

令和元年6月20日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06357

研究課題名（和文）複雑ネットワーク構造をもつセルラニューラルネットワークの開発と情報処理への応用

研究課題名（英文）Development of Cellular Neural Networks with Complex Network Structures and their Applications to Information Processing

研究代表者

西尾 芳文（NISHIO, Yoshifumi）

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・教授

研究者番号：80253227

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、複雑系ネットワークの研究成果を組み込んだ新しい複雑セルラニューラルネットワークを開発することを目的とし、入力画像に応じて動的に回路構成が変化するネットワークや、部分的に遅延を含むネットワークが、従来手法では困難であった画像処理を実現できる場合があることを、回路実験・計算機による数値シミュレーション・理論解析を通して、明らかにした。また、カオス発生電子回路をノードにもつ複雑ネットワークにおける情報の伝搬現象について調査を行い、ネットワークのトポロジーや結合強度がネットワーク全体の振る舞いに与える影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で対象とした高機能情報処理システムは、画像処理・パターン認識・データ分類・特徴抽出・データ予測・暗号化・符号化など、工学の様々な分野で必要とされる基盤技術であり、その適用範囲は非常に広いため社会的な波及効果も大きい。

さらに、優れた応用を示すことは、複雑系ネットワークへの一般の関心を集め、複雑系科学、神経科学、非線形回路工学の研究分野の発展にも貢献できる。

複雑系ネットワークは、脳の情報処理モデルとしても期待されているため、本研究の成果は、人間の脳による情報処理モデルとしても期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, new complex cellular neural networks including features of complex networks are developed. The proposed networks, whose circuit structure changes according to the input images or which includes delay components partially, could realize the image processing which was difficult by the conventional networks. They were confirmed by circuit experiments, numerical simulations by computers, and theoretical analysis. Further, propagation phenomena of information over the network whose nodes are chaotic circuits were investigated, and the effect of the topology and the connection strengths of the networks on the whole network were clarified.

研究分野：非線形回路工学

キーワード：セルラニューラルネットワーク 複雑ネットワーク 非線形回路 カオス

1. 研究開始当初の背景

複雑系ネットワークは、自然システムや社会システムの簡略化モデルとして注目を集め、様々な分野で広く研究がなされてきている(図1参照)。特に、近年は、工学システムのさらなる高性能化・高機能化への要求や社会システムのグローバル化・多層構造化に対応しうるモデリングの必要性などから、従来の還元論的なアプローチでは実現できない高度なシステムを設計・構築するために、複雑系ネットワークの応用に関する研究が盛んになってきている。

一方、各セル(ニューロン)が近傍のセルとのみ結合し、情報交換をする非線形アナログ並列回路であるセルラニューラルネットワーク(CNN)は、動物の網膜構造と類似した特徴をもつことから画像処理に適していると言われ、これまで多くの研究がなされてきている。CNNは、セル同士の接続関係を変えるだけで多様な機能を持ったネットワークを開発することができ、またリアルタイムで様々な処理を行うことができることに特徴がある。しかしながら、従来のCNNの研究は、リアルタイム処理を追求するために、セルの配置やセル間の結合を固定したシンプルな構造のものがほとんどであり(図2参照)、デジタル信号処理では不可能であるような高度な情報処理は実現できていない。デジタル信号処理を凌駕する人間の脳での処理に近い高機能情報処理を実現するためには、従来のCNNの枠組みを超えた斬新なアイデアが必要である。

研究代表者のグループでは、CNNを多層構造に拡張したモデル、CNNのセルを振動回路に置き換えたモデル、CNNの離れたセルをランダムに結合したモデルなど、従来のCNNの構造を改変したモデルについての研究を通して、CNNのもつ更なる可能性を引き出すための調査を行ってきている。これらの斬新なアイデアは、電子透かしや埋め込みなどのセキュリティシステムに利用できることや、導体板の高速シミュレータとしての性能を明らかにすることができたことから、高い評価を受け、国際会議で会ったハンガリー、ドイツ、中国の研究グループから共同研究の誘いを受けるなど注目を集めた。

