

E-4

センサ入力に応じて歩行パターンを変化させる IC を用いた 4 足歩行ロボットシステムの検討 Study on a Quadrupedal Robot System with IC that Changes Its Gait pattern in Response to Sensor Input

○早川幹人¹, 武田健嗣², 石橋元邦¹, 石原みのり³, 石濱拓実³, 粟飯原萌⁴, 金子美泉⁴, 齊藤健⁴, 内木場文男⁴
*Mikihito Hayakawa¹, Kenji Takeda², Motokuni Ishibashi¹, Minoru Ishihara³, Takumi Ishihama³,
Megumi Aibara⁴, Minami Kaneko⁴, Ken Saito⁴, Fumio Uchikoba⁴

Abstract: In this paper, we investigate a quadrupedal robotic system based on a pulse-type hardware neural network IC fabricated to mimic part of the motor control mechanism of a spinal cord. Central Pattern Generator (CPG) in the spinal cord of living organisms is one of the motor control organs and controls stable gait based on a sensory information from a sensory organ. In this paper, we investigate a new robotic system that is both autonomous and compact, using a neural network IC fabricated to mimic the CPG.

1. はじめに

生物の情報処理機構は、処理内容に応じて各神経系に区分けされ、連携しながら処理を行う。例えば人間の場合、高度な知的処理は主に大脳が行い、運動系統の処理は脳幹を通じて脊髄に伝えられ、脊髄を中心とした神経回路網(Neural Network : NN)にて身体制御を行う^[1]。これに対して、ロボットの制御方法は独自の発展を遂げており、主にマイクロコントローラなどの CPU を用いてセンサ入力やフィードバック情報等のすべての情報を CPU にて統括して身体制御を行っている。しかし、生物のように自律的に高度で繊細な動きを実現するためには、ロボットには CPU とは別の情報処理機構を設ける必要がある。つまり、脊髄と同じように、センサ等からの信号を処理した後、CPU と連携した身体制御をおこなうことが出来るシステムを構築する必要がある。

このような生物が持つ柔軟で優れた情報処理機能をモデル化し工学的に作製した人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Networks : ANNs)を、ロボットの制御方法として応用する研究が盛んに行われている^[2]^[3]。先行研究にて我々は、生物の感覚器を通じた高度な信号処理および行動制御を担う器官である中枢パターン生成器(Central Pattern Generator : CPG)の模倣を目的として、センサ入力に応じて 4 足歩行の歩容変化を発現するパルス形ハードウェアニューラルネットワーク(Pulse-type Hardware Neural Networks : P-HNNs)を開発した^[4]。本研究では、先行研究にて開発した IC を用いて、自律的に 4 足歩行を行うロボットシステムの検討を行ったので報告する。

2. センシング型 CPG モデルと測定結果

Figure 1. に先行研究にて作製したセンサ入力に応じて、ロボットが歩容変化を行うセンシング型 CPG モデルの概略図、Figure 2. に Figure 1. を集積化して開発した IC のベアチップを示す。このモデルには、日本大学の佐伯らによって開発された間質細胞モデルを^[5]を Figure 3. のようにして用いることで、センサの入力値によって他励振細胞モデル C_i の電源電圧 V_{AS1} を変化させ、歩容を生み出すために必要な 4 相のパルス波形を自律的に変化させることに成功した。これにより、センサ入力による能動的な歩容変化が可能となった。Figure 4. に開発した IC を用いての測定結果を示す。

