



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Capturing dynamics with noisy quantum computers

Dechant, D.S.

Citation

Dechant, D. S. (2026, February 17). *Capturing dynamics with noisy quantum computers*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4290771>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4290771>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Quantencomputing stellt ein grundlegend neues Paradigma der Berechnung dar und ermöglicht Ansätze für Probleme, die für klassische Computer unlösbar sind. Da die derzeit verfügbaren Quantencomputer klein, verrauscht, unzuverlässig und teuer sind, beruht ein Großteil des heutigen Fortschritts auf theoretischer Analyse und klassischen Simulationen, um ihre Fähigkeiten und Einschränkungen zu verstehen.

Dynamik beschreibt, wie sich der Zustand eines Systems im Laufe der Zeit verändert, und kann mathematisch durch Modelle wie Differentialgleichungen oder Zeitreihen dargestellt werden. In dieser Arbeit untersuchen wir die Anwendung von Quantencomputing zur Erfassung solcher Dynamiken aus mehreren komplementären Perspektiven.

Im einleitenden Kapitel 1 stellen wir die grundlegenden Konzepte vor. Wir führen in Quantencomputing, variationelle Quantenalgorithmien und Schrotauschen ein. Als Anwendungen des variationellen Quantencomputings diskutieren wir das Lösen von Differentialgleichungen, Quanten-Maschinelles Lernen und Anwendungen in der Finanzwissenschaft. Abschließend skizzieren wir mehrere Forschungsfragen und beschreiben den allgemeinen Aufbau der Arbeit.

In Kapitel 2 untersuchen wir die Rolle von Ableitungen im Quanten-Maschinellen Lernen. Wir zeigen, dass parametrisierte Quantenschaltkreise sowohl Funktionen als auch deren Ableitungen beliebig gut approximieren können, sofern die Inputdaten entsprechend skaliert werden. Darüber hinaus zeigen wir, dass die Einbeziehung von sowohl Funktionswerten als auch Ableitungswerten in den Trainingsdatensatz die garantierte Approximation der trainierten Quantenmodelle verbessert und Approximationen in stärkeren Normen ermöglicht, die sonst unerreichbar wären. Da die Dynamik einer Funktion durch ihre Ableitungen bestimmt wird, verdeutlichen diese Erkenntnisse, wie Quanten-Maschinelles

Lernen dynamisches Verhalten effektiv erfassen kann.

In Kapitel 3 analysieren wir eine Klasse von Quantenalgorithmen, die zur Lösung von Differentialgleichungen entwickelt wurden. Wir führen eine Fehleranalyse und Ressourcenabschätzung durch und konzentrieren uns dabei auf Fehler, die sowohl aus den klassischen Runge-Kutta-Subroutinen als auch aus dem Schrotrauschen bei der Auswertung von Quantenschaltkreisen entstehen. Wir wenden diese Abschätzungen auf eine Differentialgleichung aus der Finanzoptionsbewertung an und vergleichen, wie verschiedene Runge-Kutta-Methoden die insgesamt benötigten Rechenressourcen beeinflussen.

Die Quanten-Zustandstomographie ist der Prozess der Rekonstruktion eines Quantenzustands aus Messdaten und stellt eine wichtige Subroutine in vielen Quantenalgorithmen dar. In Kapitel 4 stellen wir eine Methode zur Minderung von Schrotrauschen in der Quanten-Zustandstomographie vor, indem sowohl Messdaten als auch physikalische Nebenbedingungen als semidefinites Programm formuliert werden. Wir zeigen, dass, abhängig vom zugrunde liegenden Quantenzustand, Rauschregime existieren, in denen unsere Methode andere aktuelle Tomographietechniken übertrifft.

Abschließend demonstrieren wir in Kapitel 5 die Anwendung von Quanten-Generativen Adversarial Networks zur Erzeugung synthetischer finanzieller Zeitreihen. Wir simulieren die Quantenschaltkreise sowohl mit Vollzustands- als auch mit Tensornetzwerk-basierten Simulationen. Für klassische Modelle bleibt es eine Herausforderung, synthetische finanzielle Zeitreihen zu erzeugen, die sowohl den Zielverteilungen folgen als auch realistische zeitliche Korrelationen aufweisen. Wir zeigen, dass unsere Quantenmodelle diese statistischen und zeitlichen Eigenschaften qualitativ gut erfassen können.