

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500285

研究課題名(和文)非対称構造を持つ層状ニューラルネットのベクトル生成による認知、記憶の計算論的研究

研究課題名(英文)Computational Study of Generation of Vectors in Asymmetric Layered Neural Networks

研究代表者

石井 直宏 (ISHII, NAOHIRO)

愛知工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：50004619

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は非対称構造を持つ神経系ネットワークが、動きの刺激の入力情報となる方向性と動きの速さに対して、敏感であることを計算論から導き出してきた。本研究では網膜、視覚系大脳皮質V1野、MT野などに見られるミクロなネットワークであるが、共通の基本構造と見なされる非対称性でかつ非線形性の回路構造がV1野での動きに対するベクトルの生成、MT野での冗長性を有した、より強いベクトルの生成と近傍を考慮したベクトル間の関係、すでにならわれば、入力刺激の強度変化の検出および動きのある刺激の方向性の検出が生物系の網膜の非対称構造のネットワークの高い能力によって、検出できることを明らかにして来た。

研究成果の概要(英文)：Biological asymmetric network with nonlinearities, which is shown in the catfish retina is analyzed for generating the movement vector from the point of the network computations. The results are applicable to the V1 and MT model of the neural networks in the cortex. The stimulus with a mixture distribution is applied to evaluate their network processing ability for the movement direction, which is characterized by vector invariants and its velocity. The characterized vector invariant equation is derived in the network computations, which evaluates the vector properties of processing ability of the network. It is shown that the vector invariants are generated in the layered network. Further, it is shown that the vector is emphasized in the MT connected after the V1. Further, the operations of vectors are shown in the divisive normalization circuit, which will create curl or divergence vectors in the higher neural network as MST area.

研究分野：ソフトコンピューティング

 キーワード：非対称構造 生物ニューラルネット 非対称ニューラルネット 層状ニューラルネット ベクトル生成
非線形ニューラルネット

1. 研究開始当初の背景

本研究では網膜、視覚系大脳皮質の V1 野、MT 野、小脳などに見られる神経系ネットワークの非対称性の構造に注目し、視覚情報の生成がいかになされるか、生成された情報がどのように保存されるか、そして視覚系の上位レベルでどのように再構築されるかを明らかにする。われわれは New York 大学の故中 研一教授との共同研究を行い、catfish の細胞の形態の分類 (IEEE Trans. Bio. Eng. Vol. 33, 1986)、その機能をウィーナの解析 (Annals of Bio. Eng. Vol. 16, 1988) に明らかにした。ここでの非対称構造が皮質の V1 野、MT 野の回路機能の基本構造となることを見出し、MST 野を含めた、新たな認知、記憶のためのベクトル場の生成を計算論的に明らかにすることである。

2. 研究の目的

生物系ニューラルネットとして、catfish の網膜のバイポーラセル、アマクリンセル、ガングリオンセル間の非対称ネットワークがある。この非対称構造を持つ神経系ネットワークが、動きの刺激入力に対して、その方向性と動きの速さに対して、敏感であることを計算論から導き出してきた。本研究では網膜、視覚系大脳皮質 V1 野、MT 野などに見られるミクロなネットワークであるがこれら各々の部位の共通の基本構造と見なされる非対称性でかつ非線形性の回路構造が V1 野での動きに対するベクトルの生成、MT 野での冗長性を有した、より強いベクトルの生成と近傍を考慮した相対ベクトルの生成、そして、MT 野に続く MST 野でのベクトル場の生成を、これらの構造と新たに展開する方法論から導き出される機能を計算論的に明らかにすることである。すでにわれわれは、入力刺激の強度変化の検出および動きのある刺激の方向性の検出が生物系の網膜に見られる非対称構造のネットワークの高い能力によって、検出されることを明らかにして来た。さらに、網膜の非対称構造のネットワークを拡張して図 1 の片方の経路の非線形性の次数を奇数次におき、もう片方の非線形性の次数を偶数次にした経路をもつ非対称構造の回路は刺激の強度変化の検出および動きのある刺激の方向性に高い能力を有することを導き出した。

