

ヤツメウナギの神経系を模倣した CPG モデルの開発 Development of CPG Model Imitating Nervous System of Lamprey

○森下克幸¹, 富増優樹¹, 武井裕樹², 齊藤健³

*Katuyuki Morishita¹, Yuki Tomimasu¹, Yuki Takei², Ken Saito³

Abstract: The authors are studying neural network models. In this paper, we developed a central pattern generator (CPG) model which imitates the nervous system of lamprey. Lamprey CPG have simple nervous systems among vertebrates. We constructed the lamprey CPG model using hardware neuron models. The CPG model imitates two functions of lamprey CPG. One function is the left and right neurons oscillate alternately, the other function is the signals propagation from head to tail. As a result, the CPG model generated the pulse waveform similar to the waveform confirmed in the lamprey in the simulation.

1. はじめに

近年、生物のもつ様々な優れた機能が注目されており、バイオミメティクスなどの生態模倣に関する研究が盛んに行われている^[1]。その中で生物のもつ神経系は優れた制御機構を有しており、その機能を模倣しようと様々な研究が行われている。その一つとして Central Pattern Generator(CPG)を模倣する研究があり、様々な生物の CPG を模倣した研究が存在する^[2]。

CPG は自律運動を司るとされ、両生類や哺乳類などにおいて研究されてきた。特にヤツメウナギは脊椎動物の中で単純な神経系を持っており多く研究されている。それにより、CPG 内のニューロン群が左右で交互にバースト発火し、頭から尾へ順番に活性化していることが確認されている^[3]。

我々はハードウェアニューラルネットワーク(HNN)により、生物のもつ CPG を模倣する研究を行っている。これまでに4足歩行動物の歩容を生成する CPG の開発を行ってきた。しかし、これらの CPG モデルは機能の一部を模倣していたが、生体のニューロンの出力までは模倣していなかった。本研究ではヤツメウナギの CPG で確認されている左右で交互にバースト発火する機能と頭から尾へ順番に発火する機能を模倣したモデルの開発を行ったのでここに示す。

2. ハードウェアニューラルネットワーク(HNN)

Figure 1 に HNN を構成する要素である細胞体モデルおよび、シナプスモデルの回路図を示す。Figure 1(a) は細胞体モデルの回路図である。細胞体モデルは生物のニューロンが有する閾値や不応期などの特性を模倣した発振回路である。V_Aを変化させることで自励振モードと他励振モードを切り替えることができる。Figure 1(b)は興奮性シナプスモデル、(c)は抑制性シナプスモ

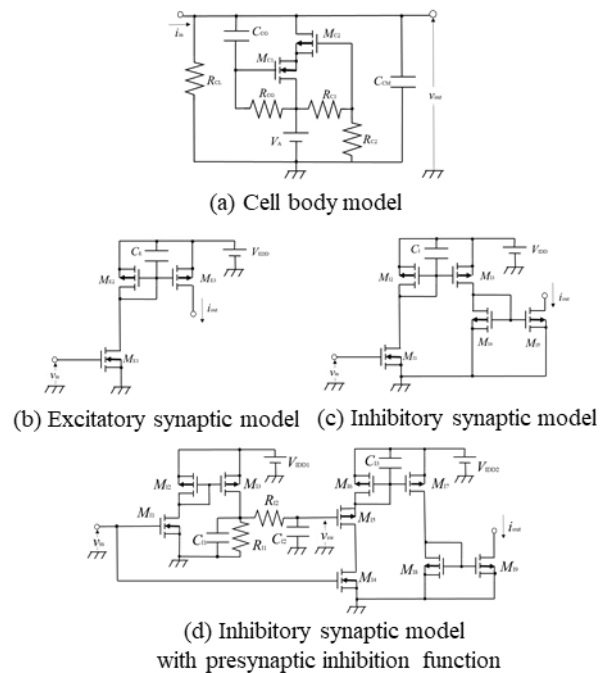


Figure 1. The cell body and the synaptic model

デルの回路図である。興奮性シナプスモデルは v_{in} に印加された電圧に応じて、 v_{out} 側の細胞体モデルの発振を促進させ、抑制性シナプスモデルは v_{out} 側の細胞体モデルの発振を抑制させる。Figure 1(d)はシナプス前抑制の機能を模倣した抑制性シナプスモデルの回路図である。Figure 2 にこのシナプスモデルの入力電圧 v_{in} と前抑制電圧 v_{sw} の関係を示す。 v_{in} 側の細胞体モデルが連

