

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2007

課題番号：19500197

研究課題名（和文）非対称、対称構造を持つ層状ニューラルネットの認知、記憶機構の計算論的研究

研究課題名（英文）Computational Study on Recognition and Memory Mechanism of Asymmetric and Symmetric Layered Neural Networks

研究代表者

石井 直宏（ISHII NAOHIRO）

愛知工業大学・経営情報科学部・教授

研究者番号：50004619

研究成果の概要：本研究では、今まで明らかにしてきた非対称構造、対称構造についての研究手法および結果を網膜レベルより上位にある視覚系の神経回路、すなわち、大脳皮質のV1野およびそれを入力とするMT野に適用して、V1野の刺激に対する方向性のベクトルの強さの観点から、研究を進め、層状ニューラルネットの次の層である、MT野のベクトルの強さが、さらに強くなることを計算論的手法により示した。本研究では、大脳皮質のV1野とそれに続くMT野の層状の回路が、非対称構造のネットワークを基本として、高次の非線形性で表わされることを計算論的に明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

(1) われわれはすでに神経系ネットワークについて New York 大学の中 研一教授との共同研究を行い、catfish の網膜で、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で導き出した。

(2) 非対称構造のニューラルネットワークが大脳皮質では層状に構成されており、この層状ネットワークの機能の計算論的な展開を試みたいという期待を持っていた。

(3) ニューラルネットワークの機能について、情報科学の誕生を担った、Claude E. Shannon, Nobert Wiener らの晩年の著作があるが、ニューラルネットがきわめて冗長性のある処理形態であることに言及しているが、計算論的に明らかになっていない。この予見を明らかにできないかという期待があった。

(4) 生物のニューラルネットの機能を計算論的に捉えることによって、その機能をさらに改良できるシステムの構築が出来ないかの検討を考えたかった。

2. 研究の目的

(1) 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および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。

(2) 非対称構造の層状ネットワークの非対称性が情報の生成、安定した情報の保持、次の上位への情報の橋渡しとしての機能を計算論的に明らかにすることである。

3. 研究の方法

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および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。われわれはすでに神経系ネットワークについて New York 大学の故中 研一教授との共同研究を行い、catfish の網膜の細胞の形態の構造分類から (IEEE Trans. Bio. Eng, Vol. 33, 1986) 細胞の機能をウィーナの非線形解析を適用して、分類が可能となった。これらの結果を Annals of Bio. Eng., Vol. 16, 1988 に発表した。この研究を進め、非対称のニューラルネットワークが情報の生成、保存、再構築にきわめて、有効な構造となることが分かった。これらの一連の研究を国際会議 IJCNN, Batimore (1992 Batimore (1992), Beijin (1992), Pittsburg (1993), ICANN (1994), IEEE Washigton (1995), NO LTA' 96, IEEE Maryland (1997), IWANN' 97, IEEE Washigton (1999), IWANN (2001), AROB' 01 (2002), IDEAL' 04 (2004), BICS' 04 (2004), KE S' 04 (2004), IWANN (2005), IEEE-SNPD05 (2005) および電子情報通信学会誌などの論文として発表して来た。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の回路構造および対称性の構造に注目して、これらの構造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きわめて高い能力を有することを導き出した。これらの準備の下に、以下の研究を行う。大脳皮質の視覚系の V1 野の非対称回路が catfish の網膜の非対称回路と構造上、どのような違いとなるか、計算論的に明らかにする。これが方向性ベクトルの生成の機能上、どのようなようになるかを明らかにする。このため非線形性関数の catfish の squaring が V1 野の非線形性の sigmoid 関数に変化したときの構造上の違いを計算論的に明らかにしたい。さらに V1 野に続く MT 野の 2 層構造の機能を明らかにすることである。