3. 研究の方法

本研究では、いままで、われわれが導き出したニューラルネットの非対称構造の機能を基礎として、並列、非対称構造を持ち、その非線形性として Half-squaring Rectification を有する大脳皮質 V1 野及び V1 野に続く、同様な非対称構造の MT 野の機能を計算論的に導き出すことが出来る。2004 年の英国 (University of Stirling) での Int. Conf. on Brain Inspired Cog. Systems (BICS2004 国際会議) で、われわれは V1 野と MT 野の非

対称構造回路の高い機能を計算論的に導き出しうる事を発表し、BICS での新しい解析アプローチとして、注目された。すでに V1 野の回路が MT 野の回路に接続する 2 層状モデルが New York 大学の Heeger and Simoncelli によって発表されており、われわれの非対称回路構造の手法を適用することにより、冗長性のある、しかもこの 2 層状回路により、刺激の変化を完全に抽出できる十分性を備えていることを、2008 年 SNPD など で発表してきた。近年、米国ソーク研究所の Sejnowski により、視覚系の Slow Feature Analysis (SFA)、すなわち、視覚系にある対象物のフレームを少しずつ移動することによりフレーム間から対象物の認知の特徴的な不変的な方向性の検出等が分かってきた。しかし、フレームの方向性を示す不変量となるベクトルの方程式の導出などの計算論的な十分な検討がまだ、なされていない。そこで、本研究は、層構造ネットワークとしての V1 野および MT 野がミクロな非対称構造の回路で生成されるベクトル場の機能と近傍の回路構造と機能上どのような関係を変量を有するか計算論とシミュレーションにより、明らかにすることである。

4. 研究成果

研究代表者、石井は New York 大学の故中 研一教授との共同研究により、catfish の網膜回路の非対称構造に注目し、刺激の変化に、きわめて敏感であり、この非対称構造が動きの刺激に、ベクトル生成の機能を有することをウィーナ解析から明らかにした。本研究は非対称構造を内包する V1 野と MT 野の層状ネットワークが動きの刺激に、層状に働き、冗長性と効率性を有したベクトル生成機能となることを計算論的に明らかにする。次に、MT 野の近傍回路 (Heeger と Simoncelli の提案する Normalization 回路) が相対ベクトルを生成することを明らかにする。その結果、MT 野に続く MST 野で、絶対ベクトルと相対ベクトルによるベクトル場の生成が可能となり、ベクトル場でのベクトルの発散、収斂および回転の計算論的なベクトル機能を明らかにする。このベクトル機能は視覚回路、運動回路の非対称構造の基本回路となり、新しい処理展開を示すものである。

石井が New York 大学の故中 研一教授との共同研究により、図 1 の catfish の網膜の二つの経路が存在し、左側の B1 細胞が微分作用の応答を示し、その作用が時間的に依存し、N 細胞までの線形性経路となることを明らかにした。これらの結果を電子情報通信学会論文誌 (D-II) および英文論文誌 (A) に掲載して来た。これを基礎に図 1 の B2 細胞、C 細胞の 2 乗特性を明らかにし、N 細胞までを非線形経路とすることが明らかとなった。図 1 の非対称構造の回路は空間的刺激変化にきわめて敏感な回路となることを計算論的に明らかにした。

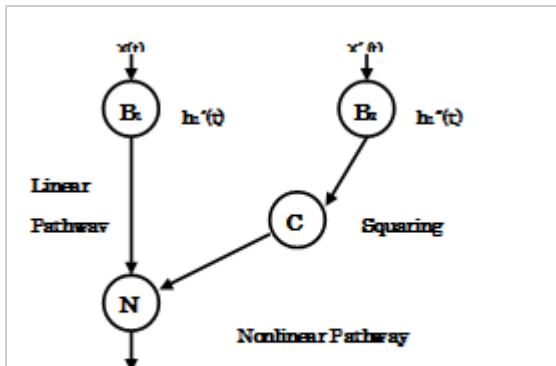


図1 非対称ニューラルネットワーク

視覚系の大脳皮質 V 1 野および M T 野が動きの刺激に反応する領域として、詳しく研究されて来ている。米国 Stanford 大の Prof.Heeger, New York 大の Dr.Simoncelli により提唱 されてきた V1 野および MT 野の神経細胞とそのネットワークモデルとして図 2 の構造が示されている。本研究ではわれわれの解析により、図 2 の Network の情報処理機能の刺激入力の強度変化の検出、動きのある刺激の方向性のベクトルの検出、動的パターン変化処理の検出の M S T 野のベクトル場の生成を計算論的に下記の手順で明らかにする。石井を中心として、鳥居と共同で研究を進める。視覚系の大脳皮質領の V1 野および MT 野の図 2 の非線形処理の Half-squaring Rectification それに続く飽和特性と正規化回路が提唱されている。

