

論文内容要旨 (和文)

平成 28 年度入学 大学院博士後期課程

バイオ工学 専攻 応用生命 分野

氏 名 _____ 松村 泰志



論文題目 Computational Study on Synaptic Learning in Cortical Local Circuit
(大脳皮質神経局所回路におけるシナプス可塑性の計算論に関する研究)

神経情報処理のさらなる理解のための研究は生理学的側面からだけでなく、神経回路モデルを用いた理論的側面からのアプローチも盛んに行われている。また近年深層学習の分野では視覚系の神経回路モデルによって、高精度に画像認識を行えるようになってきている。本論文では大脳皮質神経局所回路における、シナプス可塑性についての現実的神経回路モデルを用いた3種類のシミュレーションと、ニューラルネットワークの工学的応用に関する研究をまとめた4つの研究について報告する。

1つ目の研究では、近年提案されたシナプス学習則log-STDPのリカレントネットワークにおける計算論的役割について調べた結果についてまとめる。Log-STDPはそれまで提案されてきた学習則が持っていた生理学的に妥当でないいくつかの点を解決できる学習モデルとして提案された。しかし局所回路レベルでの計算論的意義に関してはあまり知られていなかった。本研究では神経回路がlog-STDP学習を通じて異なる性質を持った視覚刺激をそれぞれ全く異なる内部状態へと保存することを明らかにした。また神経集団レベルのアクティビティもまた学習を通じて全く異なる状態を遷移することが明らかになった。

2つ目の研究では、脳波を模した周期背景入力をバックグラウンドに、シナプス可塑性を持つ局所神経回路が時間構造を持つ外部刺激に対してどのような構造を獲得するのかを調べた。ある2つの周波数パラメータにおいて獲得される内部結合に違いが顕著に現れ、この違いが背景入力として与えられるノイズの強度によって調節されることを明らかにした。脳波という内部振動状態の違いが動物の認知機能や行動の違いと対応されるという現実世界での事象とこれらの結果は類似しており、そのような認知や行動の神経メカニズムの理解を助けることが期待できる。

3つ目の研究では、多くの大脳皮質領域において観測されるUP-DOWN遷移という現象に注目している。UP-DOWN遷移は記憶の固定化と密接に関連しているデルタ周期の脳波の由来と考えられている。UP-DOWN遷移の度合いを調節できるモデルとSTDP学習を組み合わせた実験の結果、STDPがシナプスを上限もしくは下限値へと収束させる強い力をもたらすにも関わらず、その中にどちらの値にも収束させないシナプスを出現させることがわかった。ただしこの結果は単純なフィードフォワード回路におけるものであり、より現実的な回路モデルにおいても検討する必要がある。

4つ目の研究は、近年目覚ましい発展を遂げている深層学習分野におけるニューラルネットワークを用いた、ショウジョウバエの自動ライフイベント検出システムの開発である。ショウジョウバエは遺伝子操作や薬理処理の効果がその発生や行動によく表れるため、こうした処理のスクリーニングにしばしば用いられる。しかし発生や行動検出は人の目によって行われており、多個体かつ同時検出が難しい。本研究では市販の画像スキャナによりショウジョウバエ群の動的変化をタイムラプス画像としてキャプチャし、ニューラルネットワークを用いたセマンティックセグメンテーションによって個体をピクセル単位で自動検出、羽化や死亡などといったライフイベントと活動量の動的変化を自動検出するシステムを構築した。セグメンテーションの精度は99%を超え、熟練者の目視によるライフイベント検出との一致度も±5%フレーム内に90%以上を実現することができた。

論文内容要旨 (英文)

平成 28 年度入学 大学院博士後期課程

バイオ工学 専攻 応用生命 分野

氏 名 松村 泰志



論文題目 Computational Study on Synaptic Learning in Cortical Local Circuit

Many researchers have studied animal brain not only physiologically but computationally for better understanding of neural computation. Moreover, applications of artificial intelligence based on the deep neural network, especially in computer vision field, have been drastically developed and updated state-of-the-art performances in the last several years. In this thesis, we report the three modeling studies with spiking neural network and the one study about application of artificial neural network.

In the first study, we focus on the physiological finding and the novel synaptic plasticity rule published in recent year. The *in vivo* study revealed through the multi-unit recording that primary visual cortex showed prominent similarity between spontaneous activity and evoked activity. Furthermore, such the similarity gradually increased depending on the sensory experience with progress of developmental stage. To investigate the mechanism, we modeled a local circuit of the visual cortex which learns sensory inputs with the novel plasticity rule. As a result, we could reproduce the similarity of neuronal population activity increases through sensory experience. Moreover, the novel plasticity rule played the active role for the similarity increase and the acquisition of internal representation of sensory inputs.