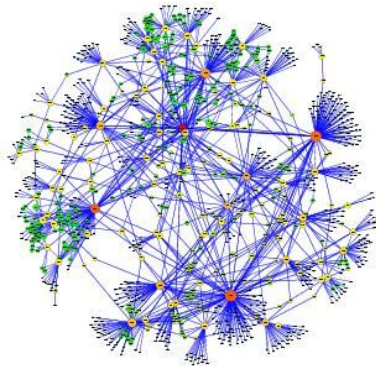


図1：複雑系ネットワークの例

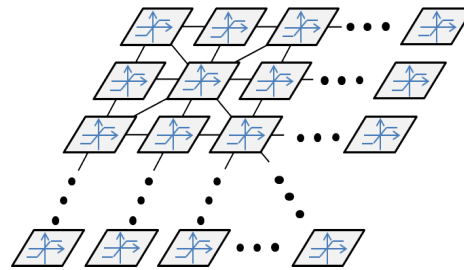


図2：従来の規則的なCNN

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者のグループがこれまでに行ってきた複雑系ネットワークの研究結果をセルラニューラルネットワーク(CNN)に組み込むことで、人間の脳での処理に近い高機能情報処理をリアルタイムで行うことができる新しい複雑ネットワークCNNを開発する。

CNNがもつリアルタイム性とアナログ非線形性の利点を最大限に活かしつつ、複雑系ネットワークの特徴である創発性や時空間変動性を積極的に利用し、また、計算機シミュレーション・回路実験・理論解析により、システム設計・特性調査・アプリケーション開発・回路実装までを行うことで、様々な実問題に適用可能な高度な情報処理システムを実現する。

3. 研究の方法

(1) 複雑ネットワーク構造をもつ3種類のCNNを設計し、高機能情報処理への応用についての詳細な調査を行う。

多層構造をもつCNNの設計

単層CNNを多層化し、層間の結合を最適化することで、所望の情報処理を行うCNN(図3(a)参照)を開発する。先行研究として2層CNNや3層CNNの研究があるが、層間の結合が均一でシンプルなものばかりであり、各層の処理がダイナミックに影響し合うことで可能となるような高機能情報処理の例は全く報告されていない。本研究では、画像のエッジ抽出を行う単層CNNの出力値を、ノイズ除去を行う単層CNNへの結合荷重の修正にリアルタイムに利用することで、結合を時空間的に変動させ、エッジ周辺のノイズを際立たせてから除去するなどの高度な処理を行う多層化CNNを設計する。

高次元セルをもつCNNの設計

従来のCNNは、各セルがRC回路で実現される非振動型のシステムである。しかしながら、刻々と変化する入力データをリアルタイムに処理したり、非線形ゆらぎを考慮してデータ予測をしたりする場合には、動的なシステムがよりフレキシブルに変化に対応できる。本研究では、各セルを振動型などの高次元回路に置き換えたCNN(図3(b)参照)を設計し、各セルの位相状態が作り出す時空間パターンに情報を対応させることで、入力データの動的なパターン認識などを行う高次元セルCNNを設計する。

複雑ネットワーク・トポロジーをもつCNNの設計

ネットワークのトポロジーを複雑化し、データのグローバルな空間的特徴を参照する創発的CNN(図3(c)参照)を開発する。申請者は、先行研究でSmall-World CNNを提案しており、CNNの局所結合による欠点を補ったり、画像に電子透かし情報を埋め込んだりできることを確認している。本研究では、セル配置の非均一化と非局所結合の導入により、自己相関関数が動的に変化する複数のピークをもつようなデータの特徴抽出などを行う複雑トポロジーCNNを設計する。

