

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月18日現在

機関番号：17701
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22500207
 研究課題名（和文） 量子コンピュータによる連想記憶システムの構築

研究課題名（英文） Associative Memory using Quantum Computer

研究代表者

宮島 廣美(MIYAZIMA HIROMI)
 鹿児島大学・大学院理工学研究科・教授
 研究者番号：60132669

研究成果の概要（和文）：

Grover のファイル探索アルゴリズムをシュレディンガー方程式上の連続時間アルゴリズムとして定式化し、一般化された初期条件下での探索アルゴリズムを提案した。さらに、これを基礎に、ハイパーキューブ上の量子ウォークを利用して、連続時間の連想記憶モデルを提案し、さらに、このモデルを基礎に離散時間アルゴリズムを構築した。

研究成果の概要（英文）：

Quantum associative memory is proposed using quantum search algorithms. In the associative memory, the problem is to find the data or the nearest data(file) in the meaning of hamming distance from designated data. The idea in this research is formalizing the problem as quantum search algorithm in hypercube but not in the conventional perfect graph. First, we perform quantum search algorithm by considering quantum walk on hypercube. Further, associative memory to find designated data or the nearest data by using the conventional algorithm is proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ベクトル量子化、アンサンブル学習、ソフトコンピューティング、バギング法、ファイル圧縮、FPGA

1. 研究開始当初の背景

ユビキタス社会の実現においては、個々のコンピュータの能力向上はますます重要になっている。しかしながらコンピュータ工学の技術的な発展にもかかわらず、その原理については50年間ほとんど変わっていない。

今日では、コンピュータの基本素子は1個1個の原子や分子へ移りつつあり、その能力を十分に引き出すためには、現在のノイマン型コンピュータの原理とは異なる新しいパラダイムが必要とされている。これを実現する方法の一つとして、量子計算理論が脚光をあ

びている。すでに、量子コンピュータを利用することにより、大きな数の因数分解、量子通信、ファイル探索等の従来の能力を超える実用的なアルゴリズムが提案されている。その一方で、計算論的に何が可能で、その限界はどこにあるのか、どのような分野に有効となるかについては、今後の研究の積み重ねが必要とされている。

2. 研究の目的

本研究では、ファイル探索アルゴリズムを一般化した連想記憶を実現する量子アルゴリズムの開発を通して、量子システムの新しい可能性についてアプローチする。ファイル探索のアルゴリズムを連想記憶システムへ応用する研究については、これまでも Ventura 等による提案があるが、必ずしも満足できるモデルとはなっていない。筆者等は、Ventura 等による離散値要素のユニタリー変換によって実現された従来モデルを、アナログ値を扱うモデルへと一般化することにより、量子連想記憶システムの構築を実現する。また、これを実現する量子回路を構築する。

3. 研究の方法

連想記憶については、これまでもニューラルネットワークをはじめとして、(ファジィ)形態学的連想モデルによる多くのモデルが提案されている。本研究では、ニューラルネットワークや形態学連想記憶モデルについて、関連する分野のレビューと量子連想システムの研究を同時に進め、また、数値シミュレーションによるアルゴリズムの正当性を評価する。

(1) 従来モデルにおける連想記憶システム、特に、ニューラルネットワークの Hopfield モデルの研究についてのレビューを行い、これまでいかなるモデルが有効とされてきたか、また、いかにモデルの欠点についての改良がなされてきたかについての検討を行う。

(2) 量子コンピュータによる計算モデルのレビュー、特に、本研究との関連からファイル探索アルゴリズムについて詳しくレビューを行い、計算機シミュレーションによりその特性や限界を探る。また、量子描像ニューラルネットワークの連想記憶の能力を、理論とシミュレーションから求める。

(3) ファイル探索アルゴリズムの一般化モデルとしての Ventura 等の量子連想記憶システムのアルゴリズムについて詳しくレビューを行い、計算機シミュレーションによりその特性や限界を探る。

