

令和元年9月2日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00409

研究課題名(和文) 神経振動の計算論的役割解明に向けて：時系列の時空間分節化学習の実現

研究課題名(英文) computational role of neural synchronization

研究代表者

山口 裕 (Yamaguti, Yutaka)

福岡工業大学・情報工学部・助教

研究者番号：80507236

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：情報分節化の研究として、レザバーを利用して時系列のクラスタリングに関する研究を行い、時系列を類似した区間ごとにクラスター化して表現することに成功した。情報伝播については主に次の2件の研究成果を得た。1) 搬送波を利用して神経モデルにカオスのダイナミクスを生成し、カオス的な同期発火を用いることで情報を多重に伝搬するためのモデルを構築し、情報の多重伝播と同時デコーディングが可能であることを示した。2) 振動的ダイナミクスを利用して多重情報伝播を行う神経回路モデルを研究し、カオスが「機能的ロバストさ維持及び創発的自律機能発現」に大きな役割を果たしていることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において離点間同期通信、情報の多重伝播、同時デコーディングという脳的機能の特徴の一部を実現し、情報処理機構解明研究への寄与とした。このメカニズムには同期振動やカオス、位相差、カオスの遍歴、等の非線形ダイナミクスが重要な役割を果たしていることがわかった。この成果により非線形振動現象を通じた脳機能理解や人工知能分野へにおいて役割を果たしたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Using reservoir computing approach, we successfully developed a clustering method of nonstationary time series using recurrent neural networks.

To investigate information transmission using oscillatory dynamics, we developed two neural network models described below. 1) We developed a spiking neural network model of transmitting and decoding multiplexed signals using chaotic spike trains. By introducing background oscillation and phase-shift of individual chaotic neurons, we show that transmitting and decoding of multiple signals through one channel is possible. 2) We study multiple information through chaotic neural networks. We show that chaotic dynamics can contribute to the functional robustness of the networks.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：分節化 同期振動 カオス レザバー計算

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19, CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脳の様々な階層でみられる神経活動の非線形振動現象は脳型情報処理の特質を理解するための重要な手がかりである。振動現象の計算論的役割に関する仮説として、シータ波やガンマ波が入力時系列を分節化し、離散的な系列として整形し出力するはたらきを持つ可能性が示唆されている(Lisman & Jensen 2013, Tsuda 2001, Kuroda, Yamaguti, Tsuda et al. 2009, Yamaguti, Tsuda et al. 2011)。分節化はエピソード記憶の形成やシンボリック表象の形成において必要であり脳の高次機能にとって非常に重要な過程と考えられる。しかし非線形力学系の理論に基づき振動現象の機序を解明する研究は盛んである一方、振動の存在によってどのような情報処理が可能となるのかという観点からの研究は少なく、とくに定量的にこの問題を検証する手法は確立されていない。代表者・連携研究者らの研究によって、大脳海馬 CA1 において時系列情報が階層的に表現されることが理論及び生理学実験からわかってきた(Fukushima, Yamaguti, Tsuda et al. 2007; Kuroda, Yamaguti, Tsuda et al. 2009; Yamaguti, Tsuda et al. 2011)。これらの研究においては既に分節化された情報の入力を仮定していたため、数理モデルを拡張し、振動波による分節化の作用自体を解明する必要があると考えるに至った。

2. 研究の目的

脳において非線形ダイナミクスにより生み出される振動的神経活動が脳の情報処理にとって「なぜ」必要であるかを計算論的に定量的な形で明らかにするために数理モデル研究を行う。具体的には、振動的活動の役割として、入力時系列の時空間分節化とその伝搬に着目し、RCモデルを用いて入力時系列がガンマ振動やシータ振動の作用により時空間的に分節化され伝搬する機構を解明し、その能力を定量的に評価する。時系列の(1)分節化、及び(2)分節化された情報の伝搬のそれぞれに関して数理モデル研究により解明する。

