

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：16101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700269

研究課題名(和文) 複雑ネットワークの情報処理への応用

研究課題名(英文) Complex Networks of Application of Information Processing

研究代表者

上手 洋子 (Uwate, Yoko)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・講師

研究者番号：80582642

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、複雑ネットワークを情報処理へ応用したときの性能評価を行った。複雑ネットワークのひとつであるゆとりニューラルネットワークにスケールフリー則を応用させたときの学習能力・汎化能力および耐久性にどのような特徴があるかの調査を行った。また、社会性ネットワーク構造をもつ新しい人工ニューラルネットワークを提案し、連想記憶においてその有効性を確認した。さらに、提案したニューラルネットワークの回路実装を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have investigated the performance of complex networks when the affordable neural network is applied for the information processing. We have focused on the affordable neural networks with scale-rule selection and its learning and generalization abilities. We have also proposed the new network structure which has social network property and have investigated the performance of associative memory. Finally, the proposed artificial neural network was realized by the actual circuit model.

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：生物学ニューラルネットワーク 社会性ネットワーク スケールフリー スモールワールド 学習 連想記憶 パターン認識 結合カオス回路ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

近年、脳科学研究の飛躍的な発展に伴いこれまで未解明であった脳の高次機能が明らかにされている。こういった脳情報処理機能をモデリングした人工ニューラルネットワークのさまざまな数理モデルが提案されている。しかしながら、生物学情報処理システムと人工ニューラルネットワークの性能や機能には大きなギャップが存在する。このギャップを埋め、さらなる高次機能を持つ人工ニューラルネットワークの開発が必要である。申請者は、これまでのセル・アセンブリという脳の情報処理機能の数理モデルを階層型ニューラルネットワークの中間層に応用したネットワークを考案した。このネットワークは中間層に必要以上のニューロンを用意し、全ての中間層ニューロンを用いるのではなく、動作するニューロンが毎更新時に切り替わることで、複雑なパターンによって処理を行うものである。つまり、毎回の更新時に動作していないニューロンが存在することになる。このネットワークのことを“ゆとりニューラルネットワーク”と呼んでいる。これまでに、簡単な関数近似問題やパターン認識に応用しシミュレーションを行った結果、ゆとりニューラルネットワークが学習能力、汎化能力とも従来のネットワークよりも優れていることを確認している。

また、工学アプリケーションへの実現を見据えて、回路実装したときのための故障についての動作を確認するために、学習後にある中間層ニューロンがダメージを受けて動作しなくなった場合についても調査を行った。ダメージを受けたニューロンがランダムな出力をする場合と出力がゼロになる場合の性能調査を行った。コンピュータシミュレーションによって、ゆとりニューラルネットワークはダメージの影響が少ないことがわかった。この研究の成果は、脳の情報処理機能をニューラルネットワークに反映しており、ネットワークが柔軟性や耐久性を持つことでより複雑な情報処理に適応することができると考えられる。

ゆとりニューラルネットワークは、毎更新時に動作するニューロンとそうでないニューロンが切り替わる。すなわち、入力層と中間層の結合荷重が時間に応じてスイッチングするまさに複雑ネットワークの一種である。複雑ネットワークは、スモールワールドモデルが提案されて以来、実モデルへの応用が可能なることから様々な分野で研究が行われている。しかしながら、複雑ネットワークと情報処理能力との関係や応用についての研究はさほど行われておらず、今後のより詳細な調査が必要である。そこで本研究では、複雑ネットワークを情報処理へ応用したときの性能について調査を行う。さらに、複雑ネットワークの回路実装を行う。回路に実現することで、より高速に膨大なデータを処理することが可能となり、さまざまな応用が期

待される。また、回路実装によって複雑ネットワークが現実世界に存在し得ることを証明する。

2. 研究の目的

本研究では、いくつかの複雑ネットワークに対して「スケールフリー性」、「スモールワールド性」、「クラスター性」などのネットワークプロパティと情報処理能力との関係性について調査を行う。複雑ネットワークのどのような特徴が情報処理に有効なのかは非常に興味深い。さらに、より詳細に情報処理能力を評価することができる新しい複雑ネットワークプロパティを提案する。

