

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：37111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21561

研究課題名(和文)非同期ニューラルネットワークによるノイズ無し確率共鳴

研究課題名(英文)Noiseless stochastic resonance by asynchronous neural network

研究代表者

保坂 亮介 (Hosaka, Ryosuke)

福岡大学・理学部・助教

研究者番号：80569210

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：微弱で検出が困難な信号に対し、ノイズの付加で検出を可能にする確率共鳴現象が知られている。生物の捕食等に利用される他、シュミットトリガーなど工学的にも広く応用されている。確率共鳴では複数の検出器を独立に駆動する必要があり、通常はこれを独立ノイズの印加で実現するが、実システムでは近接した検出器に独立ノイズを印加することは困難を伴う。本研究課題では、神経生理学で発見された非同期神経回路網を応用し、ノイズなしに検出器を独立に駆動し、ノイズ無し確率共鳴を実現するための基礎的研究を行い、その有用性を確認した。

研究成果の概要(英文)：To detect weak signals below a threshold of a detector, the stochastic resonance (SR) is widely used, including fishes and crayfish. Also SR is used for the engineering applications like Schmitt triggers. To realize the SR system, the detectors are required to be driven independently. Usually, this is achieved by adding noises to detectors. For real systems, however, to add independent noises to many detectors has many difficulties. To avoid this problems, this study proposed an idea to use the asynchronous neural network as detectors. The asynchronous neural network are composed of excitatory and inhibitory neurons, and by adjusting connecting strength, the element cells can be independent each other. By computer simulations, we confirmed its usefulness.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：確率共鳴 非同期ニューラルネットワーク 興奮抑制バランス 学習

1.研究開始当初の背景

確率共鳴とは、検出できないほどに微弱な信号を、ノイズを用いることによって検出可能にする方法である。確率共鳴は氷河期の周期性の説明として提案され (Benzi, *Journal of Physics*, 1981)、その後、コオロギの風感知システムやザリガニやヘラチヨウザメの捕食に用いられていることが確認された (Douglass et al, *Nature*, 1993)。ヒトの知覚にも確率共鳴が用いられていることが知られている (Kitajo et al, *Physical Review Letters*, 2003)。また、工学応用にも広く用いられ、シュミットトリガー等の電子回路等にも応用されている。医学臨床応用では、検出の難しかった動脈圧の検知に用いられている (Soma et al, *Physical Review Letters*, 2003)。印加されるノイズには白色ノイズが多く用いられているが、有色ノイズの有用性が報告され、環境ノイズを用いる方法も提案されている (Nozaki et al, *Physical Review Letters*, 1999)。印加するノイズの強度は信号の強度に依存し、ノイズ強度が弱すぎれば信号を検出できず、強すぎれば元信号波形を破壊してしまう。したがって、信号ごとに適切な大きさにノイズ強度を調整する必要がある。しかし、信号は未知であるためノイズ強度の決定は難問題であった。この問題に対し Collins らは、検出器をネットワーク化する解決策を提案し、ネットワーク化された各検出器に独立にノイズを印加することでノイズ強度を調整すること無く確率共鳴を起こせることを示した (Collins et al, *Nature*, 1995)。さらに、従来は信号のピーク時刻のみ検出可能であったが、ネットワーク化により、元信号の波形を推定できるようになった。Collins の方法では各検出器に独立なノイズを印加する必要があるが、検出器は多くの場合に近接しており、近接した検出器に独立なノイズを印加する

のは、集積回路等の微小システムでは容易ではない。また、独立にノイズを作成できたとしても、環境ノイズ等が加わることによってノイズが相関を持ってしまう (ノイズ相関)。ノイズが相関を持つと信号検出能力は著しく低下してしまう。そこで、力学系が生み出すゆらぎ (カオス) を用いた方法などが考案されたが、カオスを生み出さない検出器を用いることができない等の問題があった。

2.研究の目的

そこで申請者は、神経生理学での近年の発見をもとに、ノイズを用いない確率共鳴を提案した。脳・神経系に興奮性ニューロンと抑制性ニューロンが混在する機能的意義は近年よく調べられており、例えば、興奮性ニューロンと抑制性ニューロンがバランス良く活動することにより (例えば、4対1の活動比)、脳内の情報表現がノイズによる摂動に強くなる (ロバストネスを持つ) ことが知られている (Miura et al, *Journal of Neuroscience*, 2007)。さらに近年、興奮性ニューロンと抑制性ニューロンから成るニューラルネットワークは、両者がバランスよく活動することにより、各ニューロンの状態変数 (膜電位) が互いにバラバラになること (非同期化) が明らかになった (Renart et al, *Science*, 2009)。ニューロン群の状態変数の非同期化によって、生体内での信号検出力が向上すると考えられており、実際に、ラットがヒゲを用いて環境を探索するときには、ヒゲに対応するニューロン群の状態変数が非同期化することが確認されている (Paulet and Petersen, *Nature*, 2008)。そこで我々は、ネットワーク化した検出器として、この非同期ニューラルネットワークを用いることを提案した。この非同期性を用いれば、独立ノイズを用いること無く検出器である二

