

機関番号：18001

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20700212

研究課題名（和文）脳模倣型量子計算アルゴリズムエミュレータに関する研究

研究課題名（英文）Emulator for quantum computation algorithms inspired by neural network

研究代表者

金城 光永（KINJO MITSUNAGA）

琉球大学・工学部・准教授

研究者番号：50396529

研究成果の概要（和文）：未整列データベースの量子探索アルゴリズムを対象に、脳模倣型量子計算アルゴリズムの検証を数値シミュレーションにより行った結果、特にエネルギー散逸の効果が有効に働き、解の取得確率向上が確認できた。また、量子計算エミュレータの一要素である改良型確率振幅記憶回路の設計と、2.5mm角チップの試作を行った結果、将来的には同サイズ中に提案手法専用の8量子ビットエミュレータの実現可能性を示すことが出来た。

研究成果の概要（英文）：Performance of a quantum algorithm based on neuromorphic quantum computation for searching an unsorted database has been evaluated by numerical simulations. The results mean that the measurement probability of solutions has been improved through the energy dissipation. In addition, a 2.5mm x 2.5mm chip of an improved memory circuit for the amplitude of the probability has been designed and fabricated. The results show that the same size chip of an 8-qubit emulator based on the proposed algorithm can be realized.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：量子計算機工学

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：知的機械，量子コンピュータ，量子計算アルゴリズム，Adiabatic Quantum Computation，エミュレータ，脳模倣型，エネルギー散逸

1. 研究開始当初の背景

今日、莫大数の情報を同時に且つ並列に扱うことが可能な量子計算機は次世代の超高速計算機として注目されている。量子計算機の規模は'0'と'1'の重ね合わせ状態を持つ「量子ビット」の数で表され、量子ビットの増加に従って一度に扱える情報量はその2乗で増大する。この特徴により従来指数時間の処理を要した問題が多項式時間で高速処理可能になると期待できる。従って大規模量子計算機の実現は、爆発的に広大化している情報社

会の中で情報の検索や未知情報の発見及び処理に対し非常に有効な手段であると言える。

近年実現された量子計算機は、主に、

- ・(H-1)液体ベースの核磁気共鳴手法を利用した7量子ビット(I. L. Chuang *et al.*, IBM, 2001),
- ・(H-2)固体ベースの超伝導材料を利用した2量子ビット(Tsai *et al.*, NEC, 2002),

が挙げられ、それぞれ液体及び固体ベースの最大規模である。ハードウェア開発技術は日々進歩しており大規模量子計算機の実現は近い将来可能となると期待できる。また量子計算アルゴリズムに関しても、

- ・ (S-1) 素因数分解アルゴリズム (P. W. Shor, 1994),
- ・ (S-2) データベース検索アルゴリズム (L. K. Grover, 1996),

などの特定用途向けアルゴリズムだけでなく、NP問題を解く汎用性の高いアルゴリズムとして、

- ・ (S-3) 断熱的量子計算アルゴリズム (E. Farhi *et al.*, 2001),

が提案されるなど、量子計算機の実用性が向上している。また、ハードウェア(H-1)上でソフトウェア(S-1)が実行され、その正常動作結果も確認されており、より実用的な量子計算機の実現が期待できる。

申請者がこれまで関係した研究においても脳を模倣した手法により組合せ最適化問題を解くアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムでは量子ビット及び量子ビット間の結合をそれぞれニューロン及びシナプス結合と見立て、量子計算の要であるSchrödinger波動方程式のハミルトニアンを構成している。またそのハミルトニアンをある初期状態から徐々に時間発展させることで量子系の状態を問題の解に導く手法であり非常に実用性が高い。申請者はさらに同アルゴリズムの適用範囲を、量子系のエネルギーに縮退がある場合にまで拡張した。

その新しい量子計算アルゴリズムの動作検証のためには、実際にハードウェアを構築し、そのハードウェア上での実証が求められるが、ハードウェアの構築のためには非常に高度で高価な専用実験装置とそれを維持する資本が必要であるため、実行が困難である。そこで、量子計算エミュレータを製作し、そのハードウェア上で提案するアルゴリズムの実証を行うことは非常に有用である。

2. 研究の目的

当該研究では、(1)拡張性が高く量子状態を長時間保持可能な半導体核スピン量子計算機の実現が必要であること、(2)汎用性の高い量子計算アルゴリズムの実現が望まれていること、及び(3)現在主流の汎用計算機による量子計算シミュレーションに限界があることを踏まえて、「半導体核スピン量子計算機を基に汎用性の高い量子計算アルゴリズムを提案、改良及び検証し、その実証のための量子計算エミュレータ(量子計算専用計

算機)のハードウェア実現を行うこと」が目的である。汎用性の高いアルゴリズムとして、申請者が関係した研究において提案された脳模倣型量子計算アルゴリズムに量子状態の崩れを積極的に用いたアルゴリズムを利用し、半導体核スピン量子計算機にて実行可能な、学習機能を付加したアルゴリズムを提案する。この結果、多少ノイズが存在しても計算可能な量子計算機が実現可能となり、量子計算機はノイズに弱いという一般概念のブレイクスルーとなることが期待できる。また、そのエミュレータを実現することでアルゴリズムの検証及び改良を積極的に行う予定である。