3. 研究の方法

(1) ゆとりニューラルネットワークのもつネットワークプロパティの調査

複雑ネットワークの一種であるゆとりニューラルネットワークに着目し、どのような特徴があるのかについて調べる。また、ゆとりニューラルネットワークに複雑ネットワークの「スケールフリー性」(次数分布のべき乗則)を持たせた場合、学習能力・汎化能力および耐久性にどのような特徴がみられるのかについて調査を行う。

(2) 新しい複雑ネットワークの提案

ゆとりニューラルネットワークだけでなく、その他の複雑ネットワークと情報処理との関係を調べるために、新しい複雑ネットワークの提案を行う。ゆとりニューラルネットワークは信号が一方通行の階層型ニューラルネットワークであるので、信号が双方向に伝播するリカレントニューラルネットワークに対して、生物学メカニズムを導入した複雑ネットワークの提案を行う。

(3) 複雑ネットワークプロパティと情報処理能力の関係および新しい指標の提案

複雑ネットワークのどのようなプロパティが情報処理能力に適しているかなどをまとめる。次に、「スケールフリー性」、「スモールワールド性」、「クラスター性」以外のネットワークの特徴を表す指標の提案を行う。

(4) 複雑ネットワークの回路実装・実験

上で設計した複雑ネットワークの回路実装を行う。ゆとりニューラルネットワークの場合は、ゆとりニューロンと結合している重みがランダムに結合が切り替わる、ダイナミックな複雑系システムであるため、その回路実装は、容易ではないと考えられるが、これまでの回路実験の経験を活かして、問題解決に尽力する。

4. 研究成果

(1) ゆとりニューロンの切り替わりにスケールフリー則を用いた場合の性能評価

我々は、ゆとりニューロンの動作方法とし

て、ネットワークプロパティのひとつであるスケールフリー則(図1)による選択方法を用いた場合の性能調査を行った。カオス時系列の学習(図2)を行った際、スケールフリー選択のほうが、ランダム選択よりも良い性能を示すことを確認した(図3)。また、中間層ニューロンの発火頻度をスケールフリー則に従うゆとりニューラルネットワークを提案し、パターン認識問題でその有効性を確認できた。これらの研究成果は、重要となるニューロンの選択があるネットワーク則に従うことで、情報処理能力が向上することを示しており、それらが何らかの関係性があることを示唆する結果となっている。

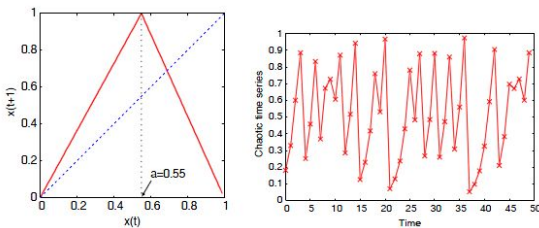
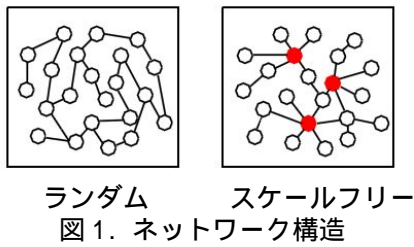


図2. 学習データ (Skew tent map)

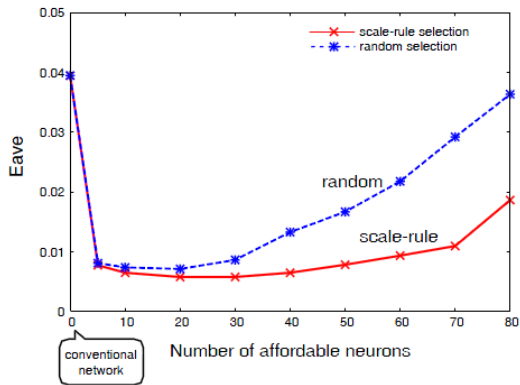


図3. シミュレーション結果

(2) 社会性ネットワーク構造を持つニューラルネットワークの提案・調査

人工ニューラルネットワークの1つにホップフィールドネットワーク(Hopfield Neural Network: HNN)がある。このネットワークは一般的に、自己結合を持たない相互結合型、つまり結合が密なネットワークとして知られている。しかし、ネットワークを実装する上では結合が密なため高いコストが生じてしまうという問題点があった。一方、Bolandらが開発したスモールワールドホップフィ