In the second study, we investigated synaptic plasticity in a circuit consisting of subthreshold resonator neurons. In general, cortical networks exhibit complicated behavior through their network properties. And, *in vivo* and *in vitro* cortical networks exhibit spontaneous activity through their intrinsic mechanisms even without external sensory stimuli. Such spontaneous activity often emerges as oscillation and fluctuation. Furthermore, it is also known that some types of neurons showed membrane resonance in their subthreshold level. However, how the resonator acts in cortical networks and affects synaptic learning, such as the spike-timing-dependent plasticity (STDP), is unclear. In this study, we computationally examined the network behavior of resonator neurons and how they modulate network organization through the STDP when interacting with noise and an oscillatory background.

In the third study, we investigated synaptic learning for external inputs in a model neuron whose dynamics of membrane potential fluctuation was modulated through the modification of ionic channel dynamics. In a brain, cortical neurons exhibit membrane fluctuations and spontaneous transitions between distinct different two states characterized by subthreshold level of membrane potential. It has been known by modeling study that the mechanism of the spontaneous fluctuation originates from not only reverberation in a cortical circuit but intrinsic factor at a single neuron level. The two-state transitions are widely found in many brain regions and these transitions typically occurred spontaneously and synchronously. However, its computational advantage is still unclear. We observed that the membrane fluctuation could modulate the learning property to sequential inputs through the STDP.

In the fourth study, we report the application of a deep neural network for semantic image segmentation. In this study, an artificial neural network was designed to detect drosophila, as known as fruit fly, in a picture. The fly is often used as a model animal in gene manipulation research since it is easily bred and manipulated with genetic operation. However, detection of the life-stages is manually performed in laboratories. To detect a fly pixel-wise, we trained a neural network specializing in a semantic segmentation task. As a result, the network could detect pixel-wise a fly more than 99% precision with single animal resolution. Moreover, simple signal processing achieved precise detection of life-stage transition comparable with manual operation. It is expected that our system promotes high-throughput screening in genetic research manipulating drosophila.

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成 31年 2月 7日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 湯浅 哲也 印
副査 新関 久一 印
副査 深見 忠典 印
副査 姜 時友 印
副査 印

学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	バイオ工学専攻 応用生命分野 氏名 松村 泰志		
論文題目	Computational Study on Synaptic Learning in Cortical Local Circuit (大脳皮質神経局所回路におけるシナプス可塑性の計算論に関する研究)		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	平成 31年 1月 22日～ 平成 31年 2月 7日
論文公聴会	平成 31年 2月 7日	場 所	工学部 9-809 教室
最終試験結果	合格	最終試験年月日	平成 31年 2月 7日
学位論文の審査結果の要旨 (1,000 字程度)			
<p>本研究では、大脳皮質神経局所回路の計算論について、主にシナプス可塑性の側面から調べた。特に、生理実験によってその存在が明らかになっているスパイクタイミング依存可塑性 (Spike-timing-dependent plasticity, STDP) に関して計算機実験を行い、皮質の回路形成と神経ダイナミクスに及ぼす影響を多岐にわたって調べた。</p> <p>第一部においては、閾値下二状態間遷移を示す細胞モデルにおいて、イオンチャネルのダイナミクスを変化させることによって、外部からの入力への応答特性・学習特性を調整できることを示した。</p> <p>第二部においては、閾値下共鳴現象を生じさせる細胞モデルにおける STDP 学習能を調べ、周期背景入力の周波数に対して選択的な回路形成が可能となることや、その選択性がノイズ強度に対して自動的に調律されるということを示した。</p> <p>第三部においては、回路内における結合荷重の多様性と活動の安定性をともに実現できる対数型 STDP が、再帰結合回路内での学習に及ぼす影響を調べ、ミリ秒オーダーの精度で再生されるスパイク時系列を生じさせることが明らかになった。</p> <p>第四部は、ショウジョウバエ全ライフステージ自動判別システムの開発に関する研究である。ここでは、神経回路から得られた知見をもとに、ショウジョウバエ個体抽出に特化した深層学習回路を構築し、ショウジョウバエ集団の画像情報のみから、個体別のライフステージ変換点を自動的かつ高精度で検出するシステムの開発を行った。</p> <p>申請者が行った神経回路に関する一連の研究は、脳の計算論の理解に大いに貢献するものであり、ショウジョウバエ全ライフステージ検出のシステム開発は、遺伝子研究におけるハイスループットスクリーニングの実現に大いに資する成果であることから、学位論文としてふさわしいと判断される。申請者は第一著者として、本研究成果を 1 編の学術論文および 7 件の国際学術会議において発表しており、すでに本専攻の論文執筆に関する基準に達している。申請者の計算神経科学および人工知能関連分野における専門能力は非常に高く、研究姿勢も誠実かつ情熱的であり、得られた成果と当該分野への貢献は高く評価されるものである。以上の理由から、審査結果を合格とした。</p> <p>本論文は、研究倫理又は利益相反に係る学内規則に基づく手続きは必要としない。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>博士論文公聴会における質疑応答、および個別面接試問により、研究テーマに対する理解と進め方、周辺知識の質と量、語学力、プレゼンテーション能力など、博士 (工学) として必要とされる水準を満たしていると認められたので、合格と判定する。</p>			