

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500286

研究課題名(和文) 知的支援情報処理システム構築のための人工脳型計算論の創出とその工学応用

研究課題名(英文) Creating a Brain Computational Theory for Intelligent Information Processing Systems with Engineering Applications

研究代表者

松井 伸之 (Matsui, Nobuyuki)

兵庫県立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10173783

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：従来のコンピュータ性能の限界を打破すべく天才の創造知を意識した計算論(人工脳型計算論)の創出が本研究の目的である。そこで、多元数値化や量子情報理論とソフトコンピューティングの融合を図って情報処理能力を精査した。その結果、量子描像計算知能の創出など、それらが人工脳型計算論として有望であることを示し得た。さらにそれらを基盤とする画像処理・パターン認識や診断支援などの知的支援情報処理システムを開発し得た。

研究成果の概要(英文)：This research aims at creating a brain computational theory, inspired by the highly creative functions of human brain, in order to overcome the limits of traditional computational algorithm. We introduced hyper-complex numbers and quantum information theory into computational theories, and established a new prospect for soft-computation by examining these theories from various points of view. Our model proved itself to have a high potential for a brain computational algorithm, and we could apply it to models for supporting image processing, pattern recognition and those for various diagnoses in order to develop new intelligent information systems.

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：四元数 量子情報 ニューラルネットワーク 遺伝アルゴリズム 粒子群最適化法 シナジェティック
コンピュータ 連想記憶 知的情報処理支援

1. 研究開始当初の背景

ニューラルネットワークや遺伝アルゴリズムなど、ソフトコンピューティング手法は様々な分野で定着し、システムの数理的なモデル化が困難な問題の処理に効能を発揮し、パターン認識や組合せ最適化問題などに幅広く応用されてきた。それらの手法は一応の成果を得てきたものの、情報処理能力向上と応用拡大をめざして、さらに自然界に広く学んだ計算論手法、すなわちナチュラルコンピューティングの各種の手法も展開されていた。そのような展開気運の中で、研究代表者らも創造知(天才のひらめきに代表されるような創造的思考)の計算論を希求して、ニューラルネットワークの複素数値化や四元数値化ならび量子描像記述などに関して様々な角度から研究を進めてきた。その結果、それらの基本的性能は従来のニューラルネットワーク手法を凌駕しうるものであることを示してきた。しかし、それらの手法のみでは創造的思考どころか、初等的な整数の素因数分解さえも困難であることも分かった。創造的な人工脳の開発には、チューリングマシンを超えた処理能力を有する普遍的な計算論を探り確立する必要に迫られていた。また、単なる基本性能の精査ばかりでは、その有用性を真に確立し得ず、実システム応用への波及は期待できない状況であった。またこれまで試みてきた四元数化や量子ビット化手法の研究を通じてそれらはチューリングマシンの処理能力を乗り越えるための有望な手法の一つと認識するに至っていた。そこで、それらの潜在的な処理能力を引き出すべくさらに精査し、人工脳型計算論として普遍的な計算論を確立し、実応用へ展開する課題の着想に至った。

2. 研究の目的

天才の創造知に着目した観点から、従来のコンピュータ性能の限界を打破しうる脳型情報処理システム(人工脳)を構築することが本研究課題の目指すところであり、本課題では、このような観点から、これまで行ってきたソフトコンピューティング研究の新展開を図ることが目的である。

具体的には、多元数値化や量子情報理論およびランダム行列理論の知見から、従来のソフトコンピューティングを見直し、その情報処理性能の効能を新たに精査して、人工脳型計算論として有望な計算手法であることを示すのみならず、粒子群最適化法と量子描像の融合を図った量子粒子群最適化法などのあらたな量子描像計算知能もまた人工脳型計算論の手法として有望であることを明らかにする。さらにその計算手法の実システム応用への波及をめざして、それらを効果的に用いる医療画像診断支援やパターン認識などの知的支援情報処理システムを開発する。

3. 研究の方法

これらの背景と目的に基づき、本研究で展開すべき主課題は以下の3点である。

(1) ニューラルネットワークならびにシナジェティックコンピュータの多元数化情報処理の再検討と拡大

この場合、計算手法の知的支援情報処理システム構築を意図して、複素数値および四元数値のこれまでの階層型ニューラルネットワーク研究結果を踏まえて、相互結合型ニューラルネットワークやシナジェティックコンピュータの複素数値化や四元数値化による連想記憶性能を、埋め込み入力情報のデザイン法や学習法なども含めて検討する。さらに可換四元数化の効能を探り、それらの応用拡大も探る。それらのパターン認識性能については、不完全パターンの認識などを調べて実数型のそれと比較評価する。

(2) 量子描像計算知能手法の確立

量子ビットの複素数表示を用いた量子ビットニューラルネットワークの基本性能や画像処理応用および制御システム応用などのこれまでの研究を踏まえて、量子情報描像を導入した遺伝的アルゴリズムの定式化と画像処理応用をまず検討する。続いて、粒子群最適化法の量子描像化を図った量子粒子群最適化法の基本性能を、各種ベンチマーク関数を用いて行う。その場合、これまで検討されてこなかった各種の量子ポテンシャルによる性能差異や確率密度関数の性能差異なども検討する。また従来の粒子群最適化法との性能比較も行う。

(3) 知的支援情報処理システムの構築

計算手法の実システム応用への波及をめざして、それらを効果的に用いる医療画像診断支援やパターン認識などの知的支援情報処理システムを開発する。

4. 研究成果

上記の研究目的、研究の方法に基づいて研究を推進した結果、上記の研究の方法(1)、(2)、(3)それぞれに関して次に示す研究成果を得た。

(1) 実数や複素数と異なり四元数の非可換性が四元数ニューラルネットワークの特性であり、ニューラルネットワーク性能向上に寄与しているのであるが、実応用上、非可換な数は必ずしも便利であるとは言いがたい。そこで可換四元数ニューラルネットワークの開発を試み、ホップフィールド型可換四元数ニューラルネットワークを構築した。それがニューラルネットワークの更新とともに単調減少しうるエネルギー関数を持つことを示し得た。これは今後の四元数ニューラルネットワーク研究において新たな発展をもたらし応用拡大も期待できるなど意義深い成果と考える。

複素数値化シナジェティックコンピュータ(CVSC)の試論はこれまでも行っている。

たが、画像識別処理システム構築を意図して画像情報の複素数値化デザイン法を検討し、その性能を精査した。その想起性能を、欠落画像（不完全パターン）やノイズで汚れた画像の復元など、各種の画像パターン認識性能を実数型のそれと詳細に比較評価し、その効能を明らかにした。これもまた CVSC の新たな発展をもたらす成果と考える。

確率共鳴を導入した複素数値化誤差逆伝搬学習法をメビウス変換学習問題などに適用し、確率共鳴導入による性能向上効果を明らかにした。

複素数ホップフィールドニューラルネットワークに複雑ネットワーク概念を取り入れ、その記憶想起能力の複雑ネットワークパラメータ依存性を調べることによって、想起能力向上を図りうるかを検討した。その結果、複雑ネットワーク概念導入が脳型計算論として効果的な手法になりうることを示した。

四元数ニューラルネットワークにおける四元数の活性化関数については、実数や複素数の場合と異なり、その正則性や解析性が十分に調べられておらず、その適用制限なども明らかにされていない。そこで、四元数関数の局所解析性を精査して、四元数活性化関数の局所解析的特徴を検討した結果、四元数ニューラルネットワーク設計におけるその適用条件などを示唆し得た。これは今後の四元数ニューラルネットワーク研究において新たな発展をもたらす応用拡大も期待できるなど意義深い成果と考える。

(2) これまで複素数表示の量子ビットニューラルネットワーク研究を主に行ってきた。また量子ビット遺伝アルゴリズムを中心にその有効性を画像処理システム応用を通じて精査してきたが、粒子群最適化法に量子力学概念を取り入れた量子粒子群最適化法を新たに検討し、その量子描像計算知能手法の優越性を様々なだまし関数をベンチマークとして調べた。その結果、粒子群最適化法においても量子情報手法を取り入れることの優越性を確認し得た。

量子粒子群最適化手法において導入したポテンシャルの違いおよび確率密度関数の違いが情報処理性能にどのような性能差異をもたらすかを、各種ベンチマーク関数を用いた数値実験により明らかにするとともに、これらのベンチマーク関数に対する最小値求解問題において、変数を 100 変数および 500 変数と高次元にした場合の最小化問題を精査し、提唱した量子粒子群最適化法が収束性と精度において従来の粒子群最適化法をはるかに凌駕する性能であることを示すことができた。

時間的に変化する一次元関数の最小値追跡問題においても量子粒子群最適化法が従来法よりも効率的に追跡できることを確認し得た。

(3) 量子遺伝アルゴリズムによる画像処理システム構築をめざして、所望の画像処理結果を得るための適切な空間フィルタの組み合わせ探索を試み、従来の遺伝アルゴリズムを用いる結果よりも適切な空間フィルタが探索でき、良好な画像処理結果が得られた。