3. 研究の方法

分節化モデルにおいてはレザバーコンピューティングの手法を利用したモデルを構築し、非定常性をもつ時系列に対し、どのように応答するか解析し、その結果を分節化に利用する。振動を利用した情報の伝搬に関しては、振動的入力を持つスパikingニューロンにおけるカオス性に着目し、カオス的な時系列を複数重畳して伝搬する能力を検証する。とくに背景振動が個々のニューロンに入力されるとき位相をニューロン毎に変化させることにより、同期振動集団の形成を制御することを目指す。さらに連想記憶回路を元に、結合を一定割合削除することでカオス的なダイナミクスを発生する神経回路モデルを構築し、回路に複数の情報を同時に入力した際の挙動を調べ、情報の多重伝搬が可能か検証する。

4. 研究成果

以下に示す1)レザバーによる情報の分節化、2)時系列情報の伝搬の研究により、特に振動的ダイナミクスを利用した情報伝播の検討を行い、特にカオス的なダイナミクスが存在する際の情報伝播の様式について一定の研究成果を出すことができたと考えられる。

4-1. レザバー回路による時系列の分節化

レザバーコンピューティングを利用した情報分節化の研究として、レザバーが非定常な時系列を識別する能力を持つか検証する研究を行った。レザバーに非定常性を持つ時系列を入力し、時系列を一定長ごとに分割した各区分ごとに予測器を構成し、他の区分を予測する。この相互予測誤差を区分間の非類似度として扱い、長い時系列を分割した小区間の間の非類似度をもとにクラスター化することに成功した(図1)。この成果は論文に発表した。

またレザバーに対し、異なった複数の情報を同時入力し、複数のタスクを同時に行わせる課題を考え、レザバーの最適化を自己組織的に行わせることを目的とした研究を行った(図2)。入力を一部のニューロンに制限した場合、通常のレザバーではタスク遂行能力が低いですが、進化アルゴリズムを使ってレザバー内部の結合構造・結合重みを最適化させると、タスクをよく学習できることを見出した。このとき、内部にそれぞれのタスクに特化したネットワークが構成されている可能性を発見した。この成果は学会発表を行っており、現在論文投稿準備中である。

4-2. 非線形ダイナミクスを持つ回路における振動を利用した信号の多重伝搬

カオス的なダイナミクスを内在する神経回路系の中でガンマ波を典型例とする振動的ダイナミク

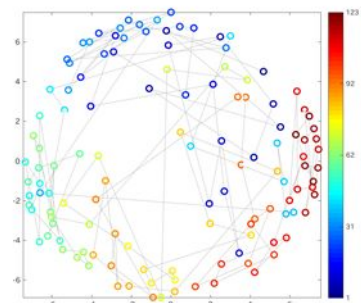


図1 レザバーを利用した時系列間の類似度の可視化の例。

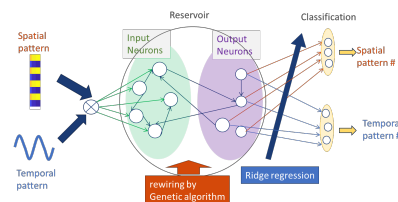


図2 レザバーによる複数のタスク同時実行モデル

スを利用して多重情報伝播を行うモデルを研究した。一例として、制御機能としては「不良設定問題」とみなされるような課題を遂行する機能ロボットを取り上げた。そして「カオスを内在する神経回路網」を用いて不良設定問題求解を伴う機能を実現する計算機実験を行った。結果として、脳神経系の大きな冗長度を基にしたカオスが「機能的口バストさ維持及び創発的自律機能発現」に大きな役割を果たしていることを示し、研究成果として論文に発表した。また、素子を多数拡散結合させ、GABA 神経群と呼ばれる脳内神経の一群に類似した発火パターンダイナミクス（脳内カオスの動作）の計算機実験を行った。それにより離点間同期通信という脳の機能の一部を実現し、情報処理機構解明研究への寄与とした。その成果を国際会議で発表、および論文として出版した。

