

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18128

研究課題名(和文)身体性を利用した運動予測プリミティブ構築に関する研究

研究課題名(英文)A research to construct a predictive-primitive for the motion sequence of an embodied system

研究代表者

米倉 将吾 (Yonekura, Shogo)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任研究員

研究者番号：60456192

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：ロボットなどの多自由度身体系の振る舞いは一般的に多くの自由度の相互作用により非常に複雑であり、この複雑さがモデル予測制御やモデルベース強化学習のロボットへの適用を困難にしていた。これらを踏まえ、本研究では容易なロボットの運動予測を可能にする枠組みの構築を目指し、スパイクングニューロンが有する身体・環境ダイナミクスの自己組織化能力に着目するに至った。具体的にはスパイクングニューロンが有する、系全体の複雑性減少能力、運動の周期性向上能力、不安定点の制御安定化能力などが向上しえる事を発見した。これらの発見をもとに、様々な系にスパイクングニューロンによる制御実験を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、モデルベース強化学習や最適制御などの研究において予測モデルの構築さえ可能であれば柔軟に最適な運動を生成可能である事が示唆されているが、しかしながら、予測学習の困難さは依然として大きな問題である。本研究では、生物が広く利用している確率的発火パターンを示すスパイクングニューロンを用いる事によって、環境-身体ダイナミクスにおいて自己組織化が起こり、自由度凍結に似た効果が引き起こされ、結果、より容易に予測学習が実現できる可能性を示した。この研究によって、生体神経の機能の新しく深い理解が得られたとともに、スパイクングニューロンを用いた深層学習の新しい可能性が開かれたと期待される。

研究成果の概要(英文)：Building a system to predict the motion trajectory of an embodied system consisting a many degrees-of-freedom (D.O.F.s), such as a robot, is in general difficult because the interaction of D.O.F.s. We find that a motion controlling system consisting of a stochastically-spiking neural network (sSSN) can provide the noise-induced self-organization effect to an embodied system, and therefore can improve the predictability of the motion. Based on this finding, we tested the sSSN using several embodied agents such as musculoskeletal biped robot and toy problems. We would like to conclude that our work implicates self-organization capability provided by stochastically-spiking neurons is a key factor to realize a motion-predictive system.

研究分野：知能機械

キーワード：自己組織化 スパイクングニューロン ノイズ 筋骨格系 予測モデル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ロボットなどの多自由度系の運動予測学習は、身体変数の組み合わせが膨大になり大量の学習データが必要となるだけでなく実際の予測プロセスにおける計算コストも大きくなる。高速な身体運動予測モデルの構築方法は未だ明らかになっておらず、また、生体はどのようにしてこのような問題を避けているのかの仕組みも明らかにはなっていない。本研究では予測プリミティブとでも言うべき仕組みを模索する事を試みた。

2. 研究の目的

身体運動の予測を簡易にする予測プリミティブ構築のため、当初、(a) 身体ダイナミクスによる physical reservoir computation、(b) 身体ダイナミクスによる自己組織的自由度縮退、(c) 運動プリミティブによって生成される特徴的な運動に付随する特徴的センサ情報の抽出と利用、などの可能性を検討した。これらのうち、特に、生体神経における情報処理ならびに運動生成において利用されている確率的発火パターンを示すスパイクニューロンモデルで身体を駆動する事によって、身体-環境ダイナミクスに自己組織化が起こり、運動軌道の安定性・周期性が強化可能である事を発見する事が出来た。この発見に基づき、研究期間後半では確率的発火を示すスパイクニューロンによる自己組織化現象に特に着目し、複数のロボットの運動でその有効性を確認する事を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、まずスパイクニューロンを容易に利用可能なアーキテクチャとして、フィードバックコントローラーなどの任意のコントローラーの出力をスパイクニューロンネットワーク (SNN) に入力する事でスパイク列を元にしたシナプス後電位信号に変換し、そのスパイク列でアクチュエーターを駆動するアーキテクチャを開発した。本来、SNN を用いた学習は非常に困難であるが、このアーキテクチャにおいてはベースとなるコントローラーにおいてのみ学習を行い SNN は学習を行わずに運動学習を行う事が可能であるため多くの系に適用可能である。また、SNN に含まれるスパイクニューロンの数 N とその膜電位時定数 τ_s を調整する事で SNN の出力に含まれるノイズ強度を調整可能である。このアーキテクチャを様々なモデルに適用してその性質を調べた。

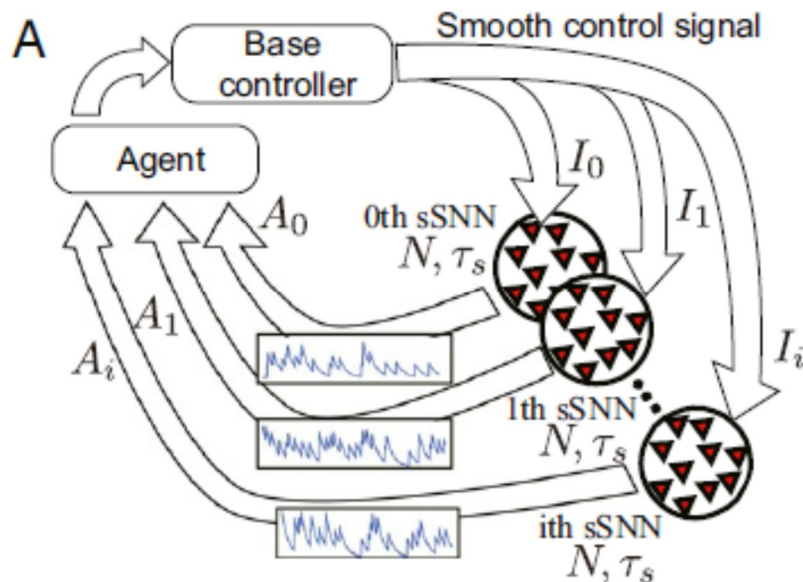


図1. スパイクニューロンによる運動生成アーキテクチャ。ベースとなる任意のコントローラーの信号を複数のスパイクニューロンからなるスパイクニューロンネットワーク (SNN) に入力し、スパイク列を平均化し、スパイク列でアクチュエーターを駆動する。SNN のニューロン数に応じて、アクチュエーターに入力されるノイズ強度などが調整される。[S. Yonekura and Y. Kuniyoshi, PNAS, 117(22), 2020 の Fig. 1 より転載]