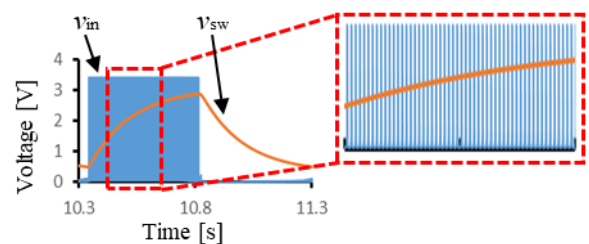


Figure2. The relation between v_{in} and v_{sw}

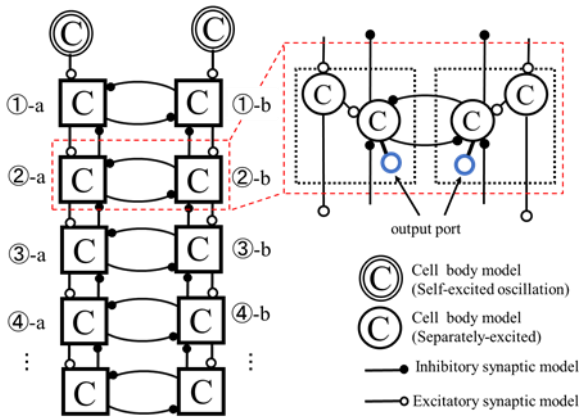


Figure 3. CPG model imitating the nervous system of a lamprey

続で発振し続けるとき、 C_{12} に電流が印加され、 v_{sw} が大きくなる。 v_{sw} が大きくなると M_{15} に流れる電流が減少するため、出力電流 i_{out} が小さくなる。 v_{in} 側の細胞体モデルが発振していないときは C_{12} に蓄積された電流が放電され、 v_{sw} は小さくなる。

3. CPG モデル

Figure3 に本研究において構成した CPG モデルの概略図を示す。この CPG モデルに使用した抑制性シナプスモデルはシナプス前抑制の機能を模倣したシナプスモデルである。

CPG モデルは2つのニューロンモデルによるブロック同士の接続により構成されている。各ブロックは左右に抑制性シナプスモデルで相互に接続している。これにより左右で交互にバースト発火する機能を再現している。

また、各ブロックは図中上から下には興奮性シナプスモデルで、下から上には抑制性シナプスモデルで接続されている。これにより頭から尾へ順番に発火する機能を再現している。

4. シミュレーション結果

Figure 3 に示した CPG モデルのシミュレーションの結果を Figure 4 および Figure 5 に示す。

Figure 4 は Figure 3 中の①-a、②-b の出力波形である。このシミュレーション結果より左右の細胞体モデルが一定の周期で切り替わりながら発振していることを確認した。

Figure 5 は Figure 3 中の①-a から④-b の出力波形である。このシミュレーション結果より上方から下方へ一定の遅延を持ちながら発振していることが確認した。

シミュレーション結果より、ヤツメウナギの CPG がもつ2つの機能を再現できることを確認した。これらの結果より、ヤツメウナギの CPG を模倣することがで

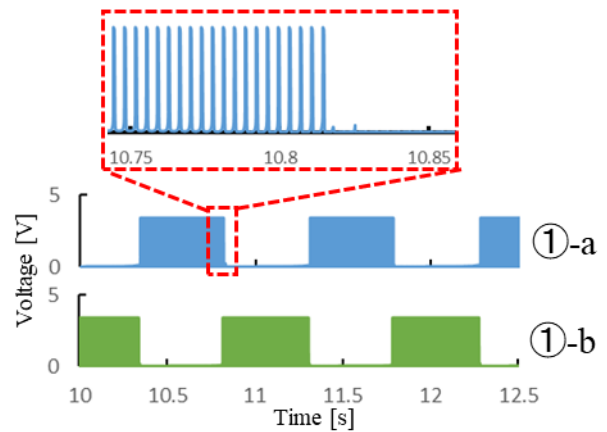


Figure 4. The simulation result of output ①-a and ①-b

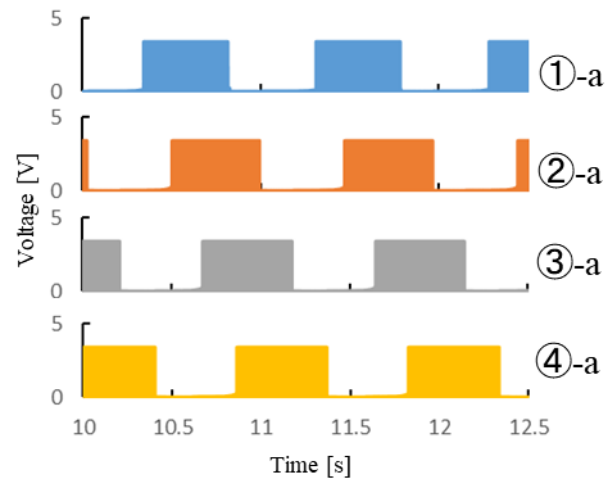


Figure5. The simulation result of output ①-a to ④-a

きたと考えられる。

5. まとめ

HNN を用いてヤツメウナギの神経系を模倣した CPG モデルの開発を行い、シミュレーションにてヤツメウナギの CPG の機能を再現することができたことを確認した。今後は CPG モデルの実装および、この CPG モデルで駆動させるロボットの開発を行う予定である。

6. 参考文献

- [1]下村政嗣:「生物の多様性に学ぶ新世代バイオミメティクス」, 日本画像学会誌, 第 53 卷, 第 3 号, pp192-198, 2014.
- [2]木村浩:「神経モデルを用いた生物型移動ロボット研究の紹介」, 日本神経回路学会誌, Vol. 8, No. 2, pp70-76, 2001.
- [3]S. Grillner et al. : “Neural networks that co-ordinate locomotion and body orientation in lamprey”, Trends in Neurosciences, Vol.18, No.6, pp270-279, 1995.