

令和元年6月14日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02756

研究課題名(和文) 電磁波・光波の偏波情報を扱う四元数ニューラルネットワーク理論の構築と工学的体系化

研究課題名(英文) Quaternion neural networks to deal with polarization information in electromagnetic wave and lightwave

研究代表者

廣瀬 明 (Hirose, Akira)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：70199115

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：まず、電磁波や光波の偏波状態情報を適応的に扱うことに適した、四元数によって構築されるニューラルネットワークの枠組みを構築することに成功した。そして人工衛星に搭載された偏波合成開口レーダが地球を観測するときに得られる地表散乱の偏波情報を教師あり(または教師なし)学習して、地表の植生や街区などを区分する方法を提案し、それが高い区分性能を持つことを実証した。その際、四元数オートエンコーダ(自己符号化器)を構成する方法も提案し、それが効果的に有効な偏波特徴量を抽出することを示した。さらに四元数コードブックを自己組織化させることにも成功し、区分性能を向上させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果には2つの大きな意義がある。第一は、この四元数ニューラルネットワークの枠組みは世の中のさまざまな波動現象を適応的に扱うことに長けており、その対象は電磁波や光波のみならずさまざまな量子波などありエレクトロニクスを中心に広い応用が期待できる点である。第二は、実際に人工衛星による植生や氷河の地球観測に有効であることを示し、地球温暖化の監視や将来の農作物のグローバルかつ高頻度の観測に道を開く点である。

研究成果の概要(英文)：We succeeded in constructing the framework of quaternion neural networks that deals with electromagnetic-wave and lightwave polarization information adaptively. Then we demonstrated that the quaternion neural networks classify land vegetation and usage adaptively by supervised/unsupervised learning in satellite-borne polarization synthetic aperture radar (PolSAR) earth observation.

研究分野：ニューラルネットワーク、ワイヤレスエレクトロニクス

キーワード：ニューラルネットワーク 四元数 電波伝搬 イメージング

1. 研究開始当初の背景

これまでにわれわれは、複素ニューラルネットワーク(複素 NN)の理論的枠組みの構築とその応用に関する研究を広く展開してきた。人工衛星に搭載された合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar: SAR)特に位相を取得する干渉型 SAR (Interferometric SAR: InSAR)によって地球の地形形状やその変動を詳細に高頻度で観測・推定する課題において、世界的に利用されつつあるいくつかの重要方式を複素 NN に基づいて提案しており、減災や地震・火山の継続的観測への貢献がはじまっている。また移動体通信でのチャンネル予測でも実用を視野にできる精度を世界で始めて出すことに成功した。これも複素 NN で位相を扱うことによって始めて実現できた。

一方近年、SAR 観測では偏波の適応処理の重要性がますます増大している。偏波 SAR (Polarimetric SAR: PolSAR)による地表計測は、ヒマラヤ氷河監視によるインド～東アジアの水源確保や災害軽減、アマゾン等熱帯雨林地域の植生監視による CO₂ 吸収量推定や農業管理など広く利用が期待されている。しかし、散乱モデルに基づく共分散行列(C-Matrix)を分解する従来手法では、地表分類精度が未だ低く、効果が十分でない。精度高く柔軟に分類する新手法が求められている。

われわれはこの課題を解決するため、四元数ニューラルネットワーク(Quaternion NN: QNN)を利用する着想に至った。QNN は複素 NN の拡張版でもあり、3 次元の回転に対応する運動や写像を扱う際に、優れた汎化特性を有する。偏波状態は一般に、ストークスペクトルとして表現される。偏波観測データをプロットするとポアンカレ球面とそれに平行な局面に沿った変化で表現される相互関係(相違性或類似性)を有している。このような 3 次元の回転は、QNN によって優れた汎化特性を伴って学習・自己組織化が実現できると期待される。

並行して近年、国内外のニューラルネットワーク研究者によって、QNN の研究が急速に展開され、重要な応用が開拓されつつある。すなわち、RGB カラーの適応非線形補正による高色彩忠実度の暗視カメラの実現や柔軟なロボット制御などである。しかしこれらはもともとの色情報の構造が回転方向の性質を含まなかったり、関節の自由度が制限されたりしているため、QNN のもっとも重要な利点である回転汎化特性の向上が十分に発揮されている状況ではない。それに対して、ストークスペクトルで表現される電磁波や光波の偏波処理は QNN の回転汎化の利点が強く発揮される分野であり、その応用領域はエレクトロニクスを中心に極めて広い。

