

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 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300089

研究課題名（和文） 複素ニューラルネットワークによる柔軟なミリ波セキュリティ・イメージングの基礎研究

研究課題名（英文） Adaptive millimeter-wave security imaging based on complex-valued neural networks

研究代表者

廣瀬 明（HIROSE AKIRA）

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：70199115

研究成果の概要（和文）：

本研究によって、次の成果を得た。(1)複数の複素自己組織化マップ間で相互情報量を観測し、それによって自己組織化ダイナミクスを変調することにより、空間テクスチャと周波数テクスチャという異質な情報を有機的に統合できることを明らかにした。われわれは、この相互情報量(mutual information)に基づく CSOM 処理方式を μ CSOM（ミューCSOM）と名づけた。(2)実時間情報取得のため 8 直線テーパスロットアンテナ(LTSA)素子の 1 次元アレイを構築し、そこに包絡位相検波(envelope phase detection: EPD)を行うフロントエンド回路を直結し空間並列化を実現した。(3)そして(2)のシステムで得られるデータを対象に、(1)の複素ニューラルネットワークによってその処理の有効性の評価を行った。移動物体に対し、背景が単純な状況では、観測生データがかなりランダムな振幅・位相値を含むにもかかわらず、CSOM は良好な可視化結果を示すことを確認し、本方式の基本的な有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

In this project, we made the following three achievements. (1)We proposed a new (complex-valued) self-organizing map (CSOM) architecture, namely μ CSOM, in which the SOM dynamics is modulated in accordance with the mutual information, resulting in organic integration of multi-modal information, i.e., spatial- and frequency-domain texture information in the present millimeter-wave imaging system case. (2)We constructed an eight-element one-dimensional millimeter-wave linearly-tapered-slot antenna (LTSA) array, directly connected to parallel front-end circuit to realize the envelope phase detection (EPD), resulting in spatial parallelism of the system's front-end. (3)We evaluated the system consisting of (1) and (2), and found that the μ CSOM yields successful visualization output even for seemingly almost random raw observation data.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2010年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2011年度	2,100,000	630,000	2,730,000
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：ミリ波セキュリティ・イメージング、ニューラルネットワーク、複素自己組織化マップ、アレイ・アンテナ

1. 研究開始当初の背景

世界各国での複素ニューラルネットワークの研究は徐々にその応用分野を広げているが、特に近年、画像関連分野への応用が注目を集めている。本研究も、この延長線上にある。

申請者らはこれまで、世界のこの分野の研究を先導してきた（たとえば世界で初めてこの分野をまとめた単著書"Complex-Valued Neural Networks" (Springer, 2006)）。画像関連分野では、特にレーダ・イメージング・システムへの利用に力を入れて研究を推進している。これまでに、地雷を可視化する新しい適応レーダを実現するなどの成果を挙げている。これは地中レーダで常に問題となる、土塊や石、金属片などによる雑音（クラッタ）から、目的とする対象物信号を区別するために、レーダ散乱・反射画像の複素振幅のテクスチャに注目し、複素自己組織化マップでこれらを区別するものである（図 1,2）。これまでに多数の論文発表を行い、さらに実際にカンボジアで対人地雷の可視化の現地実験を行って実用化を加速し、またエジプト政府の要請により別種の地雷可視化のための技術連携を行って、高い評価を受けている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、新幹線等 駅改札でのテロ対策の初期スクリーニング（液体爆発物原料の可視化）を歩行状態のまま実現することを想定し、複素ニューラルネットワークに基づくセキュリティ用の実時間ミリ波・イメージング・システムを実現するための基礎を築くことである。特に、複素ニューラルネットワークにおける適切な情報統合の方法を開発するとともに、実用化を視野に入れた空間並列化フロントエンドのプロトタイプを製作し、実際に歩行する人のイメージング実験でデータを取得して、複素ニューロ・イメージング・システムとしての基礎評価を行う。