(4) 量子コンピュータによる量子連想シ

ステムを実現するアルゴリズムの構築を行い、数値シミュレーション等を通して、提案アルゴリズムの有効性を検証する。

(5) 量子システムの特徴を使うと、多入力 1 出力の連想が容易に実現可能となるので、システムの一般化を行う。

4. 研究成果

筆者等は、はじめに、Grover のファイル探索アルゴリズムをシュレディンガー方程式上の連続時間アルゴリズムとして定式化し、一般化された初期条件下での探索アルゴリズムを提案した。さらに、これを基礎に、ハイパーキューブ上の量子ウォークを用いて連想記憶モデルを構築した。具体的には、次のような結果が得られた。

(1) ファイル探索問題をシュレディンガー方程式上の問題として定式化し、連続モデルのファイル探索アルゴリズムを提案し、その有効性を示した。

(2) (1) のアルゴリズムを離散モデルに置き換える事によって、Grover のアルゴリズムが得られる事を示した。

(3) すべてのファイルからいくつかのファイルを除いた場合 (連想モデルを含む) のファイル探索問題を、シュレディンガー方程式上の問題として定式化し、連続モデルのアルゴリズムを提案し、その有効性を示した。

(4) (3) の問題の離散アルゴリズムを提案し、その有効性を示した。

(5) (4) のアルゴリズムを改善するために、位相整合 (ファイルの任意角度の回転) をもつ量子探索アルゴリズムを提案し、その有効性を示した。

(6) ファイル探索の一般化としての連想記憶問題を定義し、ハイパーキューブ上の量子ウォークを用いることがファイルの近さを扱うために有効であることを示した。

(7) (4)、(5) (6) の結果を用いて、連続モデルの連想記憶アルゴリズムを提案し、その有効性を示した。

(8) (7) に対する離散アルゴリズムを提案し、その有効性を示した。

主たる結果としては、ハイパーキューブ上での量子ウォークを導入することで、ファイル間の近さを扱うことを可能にした。これを利用して、不完全ではあるが連続時間の連想記憶モデルを提案し、さらに、このモデルを基礎に離散時間アルゴリズムを構築した。結果は、以下に示す国際ジャーナルや国際会議で発表した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 17 件)

(1) H. Miyajima, M. Fujisaki, and N. Shigei : An Associative Model Based on Quantum Search Algorithms, Proc. of Int. Conf. on Digital Enterprise and Information Systems, pp.98-107, (2013) 査読あり

<http://sdiwc.net/digital-library/web-admin/upload-pdf/00000488.pdf>

(2) N. Shigei, M. Teramura, H. Miyajima, and N. Tateishi : An Area Reduction Technique for Logic Synthesis of Neural Networks, Proc. of Int. Conf. on Digital Enterprise and Information Systems, pp.108-118, (2013) 査読あり

<http://sdiwc.net/digital-library/web-admin/upload-pdf/00000489.pdf>

(3) H. Miyajima, M. Fujisaki, and N. Shigei : Quantum Search Algorithms in Analog and Digital Models, IAENG International Journal of Computer Science, 39:2, pp182-189 (2012) 査読あり

http://www.iaeng.org/IJCS/issues_v39/issue_2/IJCS_39_2_05.pdf

(4) M. Fujisaki, H. Miyajima, N. Shigei : Data Search Algorithms based on Quantum Walk, The 2012 IAENG International Conference on Computer Science, pp164-169 (2012) 査読あり

http://www.iaeng.org/publication/IMECS2012/IMECS2012_pp164-169.pdf

(5) N. Shigei, I. Fukuyama, H. Miyajima, Y. Anggun Saloko : Battery Aware Mobile Relay for Wireless Sensor Network, The 2012 IAENG International Conference on Communication Systems and Applications, pp368-373, (2012) 査読あり

http://www.iaeng.org/publication/IMECS2012/IMECS2012_pp368-373.pdf

(6) N. Shigei, , H. Miyajima, K. Oozono, K. Araki : Acceleration of Genetic Algorithm for Peak Power Reduction of OFDM Signal, IAENG Int. Journal of Computer Science, Vol. 38, Issue 1, pp.32-37, (2011) 査読あり

http://www.iaeng.org/IJCS/issues_v38/issue_1/IJCS_38_1_04.pdf

(7) H. Miyajima, N. Shigei, T. Shiiba : Numerical Evaluation of Clustering Methods with Kernel PCA, ICHIT 2011, LNAI 6935, pp. 677-684, (2011) 査読あり

http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-24082-9_82

(8) N. Shigei, H. Miyajima, H. Morishita : Residual Energy Based Clustering for Energy Efficient Wireless Sensor Networks, Intelligent Automation and Computer Engineering, S.-I, Ao, O. Castillo and X. Huang(Eds.) LNEE, Vol. 52, Springer Verlag, pp.231-242, 2010(8) 査読あり