ールドニューラルネットワーク(Small World HNN: SWHNN)は、社会ネットワークに見られるスモールワールド現象をHNNに応用したもので、結合が疎なネットワークである。しかし、結合が疎であるため、例えば連想記憶の場合、記憶容量が減少してしまうなどの問題が生じる。

本研究では、この連想記憶の問題を解決するために、新たな社会ネットワークの現象の1つであるローカルブリッジの特性を持つスモールワールドホップフィールドニューラルネットワーク(SWHNN with Local Bridge: SWHNN-LB)を提案した。図4にローカルブリッジの例を示す。社会ネットワークの中で、ローカルブリッジは情報伝達をする上で、とても重要な役割を持っている。なぜなら、ローカルブリッジはある2点間を結ぶより短い経路を、より多く作ることができるからである。このことから、ネットワーク内で最短経路と2番目に短い経路の差が大きければ大きいほど、情報伝達の観点においてそのローカルブリッジがネットワークに与える影響が大きくなる。これらのローカルブリッジの特性は、スモールワールドネットワークで平均経路長を短くする役割を持つショートカットと類似している。

コンピュータシミュレーションによって、本提案ネットワークを連想記憶に応用した際もっともよい性能を示すことを確認した(図5)。

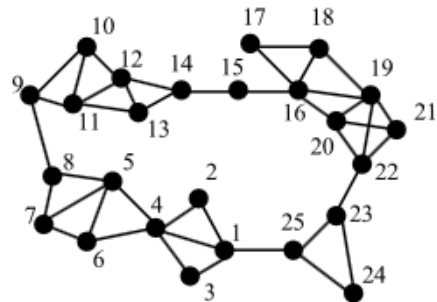


図4. ローカルブリッジの例

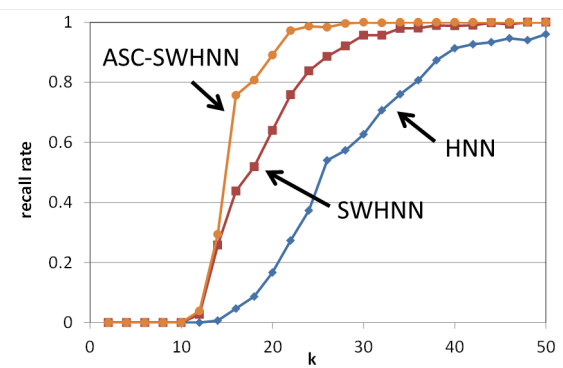


図5. シミュレーション結果

(3)学習構造と情報処理能力の関係について
 これまでに提案したスケールフリー則や社会性を有するニューラルネットワークのどのようなプロパティ(特徴・性質)が情報処理に対して優れているかについての調査を行った。まず、ゆとりニューラルネットワークの学習プロセスに着目した。ゆとりニューラルネットワークでは、学習の毎更新時に動作ニューロンと非動作ニューロンが切り替わる。そのため、ニューロン間の結合が時間的に変化するネットワーク構造を持つことになる。これにより、同じ学習パターンに対しても、異なるニューロン群で学習を行うことになる。この一見非効率に見える学習プロセスが、人工ニューラルネットワークの情報処理能力向上に影響していることを計算機シミュレーションによって確認した(図6)。

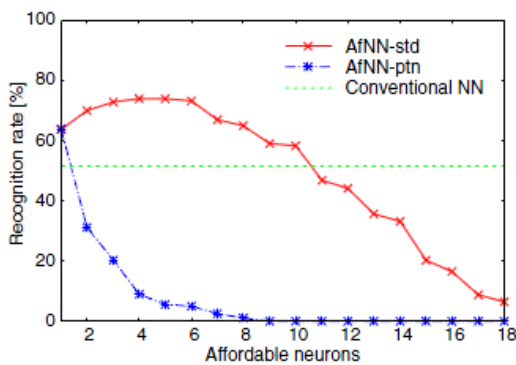


図6. シミュレーション結果

(4)社会性ネットワーク構造を持つ結合カオス回路の同期現象

先に提案した社会性ネットワーク構造を持つニューラルネットワークの回路実装として、同じ結合構造を持つ回路ネットワークモデルを提案し、その同期現象について調査を行った。回路モデルは図7に示すような森・神力回路を用いた。ネットワークモデルは図4のネットワークを回路で実現した(図8)。