4. 研究成果

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。2008 年の IEEE/ACIS SNPD 国際会議の石井の Keynote Speech では、米国 Johns Hopkins Univ. の研究者らから高い評価を受けた。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、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きわめて高い能力を有することを導き出した。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 Cognitive Systems(BICS2004 国際会議)で、われわれはV1野とMT野の非対称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の基調講演で詳しく示し、米国の大学の研究者らから注目された。近年、Wiskott, Sejnowskiらにより、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、Complex cellの諸性質が導き出されることが分かってきた。しかし、われわれの研究で明らかにしてきた、非対称構造のネットワークがSFAと同じ条件下で、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野が並列、対称構造を有する中でのマイクロな非対称構造の持つ機能が全体の並列、対称構造と機能上どのような関係、不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。本研究では、はじめに計算論的にこの問題に取り組み、この不変量の問題を明らかにした。また、従来の研究で取り上げられていない非対称構造の受容野を明らかにする。非対称構造のネットワークが処理能力が高いことをわれわれの研究で明らかにしてきた。特にV1野、それに続くMT野の2段回路構成でのMT野の強いベクトル生成を計算論的に展開して、その局所的な性質を明らかにした。近年、米国のCaltecのProf. Koch, MITのProf. Poggioの神経系の非線形性の乗算機能の提案があるが、本研究で新たに展開した、Gaussian Mixture 入力最適化手法により、本研究で採用した非対称回路よりも、その能力が弱いことが計算論から算出できる。このように、各種の生物系の非線形性の違いから、それらの持つ機能の比較定性化の方法論を新たに展開することであり、この問題を計算論的に、一部を明らかにした。また、Hyvarinenらの提唱する、

Independent Component Analysis(ICA)により、自然画像を入力として、V1野のSimple cell および Complex cell の受容野の研究がなされてきた。われわれの研究では2次の非線形性を有する対称構造のネットワークよりも、非対称構造のネットワークが優れた方位選択性の能力のあることを示してきたが、さらに局在性、スケール選択性も考慮した最適化による、非対称構造ネットワークによる受容野の推定をシミュレーションにより、明らかにしたい。ICAによる解析ではWaveletによる基底ベクトルが多く算出されるが、Hyvarinenらはtopographic sparseの手法により、基底ベクトルの集合化を示した。われわれは、基底ベクトルの集合化の方法として、text classificationで開発したsimilarityによるgrouping, k-近傍法の組み合わせ法を開発して来た(2006年, 2007年, IDEAL Springer LNCS, KES, Springer LNCS, ICANNGA, IEEE/ACIS, SNPD, IEEE Comp. Soc. Proc.)。これらの方法が受容野の基底ベクトルの分類にも有用な手法と考えられ、非対称回路構造による受容野の生成の分類の研究を行う。従来、対称構造のニューラルネットワークのみ、取り上げられているが、New York大学のNaka教授のcatfishの網膜回路が非対称回路構造であることに、研究の糸口を見出した。このcatfishの非対称構造はヒトを含む高等動物の大脳皮質のV1野の非線形性に注目することによって、同様に、非対称構造の回路となり、しかも、MT野に接続される2段の非対称回路網を形成することが分かった。本研究は今までにない、新しい着想の研究であり、計算論的な解釈で、国際会議IEEE/ACIS, SNPD08の基調講演でも注目された。今までの本研究の結果はRockefeller大学のJ. Victor教授の網膜細胞の3次および4次の非線形成分が本研究での非対称構造での重要な基本処理機能に還元することを示した。また、非対称構造がノン・フーリエ運動の知覚・検出の基本構造となることの意味が大きい。さらに、われわれの手法は近年のSejnowskiらの視覚系のslow feature analysisに対して、時間領域での直接的解法を示したものであり、かつ、非対称回路の優れた能力を示したものである。本研究の層構造に展開しての2階層の非対称構造の回路特性の解明はベクトル生成とベクトル場の上位視覚処理での優れた能力を示すきわめて、新しい結果となる。異なる非線形性を持つ回路の機能の比較定性化の方法論としても新しいものと思われる。