(9) N. Shigei, H. Miyajima, H. Morishita : Energy Consumption Reduction of Clustering Communication Based on Number of Neighbors for Wireless Sensor Networks, Journal of Computer Science, Vol. 37, No. 3, pp.296-303, 2010 査読あり

http://www.iaeng.org/IJCS/issues_v37/issue_3/IJCS_37_3_11.pdf

(10) N. Shigei, H. Morishita, H. Miyajima : Energy Efficient Clustering Communication based on Number of Neighbors for Wireless Sensor Networks, Proc. of IMECS 2010 Vol. II, p.762-767 (2010) 査読あり

http://www.iaeng.org/publication/IMECS2010/IMECS2010_pp762-767.pdf

(11) H. Miyajima, N. Shigei, K. Arima: Some Quantum Search Algorithms for Arbitrary Initial Amplitude Distribution, Proc. Int. Conf. on Natural Computation, Vol. pp.603-608, (2010) 査読あり

http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5583154&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5583154

(12) L. Ma, X. Lv, S. Wang, H. Miyajima: Optimal Switch Placement in Distribution Networks under Different Conditions Using Improved GA, Int. Conf. On Computational and Natural Computing(CINC), pp.236-239 (2010) 査読あり

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=5643849>

[学会発表] (計 15 件)

(1) 樋之口, 宮島, 重井:カーネル法を用いたデータマイニング, 火の国シンポジウム, A-6-1, (2013.3.14), 熊本市

(2) 國武, 重井, 宮島:形態学的連想記憶とそのデジタル回路化, 日本知能情報フュージ学会九州支部大会, pp.71-74, (2012.12.8), 佐賀市

(3) 藤崎, 宮島, 重井:不均一な初期データ分布における量子探索アルゴリズム, 電気関係学会九州支部連合大会, 02-2A-04,

(2012.9.24), 長崎市

(4) Yas. Yudo, N. Shigei, M. Miyajima, Y. Nakamura: Battery-Aware Initial Route Construction of Mobile Relay on Wireless Sensor Network, 電気関係学会九州支部連合大会, 01-1P-03, (2012.9.24), 長崎市

(5) 内木場, 宮島, 重井: 複数入力画像を用いた顔画像認識, 電気関係学会九州支部連合大会, 09-2A-13, (2012.9.24), 長崎市

(6) 立石, 重井, 宮島, 寺村: 論理ゲート変換による階層型ニューラルネットワークのデジタル回路化に関する一考察, 電気関係学会九州支部連合大会, 08-1P-03, (2011.9.26), 佐賀市

(7) 立石, 重井, 寺村, 宮島: 論理ゲート変換によるニューラルネットワークのデジタル回路化, 第10回科学技術フォーラム C-021, (2011.9.7), 函館市

(8) 國武, 重井, 宮島: 高次ニューラルネットワークによる連想記憶のデジタル回路, 日本知能情報ファジィ学会九州支部夏季ワークショップ No.7, (2011.9.3), 下関市

(9) 久木田, 重井, 宮島: 複数のシンクを有するセンサネットワークにおける適応的経路構築, 日本知能情報ファジィ学会九州支部夏季ワークショップ No.5 (2011.9.3), 下関市

(10) 藤崎, 宮島, 重井: 量子ウォークを用いた複数データの検索, 日本知能情報ファジィ学会九州支部夏季ワークショップ No.6, (2011.9.3), 下関市

[図書] (計 1 件)

(1) H. Miyajima, N. Shigei, S. Yatsuki : On Some Dynamical Properties of Randomly Connected Higher Order Neural Networks, IGI book, 2012 Artificial Higher Order Neural Networks for Modeling and Simulation, Information Science Reference pp. 333-363, IGI Global, (2012) 査読あり

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮島 廣美 (MIYAJIMA HIROMI)
鹿児島大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号 : 60132669

(2) 研究分担者

重井 徳貴 (SHIGEI NORITAKA)
鹿児島大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号 : 90294363