

E-5

ニューラルネットワーク IC による人型筋骨格ロボットの歩行と走行の切り替え制御

Switching Control between Walking and Running for a Human Musculoskeletal Robot Using a Neural Network IC

○武田健嗣¹, 早川幹人², 石橋元邦², 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*Kenji Takeda¹, Mikihiro Hayakawa², Motokuni Ishibashi², Minoru Ishihara³, Takumi Ishihama³Megumi Aibara⁴, Minami Kaneko⁴, Ken Saito⁴, Fumio Uchikoba⁴

Abstract: In this paper, control of walking and running in a human musculoskeletal model is investigated using a neural network IC capable of generating gait locomotion patterns generated by a spinal cord of the human. A living organism generates control signal for basic locomotion in the central pattern generator of the spinal cord. In addition, various motions are controlled from a small number of control signals by the muscle synergy structure that coordinates the muscles necessary for the locomotion. By mimicking the control function of living organisms, robots with low motor control loads can be expected to be developed.

1. はじめに

ロボットの知能や運動は CPU を用いた数値計算によって制御されているが、知能や運動を全て処理するには制御の負荷が大きい上に消費電力が高くなる。

一方で生物は、知能は脳、運動は脊髄が制御することで負荷を軽減している。また、知能と運動の制御を含めても非常に低い消費エネルギーで制御している。運動に着目すると、歩行運動は脊髄の中枢パターン生成器(CPG)によって制御信号がパターン化され制御の負荷を軽減している。CPGは運動のリズム生成と筋を協調して活動させる筋シナジーによって運動を制御していると考えられている。

人の歩行運動中の筋活動を解析した研究では、5つの筋活動パターンで歩行運動が再構成されることが示された。歩行と走行の違いは5つの内2つ目の信号の発生位置が変化するのみであった。以上から歩行と走行を誘発する筋活動パターンを生成する CPG モデルが提案された。また、提案された CPG モデルを数理的に解析し、筋骨格モデルを用いて歩行と走行動作のシミュレーションが実現された^[1]。

神経機構の研究は、主にソフトウェアで模倣される。一方で、電子回路を用いたハードウェアで模倣するアプローチがある。我々は Sekine らが提案したパルス形ハードウェアニューロンモデルに着目した。生体の神経細胞と同様にパルスを生成し、シナプスモデルを用いることでパルス形ハードウェアニューラルネットワーク(P-HNNs)を形成できる。P-HNNs を形成することで、生体の様に多様な時空間パターンを生成できる。また、電子回路による高速処理と集積化、低消費電力の利点大きい。

我々はこれまでに、P-HNNsを用いたロボットの運動制御を研究してきた。2足歩行制御に向けた P-HNNs で構成した CPG モデルを提案し、2足歩行モデルを用いて歩行と走行動作をシミュレーションした。

本論文では、人型筋骨格モデルを用いて P-HNNs を用いたニューラルネットワーク IC による人型筋骨格ロボットの 2 足歩行制御を検討した。以前提案した CPG モデルをもとにニューラルネットワーク IC の設計とシミュレーションを行った。IC の出力を用いた人型筋骨格モデルの歩行と走行の切り替え制御方法を検討した。

2. 2足歩行制御用ニューラルネットワーク IC

Figure1 にニューラルネットワーク IC の構成要素と IC の構成を示す。IC は以前提案した CPG モデルをもとに設計した。IC チップは細胞体モデルを 6 個と抑制性シナプスモデルを 30 個を相互抑制接続させた。抑制性シナプスモデルに接続した細胞体モデルは、出力が抑制され逆相同期によって電圧パルスを出力する。

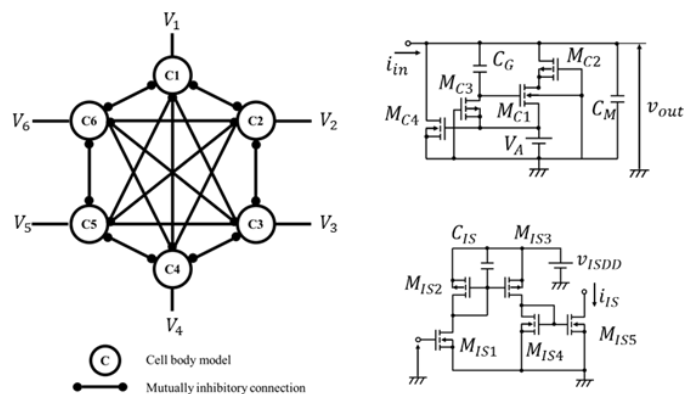


Figure1. Overview of the IC and Components of the IC chip

1 : 日大理工・院 (後)・精機 2 : 日大理工・院 (前)・精機 3 : 日大理工・学部・精機 4 : 日大理工・教員・精機

3. 人型筋骨格モデル

Figure2 に人型筋骨格モデルと筋の詳細を示す。モデルは歩行運動寄与する 25 筋を有している。赤く示した箇所が筋である。

生体の筋シナジーのように、筋骨格ロボットの複数のアクチュエータを IC の出力によって制御するため、以前提案した CPG モデルの出力を用いて歩行と走行動作で協調する筋群を解析した。既存する歩行と走行関節角度を抽出し、CPG モデルの 5 つの歩行と走行パターンの周期で分割した。分割した角度を筋骨格モデルへ入力し、歩行と走行で協調する筋群を分類した。