ニューロンの状態変数を独立に保つことができ、ノイズ不要の確率共鳴が実現できると考えた。

3. 研究の方法

上記の背景およびこれまでの研究成果をもとに、研究期間内には以下の研究課題を実行した。ニューロンモデルの力学的構造の解析 興奮性ニューロンと抑制性ニューロンから成る非同期ニューラルネットワークの作成 非同期ニューラルネットワークの独立性の評価 ノイズ無し確率共鳴の性能評価

4. 研究成果

(1) ニューラルネットワークを構成するにあたり、構成単位である単一ニューロンモデルが入力に対しどのように振る舞うかを力学的観点から調べた。特に確率的にゆらぐ状況における振る舞いを

Hindmarsh-Rose モデルを用いて調べた。その結果、ニューロンモデルのスパイク列の3次統計量 (Coefficient of Variation) のダイナミックレンジがニューロンモデルの双安定性に大きく影響を受けることがわかった。双安定性は Andronov- Hopf 分岐を経由する発火活動でしばしば観測される振る舞いであるが、Limit cycle と同居する saddle-mode 分岐での双安定性でも同様の結果が得られた。

(2) 次に、興奮性ニューロンと抑制性ニューロンから成る非同期ニューラルネットワークの作成を行った。興奮性ニューロンが80%、抑制性ニューロンが20%から成るニューラルネットワークを高速計算機上に実装した。ニューロン挙動をシミュレートするニューロンモデルには、計算コストと再現できる発火パターンの多様性を考え、Izhikevich ニューロンモデルを用いた。興奮性ニューロンと抑制性ニューロンには

異なるパラメータを用い、それぞれの特徴である、頻度の低いゆっくりとしたスパイク活動(興奮性ニューロン)、頻度が高く、スパイク間隔の短いスパイク活動(抑制性ニューロン)を再現した。計算コストのさらなる低減を狙いとして、数値計算には Izhikevich モデルを適応刻み幅制御によって離散化したものを用いた。その他のパラメータ等は非同期ニューラルネットワークの先行研究に従った (Renart et al, Science, 2010)。

(3) 続いて、実装されたニューラルネットワークの各ニューロンの状態変数が互いに非同期化していることを評価した。評価関数には相関係数を用い、十分に長い時系列を生成して評価した。その結果、ニューロン間の相関は低く保たれ、非同期神経回路が達成されてことが確認された。また、各ニューロンの自己相関も低く、これより律動的ではなくランダムに各ニューロンが活動していることがわかった。このことは、ウェーブレット解析を用いた時間周波数解析でも確認された。確率共鳴に用いられるノイズには通常は白色ノイズが用いられるが、ピンクノイズやブラウンノイズなどの有色ノイズを用いることによって、信号検出能力が向上するという報告がある。そこで非同期ニューラルネットワークのニューロンの状態変数が、より何色のノイズに酷似しているかをパワースペクトルから評価した結果、相関の少ないホワイトノイズに近いことがわかった。

(4) 最後に、ノイズ無し確率共鳴の性能評価を行った。まず、作成された非同期ニューラルネットワークに微弱な入力信号を入力し、その検出を行った。入力信号には、正弦波、周波数と振幅の異なる正弦波の重ねあわせの2種類を用いた。性能評価は先行研究との比較により行い、比較対象は、ネットワーク化しない検出器に白色ノイズ

を印加した確率共鳴、Collins らの提案したネットワーク化した確率共鳴、の2種とした。ノイズ強度を徐々に増やした時に最高でどれだけの再現度で検出できるか、ノイズの変化に対してどれだけ非選択的に信号検出できるか、を基準に評価した。元信号と検出された信号の比較は相関係数を用いて行なった。その結果、単一の検出器みの場合と比較して、非同期ニューラルネットワークを検出器として用いると、より検出力が向上することが確認された。

Collins らの提案したネットワーク化した確率共鳴と比較すると、その性能は必ずしも向上しているとは結論づけられなかった。この原因として、ニューロン同士の非同期化が弱く、相関が残っているためと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