結果、ローカルブリッジから同期が外れるという現象を回路モデルにおいても確認することができた(図9)。これは、社会性ネットワークの持つ構造は情報伝達に優れていることを示唆する結果である。

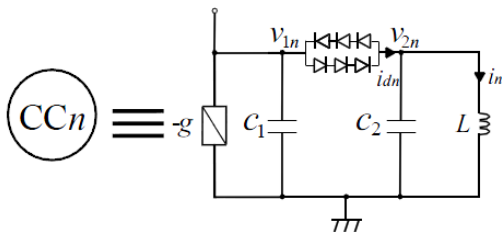


図7. 森・神力カオス 回路

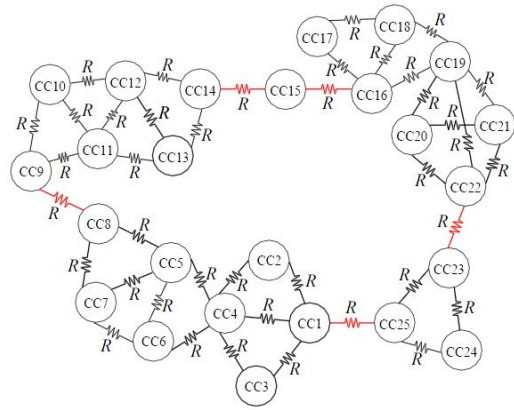


図8. 回路モデル

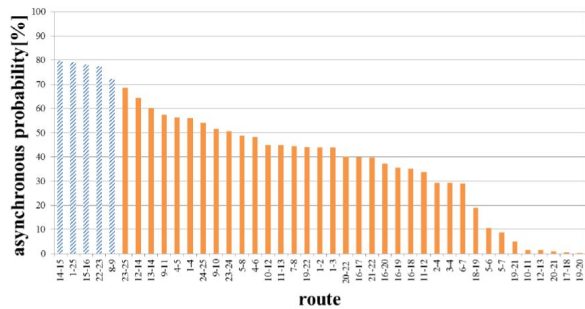


図9. シミュレーション結果(非同期率)

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 21 件) すべて査読有り

Yoko UWATE, Yoshifumi NISHIO and Ruedi STOOP, "Propagation of Frustration in Three Coupled Oscillators as a Ring Topology," Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'14), pp. 545-548, Mar. 2014.

Yoko UWATE, Thomas OTT and Yoshifumi NISHIO, "Clustering Phenomena in Coupled Chaotic Circuits with Different Coupling Strength," Proceedings of European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD'13), DOI:10.1109/ECCTD.2013.6662220(4 pages), Sep. 2013.

Kazushige NATSUNO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Motion Picture Processing by Two-Layer Cellular Neural Networks with Switching Templates," Proceedings of European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD'13), DOI:10.1109/ECCTD.2013.6662315 (4 pages), Sep. 2013.

Takuya INOUE, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Consideration of Diverse Solutions Genetic Algorithm with Virus Infection for Traveling Salesman

Problem," Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA'13), pp. 102-105, Sep. 2013.

Naoto KAGEYAMA, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Investigation of Synchronizations in Five Cross-Coupled Chaotic Circuits," Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA'13), pp. 162-165, Sep. 2013.

Saori FUJIOKA, Yang YANG, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Asynchronous Oscillations of Double-Mode and N-Phase in a Ring of Simultaneous Oscillators," Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA'13), pp. 459-462, Sep. 2013.

Takuya INOUE, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Genetic Algorithm with Virus Infection for Finding Approximate Solution," Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'13), pp. 1604-1607, May 2013.

Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Frustrated Synchronization in Two Coupled Polygonal Oscillatory Networks," Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'13), pp. 1781-1784, May 2013.

Takuya INOUE, Yudai SHIRASAKI, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Consideration of Genetic Algorithm with Virus Infection Solving Traveling Salesman Problem," Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'13), pp. 289-292, Mar. 2013.

Yoshihiro KATO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Research of Cellular Neural Networks Inspired by Actual Friendship," Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'13), pp. 428-431, Mar. 2013.

Kazusige NATSUNO, Yoshihiro KATO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Investigation of Motion Picture Processing by Two-Layer Cellular Neural Networks Switching Coupling Templates," Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'13), pp. 448-451, Mar. 2013.