3. 研究の方法

研究は、まず次の(1)(2)の研究を並行して進め、続いて(3)を行う。

(1)位相・振幅・周波数の情報統合のアーキテクチャがどうあるべきか理論的な検討を行うとともに、ソフトウェアとしてそれを実現する。

(2)セキュリティシステムのミリ波フロントエンドのプロトタイプを試作する。特に、実時間情報取得のため、アンテナのアレイ化と空間並列化を行う。

(3)そして(2)のシステムで得られるデータを対象に、(1)の複素ニューラルネットワークによってその処理の有効性の評価を行う。

4. 研究成果

(1)位相・振幅・周波数の情報統合のアーキテクチャがどうあるべきか理論的な検討を行った。その結果、次のことが明らかになった。従来、質的に異なる情報である空間テクスチャと周波数テクスチャとを統合する際に、単にこれらを連結することによって1つの特徴ベクトルを作ってきた。しかしこれを改め、異なるモードの情報を、それらの相互情報量(mutual information)を観測することにより有機的に融合できる可能性を見出した。すなわち、それぞれの情報を処理する複素自己組織化マップ(complex-valued self-organizing map: CSOM)の間の相互情報量によってSOMダイナミクスを変調し、情報統合を行うことにより、類似テクスチャのクラスタリングをよりの確に行える可能性があることを、実際にソフトウェアとして実現し、実測データに対して処理を行うことで示した(図1)。われわれは、この相互情報量に基づくCSOM処理方式を μ SOM(ミューCSOM)と名づけ活用してゆくこととした。

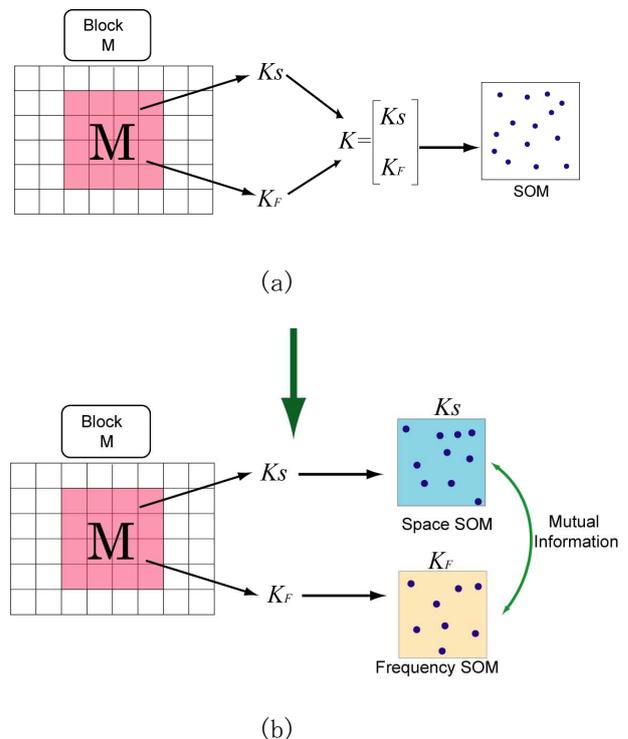


図1 ミューCSOM処理を説明する概念図。(a)従来、空間複素テクスチャ特徴量 K_s と周波数複素テクスチャ K_f を単に結合したベクトルを作って総合的な複素テクスチャ情報量としてきたが、(b)ミューCSOMではそれぞれの特徴量を別々のCSOMで自己組織化させるとともに、各々の入力信号に対する相互情報量

を観測してそれが大きい場合には自己組織化による変化を抑制する方向にダイナミクスを変調し、両 CSOM が互いに有機的な情報統合を行うようにする。

(2) セキュリティシステムのミリ波フロントエンドのプロトタイプを試作した。特に、実時間情報取得のため、8 素子の 1 次元アレイを構築し、そこに包絡位相検波 (envelope phase detection: EPD) を行うフロントエンド回路を直結した。またこれまでの実験では、ベクトルネットワークアナライザを利用してデータ取得を逐次的に行っていたものを改め、EPD により 1GHz 程度の低周波に落とした信号を同期検波する回路を並列化し、実際にシステムの空間並列化を実現した。

