

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	中路 紘平	
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(情報理工学)	山本 直樹
	副査	慶應義塾大学准教授	博士(工学)	渡辺 宙志
	副査	慶應義塾大学准教授	博士(理学)	田中 宗
	副査	慶應義塾大学専任講師	博士(理学)	古池 達彦
(論文審査の要旨)				
<p>学士(理学)、修士(理学) 中路紘平君の学位請求論文は「Noisy intermediate-scale quantum computation and its application (ノイズあり中規模量子計算とその応用)」と題し、全7章より構成される。</p> <p>近年、世界中で、量子計算機のデバイス開発が急速に進んでいる。それらは現状では「ノイズあり中規模量子デバイス」(Noisy intermediate-scale quantum device: NISQ)であるが、NISQ研究は、誤り耐性を仮定する理想的な状況含め、量子計算機研究全般に大きな進展をもたらしている。とくに、限られた計算資源(高純度の量子ビットや高精度で使える量子演算)を有効活用するための様々な提案がなされている。そして、それに伴い、実機実装のハードルが低い量子アルゴリズムが数多く提案されている。本論文で記載されている成果は、これら両面について大きな貢献をするものである。</p> <p>第1章では、本論文の研究背景と構成について説明が与えられている。</p> <p>第2章では、量子計算の基礎事項(量子ビット、量子ゲート、量子測定等)について説明されている。また、本論文の成果に関係するいくつかの重要な量子アルゴリズムが例示されている。</p> <p>第3章では、NISQに関する最近の研究状況が概観されている。NISQでは量子アルゴリズムを実装するために様々な工夫が必要であり、それらが説明されている。とくにパラメトライズされた量子回路を(ニューラルネットワークの様に)学習させ、所望の性能をもたせる変分量子アルゴリズムについての詳細が記載されている。この方法では学習コストの勾配ベクトルが消失する問題(勾配消失問題)が深刻であり、これについても説明が与えられている。</p> <p>第4章では、量子状態の振幅を推定する量子アルゴリズムをNISQで実装するために開発した、“Faster Amplitude Estimation” アルゴリズムについて説明されている。振幅推定は、演算後の量子状態から演算結果を効率よく取り出すうえで欠くことできない処理である。この提案手法は、従来の振幅推定手法に比べ、著しく少ない演算処理で、しかし同程度の推定精度を達成することが理論・数値的に示されている。</p> <p>第5章では、変分量子アルゴリズムを応用して開発した「半教師有り敵対的生成ネットワーク」の量子版について説明されている。これはデータ生成器である量子計算機と、データ分類器である古典(非量子)計算機からなるネットワークを学習する機械学習スキームである。目的は高い汎化分類性能を有する古典分類器をつくることであり、つまり高い表現力を有する量子計算機で古典分類器を鍛える構造をとっている。量子生成機に高純度の状態生成が求められておらず、NISQの欠点を上手く回避する機械学習スキームとなっている。数値シミュレーションにおいて、この提案アルゴリズムが(ニューラルネットワークからなる)古典半教師有り分類器を超える精度を達成していることが示されている。</p> <p>第6章では、上述の勾配消失問題を緩和する方法の理論解析が与えられている。近年、勾配消失問題を緩和する方法として“Alternating Layered Ansatz”と呼ばれるあるクラスの量子回路を用いる手法が提案されている。これは勾配ベクトルの消失を抑える効果がある一方で、どれほど広いクラスの量子状態を表現することができるか未知であった。変分量子アルゴリズムにおける関数近似器として、高い表現力をもつことは重要である。ここでは、Alternating Layered Ansatzの表現能力を理論的・数値的に詳細に解析し、結果、この量子回路は勾配消失問題を緩和するとともに高い表現能力を有することが示されている。</p> <p>第7章では、本論文のまとめと展望が与えられている。</p> <p>NISQ研究は、広く量子情報科学全般の発展を促進する重要な分野である。本論文で示された成果は、基礎・応用の両方向において同分野のさらなる発展に寄与することが期待されるものである。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>				
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査委員会で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また、語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。			