2. 研究の目的

研究目的(概要) 当該研究計画の目的について、簡潔にまとめて記述してください。

本研究の目的は、偏波情報を扱う四元数ニューラルネットワーク(Quaternion Neural Networks: QNN)の理論を構築して、その有効性を偏波合成開口レーダ(Polarimetric Synthetic Aperture Radar: PolSAR)適応地表区分および移動体通信チャンネル予測に適用してその性能向上を定量的に評価するとともに、このような電磁波・光波の波動応用エレクトロニクスを中心に QNN の工学的に利用価値の高い体系化を行うことにある。これによって、近年その重要性が急増している知的な環境センシングによる環境保全と災害軽減などの危急の課題の解決に貢献する。またこのような電磁波センシング・イメージングのエレクトロニクスという汎用性が高い分野で工学利用することに、極めて高い意義がある。さらに QNN の利用は四元数という数自体が持つスパース性を導入することも意味し、クリフォード代数への高い拡張性も有している。

3. 研究の方法

前記目標を達成するため、次の3つの項目について研究を進める。まず PolSAR による地表植生区分を適応的に高精度で行う QNN システムの構築を行う。続いて移動体通信のチャンネル予測を偏波も考慮することで実用的な精度で行う QNN システムの構築も検討する。並行しながら上記を総合する形での電磁波・光波偏波情報を扱う QNN 理論の枠組みの構築と工学的体系化を進めるが、特に第3年度にはこれを中心に進めてまとめ、体系化する。

4. 研究成果

本研究によって、次のように大きな成果を得た。

- (1) 電磁波や光波の偏波状態情報を適応的に扱うことに適した、四元数によって構築されるニューラルネットワークの枠組みを構築することに成功した。
- (2) これを用いて、人工衛星に搭載された偏波合成開口レーダが地球を観測するとき得られる地表散乱の偏波情報を教師あり(または教師なし)学習して、地表の植生や街区などを区分する方法を提案し、それが高い区分性能を持つことを実証した。
- (3) その際、四元数オートエンコーダ(自己符号化器)を構成する方法も提案し、それが効果

的に有効な偏波特徴量を抽出することを示した。

(4) さらに四元数コードブックを自己組織化させることにも成功し、区分性能を向上させた。

受賞：これらの一連の成果は高く評価され、KDDI 財団賞や、研究に携わった学生に電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ優秀若手研究者賞、国際会議 PIERS 優秀学生論文賞(2件)および同会議若手科学者賞をもたらした。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 30 件)

いくつかの主なものを次にあげる。

[1] H.Kim A.Hirose, “Unsupervised Hierarchical Land Classification Using Self-organizing Feature Codebook For Decimeter-resolution PolSAR,” IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, to appear 10.1109/TGRS.2018.2870134

[2] K.Kinugawa F.Shang N.Usami A.Hirose, “Isotropization of quaternion-neural-network-based PolSAR adaptive land classification in Poincare-sphere parameter space,” IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 15, 8 (2018) 1234-1238, 10.1109/LGRS.2018.2831215

[3] S.Fujinami R.Natsuaki K.Ichikawa A.Hirose, “Experimental analysis on the mechanisms of singular point generation in InSAR by employing scaled optical interferometry,” IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing 56, 7 (2018) 3830-3837 10.1109/TGRS.2018.2812898

[4] T.Shimada R.Natsuaki A.Hirose, “Pixel-by-pixel scattering mechanism vector optimization in high resolution PolInSAR,” IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 56, 5 (2018) 2587-2596 10.1109/TGRS.2017.2768604

[5] H.Kim A.Hirose, “Unsupervised Fine Land Classification Using Quaternion Auto-Encoder-based Polarization Feature Extraction and Self-Organizing Mapping ,” IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 56, 3 (2018) 1839 - 1851 10.1109/TGRS.2017.2768619

[6] K.Oyama A.Hirose, “Adaptive phase-singular-unit restoration with entire-spectrum-processing complex-valued neural networks in interferometric SAR,” Electron. Lett. 54, 1 (2018) 43-45, 10.1049/el.2017.2680

[7] E.Koyama A.Hirose, “Development of complex-valued self-organizing-map landmine visualization system equipped with moving one-dimensional array antenna,” IEICE Trans. on Electron. E101C, 1 (2018) 35-38, 10.1587/transele.E101.C.35

[8] Y.Arima A.Hirose, “Performance Dependence on System Parameters in Millimeter-wave Active Imaging Based on Complex-valued Neural Networks to Classify Complex Texture,” IEEE Access 5 (2017) 22927-22939, 10.1109/ACCESS.2017.2751618

[9] K.Kikuta A.Hirose, “Direction-of-arrival estimation of ultra-wideband signals in narrowband interference environment based on power inversion and complex-valued neural networks,” Neural Proc. Lett. (2017) 10.1007/s11063-017-9669-4

