

感覚受容器を入力器官とした P-HNNs による歩行ロボットの制御方法の検討

Investigation of a control method for a walking robot using P-HNNs with sensory receptors as input organs

○石橋元邦¹, 田波海人¹, 武田健嗣², 早川幹人³, 栗飯原萌⁴, 金子美泉⁴, 内木場文男⁴

*Motokuni Ishibashi¹, Kaito Tanami¹, Kenzi Takeda², Mikihito Hayakawa³, Megumi Aibara⁴, Minami Kaneko⁴, Fumio Uchikoba⁴

Abstract: For flexible and adaptive gait movements, the sensory information obtained from the sensory receptors as well as commands from the central pattern generator (CPG) is important. The most familiar sensory information during walking is visual information from the retina and tactile information from the sole of the foot. In this study, we investigated a control method of a walking robot using pulse-type hardware neural networks (P-HNNs) with retina and pressure on the sole as input organs.

1. はじめに

人間を含めた動物の歩行は身体への意識なく、半ば自律的かつ自動的に行われている。これは脊髄に中枢パターン生成器 (CPG) と呼ばれる歩行様の筋活動を発現する神経回路が存在すると考えられているからである^[1]。実際の歩行運動では環境に応じて動作を最適化するために、周囲の環境情報を身体に備わる感覚受容器によって把握している。我々はその中で、視覚と触覚に注目した。

全身を覆う皮膚は触覚を担い、熱や痛みなどを感じとる感覚受容器である。強い熱刺激や痛み刺激が皮膚に加わると、その刺激信号は直接脊髄に送られる。脊髄は刺激の原因から逃れるため、関連する筋肉を収縮、伸張させ、脊髄反射の一種である屈曲反射を示す。歩行においては予期しない凹凸や危険物に対応する手段となる。より高度な感覚受容器として、目が挙げられる。視覚情報は空間認識に用いられ、それに基づき歩行を調整する。視覚情報は網膜を経由し、最終的に脳が処理して指令を脊髄に伝え、CPG を動作させることで歩行につなげている。このような触覚、視覚などの感覚情報から、歩行中の凹凸や危険物に対して対応、回避するように CPG の出力を変化させて歩行を生成する。

歩行、視覚、脊髄反射に関する先行研究には、視覚速度と歩行速度の関係の研究^[3]や、歩行の安定化のための最適位相を用いた視覚制御^[4]、木村らによってマイクロスイッチを用いた屈曲反射の再現を試みた制御^[5]などがある。

本研究では以上の感覚受容器から CPG によって運動を生成する動作を P-HNNs により再現したい。ロボット自ら環境に適応した歩行を生成できれば、今まで以上に活躍の幅を広げることができる。

2. 刺激信号の伝達経路

皮膚で得た触覚情報から屈曲反射を生成する伝達経路は次の通りである。まず、皮膚に閾値を超え

る一定以上の刺激が加わると求心性神経を通過して脊髄に入り、興奮性介在神経、 α 運動ニューロンを経て屈筋を興奮させ、伸筋を抑制する。すると手や足などが屈曲し、刺激を受けた皮膚をその原因から遠ざける。今回は低電圧での駆動のため、アナログ回路による屈曲反射の再現を検討した。Figure1 は佐伯らによって示されたモデル^[6]に、C3 への入力を加えたものである。

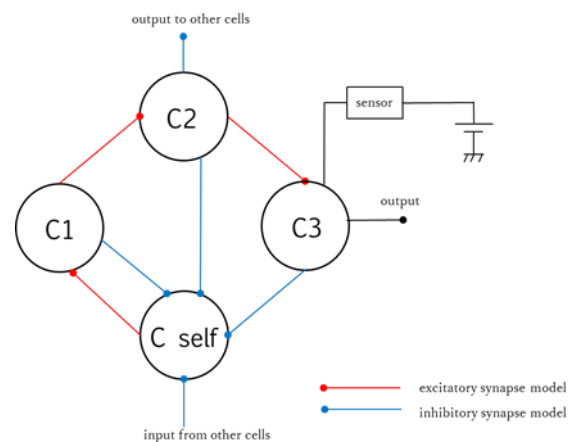


Figure1. CPG model that we added input CPG model that Saeki and other proposed

一方、目から入る視覚情報の伝達経路は次の通りである。網膜ニューロンの視細胞が光を受容し、双極細胞、神経節細胞の順で視覚情報が処理される。神経節細胞の出力は視神経を通過して脳内部の視神経交叉、外側膝状体、一次視覚野、高次視覚野で順に処理され、遠近感のある映像として認識される。これが垂直方向の信号伝達になる。一方、水平方向の信号伝達は水平細胞とアマクリン細胞が担っている。網膜は外網膜と内網膜に分けられるが、水平細胞は外網膜で、アマクリン細胞は内網膜で、それぞれ水平ネットワークを作る。Figure2 は垂直方向の信号伝達の神経回路図である。Figure1, 2 の P-HNNs による再現を検討した。

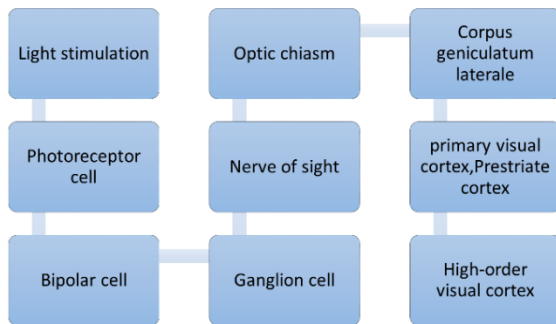


Figure 2. Neural network of vertical signal transfer

3. CPG モデルへの入力

ロボットの足裏に圧力センサを取り付けることを想定し、シミュレーションを行った。Figure 3 は Figure 1 の output の波形であり、定常波形である。Figure 4, Figure 5 は、そこに C3 への入力を変化させて加えたものである。センサ入力は青線で表され、最大入力はそれぞれ 1.4V, 1.5V となっており、定常状態を 500mV としてシミュレーションを行った。