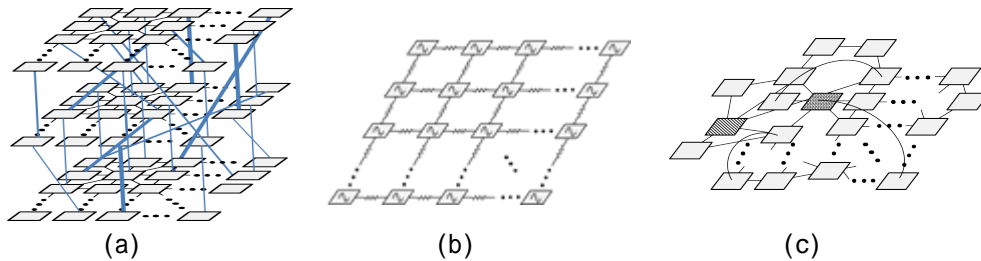


図3：複雑ネットワーク構造をもつ3種類のCNN

(2) 開発した3種類のCNNを有機的に統合し、リアルタイムで高性能情報処理を行う新しい複雑ネットワークCNNを開発する。具体的な処理内容例は下記の通り。

あいまいな判断を要するパターン認識

データの局所的な特徴に加えて、時空間的特徴を参照できる複雑ネットワーク構造を最大限に利用し、従来のデジタル信号処理が苦手とするあいまいな判断を必要とするようなパターン認識をリアルタイムに行うCNNを開発する。

高次の特徴をもつデータの分類

複雑ネットワークの自己組織化能力を利用し、多次元変数で表されるようなデータの特徴を抽出し、クラスタリングを行うことで、所望の指標によるデータの分類をリアルタイムに行うCNNを開発する。

不規則なゆらぎを含む時間的特徴の予測

層間結合や非局所的結合を入力データに対応させて更新することにより、データの不規則な時間的特徴をCNNに学習させ、より効果的なデータの予測を行うCNNを開発する。

4. 研究成果

(1) テンプレート切り替えを行うCNNによる画像処理

セルの状態値によって使うテンプレートが切り替わるようなCNNを提案し、そのエッジ抽出への応用について、計算機シミュレーションによる数値実験を行った。

(2) 部分的に遅延を与えたCNNによる画像処理

入力画像の隣接する画素値の差の大小により、処理に遅延を与えることによって、より効果的な画像処理ができるCNNの開発を行った。計算機シミュレーションにより、本提案手法が、入力画像のエッジ検出に効果があることを確認することができた。

(3) 遅延層を含む二層CNNによる画像処理

二層CNNの第二層に、遅延テンプレートを含むCNNをもつCNNの開発を行った。計算機シミュレーションにより、本提案手法が、複雑な入力画像のエッジ検出に効果があることを確認することができた。

(4) 二種類のテンプレートを含むCNNによるカラー画像処理

二種類のテンプレートを市松模様配置した二次元CNNを設計し(図4(a)参照)、カラー画像の処理を行った。二種類のテンプレートをさまざまに変化させることで、入力画像のカラー情報に依存した処理を行うCNNを設計することができた(図4(b)参照)。