3. 研究の方法

当該研究の目標は量子計算アルゴリズムの開発と量子計算エミュレータの実現のふたつであるが、両者は非常に密接な関連があるため、それぞれ独立に研究を進行させることはできない。そこで当該研究は、エミュレータ開発上の問題点をアルゴリズムで解決可能かどうか、また、アルゴリズム開発上の制約条件をエミュレータで解消可能かどうかなどを互いに考慮しつつ、スパイラル状に発展させていく手法で行う。量子計算アルゴリズムの開発には、初年度設備費にて購入する数値計算用高性能パソコンを利用する。また、同パソコンを利用して、量子計算エミュレータの回路実現に向けた回路シミュレーション及びCADを行う。なお、数値計算には現有のソフトウェアを活用し、回路シミュレーション及びCADはLSI製作依頼先が無償提供する専用ソフトウェアを活用する。

ここで、当該研究計画を遂行するための研究体制については、基本的に申請者個人で行うが、研究発展途上にて発生する可能性がある、より高度な専門知識習得の必要性やLSIチップ製作分担作業による作業効率化のため、国際学会や国内研究会への参加による研究関連調査や、将来大学院生が研究室配属された場合(申請時現在は0人)にその大学院生との連携も考慮する。

また、申請者が当該研究とは別に職務として行う研究として、研究室配属される学部生の卒業研究が挙げられるが、その指導の一環として当該研究に関わるにあたって必要となる知識と技術の取得及び向上に要する時間が多大であり、卒業研究という短い期間にその全てを指導し且つ成果を求めることは困難である。そこで、学部生の卒業研究としては当該研究で利用するソフトウェアを活用した研究を主とする予定である。即ち、当該研究とは別に職務として行う研究は、ソフトウェアの共有という意味で当該研究と間接的に関係があるが、当該研究の遂行になら障害や遅延を生じさせるものではない。

以上を踏まえ、以下に述べる具体的な研究計画及び方法では、当該研究が当初計画どおりに進まないときの対応など多方面からの検討状況と、当該研究を遂行する上での具体的な工夫について焦点を絞る。

4. 研究成果

当該研究では、半導体核スピン量子計算機を基に汎用性の高い量子計算アルゴリズムを提案、改良及び検証し、その実証のための量子計算エミュレータ（量子計算専用計算機）のハードウェア実現を行うことが目的である。汎用性の高いアルゴリズムとして、申請者が関係した研究において提案された脳模倣型量子計算アルゴリズムに量子状態の崩れを積極的に用いたアルゴリズムを利用し、半導体核スピン量子計算機にて実行可能な、学習機能を付加したアルゴリズムを提案する。また、そのエミュレータを実現することでアルゴリズムの検証及び改良を行う。

まず、数値計算用高性能パソコンによる数値シミュレーションによって、提案するアルゴリズムの実用性の検証のため、未整理データベースの量子探索アルゴリズムを提案するアルゴリズムに変換したものを対象に検証を行った。その結果、特にデコヒーレンスの効果が有効に働き、断熱定理の制約を打破することによって解の取得性能向上が認められた。次に、大規模化に向けた数値シミュレーションによる見積もり検討結果をもとに、量子計算エミュレータの大規模集積化実現を目指し、その一要素である改良（面積縮小）型情報入替制御機能付き確率振幅記憶回路を設計（VLSI Design and Education Centerより無償提供される回路設計専用ツールを駆使）し、2.5mm角チップとして試作（消耗品費としてVDECへ試作依頼）を行った。その結果、将来的には同サイズに対し8量子ビット分のエミュレータの実現可能性を示すことが出来た。さらに、GPGPUの高速演算性能を生かし小規模量子ビットにおける提案するアルゴリズムの動作検証を試みることで、既存の計算機を利用した大規模量子ビットネットワークにおける同アルゴリズムの検証可能性を調査し、その限界を確認した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

①Shigeo Sato, Aiko Ono, Mitsunaga Kinjo and Koji Nakajima, Performance evaluation of adiabatic quantum computation using neuron-like interconnections, Nonlinear Theory and Its Applications, 査読有, 2,

2011, pp. 198-204

〔学会発表〕（計6件）

①津嘉山力, 金城光永, 島袋勝彦, 万量子論理ゲートエミュレータのCAD設計, 2011年電子情報通信学会総合大会, 2011年3月14日, 東京都市大学世田谷キャンパス

②山下大輔, 金城光永, 島袋勝彦, 素因数分解問題に対するニューロ様断熱的量子計算の検討, 2011年電子情報通信学会総合大会, 2011年3月14日, 東京都市大学世田谷キャンパス

③下村俊彦, 金城光永, 島袋勝彦, GPGPUによる断熱的量子計算のエミュレータ実現, 2011年電子情報通信学会総合大会, 2011年3月14日, 東京都市大学世田谷キャンパス

④金城光永, 佐藤茂雄, Si中のP原子核スピン配列に基づくニューロ様断熱的量子計算について, ED・SDM研究会, 2010年2月22日, 沖縄県青年会館

⑤金城光永, 佐藤茂雄, 断熱的量子計算を利用したニューラルネットワークの自己連想記憶について, 第52回自動制御連合講演会, 2009年11月21日, 大阪大学基礎工学研究科

⑥ Mitsunaga Kinjo and Shigeo Sato, Neuromorphic Adiabatic Quantum Computation with Quantum Hebb Learning and its Capability, SCIS & ISIS 2008, 2008年9月19日, 名古屋大学

〔図書〕（計1件）

①Tohru Nitta 編著, Shigeo Sato and Mitsunaga Kinjo 共著, IGI Global, Complex-Valued Neural Networks: Utilizing High-Dimensional Parameters, 2009, Chapter XIV, pp. 354~377

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金城 光永 (KINJO MITSUNAGA)
琉球大学・工学部・准教授
研究者番号：50396529

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：