

## パルス信号の状態によって歩容パターンの切り替えが可能な 2足歩行制御用ハードウェア CPG モデル

### Hardware CPG Model for Bipedal Control That Can Switch Gait Pattern with State of Pulse Signals

○武田健嗣<sup>1</sup>, 石橋元邦<sup>2</sup>, 石濱拓実<sup>2</sup>, 後藤達巳<sup>3</sup>, 山崎健太郎<sup>3</sup>, 栗飯原萌<sup>4</sup>, 金子美泉<sup>4</sup>, 内木場文男<sup>4</sup>

\*Kenji Takeda<sup>1</sup>, Motokuni Ishibashi<sup>2</sup>, Takumi Ishihama<sup>2</sup>, Tatsumi Goto<sup>3</sup>, Kentaro Yamazaki<sup>3</sup>  
Megumi Aibara<sup>4</sup>, Minami Kaneko<sup>4</sup>, Fumio Uchikoba<sup>4</sup>

**Abstract:** A gait locomotion of conventional robots is digitally controlled, but the gait locomotion equivalent to that of a human would require an enormous amount of computation. On the other hand, a human gait locomotion is suggested to induce and switch gait based on a signal state input to the spinal cord, without depending on calculations. We have proposed a CPG model for bipedal gait control using a hardware neural network and confirmed a generation of gait control signals. In this paper, we report a hardware CPG model that generates and switches the gait control signals from different pulse signals.

#### 1. はじめに

人間の歩行は脊髄の中枢パターン生成器(CPG)によって制御される。一方で歩行の誘発、歩容、速度などの切り替えは脳からの信号が脳幹脊髄へ伝達されることで実行されると示唆される。人間の歩行と走行に関する神経信号は、下肢の筋電図の解析から5つの時系列パルスパターン信号で再構成されると推測された[1].

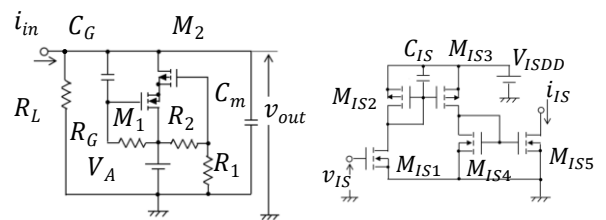
生理学的観点から歩行運動の制御機構が研究されているが、具体的な構成や機能はまだ明らかではない。そこで工学的に神経回路を再現する試みがある。なかでも電子回路を用いた手法は非線形な信号もリアルタイムに生成でき、神経回路に近い信号生成が可能と考えられる。

これまで、神経回路の機能を模倣したパルス形ハードウェアニューラルネットワークを用いて、2足歩行制御用ハードウェア CPG モデルを提案した[2]. しかしながら、スイッチング回路によって強制的に歩行と走行の制御信号を切り替えていた。本論文では、生体の様に入力される信号の状態から歩容を制御する信号が変化する2足歩行制御用ハードウェア CPG モデルを提案する。

#### 2. ハードウェア CPG モデルの構成要素

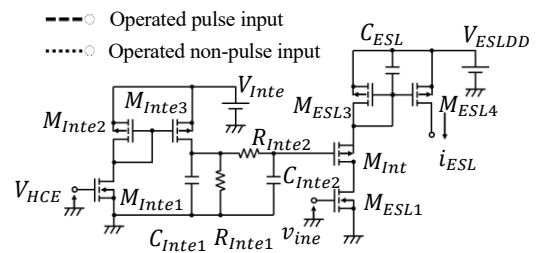
ハードウェア CPG モデルには、細胞体モデルとシナプスモデルを用いた。細胞体モデルは神経細胞と同様に周期的に電圧パルスを生じさせる。図 1(a)に細胞体モデルを示す。シナプスモデルは、細胞体モデルの出力を促進、抑制する興奮性と抑制性の機能をもつ。図 1(b)に抑制性シナプスモデルを示す。また、シナプスの結合強度をパルス信号の入力状態によって変化させるために積分回路を設置したシナプスモデルを構成した。

積分回路の前段の  $M_{int}$  を n 型にすることで、パルス入力によって動作し、p 型にすることで非パルス入力によって動作する。これにより、パルス信号の入力状態から動作するシナプスモデルを構成した。図 2 と 3 に回路図を示す。

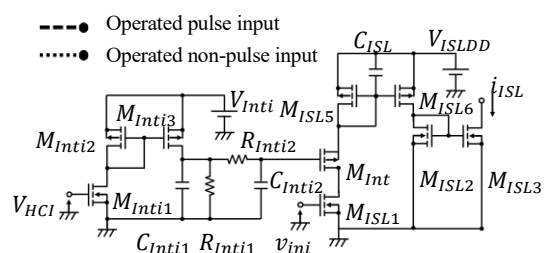


(a) Cell body model (b) Inhibitory synaptic model

**Figure.1.** Cell body model and inhibitory synaptic model



**Figure.2.** Excitatory synaptic model operated by pulsed and non-pulsed inputs



**Figure.3.** Inhibitory synaptic model operated by pulsed and non-pulsed inputs

### 3. CPG 回路

図4にハードウェア CPG モデルの構成を示す。CPG モデルは細胞体モデルを6個と抑制性シナプスモデル30個で構成した基本回路部と、細胞体モデル2個と図2と3のモデルを各2個で構成したシナプス回路部で作製した。図5に作製した CPG 回路を示す。