(3) そして (2) のシステムで得られるデータを対象に、(1) の複素ニューラルネットワークによってその処理の有効性の評価を行った。これまでに 3cm/s の速さで移動している 8cm 高さ×4cm 直径のプラスチックボトルに水を満たしたものを対象とし、計測・かしか実験を行った。背景が単純な状況では、観測生データがかなりランダムな振幅・位相値を含むにもかかわらず、CSOM は良好な可視化結果を示すことが確認された。今後、より実際的な状況での実験を進めて本方式の利点と欠点を明らかにし、欠点を克服して行く予定である。

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 13 件)

- ① 廣瀬明、複素ニューラルネットワークの応用における新展開、計測と制御、査読有、Vol.51, No.04、2012、351-357、<http://www.sice.or.jp/~journal/moku51-04.html>
- ② A. Hirose, S. Yoshida, Generalization Characteristics of Complex-valued Feed_forward Neural Networks in Relation to Signal Coherence, IEEE Trans on Neural Network and Learning Systems, 査読有, Vol.23, 2012, 541-551, DOI:10.1109/TNNLS.2012.2183613
- ③ S. Ozawa, S. Tan, A. Hirose, Errors in channel prediction based on linear prediction in frequency domain -- Combination of time-domain and frequency-domain techniques --, URSI Radio Science Bulletin, 査読有, Vol.337, 2011, 25-29, http://www.ursi.org/files/RSBissues/RSB_337_2011_06.pdf
- ④ Akira Hirose, Nature of complex number and complex-valued neural networks, Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China, 査読有, Vol.6, 2011, 171-180, DOI: 10.1007/s11460-011-0125-3
- ⑤ R. Natsuaki and A. Hirose, SPEC method - A fine coregistration method for SAR interferogram, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 査読有, Vol.49, 2011, 28-37, DOI: 10.1109/TGRS.2010.2057435
- ⑥ 廣瀬明、複素ニューラルネットワーク (特集解説)、電気学会論文誌 C、査読有、Vol.131, No.1、2011、2-8、https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ieejcss/131/1/_contents/-char/ja/
- ⑦ Y. Nakano and A. Hirose, Adaptive identification of landmine class by evaluating the total degree of conformity of ring-CSOM, Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems, 査読有, Vol.12, 2010, 23-28, <http://cs.anu.edu.au/ojs/index.php/ajiips/article/view/1128>
- ⑧ A. Handayani, A. B. Suksmono, T. L. R. Mengko, A. Hirose, Blood Vessel Segmentation in Complex-Valued Magnetic Resonance Images with Snake Active Contour Model, International Journal of E-Health and Medical Communications, 査読有, Vol.1, 2010, 41-52, DOI: 10.4018/jehmc.2010010104
- ⑨ T. Nishino, R. Yamaki, A. Hirose, Ultrasonic imaging for boundary shape generation by phase unwrapping with singular-point elimination based on complex-valued Markov random field model, IEICE Trans. on Fundamentals, 査読有, Vol.E93-A, 2010, 219-226, DOI:10.1587/transfun.E93.A.219
- ⑩ 廣瀬明、地中レーダによる地雷可視化技術 (解説)、計測と制御、Vol.48, No.10, 2009, 754-760, <http://www.sice.or.jp/~journal/moku48-10.html>
- ⑪ Y. Baba and A. Hirose, Spectral fluctuation method: A texture-based method to extract text regions in general scene images, IEICE Trans. on Information Systems, Vol.E92-D, No.9, 2009, 1702-1715, DOI: 10.1587/transinf.E92.D.1702
- ⑫ K. Tanizawa and A. Hirose, Search Control Algorithm Based on Random Step Size Hill-Climbing Method for Adaptive

PMD Compensation, IEICE Trans. on Communications, Vol.E92-B, No.8, 2009, 2584-2590, DOI:10.1587/transcom.E92.B.2584

- ⑬_r S. Tan and A. Hirose, Low-calculation-cost fading channel prediction using chirp Z-transform, Electronic Letters, Vol.45, No.8, 2009, 418-420, DOI:10.1049/el.2009_3472

[学会発表] (計 30 件)