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 12 件)

- ① Naohiro Ishii, “Layered Neural Network Computations”, Keynote Speech (基調講演), 9th IEEE/ACIS International Conference on Software Eng., Artificial Intelligence., Network and Parallel Processing, (Proc. of SNPD’ 08), Thailand, Aug, 2008
- ② Naohiro Ishii, Takahiro Yamada, Yongguang Bao “Improved Accuracy by Relearning and Combining Distance Functions”, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES08), Lecture Notes in Artificial Intelligence (Springer-Verlag), Vol. 5178, pp. 926-933, 2008
- ③ Naohiro Ishii, Takahiro Yamada, Yongguang Bao “Text Classification by Relearning and Ensemble Computation”, Software Eng., Artificial Intelligence, Net. And Parallel/Dist. Computing, Studies in Computational Intelligence, No. 149 (Springer-Verlag), pp. 217-226, 2008
- ④ Toshinori Deguchi, Naohiro Ishii, “On Capacity of Memory in Chaotic Neural Networks with Incremental Learning”, Lecture Notes in Artificial Intelligence (Springer-Verlag), Vol. 5178, pp. 919-925, 2008
- ⑤ Naohiro Ishii, Takahiro Yamada “Rough Set-Based Learning for Classification, 20th Int’ Conference on Tools with Artificial Intelli., pp. 97-104, Nov. USA, 2008
- ⑥ Naohiro Ishii, Toshinori Deguchi, Masashi Kawaguchi, “Neural Computations by Asymmetric Networks with Nonlinearities”, Adaptive and Neural Computing Algorithms, Lecture Notes in Computer Science, ICANGA’ 07 (Springer-Verlag), Vol. 4432, pp. 37-45, 2007
- ⑦ Toshinori Deguchi, Naohiro Ishii, “Delayed Learning and the Organized States”, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES07), Lecture Notes in Computer Science (Springer-Verlag), Vol. 4693, pp. 1029-1036, 2007
- ⑧ 山田貴大、石井直宏、中島豊四郎 “重みを用いた距離関数の結合によるテキスト分

類”, 電気学会論文誌 C, Vol. 127, No. 12, pp. 2077-2085, 2007

⑨ “吉田 豊、横山清子、石井直宏時系列の極値に基づく周波数推定法”, 形の科学学会誌, Vol. 21, No. 3, pp. 266-273, 2007

⑩ 吉田 豊、横山清子、石井直宏 “時系列の極値に基づく心拍変動指標”, 電気学会論文誌 C, Vol. 127, No. 11, pp. 1859-1864, 2007

⑪ “Susumu Suzuki, Toshihide Ibaraki The Complexity of Assigning Genotypes to People in a Pedigree Consistently”, Discrete Mathematics, Vol. 307, pp. 2122-2131, 2007

⑫ Naohiro Ishii, Yongguang Bao, Yuta Hoki, Hidekazu Tanaka “Rough Set Based Reducts Based Classification, New Advances in Intelligent Decision Technologies, Studies in Computational Intelligence, (Springer-Verlag), No. 199, pp. 383-391, 2009

[学会発表] (計 3 件)

① 松野圭将・出口利憲・石井直宏, “カオスニューラルネットワークによる逐次学習に関する研究”, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, O-062, 平成 20. 9. 18, 2008

② 山田貴大、石井直宏, “分類結果の再学習によるテキスト分類” O-381、平成 20. 9. 17, 2007

③ 山田貴大、石井直宏 “重みを用いた様々な距離関数の結合によるテキスト分類”, 電子情報通信学会総合大会, D-4-2, 2007

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石井 直宏 (ISHII NAOHIRO)

愛知工業大学・経営情報科学部・教授

研究者番号：50004619

(2) 研究分担者

鈴木 晋 (SUZUKI SUSUMU)

愛知工業大学・経営情報科学部・教授

研究者番号：80206490