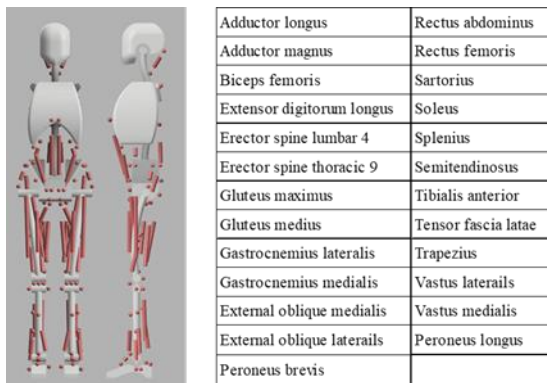


Figure2. Musculoskeletal model and detail of muscles

4. IC チップによる 2 足歩行制御方法

Figure3 に IC チップの出力を用いた筋骨格モデルの制御方法の概要を示す。協調解析した筋群において、歩行と走行で共通して使用する筋を確認した。我々はこれらの筋群を運動において主体的に動作する主働筋と考えた。表では濃いグレーとピンクで示した。一方で、薄いグレー、赤で示した筋は運動において受動的、補助的に作用する共同筋、安定筋と考えた。歩行運動を IC で制御するとき、IC の出力タイミングで主働筋を収縮させることで歩行制御が可能と考えた。

5. 結論

本論文では、人型筋骨格モデルを用いて P-HNNs を用いたニューラルネットワーク IC による人型筋骨格ロボットの 2 足歩行制御を検討した。IC チップの出力を用いて、人型筋骨格ロボットの歩行と走行の切り替え制御方法を提案した。

今後は IC チップの実測とロボットへの実装の検討を行う。また、筋骨格モデルの解析において共同筋と安定筋の P-HNNs による制御方法を検討し、人間に近い歩行運動シミュレーションを目指す。

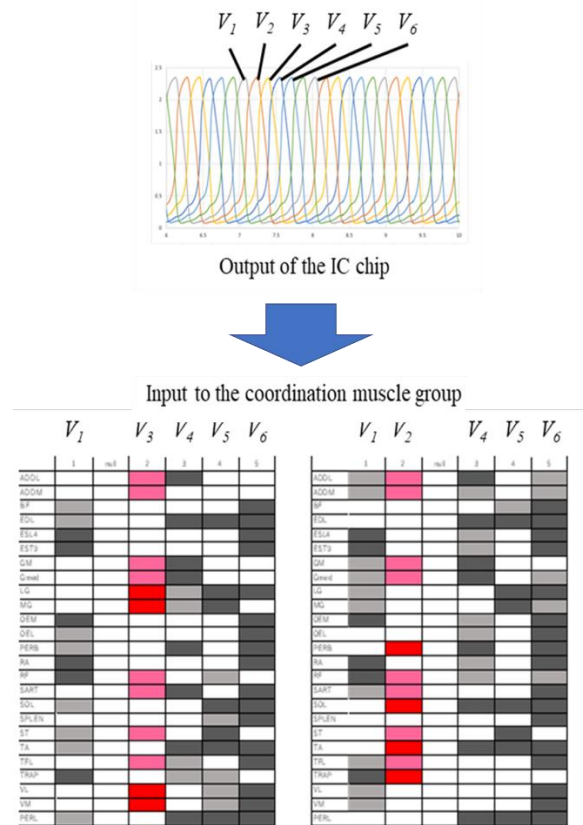


Figure3. Controlling musculoskeletal robot with output of the IC chip

6. 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。

7. 参考文献

[1] Aoi, Shinya; Ohashi, Tomohiro; Bamba, Ryoko; Fujiki, Soichiro; Tamura, Daiki; Funato, Tetsuro; Senda, Kei; Ivanenko, Yury; Tsuchiya, Kazuo (2019), Neuromusculoskeletal model that walks and runs across a speed range with a few motor control parameter changes based on the muscle synergy hypothesis, Sci. Rep., Vol. 9, pp.369