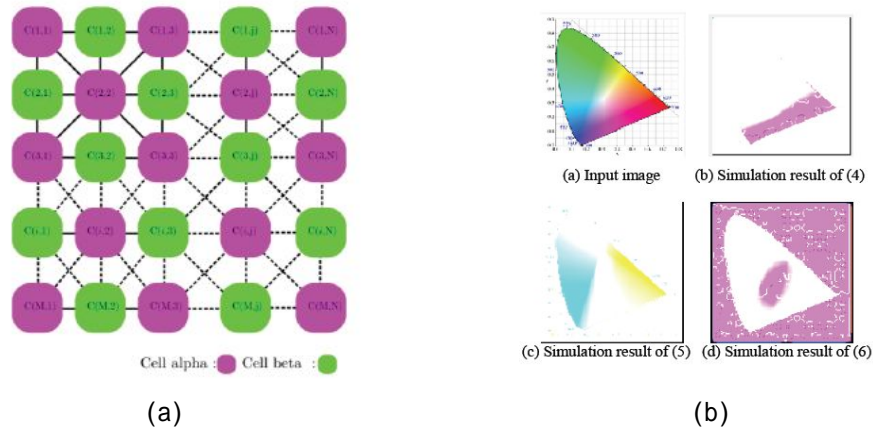


図4：二種類のテンプレートを含むCNNによるカラー画像処理

(5) 異なるトポロジーをもつ複雑系ネットワークのカオス伝搬についての研究

カオスを発生する非線形電子回路を結合した複雑ネットワークを作成し、異なるカオス発生個所に対し、カオスがネットワーク全体に伝搬していく様子を調査した。また、複雑ネットワークのトポロジーを変化させたとき、伝搬の特性がどのように変化するかについても、調査を行った。

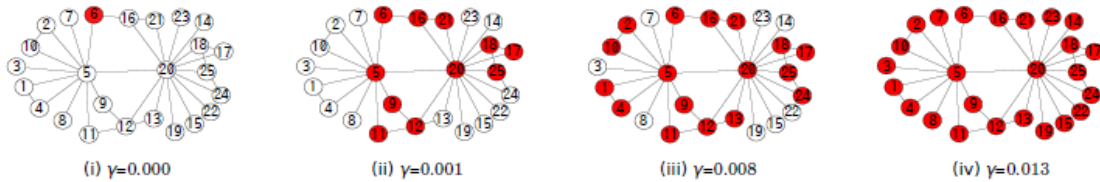


図5：異なるトポロジーをもつ複雑系ネットワークのカオス伝搬

(6) メモリスタを含む複雑ネットワーク回路

メモリスタを含むカオス発生回路、及び、結合部にメモリスタを用いた複雑ネットワーク回路の振る舞いに関する調査を行った。特に、基本的な現象の把握のために、2個のカオス回路をメモリスタで結合した簡素な系に見られる同期現象とその複雑な遷移現象について、様々な条件の下で、計算機シミュレーションを行い、詳細な調査を行った。

(7) 複雑系カオスネットワークの同期

本研究では、カオス回路をノードに持つ複雑系ネットワークにおいて、ノード間の結合の強さがノードの次数によって変化する場合にみられる複雑な同期現象についての調査を行った。計算機シミュレーションにより、ノードの次数がネットワーク全体の同期状態に強く影響を与えることが明らかとなった。

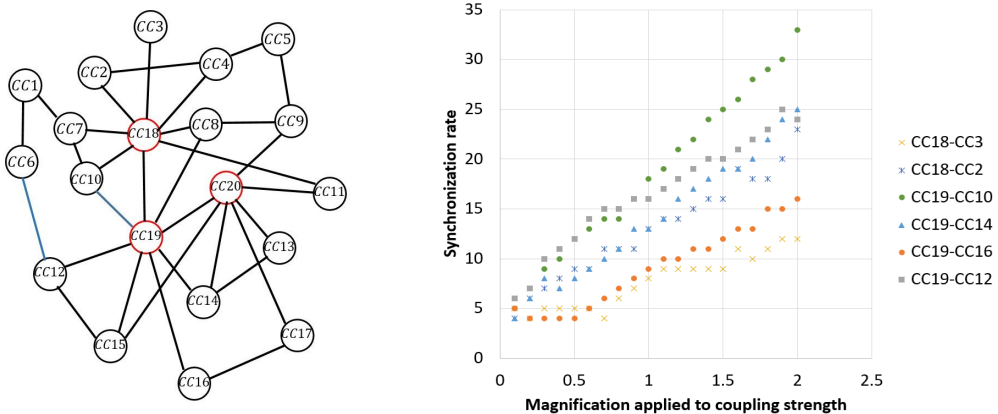


図6：複雑系カオスネットワークの同期

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 24 件)

