncul di bawah Bekerja dengan Pekerjaan Hibrida Amazon Braket.	Oktober 21, 2025
Braket baru yang disediakan kontainer CUDA-Q	Menambahkan dukungan untuk wadah pekerjaan CUDA-Q hybrid yang disediakan. Untuk informasi selengkapnya, lihat Mendefinisikan lingkungan untuk skrip algoritme Anda.	September 2, 2025
Fitur emulator perangkat lokal baru	Menambahkan dukungan untuk alat emulator perangkat kuantum lokal untuk meniru program kata demi kata Anda sebelum mengirimkannya ke perangkat kuantum.	Agustus 25, 2025
Memindahkan Pennylane dan CUDA-Q halaman di bawah bagian Build	Memindahkan Pennylane dan CUDA-Qhalaman untuk muncul di bawah bagian Build dalam daftar isi.	Agustus 15, 2025
`ProgramSet` Fitur baru	Menambahkan dukungan untuk set program, operasi untuk menjalankan beberapa sirkuit kuantum dalam satu tugas kuantum.	Agustus 14, 2025
Perangkat baru IQM Emerald	Menambahkan dukungan untuk IQM Emerald perangkat . Perangkat 54-qubit dengan topologi kisi persegi (Kristal).	Juli 21, 2025

Memperbarui AmazonBraketServiceRolePolicykebijakan	AmazonBraketServiceRolePolicysekarang hanya menyediakan tindakan s3: * dan logs: * ke aws: PrincipalAccount. Ini membatasi akses hanya ke bucket pemohon dan grup log.	Juli 11, 2025
Fitur Kemampuan Eksperimental Baru: Sirkuit dinamis	Mid-circuit pengukuran dan operasi feed-forward tersedia sebagai Kemampuan Eksperimental, lihat Akses ke sirkuit dinamis pada perangkat IQM.	Juni 26, 2025
Memperbarui AmazonBraketFullAccesskebijakan	AmazonBraketFullAccesssekarang termasuk harga: GetProducts untuk menampilkan biaya perangkat keras di konsol.	April 14, 2025
Perangkat baru IonQ Forte-Enterprise-1	Menambahkan dukungan untuk Forte-Enterprise-1 perangkat ionQ. Perangkat 36 quibit yang menggunakan teknologi ion yang terperangkap.	Maret 17, 2025
Izin kondisi S3 yang ditingkatkan	Untuk meningkatkan keamanan, `AmazonBraketFullAccess` sekarang hanya memberikan `s3:*` tindakan ke`aws:PrincipalAccount`. Ini membatasi akses ke bucket pemohon sendiri saja.	7 Maret 2025

Perangkat baru Rigetti Ankaa-3	Menambahkan dukungan untuk Rigetti Ankaa-3 perangkat. Perangkat quibit 84 yang menggunakan teknologi multi-chip yang dapat diskalakan.	Januari 14, 2025
Rigetti Ankaa-2perangkat pensiun	Dukungan yang dihapus untuk Rigetti Ankaa-2 perangkat.	Januari 14, 2025
Support untuk lalu lintas IPv6	Amazon Braket sekarang mendukung lalu lintas IPv6 menggunakan titik akhir dualstack. `braket.{region}.api.aws`	Desember 12, 2024
Dukungan untuk NVIDIA's CUDA-Qdi Amazon Braket	Pelanggan sekarang dapat menjalankan program kuantum menggunakan kerangka NVIDIA's CUDA-Q pengembang di Amazon Braket.	Desember 6, 2024
IonQ Forte-1perangkat sudah tersedia	IonQ Forte-1perangkat tidak lagi hanya reservasi dan sekarang tersedia untuk pelanggan kami.	November 22, 2024
Rigetti Aspen-M-3perangkat pensiun	Dukungan yang dihapus untuk Rigetti Aspen-M-3 perangkat.	September 27, 2024
IonQ Harmonyperangkat pensiun	Dukungan yang dihapus untuk IonQ Harmony perangkat.	Agustus 29, 2024

Perangkat baru Rigetti Ankaa-2	Menambahkan dukungan untuk Rigetti Ankaa-2 perangkat. Perangkat quibit 84 yang menggunakan teknologi multi-chip yang dapat diskalakan.	Agustus 26, 2024
Panduan pengembang reorganisasi	Panduan pengembang baru mengambil perjalanan pelanggan Build, Test, Run yang ada dan memandu pengguna di sepanjang jalur ini dengan Amazon Braket.	Agustus 23, 2024
OQC Lucyperangkat pensiun	Dukungan yang dihapus untuk OQC Lucy perangkat.	Juni 28, 2024
Perangkat IQM Garnet dan wilayah baru Europe North 1	Menambahkan dukungan untuk perangkat IQM Garnet. Perangkat 20-qubit dengan topologi kisi persegi. Diperluas Braket mendukung wilayah ke Eropa Utara 1 (Stockholm).	22 Mei 2024
Detuning lokal dirilis	Kemampuan eksperimental sekarang termasuk fitur detuning lokal Aquila QuEra QPU.	April 11, 2024
Manajer ketidakaktifan notebook dirilis	Saat membuat instance notebook, aktifkan manajer tidak aktif dan setel waktu durasi idle untuk secara otomatis mengatur ulang instance notebook Braket.	Maret 27, 2024

Daftar isi pengerjaan ulang	Menata ulang daftar isi Amazon Braket untuk mematuhi AWS persyaratan panduan gaya dan meningkatkan aliran konten untuk pengalaman pelanggan.	Desember 12, 2023
Braket langsung dirilis	Ditambahkan dukungan untuk fitur langsung Braket, termasuk: • Bekerja dengan reservasi • Mendapatkan saran ahli • Jelajahi Kemampuan Eksperimental	27 November 2023
Diperbarui Buat instans notebook Amazon Braket	Memperbarui dokumentasi untuk menambahkan informasi guna membuat instance notebook untuk pelanggan Amazon Braket baru dan yang sudah ada.	27 November 2023
Diperbarui Bawa wadah Anda sendiri (BYOC)	Memperbarui dokumentasi untuk menambahkan informasi tentang kapan ke BYOC, resep ke BYOC, dan menjalankan Braket Hybrid Jobs pada wadah.	18 Oktober 2023

Dekorator pekerjaan hibrida dirilis	Ditambahkan Jalankan kode lokal Anda sebagai pekerjaan hibrida halaman. Berisi contoh: • Buat pekerjaan hybrid dari kode Python lokal • Instal paket Python tambahan dan kode sumber • Menyimpan dan memuat data ke dalam instance pekerjaan hibrida • Praktik terbaik untuk dekorator pekerjaan hibrida	16 Oktober 2023
Menambahkan visibilitas Antrian	Memperbarui dokumentasi Panduan Pengembang untuk menyertakan queue depth danqueue position. Memperbarui documnetation API untuk mencerminkan perubahan API baru untuk visibilitas antrian.	25 September 2023
Standarisasi penamaan dalam dokumentasi	Memperbarui dokumentasi untuk mengubah instance “pekerjaan” apa pun menjadi “pekerjaan hibrida” dan “tugas” menjadi “tugas kuantum”	11 September 2023
Perangkat baru IonQ Aria 2	Menambahkan dukungan untuk IonQ Aria 2 perangkat	September 8, 2023

Gerbang Asli yang Diperbarui	Memperbarui dokumentasi untuk menambahkan informasi tentang akses terprogram ke gerbang asli dari Rigetti.	16 Agustus 2023
Xanadukeberangkatan	Diperbarui dokumentasi untuk menghapus semua Xanadu perangkat	Juni 2, 2023
Perangkat baru IonQ Aria	Menambahkan dukungan untuk IonQ Aria perangkat	16 Mei 2023
Perangkat pensiunan Rigetti	Dukungan yang dihentikan untuk Rigetti Aspen-M-2	2 Mei 2023
Informasi AmazonBraketFullAccesskebijakan yang diperbarui	Memperbarui skrip yang mendefinisikan isi AmazonBraketFullAccesskebijakan untuk menyertakan GetMetricData tindakan servicequotas: GetServiceQuota dan cloudwatch: serta informasi tentang batasan sehubungan dengan kuota.	19 April 2023
Peluncuran Perjalanan Terpandu	Mengubah dokumentasi untuk mencerminkan metode yang lebih mutakhir dan disederhanakan untuk orientasi Braket.	5 April 2023
Perangkat baru Rigetti Aspen-M-3	Menambahkan dukungan untuk Rigetti Aspen-M-3 perangkat	Januari 17, 2023
Fitur gradien adjoint baru	Menambahkan informasi tentang fitur gradien adjoint yang ditawarkan oleh SV1	7 Desember 2022

Fitur pustaka algoritma baru	Menambahkan informasi tentang pustaka algoritma Braket, yang menyediakan katalog algoritma kuantum pra-bangun	28 November 2022
D-Wavekeberangkatan	Diperbarui dokumentasi untuk mengakomodasi penghapusan semua D-Wave perangkat	17 November 2022
Perangkat baru QuEra Aquila	Menambahkan dukungan untuk QuEra Aquila perangkat	31 Oktober 2022
Support untuk Braket Pulse	Menambahkan dukungan untuk Braket Pulse, yang memungkinkan kontrol pulsa digunakan pada Rigetti dan perangkat OQC	20 Oktober 2022
Support untuk gerbang asli IonQ	Menambahkan dukungan untuk set gerbang asli yang ditawarkan oleh perangkat ionQ	13 September 2022
Kuota contoh baru	Memperbarui kuota instans komputasi klasik default yang terkait dengan Pekerjaan Hybrid	22 Agustus 2022
Dasbor layanan baru	Tangkapan layar konsol yang diperbarui untuk menyertakan dasbor layanan	17 Agustus 2022
Perangkat baru Rigetti Aspen-M-2	Menambahkan dukungan untuk Rigetti Aspen-M-2 perangkat	12 Agustus 2022