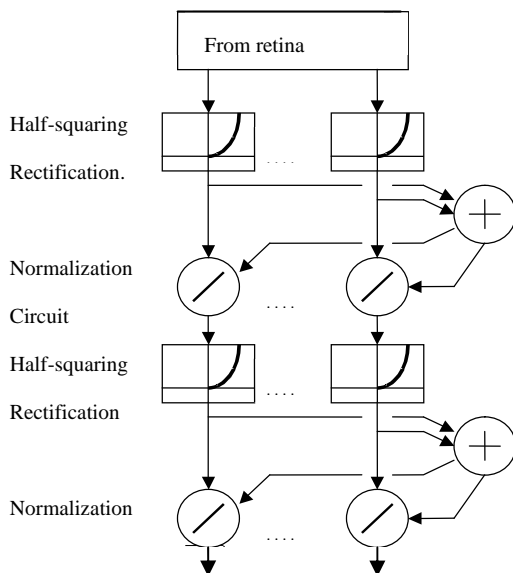


図2 V1 野に接続の MT 野との層状のニューラルネットワークモデル (Simoncelli ,Heeger による)

本研究ではこれらの V1 野および MT 野のベクトル生成機能を計算論的に導出のため、Half-squaring Rectification と、それに続く飽和特性をより近似する非線形関数を見出し、は、提案する入力 Gaussian Mixture の刺激により、図 3 の層状ネットワークの刺激入力に対する強度変化の検出、動きのある刺激の方向性の絶対ベクトルが図 4 のように V 1 から M T に進むと大きくなるのが Fukushima(2007 年)らの研究で指摘されており、この絶対ベクトルの M T 野での増大量を計算論的に示す。さらに図 2 Normalization による、近傍回路の相対ベクトルの計算論的導出を行う。これにより、M T 野での絶対ベクトルと相対ベクトルの関係を明らかにする。次に、求められた M T 野での絶対ベクトルと近傍の相対ベクトルにより、M T 野での

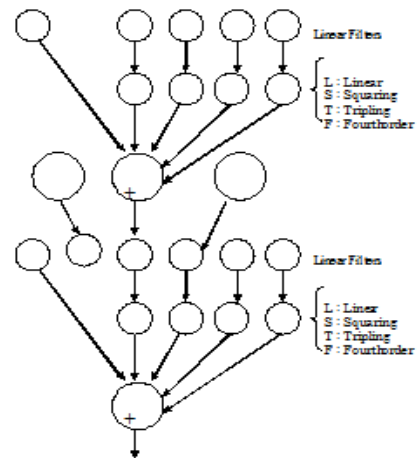


図3 図2の近似の層状ニューラルネットワーク

ベクトル場を生成することになるが、これらが M T 野から引き継ぐ M S T 野でベクトルの収斂、発散、回転をいかに生み出すかを明らかにする。

図 3 が図 2 の非線形性の Half-squaring rectification を Sigmoid 関数に置き換えて Taylor 展開による多項式展開した、回路である。この近似回路が図 1 を基本とする奇数偶数の非対称回路の集合をなし、大きなベクトル生成の層状の回路となっていることを計算論的に示した。次に、2011 年、英国の J.Beck らの正規化回路の手法が本研究でのベクトル場への生成につながることを示した。J.Beck らの提唱は、図 2 の Normalization circuit の機能のベースが細胞の応答が次のような積形式で表されることを示した。

$$r_k^C = \frac{\sum_{ij} w_{ij}^k r_i^A r_j^B}{\sum_l (\alpha_l^A r_l^A + \beta_l^B r_l^B)}$$

本研究では、この式がベクトル成分の内積と見なされることから、内積から線積分の形式に変換することにより、ベクトルの Stokes の定理につながることを示した。米国の Sejnowski らの神経回路での Stokes の定理の提唱の例証となることを示した。

$$\hat{n} \text{rot } E = \frac{1}{\Delta S} \iint_c E \hat{g} ds$$

このことは、回転ベクトルの生成を示すことになり、実験的に大脳皮質の MT 野での、回転ベクトルの存在が示されていることから、計算論的な手がかりを示したことになる。これは、ベクトル場への一つのステップを示している。

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 9 件)

Naohiro Ishii, T. Deguchi, M. Kawaguchi
H. Sasaki, Vector Operations in Neural Networks Computations, Int. Journal of Soft. Innovation, 査読有, Vol.1, No.2, IGI Global, USA, 2013, 40-52

DOI:10.4018/ijsi.2013.040104

Naohiro Ishii, T. deguchi, M. Kawaguchi
H. Sasaki, Vector Generation and Operations in Nural Networks Computations, Adaptive and Natural Computing Algorithms (ICANN2013), Lecture Notes in Computer Science, 査読有, vol.7824, Springer, 2013, 10-19

DOI:10.1007/978-3-642-37213-1

Naohiro Ishii, Ippei Torii, T. Nakashima
, H. Tanaka, Generation and Mapping of Multi-Reducts Based on Nearest Neighbor Relation, Int. Journal of Net. and Distributed Computing, 査読有, Vol.2, No.1, Atlantis Press, Paris, 2014, 1-10

DOI:10.2991/ijnd.2014.2.1.1

Naohiro Ishii, Ippei Torii, K. Iwata, T. Nakashima, Generation of Reducts Based on Nearest Neighbor Relation, Intelligent Data Eng. And Automated Learning (IDEAL2014), Lecture Notes in Computer Science, 査読有, vol.8669, Springer, 2014, 18-26

DOI:10.1007/978-3-31910840-7

Naohiro Ishii, Ippei Torii, Y. Bao, H. Tanaka
, Modified Reducts and their Processing for Nearest Neighbor Classification, Intelligent Data Eng. and Automated Learning (IDEAL 2012), Lecture Notes in Computer Science, 査読有, vol. 7435, Springer, 2012, 753-762

DOI:10.1007/978-3-642-32634-4

Toshinori Deguchi, T. Takaashi, Naohiro Ishii, On Temporal Summation in Chaotic

Neural Networks with Incremental Learning, Int. Journal of Soft. Innovation, 査読有, Vol.2, No.4, IGI Global, USA, 2014, 72-84

DOI:10.4018/ijsi.2014.100106

Naohiro Ishii, T. Deguchi, M. Kawaguchi, H. Sasaki, Vector Operations in Neural Network Computation, Proc. of IEEE/ACIS SNPD 2013, 査読有, IEEE Computer Society, 2013, 71-76

DOI:10.1109/snpd2014.6888736

Naohiro Ishii, Ippei Torii, K. Iwata, T. Nakashima, Classification on Nonlinear Mapping of reducts Based on Nearest Neighbor Relation, Proc. of IEEE/ACIS ICIS, 査読有, IEEE Computer Society, 2015 in printing

Naohiro Ishii, Ippei Torii, K. Iwata, T. Nakashima, Nonlinear Mapping of Reducts-Nearest Neighbor Classification, Proc. ACIS-CSI, 査読有, 2015, in printing

[図書](計 1 件)

Ippei Torii, Kaoruko Ohtani, Shunki Takami, Naohiro Ishii, Application of Detecting Blinks for Communication Support Tool, Studies in Computational Intelligence, vol.578, Chapter 17, 査読有, Springer Verlag, 2015, 219-231

DOI: 10.1007/978-3-319-11265-7_17

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

石井 直宏 (ISHII, Naohiro)
愛知工業大学・情報科学部・教授
研究者番号:
50004619

(2) 研究分担者

鳥居 一平 (TORII, Ippei)
愛知工業大学・情報科学部・教授
研究者番号:
50454327