四元数活性化関数を有する四元数値化ホップフィールドモデルの想起性能を明らかにするとともに、歩行者数計測システム応用を図って、その高次元データ学習の有効性を示し得た。

画像識別処理システム構築のためのシナジェティックコンピュータの複素数値化デザイン法を検討し、不完全画像ならびにノイズ汚染画像からの復元システムや重複画像の識別システム応用を図ってその性能を精査した。さらにこれらの研究と並行して、眼科検査種決定医療支援システムやミツパチダンス行動の検出画像処理システムのプロトタイプ構築を行って、これらの知的情報処理支援システムに人工脳型計算論を適用する端緒を得た。

本課題で達成し得た研究成果は、ナチュラルコンピューティングなどの計算知能アルゴリズムに新展開をもたらす独創的な成果であると考えている。これらの成果の一部は、関連分野の書籍の章(5. [図書]リスト参照)や学会誌の解説([雑誌論文]リスト)として発表され、招待講演([学会発表]リスト)などとしても取り上げられた。これらのことから、専門分野での一定の高い評価が得られたこと、そして社会的にも研究成果を発信できたと考えられ、当該分野に顕著な貢献をなし得たと考えている。本研究テーマは多面的なアプローチを含むものであり、そのために着手できなかった将来的な課題も残るが、研究成果を国内外に多数発表し得て、当初の研究計画は達成できたものと考えている。

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 25 件)

N.Muramoto, T.Minemoto, T.Isokawa, H.Nishimura, N.Kamiura, N.Matsui, "A Scheme for Counting Pedestrians by Quaternionic Multilayer Perceptron," Proceedings of the 14th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2013), F5C-3 (12pages),2013 (査読有)

N. Kamiura, N. Yamada, A. Saitoh, T. Isokawa, N. Matsui, H. Tabuchi, "On Determination of Ophthalmic Examinations Using Support Vector Machines," Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.3402-3407, 2013 (査読有)

K.Ogawa, T.Isokawa, H.Nishimura, N.Kamiura, N.Matsui, "Function Approximation by Complex-Valued Multilayer Perceptron with Stochastic Resonance," Proceedings of SICE Annual Conference 2013, pp.1544-1547, 2013(査読有)

K.Omachi, T.Isokawa, H.Nishimura, N.Kamiura, N.Matsui, "A Complex-valued Design for Synergetic Computers," Proceedings of SICE Annual Conference 2013, pp.577-584,2013 (査読有)

N.Muramoto, T.Isokawa, H.Nishimura, N.Matsui, "On Processing Three Dimensional Data by Quaternionic Neural Networks," Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2013), pp.3023-3027,2013 (査読有)

K.Tazuke, N.Muramoto, N.Matsui, T.Isokawa, "An Application of Quantum-Inspired Particle Swarm Optimization to Function Optimization Problems," Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2013), pp.1234-1239,2013 (査読有)

松井伸之, 磯川悌次郎, 西村治彦, 四元数ニューロコンピューティングとその応用, 計測自動制御学会誌, Vol.51, No.4, pp.358-363,2012 (査読有)

T . Isokawa, H . Nishimura, and N . Matsui," Quaternionic Multilayer Perceptron with Local Analyticity," Information, vol . 3, no . 4, pp . 756-770,2012 (査読有)

H. Yamamoto, T. Isokawa, H. Nishimura, N. Kamiura, N. Matsui ," Pattern Stability on Complex-Valued Associative Memory by Local Iterative Learning Scheme ," Proceedings of 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems & 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 39-42,2012 (査読有)

K. Omachi, T. Isokawa, N. Kamiura, H. Nishimura, N. Matsui ," Retrieval Performance of Complex-Valued Associative Memory with Complex Network Structure," Proceedings of 5th International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, pp. 40-43,2012 (査読有)

N.Muramoto, N.Matsui, T.Isokawa, "Searching Ability of Qubit-Inspired Genetic Algorithm," Proceedings of SICE Annual Conference, pp. 443-446,2012 (査読有)

M. Fujii, T. Isokawa, H. Ikeno, N. Kamiura, A. Saitoh, N. Matsui," On Detecting Waggle Dance Behaviors from Spatio-Temporal Sectional Images," Proceedings of SICE Annual Conference, pp. 439-442, 2012 (査読有)

T.Isokawa, H.Nishimura, N.Matsui ," On the Fundamental Properties of Fully Quaternionic Hopfield Network," Proceedings of IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI2012), pp.1246-1249,2012 (査読有)

松井伸之, 木村允謙, 磯川悌次郎, 複素シナジェティックコンピュータの想起性能, 計測自動制御学会論文集, vol .47, no . 11, pp . 563-570,2011 (査読有)