[10] N.Usami A.Hirose, “T-shaped Probe Waveguide Antenna: A Wideband Reconfigurable Circular-Polarized Single-Port Antenna,” IEICE Trans. on Electron., E100.C, 5 (2017) 490-495 10.1587/transele.E100.C.490

[11] K.Ichikawa A.Hirose, “Singular Unit Restoration in InSAR by Using Complex-Valued Neural Networks in Spectral Domain,” IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 55, 3 (2017) 1717-1723 10.1109/TGRS.2016.2630719

[12] Y.Takizawa F.Shang A.Hirose, “Adaptive land classification and new class generation by unsupervised double-stage learning in Poincare sphere space for polarimetric synthetic aperture radars,” Neurocomputing, 248 (2017) 3-10 10.1016/j.neucom.2016.11.072

[13] K.Kikuta A.Hirose, “Narrowband Interference Mitigation in UWB Systems Utilizing Frequency Dependence of Null Formation in Array Antennas,” IEEE Access, 4 (2016) 8715-8720 10.1109/ACCESS.2016.2632161

[14] N.Usami A.Muhuri A.Bhattacharya A.Hirose, "PolSAR wet snow mapping with incidence angle information," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 13, 12 (2016) 2029-2033 10.1109/LGRS.2016.2621891

[15] G.Oshiyama A.Hirose, "Distortion reduction in singularity-spreading phase unwrapping with pseudo-continuous spreading and self-clustering active localization," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8, 8 (2015) 3846-3858 10.1109/JSTARS.2014.2325873

[16] K.Kikuta A.Hirose, "Compact Folded-Fin Tapered Slot Antenna for UWB Applications," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 14 (2015) 1192-1195 10.1109/LAWP.2015.2397008

[17] F.Shang A.Hirose, "Averaged-Stokes-Vector-Based Polarimetric SAR Data Interpretation," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 53, 8 (2015) 4536-4547 10.1109/TGRS.2015.2401043

[18] D.Danudirdjo A.Hirose, "Anisotropic Phase Unwrapping for Synthetic Aperture Radar Interferometry," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 53, 7 (2015) 4116-4126 10.1109/TGRS.2015.2391191

[19] D.Danudirdjo A.Hirose, "InSAR Image Regularization and DEM Error Correction with Fractal Surface Scattering Model," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 53, 3 (2015) 1427-1439 10.1109/TGRS.2014.2341254

〔学会発表〕(計 68 件)

主要なものうち、例をいくつか挙げる。

[20] Hirose, "Complex-Valued and Quaternion Neural Networks to Deal with Complex Amplitude and Polarization: Their Strength in Electronics," Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA) 2018, Proc. (Nov. 12-15, 2018, Honolulu) 566-571

[21] Y.Otsuka T.Shimada R.Natsuaki A.Hirose, "Analysis of Singular-point Generating Mechanisms Based on the Correlations among the Parameters in Coherency Matrix and Those in the Optimized Scattering-mechanism Vector in PolInSAR," Progress in Electromagnetics Symposium (PIERS) 2018 Toyama Proc. (August 1-4, 2018, Toyama) 474

[22] K.Oyama A.Hirose, "PROPOSAL OF SINGULAR-UNIT COMPENSATION IN POLARIMETRIC-INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR BY PHASOR-QUATERNION NEURAL NETWORKS," Int'l Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2018 Valencia, Proc. (July 23-27, 2018, Valencia) WEP1.PA.5

[23] H.Kim A.Hirose, "POLARIZATION FEATURE EXTRACTION USING QUATERNION NEURAL NETWORKS FOR FLEXIBLE UNSUPERVISED POLSAR LAND CLASSIFICATION," Int'l Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2018 Valencia, Proc. (July 23-27, 2018, Valencia) TUP2.PD.3

[24] H.Kim A.Hirose, "CODEBOOK-BASED HIERARCHICAL POLARIZATION FEATURE FOR UNSUPERVISED FINE LAND CLASSIFICATION USING HIGH-RESOLUTION POLSAR DATA," Int'l Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2018 Valencia, Proc. (July 23-27, 2018, Valencia) WEP1.PD.

[25] K.Oyama A.Hirose, "Performance of entire-spectrum-processing complex-valued neural-network filter to generate digital elevation model in interferometric radar," IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI) - Int'l Joint Conf. On Neural Networks (IJCNN) 2018 Rio de Janeiro, Proc. (July 10, 2018, Rio de Janeiro) TA7.3

〔図書〕(計 1 件)

[26] 廣瀬明, 複素ニューラルネットワーク [第2版], SGCライブラリ 126 (June 2016) ISSN 0386-8257 サイエンス社

〔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：
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：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.eis.t.u-tokyo.ac.jp/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。