1. Toshi Nakajima, Haruka Arisawa, Ryosuke Hosaka, and Hajime Mushiake, "Intended arm use influences interhemispheric correlation of beta oscillations in primate medial motor areas," *Journal of Neurophysiology*, 査読あり, Vol. 118, No 5, pp.2865-2883, 2017.
<https://doi.org/10.1152/jn.00379.2016>
2. Ryosuke Hosaka, Toshi Nakajima, Kazuyuki Aihara, Yoko Yamaguchi, and Hajime Mushiake, "The suppression of beta oscillations in the primate supplementary motor complex reflects a volatile state during the updating of action sequences," *Cerebral Cortex*, 査読あり, Vol.26, No 8, pp.3442--3452, June, 2016.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhv163>
3. Ryosuke Hosaka and Yutaka Sakai, "Anomalous Neuronal Responses to Fluctuated Inputs," *Physical Review E*, 査読あり, Vol.92, issue 4, 042705, Oct, 2015.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.92.042705>

〔学会発表〕(計14件)

1. Ryosuke Hosaka, "Bistability generates highly irregular spike trains with weakly fluctuated inputs," *CNS*, July 15-18, 2017, Antwerp (Belgium).
2. Ryosuke Hosaka, Hidenori Watanabe, Toshi Nakajima, and Hajime Mushiake, "Increased LFP theta power reflects memorization of movement in primate motor areas," *Neural Oscillation Conference*, June 16-18, 2017, 東京大学 (東京都文京区)
3. Ryosuke Hosaka, "On Modeling Postsynaptic Potentials of Plastic Neural Networks," *NOLTA ソサイエティ大会*, June 10, 2017, 中京大学 (愛知県名古屋市).
4. Ryosuke Hosaka, "Strange neuronal responses to fluctuated inputs," *International Conference on Mathematical Neuroscience*, May 30-Jun 2, 2017, Colorado (USA).
5. 保坂亮介, 渡邊秀典, 中島敏, 虫明元, "サル運動野の LFP シータパワーの増加は運動の記憶を反映する," *日本生理学会大会*, Mar 28-30, 2017. アクトシティ 浜松 (静岡県浜松市).
6. Ryosuke Hosaka, "Emergent oscillatory activities of plastic

- neural networks,” International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Nov. 27-30, 2016. ニューウェルシティ湯河原 (神奈川県湯河原町).
7. Ryosuke Hosaka, “Bi-stable states allow neurons to generate highly irregular spike trains with weakly fluctuated inputs,” Society for Neuroscience Annual Meeting, Nov. 12-16, 2016, San Diego (USA).
 8. Ryosuke Hosaka, Toshi Nakajima, Kazuyuki Aihara, Yoko Yamaguchi, and Hajime Mushiake, “Complementary contribution of beta and high-gamma oscillations for updating motor plan in the primate supplementary motor complex,” FENS forum, July 2-6, 2016, Copenhagen (Denmark).
 9. Ryosuke Hosaka, “Highly irregular spike trains generated from weakly fluctuated inputs,” 電子情報通信学会 総合大会, Mar. 15-18, 2016,九州大学(福岡県糸島市).
 10. Ryosuke Hosaka, “Highly irregular spike trains generated from weakly fluctuated inputs,” International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, China, Dec. 1-4 2015, Hong Kong (China).
 11. Ryosuke Hosaka, Toshi Nakajima, Kazuyuki Aihara, Yoko Yamaguchi, and Hajime Mushiake, “The Beta power suppression in early delay period reflects volatile state in updating action sequence in the primate medial motor complex,” Society of Neuroscience Annual Meeting, Oct. 17-21, 2015, Chicago (USA).
 12. Shin-ichiro Ohsawa, Masaki Iwasaki, Ryosuke Hosaka, Yoshiaya Matsuzaka, Hiroshi Tomita, Toru Ishizuka, Eriko Sugano, Eiichi Okumura Hiromu Yawo, Nobukazu Nakasato, Teiji Tominaga, and Hajime Mushiake, “Optogenetically-induced seizure and longitudinal hippocampal network dynamics,” 日本神経化学学会大会, Sep 11-13, 2015,大宮ソニックシティ(埼玉県さいたま市)
 13. 保坂亮介, 中島敏, 合原一幸, 山口陽子, 虫明元, “サル内側運動領野のベータパワー減少は運動の更新に伴う神経表現の不安定化を反映する,” 日本神経回路学会, Sep 2-4, 2015,電気通信大学(東京都調布市).
 14. Ryosuke Hosaka, Toshi Nakajima, Kazuyuki Aihara, Yoko Yamaguchi, and Hajime Mushiake, “Beta power suppression in early delay period reflects volatile state in updating action sequence in the primate medial motor areas,” 日本神経科学大会, Japan, 2015, 神戸国際会議場(兵庫県神戸市).
- 〔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
<http://www.cis.fukuoka-u.ac.jp/~hosaka>
6. 研究組織
(1)研究代表者
保坂 亮介(HOSAKA, Ryosuke)
福岡大学・理学部応用数学科・助教
研究者番号: 80569210