



Title	並列光演算技術を利用した量子情報処理の実装手法に関する研究
Author(s)	豎, 直也
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46653
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	たて 直 也
博士の専攻分野の名称	博 士 (情報科学)
学位記番号	第 20472 号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 情報科学研究科情報数理学専攻
学位論文名	並列光演算技術を利用した量子情報処理の実装手法に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 谷田 純 (副査) 教授 魚崎 勝司 教授 沼尾 正行 助教授 山本 吉孝

論文内容の要旨

1990年代半ばからのインターネットや携帯電話の急速な普及に伴い、情報科学に関する諸分野は大きく発展した。今や、情報科学は現代社会において必要不可欠な社会基盤として定着しつつある。特に、近年のユビキタス社会に向けた潮流の中では、国民生活におけるその役割はこれまで以上に重要になることが想定される。一方、人々が扱う情報は多様化し、情報量は爆発的に増加する傾向にある。情報の質・量両面における変化に対応すべく、情報容量や処理能力に優れた、新しい概念に基づく情報処理技術の創生が望まれている。そこで、量子コンピューティング、光コンピューティング、DNA コンピューティングといった、従来の電子コンピュータとは異なる原理に基づいて動作する次世代の並列コンピューティング技術への期待が高まっている。

量子コンピュータや量子暗号に代表される量子情報処理は、量子力学特有の現象を情報処理に適用することにより、量子並列化機能に基づいた超並列処理を実現する。その本質となるのが、情報媒体であるキュビットが示す複数の状態の重ね合わせとその一括処理である。キュビットの実装方式としては、量子ドットやイオンなど様々な量子媒体を用いた手法が提案されている。しかしいずれの手法においても、現状では多数のキュビットを集積する際の実装精度、雑音耐性、システムの規模等において技術的な課題があり、実用的な量子情報処理技術の確立までには至っていない。

本論文では、量子情報処理の実用化に向けた課題に対して、先端の光コンピューティング技術を活用した実装手法に関する研究についてまとめた。光コンピューティング技術の特長の一つとして、光の空間的超並列性を利用した並列演算能力が挙げられる。これまでに数々の並列光演算技術が蓄積されており、それらの効果的な適用は、量子情報処理の研究開発においてブレークスルーとなり得る。

本研究では、2次元空間上に分布した光子の状態を活用した光学的実装を試みた。光子分布に対する状態制御は既存の光コンピューティング技術に基づいて行なった。さらに、光コンピューティングの有用性をより活かせるアプローチとして、量子コンピューティングを非量子系上で実装する手法を提案した。ここでいう“非量子系”とは、電磁気学や力学の基本法則に従うマクロな物理系を指す。また、各提案手法に基づいて原理確認実験を行い、その有用性を実証した。

論文審査の結果の要旨

量子情報処理は、量子力学特有の現象を情報処理に適用することにより、量子並列化機能に基づいた超並列処理を実現する。その実装方式として様々な量子媒体を用いた手法が提案されているが、現状ではいずれの手法においても実装精度や雑音耐性において技術的な課題があり、実用的な量子情報処理技術の確立までには至っていない。本論文では、量子情報処理の実用化に向けた課題に対して、光コンピューティング技術を活用した実装手法の提案とその有効性の実証を行っている。光コンピューティングの分野においてはこれまでに数々の並列光演算技術が蓄積されており、それらの効果的な適用は量子情報処理の研究開発においてブレークスルーとなり得る。そこで、2次元空間上に分布した光子の状態に対する並列状態制御による量子情報処理の光学的実装手法を考案し、その有効性について検討がなされている。また、光コンピューティングの有用性をより活かせるアプローチとして、量子情報処理を非量子系上で実装する手法を提案している。

本論文の主要な成果は以下のとおりである。

- (1) Deutsch-Jozsa 問題を例題として取り上げ、空間並列処理に基づく独創的な量子計算アルゴリズムの実装原理を提案している。近似的な単一光子の空間分布を情報キャリアとし、光コンピューティング技術を適用した実証実験を行い、その有用性を確認している。
- (2) 量子情報処理の非量子的実装について基本原理を提案し、その研究意義について明確にしている。
- (3) 量子情報処理の非量子的実装手法として、光コンピューティング技術の一つである2次元空間符号化法を発展させ、光の強度と位相を対象とする新しい空間符号化法を提案している。量子テレポーテーションアルゴリズムに空間符号化法を適用し、その検証結果から提案原理の有効性を示している。さらに、提案原理に基づいて行った量子計算ゲートの原理確認実験により、演算精度および処理可能な情報容量について明らかにしている。
- (4) 局所領域内の輝点位置を利用した空間符号化法を提案し、輝点操作が量子ビットの状態操作に対応できることを示している。この空間符号化法に基づいて、Grover のデータベース検索アルゴリズムの非量子的実装を検討し、その有効性を明らかにしている。さらに、超高速光通信技術を活用した実装方式を考案し、光通信素子により量子計算ゲートの機能を非量子的実装した、量子情報システムの実現可能性を示している。

以上のように、本論文は、並列光演算技術を用いた量子情報処理システムの実装原理に関する検討とシステム構築による実証について述べたものである。これらの成果は、情報科学、特に量子光コンピューティングの発展に寄与するところが大きい。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値あるものと認める。