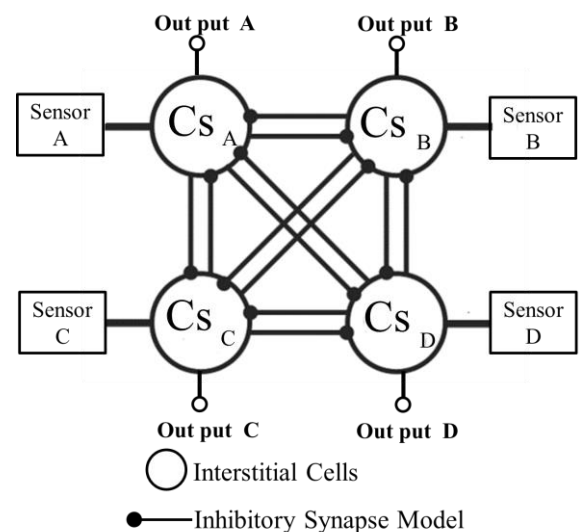


Figure 1. Sensing type CPG model

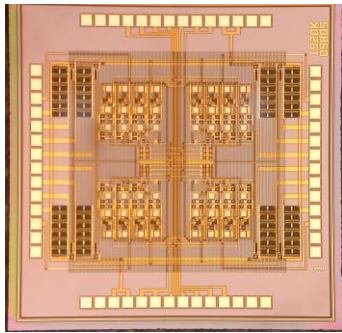


Figure 2. Bare chip diagram of sensing type CPG model

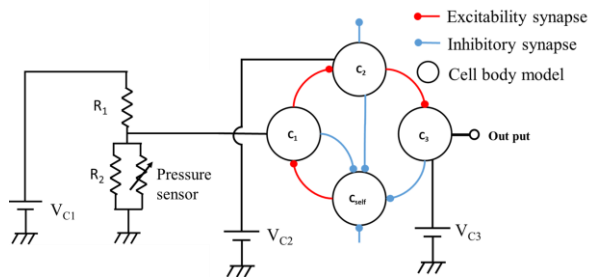


Figure 3. Sensing type Interstitial Cells model

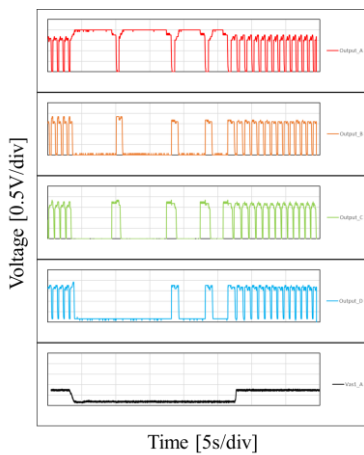


Figure 4. Measurement results

3. 4足歩行型自律駆動ロボットシステム

本論文では、自律して外的な条件の変化にも対応が可能な歩行運動を行うロボットの開発を最終目的として、センシング型 CPG モデルを用いた 4 足歩行型自律駆動ロボットシステムの検討を行った。Figure 5. に本研究にて検討したシステムの概略図を示す。センシング型 CPG モデルによるセンサ入力に応じた自律歩容生成機能によって、センサからの信号を 4 足歩容の生成に必要なパルス波形をアナログ電子回路による高速演算にて処理し、CPU と連携した身体制御をおこなうことが可能となった。これによって従来の制御方法より CPU での演算事項が減ることでより高速かつ省電力な自律ロボットシステムの構築が期待される。

今後はこのシステムをロボットに実装して歩行運動の実測を行い、従来のロボットシステムとの比較を行う予定である。

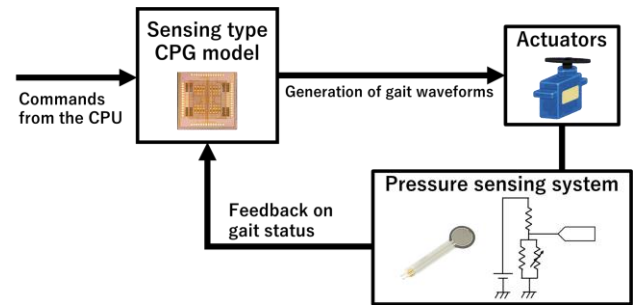


Figure 5. Quadrupedal autonomous driving robot system

4. 謝辞

本研究は東京大学大規模集積システム設計教育研究センター(VDEC)を通し、シノプシス株式会社、日本ケイデンス株式会社、メンター株式会社の協力で行った。また、本チップ試作は VDEC を通しオンセミコンダクター新潟(株)、凸版印刷(株)の協力で行った。また、本研究は日本大学ロボティクスソサエティ (NUROS)及び、令和 2 年度日本大学学術研究助成金総合研究の助成を受けたものである。ここに深く感謝の意を表す。

5. 参考文献

- [1] S. Grillner. "Control of locomotion in bipeds, tetrapods and fish. In Handbook of Physiology", Bethesda, MD: American Physiol. Society, Vol.2. pp.1179-1236, 1981
- [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, 8 巻, 2 号, p. 70-76, 2001
- [3] A. Hodgkin, A. Huxley, "A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve" Journal of Physiology, Vol.117, No.4, pp.500-544, 1952
- [4] M. Hayakawa, K. Takeda, M. Ishibashi "Pulse-type hardware neural network mimicking spinal cord function." Artificial Life and Robotics, 2021.
- [5] K. Saeki, D. Nihei, T. Tatebe, and Y. Sekine, "IC implementation of an interstitial cell-based CPG model", Analog Integr Circ Sig Process 81, pp.551-559, 2014