- ① R. Natsuaki and A. Hirose, Improvement of ALOS Interferogram Quality by Use of The Local Co-registration Method Using Singular Point and Amplitude Information, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2012, to be presented, Munich, Germany
- ② A. Ejiri and A. Hirose, Landmine visualization system utilizing multiple complex-valued SOMs to integrate multimodal information, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2012, to be presented, Munich, Germany
- ③ 夏秋嶺、廣瀬明、位相特異点と振幅情報を用いた SAR 干渉画像の局所的な位置合わせによるフィルタリング性能の向上、電子情報通信学会 2012 総合大会、2012 年 3 月 22 日、岡山
- ④ A. Hirose and S. Yoshida, Comparison of Complex- and Real-Valued Feedforward Neural Networks in Their Generalization Ability, Int'l Conference on Neural Information Processing (ICONIP) 2011, 2011/11/13-17, Shanghai, China
- ⑤ A. Hirose and R. Natsuaki, Circular Property in Complex-Valued Correlation Learning Observed in CMRF-Based Singular Unit Restoration for Phase, Int'l Workshop on Intelligence Science and Intelligent Data Engineering (ISciDE) 2011 Xi'an, 2011/10/23-27, Xi'an, China
- ⑥ D. Danudirdjo and A. Hirose, Synthesis of two-dimensional fractional Brownian motion via circulant embedding, IEEE Int'l Conference on Image Processing (ICIP) 2011 Brussels, 2011/9/11-14, Brussels, Belgium
- ⑦ Akira Hirose, Complex-valued neural networks in remote sensing and imaging, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2011 Vancouver, 2011/7/25-29, Vancouver, Canada
- ⑧ R. Natsuaki and A. Hirose, Local, Fine Co-Registration of SAR Interferometry Using the Number of Singular Points for the Evaluation, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2011 Vancouver, 2011/7/25-29, Vancouver, Canada
- ⑨ 夏秋嶺、廣瀬明、振幅情報も用いた SAR 干渉画像の局所的な位置合わせによる歪み解消、2011 電子情報通信学会総合大会、2011 年 3 月 14-17 日、東京
- ⑩ 小沢章太郎、タン・ソフヤン、廣瀬明、周波数領域でのチャンネルパラメータ線形予測に基づくチャンネル予測の実験的検討、2011 電子情報通信学会総合大会、2011 年 3 月 14-17 日、東京
- ⑪ S. Ozawa, S. Tan and A. Hirose, Experimental Evaluation of Channel Prediction Based on Linear Prediction of Frequency-Domain Parameters, Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2010), 2010/12/7-10, Yokohama
- ⑫ S. Werner, L. Vietzorreck, and A. Hirose, Two-element particle isolator to reduce mutual coupling in rod-antenna arrays, Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2010), 2010/12/7-10, Yokohama
- ⑬ Y. Nakano and A. Hirose, Adaptive identification of landmine class by evaluating the total degree of conformity of ring-CSOM weights in a ground penetrating radar system, Int'l Conf. on Neural Inform. Processing (ICONIP 2010), 2010/11/22-25, Sydney, Australia
- ⑭ A. Hirose, A. Ejiri and K. Kitahara, Ground penetrating radar system with integration of multimodal information based on mutual information among multiple self-organizing maps, Int'l Conf. on Neural Inform. Processing (ICONIP 2010), Int'l Conf. on Neural Inform. Processing (ICONIP 2010), 2010/11/22-25, Sydney, Australia
- ⑮ D. Radenamad and A. Hirose, Optimization of Microstrip-to-slot Transition for Ultra-wideband Bulk LTSA, Int'l Conf. on Antennas and Propagation (ISAP 2010), 2010/11/23-26, Macao, China
- ⑯ S. Ajisaka, S. Nakamura, H. Hashimoto, K. Takiguchi and A. Hirose, Human Body Position Estimation System using Electric Field, Int'l Conf. on Control, Automation, and Systems (ICCAS 2010),

