

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24年 5月31日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21700259

研究課題名（和文） クォータニオンニューラルネットワークによる
色彩情報処理システムの構築

研究課題名（英文） Color Information Processing based on Quaternionic Neural Networks

研究代表者

磯川 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

研究成果の概要（和文）：

本課題研究は、複素数ならびに超複素数の一つであるクォータニオンを導入した連想記憶システムについて、それを実工学応用に供するための理論整備を行うことを目的としている。本課題研究では、次の2点について研究を展開した。

- (1) カラー画像に代表される3次元データを記銘・想起することができる連想記憶システムを提案し、そのシステムの特長や性能の評価を行うとともに、データ記銘方法についても検討を行った。
- (2) より高精度に記憶想起を行うことができる連想記憶システムであるシナジェティックコンピュータについて、これを複素数値化し、画像想起問題を通してその性能を精査した。

研究成果の概要（英文）：

This research subject aims to investigate the analysis for complex-valued and quaternionic-valued associative memory, which can store and retrieve higher dimensional data. Quaternion is a class of hypercomplex number system with rank four. The following two subjects are mainly explored:

- (1) Associative memory that can store and retrieve three dimensional signals, such as images or body coordinates, is proposed and analyzed. Also, schemes for embedding patterns onto the networks are also studied.
- (2) Synergetic computer, which is a type of associative memory, is investigated through its parameters are encoded by complex values. The performance evaluations are conducted through the retrievals of gray-scaled images.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

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：連想記憶，四元数，複素数，ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

近年、複素ニューラルネットワーク(以下複素 NN)と総称される研究分野において基礎理論から工学応用まで幅広い研究が行われている。複素 NN とは、NN における情報表現を複素数に拡張したものである。この拡張により、振幅・位相情報や2次元座標情報などの一つの物理量ではあるが個別のニューロンで扱わなければならないものを元々の一つの実体として取り扱うことが可能となる。

脳のモデルとしての NN の観点からは、この複素数への拡張はニューロン間の情報伝達に位相表現が導入されたものと考えられることができる。ニューロンからの出力値がニューロンの平均発火率に加え位相情報を表現することができるため、各ニューロンの発火タイミングという脳内における重要な情報を自然な形で表現することが可能となる。

このようにして複素数により二つのパラメータを持つ物理量が一つの変数で表現可能となったが、より多くのパラメータで一つの物理量を表現する場合については、NN 研究に限らず複素数ほど検討されていないのが現実である。日常的に用いられかつ工学問題としても重要な物理量の例としては、三次元物体の座標表現や色彩情報が挙げられる。これらはいずれも3つのパラメータを用いて一つの物理量を表現するものである。

このような複素数よりも次数が高い物理量を表現するためには、より高次の複素数、すなわち超複素数を用いることが有効である。クォータニオンは超複素数の一つであり、一つの四元数は一つの実数成分および三つの虚数成分の四成分により表現される。このクォータニオンを NN に導入することにより、三次元空間における制御問題や色彩画像処理などへの応用が広がることが期待できる。本研究申請者は、このような現状を鑑み、NN における複素数・クォータニオンの導入についての基礎理論および工学応用に関する研究を展開してきた。

2. 研究の目的

本研究申請者は本申請課題以前より四元数 NN の高い情報処理能力を様々な問題を通して明らかにしてきたが、これらの QNN を実工学応用に供してゆくことは重要な課題であり、そのために検討すべき問題がいくつか挙げられる。そのため、これまでに提案および評価を行ってきた QNN モデルを理論面と工学応用面の双方についてさらに検討を行ってゆくことを目的とする。

具体的な解決すべき問題として、まず QNN による連想記憶システムにおける逐次的・効率的な記憶埋め込み手法を考える必要

がある。これまでに展開してきた研究においては、パターンを記憶するために、いわゆる Hebb 学習則を用いてきた。この方法は、記憶すべきパターンを即座に QNN における結合荷重の値に変換することが可能であるが、パターン数が多くかつ画像情報などの1つの記憶パターンに大量の情報がある場合には、各パターンが直交していなければならないという制約を持つ Hebb 学習則ではパターンを埋め込むことが困難となるという問題がある。そのため、記憶パターンの性質に依らず高速にパターン埋め込みを実行する計算手法の確立を目指すことが必要不可欠である。

また、QNN を工学問題に供するためには、より簡単な演算に基づき高精度に動作する連想記憶システムが必要となる。これまでの検討においては、QNN としてホップフィールド型 NN を用いてきたが、この NN においては大量のニューロン素子を非同期的に動作させる必要があり、また記憶状態にない偽局所状態に陥る可能性がある。そこで、ホップフィールド型 QNN に対する解析と平行して、シナジェティックコンピュータ(SC)と呼ばれる連想記憶システムに着目する。SC において動作している素子の動きは、その素子の数よりも少ないオーダーパラメータと呼ばれるものにより制御される。しかしながら、SC において用いられているパラメータは実数値であり、複素数やクォータニオンに基づく定式化はなされていなかった。そこで、クォータニオン SC を構築するための前段階として、SC を複素数値化し、その性能評価を行う。

3. 研究の方法

本申請課題においては、上記研究目的に述べられた2点について主に研究を展開してきた。その内容について、以下(1)~(3)に記す。

(1) ホップフィールド型 QNN に対するパターン記憶方法に関する研究

Hebb 学習則に基づくパターン記憶では、各記憶パターンが直交条件を満たす必要があり、記憶パターン数が増加すると全てのパターンの間において直交条件を満たすことは不可能である。そこで、パターン同士が非直交であっても記憶を行うための手法について検討を行う。

(2) 可換クォータニオンに基づく連想記憶システムの構築

クォータニオンの特徴として、クォータニオンの積が非可換であることが挙げられる。これは積演算の順序により得

られる結果が変わることを意味している。この特徴は例えば3次元空間における回転演算などにおいては必要不可欠であるが、連想記憶システムを構築する際には、安定条件を導出することが非常に困難となる。そこで、より取り扱いが容易である積において可換なクォータニオンにおいて、連想記憶システムの構築を行いその性質を評価する。

(3) 複素シナジェティックコンピュータのグレイスケール画像の想起評価

これまでの研究において解析を行ってきた連想記憶システムはホップフィールド型 QNN に基づいている。このネットワークでは、入力データの大きさがネットワーク規模に直結するために大規模データの取り扱いが困難となる。これを鑑み、より小規模なパラメータにより駆動させることが可能である連想記憶システムとしてシナジェティックコンピュータ(SC)に着目する。クォータニオンに基づく SC を構築する前段階として、まず複素数に基づく SC を構築する。さらに濃淡画像を用いた記録・想起実験を行うことにより、従来の実数値に基づく SC に対する性能評価を行う。

4. 研究成果

前節(1)~(3)に対応する研究成果を順に報告する。また、それらに対応した発表論文等についてもそれぞれの節に附記する。

(1) ホップフィールド型 QNN に対するパターン記録方法に関する研究

Hebb 学習における問題点を解決するために、射影学習と呼ばれる学習則を複素数ならびにクォータニオンに拡張した。射影学習は、記録すべき各パターンを直交化した後に Hebb 学習により記録させるという手順により学習を行う。パターンを安定に記録させることができることを理論的に検証した。また、射影学習の一実装方法として、局所逐次学習則を取り上げ、これを複素数・クォータニオンに拡張した。この学習方法では、記録パターンを繰り返し提示することにより QNN における結合加重を形成してゆく。この方法の利点は、射影学習において必要となる擬逆行列の算出が不要となることと各記録パターンの記録の強さを明示的に制御することができることにある。局所逐次学習においても安定した記録が行えることを理論的に示している。この結果は〔学会発表〕①において発表している。

(2) 可換クォータニオンに基づく連想記憶システムの構築

積演算において可換となるクォータニオンに基づく QNN を提案し、その安定性を理論的に証明した。可換 QNN については2種類のネットワークを定義することができ、一つは可換クォータニオンの極座標表示を用いた多相 QNN である。もう一種類のネットワークは可換クォータニオンが2つの複素数を等冪元として表現できることを利用しており、この場合、2種類の複素 NN の組み合わせとして構成される。いずれのネットワークにおいても、ネットワーク状態に対するエネルギー関数を定義し、そのエネルギー値が状態変化に伴い単調減少することを示している。これにより、これらのネットワークの安定性を示している。この結果は〔学会発表〕②において発表している。

(3) 複素シナジェティックコンピュータのグレイスケール画像の想起評価

複素 SC を構成し、画像の記録・想起が従来の実数値に基づく SC と同様に可能であることをまず示している。さらに、複数の画像を記録させた状態において、記録画像の1枚をノイズや欠落させることにより劣化させ、この画像を入力させた場合にどの記録パターンを想起するかを調べることにより、入力画像に対するロバスト性を検証した。図1が入力画像にノイズを印加した場合の想起率の変化を示す。この図において横軸がノイズ印加率であり、100%に近づくほど多くのノイズを印加していることを表している。実数型 SC の想起率(黒線)と複素 SC の想起率(赤線)を比較すると、複素 SC の方がより多いノイズ印加に対しても高い想起性能を有していることが分かる。

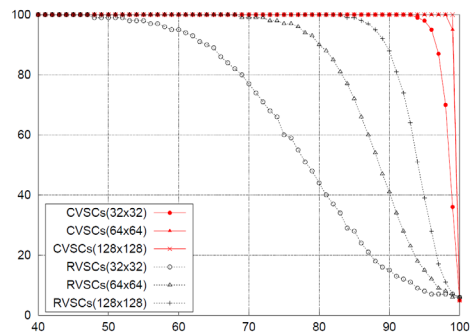


図1 ノイズを印加させた場合の想起率(黒: 実数型 SC, 赤: 複素 SC)

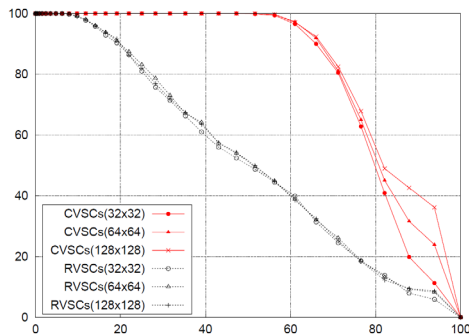


図2 画像の一部を欠落させた場合の想起率(黒: 実数型 SC, 赤: 複素 SC)

同様に図2においては、画像の一部を欠落させた場合の想起率の変化を表している。この結果からも、複素 SC の方が大きい画像欠落に対しても高い想起性能を保っていることが分かる。この結果については、[雑誌論文]①ならびに[学会発表]③・④において示している。

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1件)

- ① 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, 査読有, vol.47, no.11, 2011, pp.563-570, <http://www.sice.or.jp/kaishi/ronbun/ron2000/ron201111.htm>

[学会発表] (計4件)

- ① T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, An Iterative Learning Scheme for Multistate Complex-Valued and Quaternionic Hopfield Neural Networks, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2009), 査読有, 2009, pp.1365-1371.
- ② T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, Commutative Quaternion and Multistate Hopfield Neural Networks, Proceedings of IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI2010), 2010, pp.1281-1286.
- ③ M.Kimura, T.Isokawa, A.Saitoh, N.Kamiura, and N.Matsui, An Analysis on Image Recognition in Complex-Valued Synergetic Computers, Proceedings of Joint 5th Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International

Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2010), 2010, pp.1403-1408.

- ④ M.Kimura, T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, On Retrieval Performance of Associative Memory by Complex-valued Synergetic Computers," Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2011), 2011, pp.1366-1371.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

磯川 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