また、搬送波を利用して神経モデルにカオスのダイナミクスを生成し、カオス的な同期発火を用いることで情報を多重に伝搬するためのモデルを構築し、数値実験を行った。素子ごとに入力される搬送波の位相を調節する機構をモデルに導入することで同期集団の構成を変更し、情報の多重伝播と同時デコーディングが可能であることを示した。この成果は論文に出版した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

1. 山口 裕, 児嶋 大也, 宮寄 鋼, Echo state network による時系列からの非定常性の検出, 福岡工業大学総合研究機構研究所報, 1, 2019, 43-46 (査読無)
<http://repository.lib.fit.ac.jp/handle/11478/1219>
2. Seiji Kuwada, Tomoya Aota, Kengo Uehara, Shigetoshi Nara, Application of chaos in a recurrent neural network to control in ill-posed problems: a novel autonomous robot arm, BIOLOGICAL CYBERNETICS, 112, 2018, 495-508(査読有)
DOI:10.1007/s00422-018-0775-9
3. Tomoyuki Yano, Yoshitomo Goto, Tomoyuki Nagaya, Ichiro Tsuda, Shigetoshi Nara, A Pseudo-neuron Device and Firing Dynamics of Their Networks Similar to Neural Synchronizing Phenomena Between Far Local Fields in the Brain, Advances in Cognitive Neurodynamics VI, 2018, 109-117 (査読有)
DOI: 10.1007/978-981-10-8854-4_14
4. Akihiro Yamaguchi, Yutaka Yamaguti, Masao Kubo, Selective synchronization of the coupled bifurcating neurons for phase shift of background oscillation, Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, 5, 2018, 79-82 (査読有)
DOI: 10.2991/jrnal.2018.5.2.1
5. Akihiro Yamaguchi, Yutaka Yamaguti, Masao Kubo, Decomposition of Superimposed Chaotic Spike Sequences by using The Bifurcating Neuron, Advances in Cognitive Neurodynamics VI, 2018, 3-9 (査読有)
DOI: 10.1007/978-981-10-8854-4_1
6. Ken-ichiro Soma, Shigetoshi Nara, Simultaneous Multitask Performing with Use of Chaos in a Quasi-Three-Layered Recurrent Neural Network, Advances in Cognitive Neurodynamics (V), 727-733, 2016 (査読有)
DOI:10.1007/978-981-10-0207-6_98

〔学会発表〕(計 4 件)

1. Akihiro Yamaguchi, Yutaka Yamaguti, Masao Kubo, Phase shift estimation of the bifurcating neuron from superimposed chaotic spike sequences, Proceedings of the 2019 International Conference on Artificial Life and Robotics, 2019
2. 山口裕, 拘束条件付き自己組織化による脳機能分化の数理モデル, RIMS 共同研究 "Mathematical Analysis of Self-Organization with Constraints", 2018
3. 津田一郎, 行木孝夫, 奈良重俊, 山口裕, 山口明宏, 田所智, 渡部大志, 藤堂真登, ネットワーク自己再組織化の数理的基盤の創成, 新学術領域「オシロロジー」第2回領域会議, 北海道札幌市シャトレーゼガトーキングダム札幌, 2016年6月27 - 28日
4. Shigetoshi Nara, Hiromichi Tsukada, Hiroshi Fujii, Ichiro Tsuda, A Three Modules Scenario in An Interpretation of RCVH-DLB & Computer Experiment, Joint Meeting between Japanese and British Research Groups of RCVH-DLB, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, United Kingdom, March 7, 2017

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：奈良重俊

ローマ字氏名：Shigetoshi Nara

所属研究機関名：岡山大学

部局名：自然科学研究科

職名：特命教授(研究)

研究者番号(8桁): 60231495

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：津田一郎

ローマ字氏名：Ichiro Tsuda

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。