Yoshihiro KATO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Cellular Neural Networks with Effect from Friend Having Most Different Values and its Friends," Proceedings of IEEE Asia Pacific Conference

on Circuits and Systems (APCCAS'12), pp. 495-498, Dec. 2012.

Tomoya SHIMA, Yoko UWATE, Thomas OTT and Yoshifumi NISHIO, "Investigation of Synchronization for Social Network with Local Bridge via Coupled Rulkov Maps," Proceedings of IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS'12), pp. 499-502, Dec. 2012.

Yudai SHIRASAKI, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "The investigation of Artificial Bee Colony Having Two Kinds of Colonies," Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA'12), pp. 223-226, Oct. 2012.

Yoshihiro KATO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Cellular Neural Networks with Effect from Friend of a Friend," Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA'12), pp. 711-714, Oct. 2012.

Takahiro NAGAI, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Synchronization of Coupled Chaotic Circuits by Regular Tetrahedron Form," Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA'12), pp. 844-847, Oct. 2012.

Hironori KUMENO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Performance of Quadratic Assignment Problem by Hopfield NN with Periodic Brake," Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'12), pp. 1353-1358, Jun. 2012.

Kosuke MATSUMURA, Takahiro NAGAI, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Analysis of Synchronization Phenomenon in Coupled Oscillator Chains," Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'12), pp. 620-623, May 2012.

Kosuke MATSUMURA, Takahiro NAGAI, Hironori KUMENO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Frustrated Synchronization in Coupled Oscillator Chains with Unbalanced Parametric Distribution," Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'12), pp. 679-682, Mar. 2012.

Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Synchronization and Frustration in Coupled Large-Scale Polygonal Oscillatory Networks," Proceedings of European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD'11), pp. 766-769, Aug. 2011.

- ⑳ Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Synchronizing Coupled Oscillators in Polygonal Networks with Frustration," Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'11), pp. 745-748, May 2011.

〔学会発表〕(計 8件)

夏野一成, 上手洋子, 西尾芳文, "切り替えテンプレートを用いた2層CNNによる動画処理の調査," 電子情報通信学会 非線形問題研究会 技術報告, no. NLP2013-71, pp. 9-13, 28th Oct. 2013, サポートホール高松(香川).

蔭山侃杜, 上手洋子, 西尾芳文, "リング状に交差結合されたカオス回路にみられる同期現象の調査," 電子情報通信学会 非線形問題研究会 技術報告, no. NLP2013-79, pp. 53-57, 28th Oct. 2013, サポートホール高松(香川).

久米保奈美, 上手洋子, 西尾芳文, "異なるサイズのリング状結合発振器を結合させたときに観測される同期現象," 電子情報通信学会 非線形問題研究会 技術報告, no. NLP2013-80, pp. 59-62, 28th Oct. 2013, サポートホール高松(香川).

上手洋子, 西尾芳文, "異なる結合強度によって一次元上に結合配置されたカオス回路で観測される同期現象," 第26回 回路とシステムワークショップ 論文集, pp. 34-38, 29th Jul. 2013, 淡路夢舞台国際会議場(兵庫).

Yuji TAKAMARU, Yoko UWATE, Thomas OTT and Yoshifumi NISHIO, "Clustering Patterns Generated in Coupled Chaotic Circuits Networks," Proceedings of IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'12), pp. 138-140, 15th Dec. 2012, 徳島大学日亜会館(徳島).

Takuya INOUE, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Genetic Algorithm with Virus Infection for Finding Approximate Solution," IEEE CASS Shanghai and Shikoku Chapters Joint Workshop on Nonlinear Circuits and Systems (SSJW'12), 26th Nov. 2012, 上海交通大学(中国).

加藤雄大, 上手洋子, 西尾芳文, "社会性を考慮した結合を持つセルラニューラルネットワーク," Proceedings of IEEE Workshop on Nonlinear Signal Processing (NSP'12), p. 1, 26th Sep. 2012, 四国大学交流プラザ(徳島).

Yoko UWATE, "Synchronization in Coupled Polygonal Oscillatory Networks," International Summer Workshop on Nonlinear Dynamics and Statistical Mechanics of Complex Systems (招待講演), 28th Aug. 2012, Lavin (スイス).

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上手 洋子 (UWATE YOKO)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・講師

研究者番号: 80582642

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: