MUSIQ

Multi state logic in cluster state quantum computing

Programm / Ausschreibung	Quantum Austria, Quantum Austria 3. Ausschreibung (2023/2024)	**Status**	abgeschlossen
Projektstart	31.05.2024	**Projektende**	30.01.2026
Zeitraum	2024 - 2026	**Projektlaufzeit**	21 Monate
Keywords	Quantum Computing		

Projektbeschreibung

Aufbauend auf dem großen Erfolg binärer Informationsverarbeitung mit klassischen Computern, basieren auch heutige Quantencomputer auf Quantenbits oder Qubits. Die Quantensysteme, mit denen tatsächlich gerechnet wird, sind jedoch in praktisch allen Fällen nicht binär, sondern haben viele Zustände, die alle kontrolliert werden können und müssen. In diesen Systemen steckt also noch sehr viel Potential, welches in den traditionellen Qubit-Ansätzen nicht ausgeschöpft wird. Tatsächlich zeigen Ergebnisse aus ersten Vorarbeiten zu Mehrzustandslogik (Qudits) in Quantencomputern, dass dieser Ansatz eine deutlich effizientere Nutzung existierender Quantenhardware ermöglicht. Um dieses Potential ausschöpfen zu können, benötigt es jedoch auch ein entsprechendes theoretisches Rahmenwerk, wie es für Qubits über die letzten Jahrzehnte entwickelt wurde. Insbesondere Eigenschaften wie Verschränkung, aber auch logische Gattersätze und formale Methoden zu Stabilizer- und Clusterzuständen sind weiterhin nur sehr oberflächlich verstanden.
In diesem Projekt sollen solche Hindernisse überwunden werden, indem der Stabilisatorformalismus von Qubits auf Qudits verallgemeinert wird. Dieser Formalismus stellt die Basis für ein breites Spektrum an zentralen Methoden der Quanteninformationsverarbeitung dar, beispielsweise für Quantenfehlerkorrektur, Verifizierung von Quantensystemen, und mess-basiertes Quantencomputing (MBQC). Dieses Projekt konzentriert sich insbesondere auf die Verallgemeinerung von MBQC, indem geeignete verschränkte Ressourcenzustände und Messschemata identifiziert werden, sowie der Einfluss von Rauschprozessen untersucht wird, was auch Einfluss auf die zukünftige Entwicklung von Quantenfehlerkorrekturalgorithmen haben wird. Aufbauend auf diesen Ergebnissen untersuchen wir weiters Möglichkeiten, die Berechnung so zu verschlüsseln, dass ein nicht vertrauenswürdiger Quantencomputer keine Information darüber erhalten kann.
Der Stabilisatorformalismus ist eine zentrale Komponente für ein breites Spektrum an Methoden in der qubit-basierten Quanteninformationsverarbeitung. Ziel dieses Projekts ist es, durch die entsprechende Verallgemeinerung, ähnliche Möglichkeiten auch auf Qudit-Systemen zu schaffen und damit den Grundstein für fortgeschrittene Methoden wie Quantenfehlerkorrektur oder sichere Quantencomputerberechnungen zu legen. Ein gemeinsamer Formalismus zwischen Qubits und Qudits würde außerdem den Umstieg auf dieses neue Paradigma in der Quanteninformationsverarbeitung für Forscher:innen und potentielle Nutzer:innen deutlich erleichtern. Die Resultate aus diesem Projekt sollen damit den Bereich der Möglichkeiten in der Quantenalgorithmenentwicklung erweitern, sodass die vorhandenen Quantenressourcen optimal ausgenutzt werden können.

Abstract

Quantum bits or qubits form the basis of today's quantum computing technology, inspired by the immense success of binary information processing with classical computers. Yet, the underlying quantum hardware is inherently composed of multilevel quantum systems. Appreciating and exploiting this hidden potential leads to a drastically different approach to computation based on multi-level quantum digits, or qudits. The qudit approach shows great promise for enhancing the efficiency of quantum computation to get more computing power out of the same hardware. A major obstacle in realizing this potential, however, is the lack of a sophisticated theoretical quantum information processing framework. In particular, notions of entanglement, computational gate sets, and formal structures such as stabilizers and cluster states remain poorly understood.

Within this project, we aim to address these challenges through the generalization of the stabilizer formalism from qubits to qudits. The stabilizer formalism forms the backbone for a wide range of tools and formal methods, including quantum error correction, verification and validation, and measurement-based quantum computing (MBQC). Within the scope of this project, we are interested in exploring the latter, generalizing MBQC to qudits by identifying suitable entangled resource states and measurement strategies, as well as investigating the effects of noise, which in turn might inform developments toward quantum error correction schemes. Building on these results, we will explore ways to encode the computation in a way that allows secure, blind quantum computation on untrusted quantum devices.

The stabilizer formalism is a core component of a wide range of methods in qubit-based quantum computing. This project aims to unlock similar capabilities for qudits to serve as a stepping stone towards advanced methods such as quantum error correction or secure quantum computation. Having a common framework to build on will further facilitate the adoption of the qudit approach to quantum information by the community and potential users. The results of this project will thus increase the range of possibilities for quantum-algorithm design with the aim of using the available quantum resources as efficiently as possible.

Projektkoordinator

- Universität Innsbruck Institut für Experimentalphysik

Projektpartner

- Technische Universität Wien Atominstitut
- Universität Innsbruck Institut für Theoretische Physik
- Universität Linz Institut für Integrierte Schaltungen und Quantum Computing