T . Takata, T . Isokawa, and N . Matsui," Performance Analysis of Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm," Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol .15, No .8, pp . 1095-1102,2011 (査読有)

M.Kimura, T.Isokawa, H.Nishimura, N.Kamiura, N.Matsui," On Retrieval Performance of Associative Memory by Complex-valued Synergetic Computers," Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2011), pp.1366-1371,2011 (査読有)

[学会発表](計28件)

松井伸之, 量子粒子群の高次元情報処理能力, 東北大学電気通信研究所協同プロジェクト研究会「高次元ニューラルネットワークの情報処理能力」, 2014年2月3日, 東北大学電気通信研究所

村本憲幸, 磯川悌次郎, 西村治彦, 松井伸之, 四元数ニューラルネットワークの歩行者数推定への適用, 計測自動制御学会第4回コンピューショナル・インテリジェンス研究会, 2013年12月4日, 九州大学伊都キャンパスゲストハウス

村本憲幸, 磯川悌次郎, 西村治彦, 松井伸之, 四元数階層型ニューラルネットワークの性能評価, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会, 2013年11月18日, ピアザ淡海

西村治彦, 松久遼祐, 磯川悌次郎, 松井伸之, 高次元ニューラルネットでのパターン直交化による連想記憶モデル, 計測自動制御学会第4回コンピューショナル・インテリジェンス研究会, 2013年8月30日, 大阪大学吹田キャンパス情報科学研究棟

田附浩一郎, 松井伸之, 磯川悌次郎, 関数最適化問題における量子粒子群最適化法の性能, 計測自動制御学会第4回コンピューショナル・インテリジェンス研究会, 2013年8月30日, 大阪大学吹田キャンパス情報科学研究棟

松井伸之, 量子情報ソフトコンピューティングについて, 第1回 Super Science Symposium (招待講演) 2013年3月13日, ミカサ商事本社東館(大阪市)

松井伸之、量子粒子群における最適化法、東北大学電気通信研究所協同プロジェクト研究会「高次元ニューラルネットワークの情報処理能力」、2012年12月11日、東北大学電気通信研究所

幸田憲明、松井伸之、ネットワーク構成を更新するニューラルネットワークを導入した強化学習、計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会、2012年11月22日、ウイルあいち(愛知県女性総合センター)

大町耕平、礪川悌次郎、西村治彦、上浦尚武、松井伸之、複雑ネットワーク構造を有する複素連想記憶システムにおける想起性能評価、計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会、2012年11月22日、ウイルあいち(愛知県女性総合センター)

村本憲幸、田附浩一郎、松井伸之、礪川悌次郎、非正常環境下における量子粒子群最適化法の性能評価、計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会、2012年11月22日、ウイルあいち(愛知県女性総合センター)

松井伸之、複素数値化シナジェティックコンピューティングについて、東北大学電気通信研究所協同プロジェクト研究会「複素ニューラルネットワークの実用化」、2011年12月26日、東北大学電気通信研究所

礪川悌次郎、西村治彦、松井伸之、高次元連想記憶モデルとその基本特性、計測自動制御学会第1回コンピューショナル・インテリジェンス研究会、2011年9月30日、京都工芸繊維大学

村本憲幸、礪川悌次郎、松井伸之、量子ビット遺伝的アルゴリズムの基本性能評価、計測自動制御学会第1回コンピューショナル・インテリジェンス研究会、2011年9月30日、京都工芸繊維大学

礪川悌次郎、西村治彦、松井伸之、可換クォータニオンに基づく多値ホップフィールドニューラルネットワーク、電子情報通信学会ニューラルネットワーク研究会、2011年7月25日、神戸大学
改発直人、礪川悌次郎、西村治彦、松井伸之、確率共鳴型複素ニューラルネットワークの性能評価、第55回システム制御情報学会研究発表講演会、2011年5月18日

〔図書〕(計1件)

Teijiro Isokawa, Haruhiko Nishimura, and Nobuyuki Matsui, Wiley-IEEE Press, 2013, "Complex-Valued Neural Networks: Advances and Applications, chapter5: Quaternionic Neural Networks for Associative Memories (pp.103-131)"

〔その他〕
ホームページ等

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/eecs/eecs12/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松井 伸之 (MATSUI NOBUYUKI)
兵庫県立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：10173783

(2) 研究分担者

西村 治彦 (NISHIMURA HARUHIKO)
兵庫県立大学・大学院応用情報科学研究科・教授
研究者番号：40218201

(3) 連携研究者

礪川 悌次郎 (ISOKAWA TEIJIRO)
兵庫県立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：70336832