Fitur OpenQASM baru	Menambahkan dukungan fitur OpenQASM untuk simulator lokal (braket_sv dan braket_dm)	Agustus 4, 2022
Prosedur pelacakan biaya baru	Menambahkan cara mendapatkan perkiraan biaya maksimum mendekati waktu nyata untuk simulator dan beban kerja perangkat keras	18 Juli 2022
Xanadu BorealisPerangkat baru	Menambahkan dukungan untuk Xanadu Borealis perangkat	2 Juni 2022
Prosedur penyederhanaan orientasi baru	Menambahkan informasi tentang cara kerja prosedur orientasi yang baru dan disederhanakan	Mei 16, 2022
Perangkat baru D-Wave Advantage_system6.1	Menambahkan dukungan untuk D-Wave Advantage _system6.1 perangkat	12 Mei 2022
Support untuk simulator tertanam	Menambahkan cara menjalankan simulasi tertanam dengan pekerjaan hybrid dan cara menggunakan simulator PennyLane petir	4 Mei, 2022
AmazonBraketFullAccess - Kebijakan akses penuh untuk Amazon Braket	Menambahkan s3: ListAllMy Buckets izin untuk memungkinkan pengguna melihat dan memeriksa bucket yang dibuat dan digunakan untuk Amazon Braket	31 Maret 2022

Support untuk OpenQASM	Menambahkan dukungan OpenQASM 3.0 untuk perangkat kuantum dan simulator berbasis gerbang	7 Maret 2022
Penyedia Perangkat Keras Quantum Baru, Oxford Quantum Circuits dan wilayah baru, eu-west-2	Menambahkan dukungan untuk OQC dan eu-west-2	28 Februari 2022
RigettiPerangkat baru	Menambahkan dukungan untuk Rigetti Aspen M-1	Februari 15, 2022
Batas sumber daya baru	Meningkatkan jumlah maksimum konkuren DM1 dan SV1 tugas dari 55 menjadi 100	5 Januari 2022
RigettiPerangkat baru	Menambahkan dukungan untuk Rigetti Aspen-11	Desember 20, 2021
Perangkat pensiunan Rigetti	Dukungan yang dihentikan untuk perangkat Rigetti Aspen-10	Desember 20, 2021
Jenis hasil baru	Mengurangi jenis hasil matriks densitas yang didukung oleh simulator dan DM1 perangkat matriks kepadatan lokal	Desember 20, 2021
Deskripsi kebijakan yang diperbarui	Amazon Braket memperbarui peran ARN untuk menyertakan jalur. `servicerole/` Untuk informasi tentang pembaruan kebijakan, lihat tabel pembaruan Amazon Braket ke kebijakan AWS terkelola.	29 November 2021

Lowongan Amazon Braket	Panduan pengguna untuk Amazon Braket Hybrid Jobs dan ditambahkan API	29 November 2021
RigettiPerangkat baru	Menambahkan dukungan untuk Rigetti Aspen-10	20 November 2021
Perangkat pensiunan D-Wave	Dukungan yang dihentikan untuk D-Wave QPU, Advantage_system1	4 November 2021
D-WavePerangkat baru	Menambahkan dukungan untuk D-Wave QPU tambahan, Advantage_system4	5 Oktober 2021
Simulator kebisingan baru	Menambahkan dukungan untuk simulator matriks Densitas (DM1), yang dapat mensimulasikan sirkuit hingga 17 qubits dan simulator kebisingan lokal braket_dm	25 Mei 2021
PennyLane dukungan	Ditambahkan dukungan untuk PennyLane di Amazon Braket	8 Desember 2020
Simulator baru	Menambahkan dukungan untuk Tensor Network Simulator (TN1), yang memungkinkan sirkuit yang lebih besar	8 Desember 2020
Pembuatan batch tugas	Braket mendukung pembuatan batach tugas pelanggan	24 November 2020
Alokasi manual qubit	Braket mendukung qubit alokasi manual pada perangkat Rigetti	24 November 2020

Kuota yang dapat disesuaikan	Braket mendukung kuota yang dapat disesuaikan layanan mandiri untuk sumber daya tugas Anda	30 Oktober 2020
Support untuk PrivateLink	Anda dapat mengatur VPC endpoint pribadi untuk pekerjaan Braket Anda	30 Oktober 2020
Support untuk tag	Braket mendukung tag API berbasis untuk sumber daya tugas kuantum	30 Oktober 2020
D-WavePerangkat baru	Menambahkan dukungan untuk D-Wave QPU tambahan, Advantage _system1	29 September 2020
Rilis awal	Rilis awal dokumentasi Amazon Braket	12 Agustus 2020

Terjemahan disediakan oleh mesin penerjemah. Jika konten terjemahan yang diberikan bertentangan dengan versi bahasa Inggris aslinya, utamakan versi bahasa Inggris.