

ELQO

Efficient Low-Latency Quantum Optimization

| | | | |
|---------------------------------|---|------------------------|------------|
| Programm / Ausschreibung | Quantenforschung (QFTE), Quantenforschung und -technologie (QFTE), QFTE 2020 national | Status | laufend |
| Projektstart | 01.05.2021 | Projektende | 31.12.2024 |
| Zeitraum | 2021 - 2024 | Projektlaufzeit | 44 Monate |
| Keywords | variational quantum algorithms; optimization; ion trapping | | |

Projektbeschreibung

Skalierbare, fehlertolerante Quantencomputer versprechen bestimmte Probleme viel schneller zu lösen als ihre besten klassischen Pendanten. Während die Realisierung von fehlerfreien Quantencomputern noch Jahre entfernt ist, sind verrauschte Quantencomputer mittlerer Größe bereits heute verfügbar und können für Anwender potentiell interessante Arbeit leisten, z.B. bei der Optimierung von neuartigem Materialdesign und kritischen Prozessen in Logistik, Gesundheitswesen und Finanzwesen.

Im Allgemeinen sind Optimierungsaufgaben durch die Suche nach einem Mindestwert einer repräsentativen Kostenfunktion gekennzeichnet. Werden solche Suchstrategien auf einer hybriden quantenklassischen Rechnerarchitektur ausgeführt, werden sie gemeinhin als Variationsquantenalgorithmen bezeichnet - das Quantenbauelement führt einen Quantenschaltkreis aus, während ein klassischer Rechner auf der Grundlage der Messergebnisse aus dem Quantensystem die Kostenfunktionen auswertet und Parameter optimiert. Es gibt zwar eine Vielzahl hoch optimierter Algorithmen, die auf ganzheitlich klassischer Hardware ausgeführt werden können, aber das Feld ihrer hybriden Gegenstücke ist noch im Entstehen begriffen, und ihre effektive Implementierung ist noch eine offene Herausforderung.

Wir werden eine Full-Stack-Quantenoptimierungsarchitektur entwickeln, die auf einem Ionenfallen-Quantencomputer mit niedriger Latenzzeit und klassischen, auf Quantenprobleme spezialisierten, Optimierern basiert. Wir werden dies Ziele erfolgreich umsetzen, indem wir drei zentrale Herausforderungen angehen: (i) durch die Entwicklung und Implementierung von Hardware-Protokollen, die die Latenzzeiten der Zustandsinitialisierung und des Auslesens von ionenbasierten Quantenregistern deutlich reduzieren; (ii) durch die Entwicklung effizienter klassischer Optimierungsalgorithmen, die auf Quantenprobleme mit starken Korrelationen zugeschnitten sind; (iii) und durch die Entwicklung eines modularen und effizienten Betriebs der Full-Stack-Architektur für quantenklassische Berechnungen. Wir werden die erreichte Verbesserung gegenüber dem heutigen Stand der Technik qualitativ und quantitativ mit einer Studie von Optimierungsproblemen aus den Materialwissenschaften, der Chemie und dem Finanzwesen vergleichen.

Abstract

Scalable, fault tolerant quantum computers promise to solve certain problems much faster than their best classical counterparts. While their realization is still years away, noisy intermediate-scale quantum devices are available already today and are expected to perform meaningful work, for instance, in optimizing novel material design and critical processes in logistics, healthcare and finance.

In general, optimization tasks are characterized by search of a minimum value of a representative cost function. When such search strategies are executed on a hybrid quantum-classical computing architecture, they are commonly referred to as Variational Quantum Algorithms - the quantum device is executing a quantum circuit, while a classical computer evaluates cost functions and optimizes parameters based on the measurement results from the quantum system. While there exist plenty of highly-optimized algorithms that can be run on all-classical hardware, the field of their hybrid counterparts is still nascent and their effective implementations are still an open challenge.

We propose to develop a full-stack quantum optimization architecture that is based on a low-latency ion-trap quantum computer and classical optimizers specialised to quantum problems. We will achieve this by addressing three key challenges: (i) by developing and implementing hardware protocols that will significantly reduce latency times of state initialization and readout of ion-based quantum registers; (ii) by devising efficient classical optimization algorithms that are tailored for quantum problems with strong correlations; (iii) and by engineering modular and efficient operation of the full-stack quantum-classical computing architecture. We will qualitatively and quantitatively benchmark the achieved improvement over current state-of-the-art with prototypical optimization problems from materials science, chemistry and finance.

Projektkoordinator

- Universität Innsbruck

Projektpartner

- Alpine Quantum Technologies GmbH