CPG モデルは、基本回路部から6つの時系列パルスパターンが生成される。歩行運動を制御する信号は時系列に生成されるため、順序を決定するために図4のC1~C6の順にトリガー回路で出力をGNDに落とした。出力されるまでにコンデンサへの充電があるため、任意の順でスイッチを切ることによって順番を決定できる。歩容の制御信号の切替は、C2とC3の出力を図2のシナプス回路を通してC2'とC3'に入力することで行った。非パルス入力では $M_{im}$ にp型MOSFETを設置した図3のモデルを用いて、C2'のを抑制しC3'を促進することで、歩行パターンを生成した。歩容の切り替えは、図3の $V_{HC}$ に電圧パルス信号を入力し、 $M_{int}$ にn型MOSFETを設置した図2のモデルを用いて、C3'のを抑制しC2'を促進することで、走行パターンを生成した。図6に測定結果を示す。作製したCPG回路から、生体のように信号の入力状態によって歩容が切り替わることが確認された。

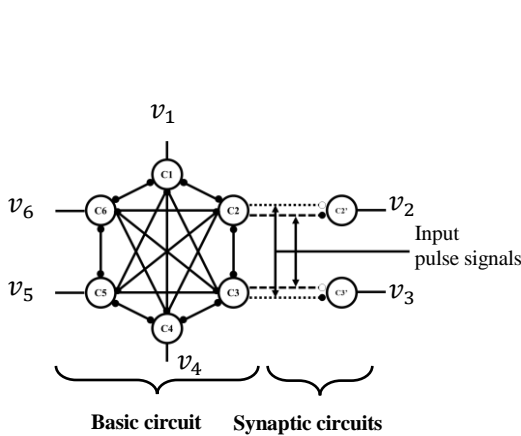


Figure.4. Diagram of the CPG model

### 4. 結論

本論文では、上位中枢の信号状態によって、歩行運動の歩容が切り替わることに着目した2足歩行制御用ハードウェア CPG モデルを提案した。ディスクリット素子を用いて CPG 回路を作製し、生体の様に信号の入力状態によって歩容が切り替わることが確認できた。今後は、筋骨格ロボットを用いて歩行と走行動作の検証を行う。

### 5. 謝辞

本研究は、日本大学ロボティクスソサエティ(NUROS)の助成を受けたものある。

### 6. 参考文献

- [1] Cappellini, G; Ivanenko, Y P; Poppele, R E; Lacquaniti, F, Motor patterns in human walking and running, J. Neurophysiol., Vol. 95, pp. 3426-3437, 2006
- [2] Takeda, Kenji; Hayakawa, Mikihiro; Ishibashi, Motokuni; Ishihara, Minori; Ishihama, Takumi; Aibara, Megumi; Kaneko, Minami; Uchikoba, Fumio, The walking and running control of a human musculoskeletal model using a low-power consumption hardware central pattern generator model, Int. J. Adv. Rob. Syst., Vol.19, pp.online, 2021

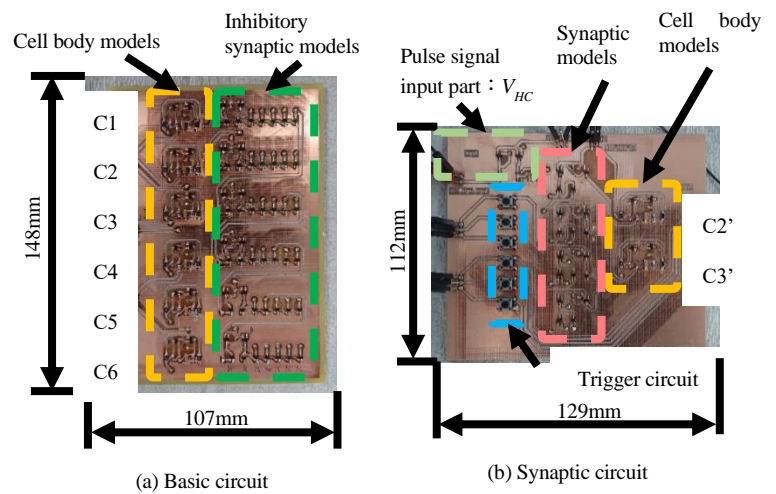


Figure.5. Fabricated the CPG circuit

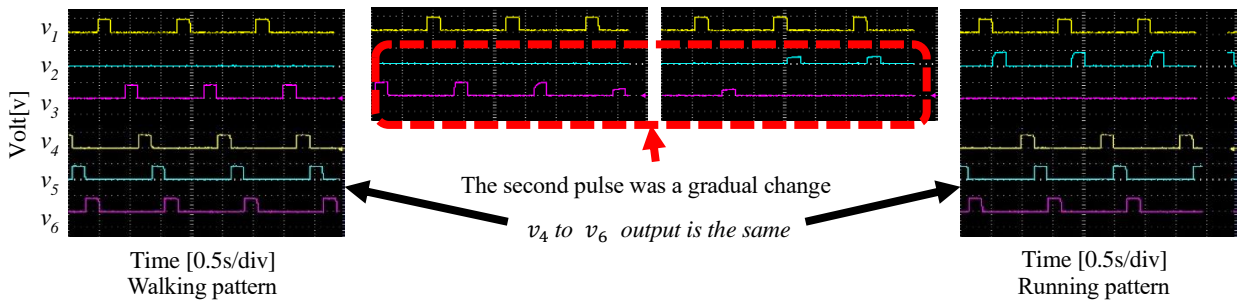


Figure.6. Switching between walking and running pattern