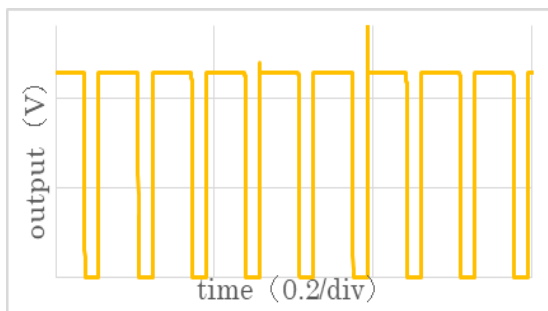


Figure 3. Output of cell body A when the cell body model is connected to a 500mV constant voltage source

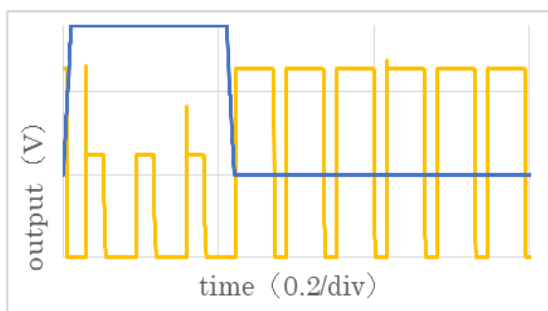


Figure 4. Simulation of CPG model output of 500mV steady state plus 1.4V C3 input

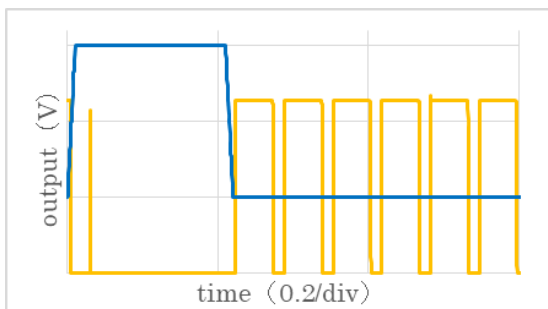


Figure 5. Simulation of CPG model output of 500mV steady state plus 1.5V C3 input

4. 視覚から CPG への神経回路の提案

Figure 6 は我々が提案する、歩行制御をするにあたり、CPG に視覚情報が入るための神経回路である。

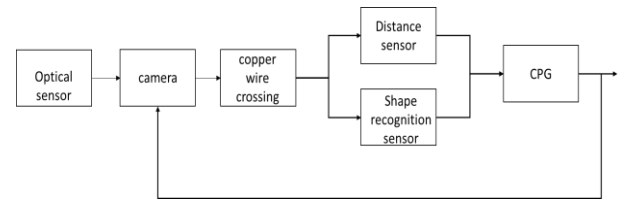


Figure 6. Neural network that we propose

Figure 6 は Figure 2 に比べて簡略化している。本来の視覚情報の神経回路は Figure 2 であるが、そのまま再現しようとするとは複雑になるためである。また、簡略化によりシステムも簡単になり、制御が容易なる。さらに Figure 6 では CPG からの出力を網膜からの出力、つまり脳への入力にフィードバックしており、これにより精度の高い歩行を実現できると考えている。

5. 結論

提案したモデルでは、皮膚刺激を再現した足裏の入力による屈曲反射を再現できなかった。シミュレーション結果を考察すると、対象の脚部の動作を減速させ、最終的に停止させると考えられる。この間、他の脚部は通常通りに動作するため危険な地点を避けるという結果を得られると想定される。だが、緊急時の動作としては冗長であると考えられるため、センサ入力箇所を焦点としたモデルの再検討を行う必要がある。

また、提案した視覚から CPG への神経回路は簡略化したため、網膜ニューロンが少ない、外側膝状体による投射がないなど実際の神経回路より少し離れる。だが、生理学的な神経回路に基づいているため、機能的に問題ないと考えている。今後、このモデルでシミュレーション及び製作を進め、歩行制御に応用したい。

6. 参考文献

- [1]小宮山伴与志：「ヒトの四肢運動のリズム形成とその反射性制御」, バイオメカニズム学会誌, Vol.36, No.2, pp.66-71, 2012
- [2]安井湘三：「感覚情報処理」, コロナ社, 2004
- [3]高幣俊之, 野村宣邦, 前田太郎, 舘暲：「歩行における視覚と運動感覚の整合性に関する研究」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.5, No.2, pp.831-836, 2000
- [4]阿部広紀, 出口光一郎, 岡谷貴之, 牛田俊：「二足歩行ロボットの動作安定化のための最適位相を用いた視覚制御」, 自動制御連合講演会講演論文集, Vol.51, pp.1025-1028, 2008
- [5] 木村浩, 秋山征一, 桜間一彰：「神経振動子を用いた四足ロボットの不整地歩行と整地走行」, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.8, pp.1138-1145, 1998
- [6]K. Saeki, T. Tatebe and Y. Sekine, "A study on CPG model transition swing and stance pattern with interstitial cells", The 2012 International Joint Conference on Neural Networks(IJCNN), 2012, pp.1-8