- 2010/10/27-30, Goyang, Korea
- ⑰ S. Nakamura, S. Ajisaka, H. Hashimoto, K. Takiguchi and A. Hirose, Electric-field resonance coupling between human and transmitter for human position estimation system, Int'l Conf. on Control, Automation, and Systems (ICCAS 2010), 2010/10/27-30, Goyang, Korea
- ⑱ A. B. Suksmono and A. Hirose, Numerical reconstruction of holographic microscopy images based on matching pursuits on a pair of domains, Int'l Conf. on Image Processing (ICIP 2010), 2010/9/26-29, Hong Kong
- ⑲ R. Natsuaki and A. Hirose, Enhancement of Filtering Performancy by Local and Nonlinear Corestration in INSAR Processing, Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-PASC'10), 2010/9/22-26, Toyama, Japan
- ⑳ S. Ozawa, S. Tan and A. Hirose, Errors in Channel Prediction Based on Linear Prediction in Frequency Domain, Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-PASC'10), 2010/9/22-26, Toyama, Japan
- 21 D. Mandic, I. Aizenberg and A. Hirose, Complex-valued neural networks: Theory and applications (Tutorial), Int'l Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2010), 2010/7/18-23, Barcelona, Spain
- 22 T. Aoyagi, D. Radenamad, Y. Nakano and A. Hirose, Complex-valued self-organizing map clustering using complex inner product in active millimeter-wave imaging, Int'l Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2010), 2010/7/18-23, Barcelona, Spain
- 23 Akira Hirose, Recent progress in applications of complex-valued neural networks, Int'l Conf. on Artificial Intelligence and Soft Computing (ICAISC 2010), 2010/6/13-17, Zakopane, Poland
- 24 Akira Hirose, Merits of complex-valued neural network processing, Int'l Workshop on Intelligence Science and Intelligent Data Engineering (ISciDE 2010), 2010/6/3-5, Harbin, China
- 25 D. Radenamad, T. Aoyagi and A. Hirose, Proposal of bulk LTSA to realize low antenna impedance for real time millimeter wave imaging front-end, Asia Pacific Microwave Conference (APMC 2009), 2009/12/7-10, Singapore
- 26 K. Kitahara and A. Hirose, A Concept Generation Method Based on Mutual Information Quantity Among Multiple Self-Organizing Maps, Int'l Conf. on Neural Inform. Processing (ICONIP), 2009/121-5, Bangkok, Thailand
- 27 K. Tanizawa and A. Hirose, Improvement of BER Performance by Active RMD Compensation Employing the Steepest Descent-Based Tracking Algorithm, Optoelectronics and Commun. Conf. (OECC) 2009, 2009/7/13-17, Hong Kong
- 28 R. Natsuaki and A. Hirose, Local, nonlinear adaptive co-registration of master and slave interferometric SAR complex image data for high quality digital elevation map generation, Int'l Geosci. and Remote Sens. Symposium (IGARSS), 2009/7/13-17, Capetown, South Africa
- 29 Akira Hirose, Complex-valued neural networks (Tutorial), Int'l Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2009/6/15-19, Atlanta, USA
- 30 Akira Hirose, Complex-valued neural networks: The merits and their origins, Int'l Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2009 /6/15-19, Atlanta, USA

[図書] (計 6 件)

- ① Akira Hirose (ed.), IEEE Press - Wiley, Recent advances in complex-valued neural networks, in "Complex-Valued Neural Networks: Advances and Applications", 2012, to be published
- ② Akira Hirose (ed.), IEEE Press - Wiley, Complex-Valued Neural Networks : Advances and Applications, 2012, to be published
- ③ Akira Hirose, Springer-Verlag, Complex-Valued Neural Networks, 2nd Edition, 2012, 197
- ④ R. Natsuaki and A. Hirose, InTech, Local, fine co-registration of SAR interferometry using the number of singular points for the evaluation, in "Recent Interferometry Applications in Topography and Astronomy", 2012, 95-110 /220
- ⑤ A. Hirose and Y. Nakano, InTech, Applications of Complex-Valued Self-Organizing Maps to Ground Penetrating Radar Imaging Systems,

in “Self-organizing maps: New achievements”, 2011, 323-338/702

- ⑥ Y. Nakano and A. Hirose, Adaptive ground penetrating radar systems to visualize antipersonnel plastic landmines based on local texture in scattering and reflection data in space and frequency domains, Radar Technology, In-Tech, 2009, 127-140

[その他]

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣瀬 明 (HIROSE AKIRA)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：70199115

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし