

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700227

研究課題名(和文) 多元数表現に基づくニューラルネットワークによる幾何学的情報処理機構の研究

研究課題名(英文) Geometrical Information Processing by Hypercomplex-valued Neural Networks

研究代表者

磯川 悌次郎 (Isokawa, Tejiro)

兵庫県立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70336832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究申請は、多元数に基づくニューラルネットワークについて、その基礎理論と工学応用における研究展開を目的としたものである。色彩情報や空間における位置・方向などに代表される高次元情報を処理するためには、複素数やより高次元の数体系である多元数が有効に働くと期待できる。申請期間内においては、多元数ニューラルネットワークによる連想記憶システムの詳細な特性解明および動画像からの人物計数に代表される実工学問題への応用に関する研究を実施した。

研究成果の概要(英文)：This research project intended to investigate neural network models based on complex and hypercomplex number systems, from the viewpoints of theoretical analysis and applications to practical/engineering problems. For dealing with high-dimensional data, such as color information and body coordinate systems, neural networks with hypercomplex number systems are expected to work more efficiently than conventional (real-valued) neural networks. In the term of this research project, several researches had been conducted, i.e., the analysis of fundamental properties for associative memories based on quaternionic (four dimensional hypercomplex number) Hopfield networks and the application of counting pedestrians from the sequences of scenery images.

研究分野：知能情報学

キーワード：複素ニューラルネットワーク 超複素数 四元数 連想記憶 ホップフィールドネットワーク

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・位相情報や二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。これらはいずれも三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、すなわち多元数を用いることが有効である。四元数は多元数の一つであり、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。この多元数を 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を期待できる。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・多元数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複素数・四元数に基づく 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 NN 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 NN 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、まず四元数 NN 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、パターンを記録するために、いわゆる

Hebb 学習則を用いてきた。この方法は、記録すべきパターンを即座に四元数 NN 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一つの記録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。そのため、記録パターンの性質に依らず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、四元数階層型 NN の画像処理ならびに幾何情報処理への応用を行うことにより、四元数 NN の工学応用の可能性を模索する。このために四元数 NN において用いられてきた活性化関数について検討する必要がある。多くの四元数 NN においては、四元数の各要素について実数値関数を適用しているが、四元数を入力とし、また四元数を出力とする四元数関数の適用についてはほとんど検討されていない。また、具体的な応用課題としては、現在本課題と平行して展開している動画画像からの人物領域抽出ならびに人物数の計数問題を検討する。

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録方法に関する研究

Hebb 学習則に基づくパターン記録では、各記録パターンが直交条件を満たす必要があり、記録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録を行うための手法について検討を行う。

(2) 四元数関数を用いたニューロン活性化関数の検討

現在まで検討されている多くの四元数 NN においては、ニューロンの活性化関数として四元数の各要素に実数値関数を適用するいわゆる split 型の関数が用いられている。これに対して四元数を入出力とする活性化関数を検討することにより、より収束能力が高い学習が実現できると考えられる。本課題においては、四元数関数の解析性を考慮した活性化関数について検討する。

(3) 動画画像からの人物計数システムの構築

監視カメラなどから得られる風景動画画像から人物領域を抽出し解析することができれば、不審者の発見、避難誘導の計画立案、マーケティングなどの幅広い応用が期待できる。本研究では、風景動画画像から抽出された人物領域について、四元数 NN を用いた人物計数を行うシステムについて検討する。

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銘方法に関する研究

Hebb 学習における問題点を解決するために、四元数 NN に拡張した射影学習則について性能評価を行った。射影学習は、記銘すべき各パターンを直交化した後に Hebb 学習により記銘させるという手順により学習を行う。射影学習を用いた四元数 NN に基づく連想記憶の性能評価については、[学会発表]にて発表を行った。

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 NN ならびに四元数 NN に拡張し、性能評価を行った。この学習方法では、記銘パターンを繰り返し提示することにより四元数 NN 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銘パターンの記銘の強さを明示的に制御することができることにある。図 1 に局所逐次学習則を用いたランダムパターンの記銘性能を示す。パラメータ K はパターンの解像度を表している。この図より、記銘パターン数 M に対して想起成功率が変化していることが分かり、これは、この学習則によりパターンの埋め込みが確かに行えることを示している。

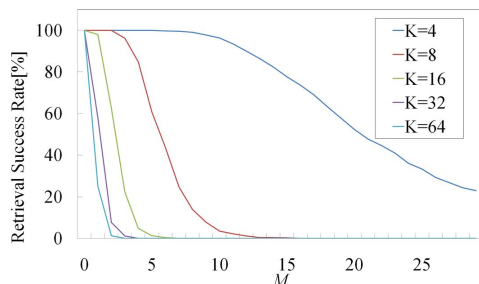


図 1 局所逐次学習則の記銘性能

また、局所逐次学習則を用いた複素 NN に基づく連想記憶システムの性能評価については、[学会発表]において発表した。さらに、ランダムパターンを重畳することにより記銘パターンを直交化する手法について、複素数・四元数 NN に拡張した連想記憶システムの性能評価について[学会発表]にて発表した。