4. 研究成果

図 2 に SNN アーキテクチャを筋骨格二脚ロボットに適用した際のモデルを示す。ロボットは各脚 8 本の筋で構成され、各筋肉は異なる SNN で駆動されるように構成された。ベースとなるコントローラーは複数の反射ルールからなり、遺伝アルゴリズムを通して最適化した。結果、確率的に発火するスパイクングニューロンを利用した方が、また、SNN に含まれるニューロン数が少ない方が、つまり、ノイズ強度が強い方が摩擦変化や外力などの外乱に対する安定性等が高い事が分かった。また、SNN を従来のニューラルネットワークで利用される sigmoid 関数と置き換えた場合や、純粋に反射システムのみで駆動した場合よりも適度にノイズ強度が高い方が高い外乱安定性を実現可能である事が分かった (図 2, C)。

これらの結果はスパイクングニューロンによって複雑な系の運動安定性が向上し、より容易に予測が出来る系が実現された事を示している。これらの発見をより一般化するため、より複雑な筋骨格系の SNN による駆動と実際の自己組織化現象の調査が今後さらに必要であると考えられる。

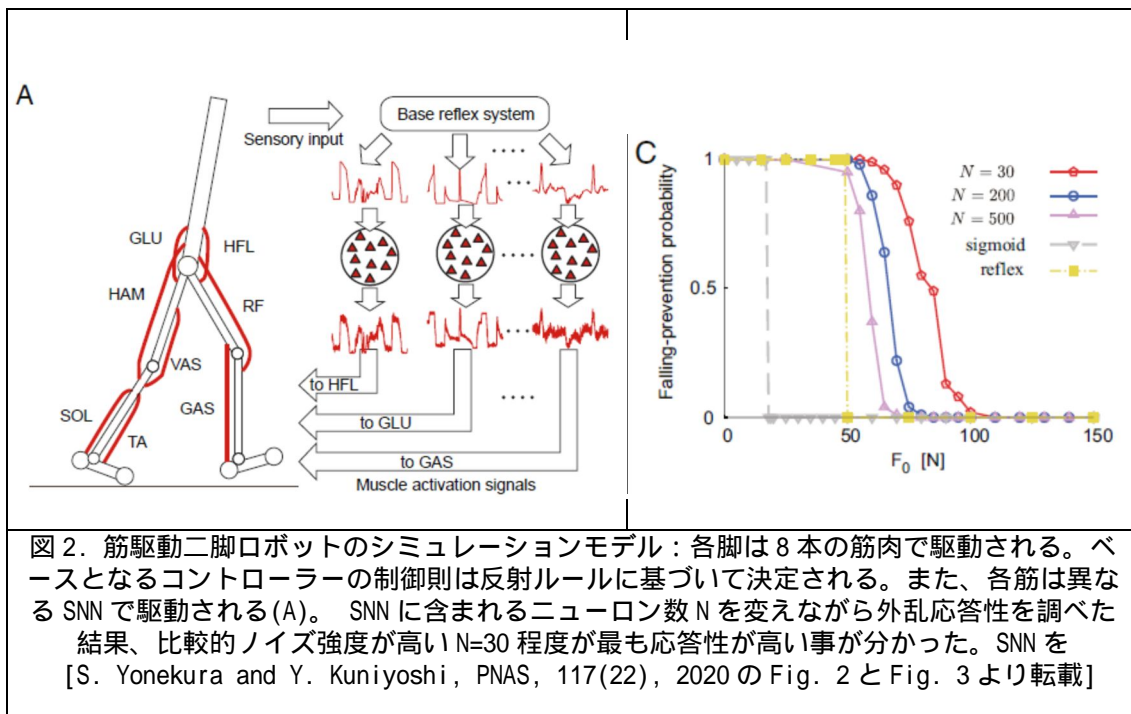


図 2. 筋駆動二脚ロボットのシミュレーションモデル：各脚は 8 本の筋肉で駆動される。ベースとなるコントローラーの制御則は反射ルールに基づいて決定される。また、各筋は異なる SNN で駆動される (A)。SNN に含まれるニューロン数 N を変えながら外乱応答性を調べた結果、比較的ノイズ強度が高い $N=30$ 程度が最も応答性が高い事が分かった。SNN を [S. Yonekura and Y. Kuniyoshi, PNAS, 117(22), 2020 の Fig. 2 と Fig. 3 より転載]

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shogo Yonekura and Yasuo Kuniyoshi	4. 巻 117
2. 論文標題 Spike-induced ordering: Stochastic neural spikes provide immediate adaptability to the sensorimotor system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)	6. 最初と最後の頁 12486--12496
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.1819707117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Favier Kaname, Yonekura Shogo, Kuniyoshi Yasuo	4. 巻 na
2. 論文標題 Spiking Neurons Ensemble for Movement Generation in Dynamically Changing Environments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Conference: 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)	6. 最初と最後の頁 3789 ~ 3794
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IROS45743.2020.9340721	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------