Yasuteru HOSOKAWA, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Design of Two Template Cellular Neural Networks for Color Image Processing", Proceedings of International SoC Design Conference, pp. 162-163, Nov. 2018. (査読あり)

Kyohei FUJII, Shuhei HASHIMOTO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Synchronization Phenomena of Coupled Chaotic Circuits Network with Coupling Strength Depending on Number of Degree", Proceedings of International SoC Design Conference, pp. 164-165, Nov. 2018. (査読あり)

Akari OURA, Kyohei FUJII, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Design of Convolutional Neural Network for Classifying Depth Prediction Images from Overhead", Proceedings of International SoC Design Conference, pp. 168-169, Nov. 2018. (査読あり)

Kazuki NAGAO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Learning Method Using Acetylcholine among Neurotransmitter in Feed Forward Neural Networks", Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 284-287, Sep. 2018. (査読あり)

Daiki NARIAI, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Influence of Coupling Strengths on Synchronization Phenomena in Two Rings of Coupled van der Pol Oscillators", Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 483-486, Sep. 2018. (査読あり)

Takahisa ANDO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Two-Layer Cellular Neural Networks with Layer of Delay Output", Proceedings of International Workshop on Cellular Nanoscale Networks and their Applications, pp. 71-74, Aug. 2018. (査読あり)

Shuhei HASHIMOTO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Synchronization Phenomena of Chaotic Circuit Networks with Distributed Hub Including Positive and Negative Coupling", Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems, DOI:10.1109/ISCAS.2018.8351723 (5 pages), May 2018. (査読あり)

Yoko UWATE, Thomas OTT and Yoshifumi NISHIO, "Producing Complex Networks Using Coupled Oscillatory Circuits with Evolutionary Connections", Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems, DOI:10.1109/ISCAS.2018.8351665 (5 pages), May 2018. (査読あり)

Yasuteru HOSOKAWA, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Circuit Design of Two Template Cellular Neural Networks for the Observation of Oscillation Phenomena", Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 541-544, Mar. 2018. (査読あり)

Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Synchronization of Two Different Hierarchical Networks Using Coupled Chaotic Circuits", Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 719-722, Mar. 2018. (査読あり)

Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Modeling of Competitive Networks Using Coupled Chaotic Circuits", Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 600-603, Dec. 2017. (査読あり)

Takahisa ANDO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Cellular Neural Networks with Switching Three Templates for Image Processing", Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 257-260, Feb. 2017. (査読あり)

Takahiro CHIKAZAWA, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Investigation of Spreading Chaotic Behavior in Coupled Chaotic Circuit Networks with Various Features", Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 337-340, Feb. 2017. (査読あり)

[学会発表] (計 27 件)

Kyohei FUJII, Shuhei HASHIMOTO, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Synchronization Phenomena in Coupled Chaotic Circuits with Asymmetric Weights Depending on Length", International Workshop on Computer Vision and Signal Processing (国際学会), 2018年.

Takahiro CHIKAZAWA, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Influence of Chaotic Behavior in Complex Networks by Changing Network Topology", International Workshop on Nonlinear Maps and their Applications (国際学会), 2017年.

Yoko UWATE, Yoshifumi NISHIO and Ruedi STOOP, "Synchronization in Coupled Chaotic Circuits with Competitive Interactions", International Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems (国際学会), 2017年.

Kosuke OI, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Influence of Regional Change in Synchronization of Complex Networks in Coupled Parametrically Excited Oscillators with

Parameter Mismatch", IEEE CASS Shanghai and Shikoku Chapters Joint Workshop on Circuits and Systems (国際学会), 2016年.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：上手 洋子

ローマ字氏名：(UWATE, Yoko)

所属研究機関名：徳島大学

部局名：大学院社会産業理工学研究部（理工学域）

職名：准教授

研究者番号（8桁）：80582642

研究分担者氏名：細川 康輝

ローマ字氏名：(HOSOKAWA, Yasuteru)

所属研究機関名：四国大学

部局名：経営情報学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：20341266

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。