四元数に基づく連想記憶の基本的な特性ならびにパターン記銘手法については、[図書]においても詳細に述べている。

(2) 四元数関数を用いたニューロン活性化関数の検討

多くの複素 NN モデルならびに四元数 NN において、ニューロンの活性化関数をどのように設定するかについてはそれほど検討されていないのが現状である。特に四元数 NN に関してはほとんど検討されていない。最も簡単な活性化関数としては、四元数の各要素について実数値シグモイド関数を適用することが考えられるが、四元数関数としてこの関数を考えると解析的ではないことは明らかである。全域的に解析的な(微分可能な)四元数関数は定数ならびに線形関数のみであることが証明されているが、全域的でなく局所的な領域を考えるとより多くの関数を四元数関数として用いることが可能である。

本課題においては、四元数における「局所解析性」を利用した活性化関数の提案を行い、階層型四元数 NN における学習アルゴリズムである誤差逆伝播法の定式化を行った。この結果については[雑誌論文]において示している。また、この四元数 NN の性能評価を行うために、3次元カオス系列の予測(図 2)、3次元アフィン変換、カラー画像の画像圧縮に適用した。性能評価については[学会発表]に示している。

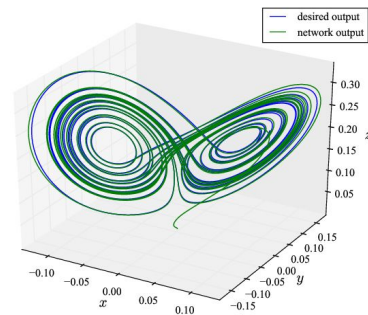


図 2 3次元カオス系列の予測結果

(3) 動画画像からの人物計数システムの構築

構築した計数システムの構成図を図 3 に示す。このシステムでは動画画像の背景差分を行うことにより、動きがある領域すなわち人物領域を抽出し、この領域中にある人物数を四元数 NN により推定する。NN に入力される情報は領域における色情報の分散度合いや領域形状の円軽度などが用いられる。図 4 に推定例を示す。この図において、緑色矩形が抽出された人物領域を示し、赤色数値と黄色数値がこの矩形に対する通し番号と推定人物数を示す。この図より、移動している人物領域が抽出され、各領域に対して人物数推定が行われていることが分かる。

より正確な抽出や推定を行うためには、背景差分以外の人物領域抽出が必要であると考えている。なお、本システムについては[学会発表]にて発表を行っている。

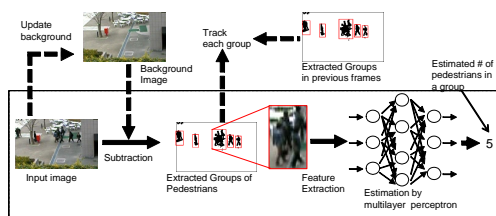


図3 人物計数システムの構成



図4 人物数推定結果例

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)

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

[学会発表](計 6 件)

T.Minemoto, T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, “Extended Projection Rule for Quaternionic Multistate Hopfield Neural Network,” Proceedings of 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics 2015 (AROB 20th 2015), 査読有, pp.418-423, 2015/1/21 発表, 別府国際コンベンションセンター(大分県別府市).

T.Minemoto, T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, “Utilizing High-Dimensional Neural Networks for Pseudo-orthogonalization of Memory Patterns,” Proceedings of 21st International Conference on Neural Information Processing, 査読有, LNCS8834, pp.527-534, 2014/11/4 発表, クチン(マレーシア).

N.Muramoto, T.Minemoto, T.Isokawa, H.Nishimura, N.Kamiura, and N.Matsui, “A Scheme for Counting Pedestrians by Quaternionic Multilayer Perceptron,”

Proceedings of the 14th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2013), 査読有, F5C-3 (12pages), 2013/11/15 発表, 大田広域市(韓国).

N.Muramoto, T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, “On Processing Three Dimensional Data by Quaternionic Neural Networks,” Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2013), 査読有, pp.3023-3027, 2013/8/6 発表, ダラス(アメリカ).

H.Yamamoto, T.Isokawa, H.Nishimura, N.Kamiura, and 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 (SCIS-ISIS 2012), 査読有, pp.39-42, 2012/11/21 発表, 神戸コンベンションセンター(兵庫県神戸市).

T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, “On the Fundamental Properties of Fully Quaternionic Hopfield Network,” Proceedings of IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI2012), 査読有, pp.1246-1249, 2012/6/13 発表, ブリスベン(オーストラリア).

[図書](計 1 件)

T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, “Quaternionic Neural Networks for Associative Memories,” in A.Hirose ed., Complex-Valued Neural Networks: Advances and Applications, Wiley-IEEE Press, Chapter 5, pp.103-131, 2013.

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/group/group48/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

磯川 倣次郎 (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