

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 11600 号
------	---------------

氏 名 小林 泰介

論文題目

Selection and Integration Architecture of Locomotion Control for Multi-Locomotion Robotic Systems
(マルチロコモーションロボットのための運動制御器選択・統合アーキテクチャ)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	准教授	関山 浩介
委員	名古屋大学	教授	長谷川 泰久
委員	名城大学	教授	福田 敏男
委員	名古屋大学	教授	大岡 昌博
委員	名古屋大学	教授	宇野 洋二

論文審査の結果の要旨

小林泰介君提出の学位論文「Selection and Integration Architecture of Locomotion Control for Multi-Loocomotion Robotic Systems」は9章構成であり、マルチロコモーションロボットシステム (MLRシステム) に汎用性及び拡張性を与えるために、最適運動の選択アルゴリズム及び複数運動制御器の統合理論を提案・立証したものである。

第1章では、ロボットのロコモーションに関する従来研究を移動形態ごとにまとめ、それらの移動能力には偏りがあるため、単一の運動のみ用いるロボットでは複雑・未知環境に適応できない問題点を述べている。その問題を解決する手法となるMLRシステムに注目し、本システムの従来研究を調査することで、3つの技術課題、(1) 複数の運動制御、(2) 周辺環境及びロボット内部状態の認識、(3) 運動性能と認識結果に基づく最適運動の選択、へ論点を整理している。

第2章では、これまでのMLRシステムとして、本システムの実現に向けたロボット、Gorilla Robot IIIの構成及び獲得されてきたロコモーションについてまとめている。

第3章では、提案する選択アルゴリズム、Selection Algorithm for Locomotion (SAL)の基本設計と代表的な適用事例として、歩容の選択及び移動速度の調整について述べている。SALは認識フェイズで3つの転倒要因及び転倒リスクを評価し、選択フェイズで転倒リスクと移動効率に基づいた評価関数である運動報酬を用いることで、転倒しない範囲で最大効率を得るロコモーションを選択するものである。以上により設計されたSALは、2足・4足歩行といった歩容の選択と、各歩容における移動速度の調整を実現し、シミュレーション及び実機実験において単一のロコモーションを用いる場合よりも1.2~2.7倍高効率な移動を達成できることを示している。

第4章では、SALの応用例として、2足歩行における腕振り戦略の選択を達成した。2つの性質の異なる腕振り戦略を提案し、各々の転倒要因に対する有効性を検証した。その検証結果を基に、転倒要因に応じた腕振り戦略の重み付け線形和を図った。これにより、発生している転倒要因に適した腕振り戦略の選択を実現した。この結果、2足歩行の移動能力として、転倒リスクの減少及びエネルギーコストの低下を確認している。

第5章では、もう1つのSALの応用例として、2足歩行時における杖利用方法の選択を実現した。前章での定性的な転倒要因の考慮に対し、本章では、転倒要因ごとに各杖利用方法を実行することで得られた運動報酬を強化学習により蓄積することで、転倒要因と杖利用方法の親和性を評価する手法を提案した。この学習により、実機実験においてロボットは発生した転倒要因に最適な杖利用方法を選択することで、単一の杖利用方法だけでは転倒してしまう環境を踏破することに成功した。

第6章からは、複数運動制御器の統合理論にあたるPassive Dynamic Autonomous Control (PDAC)について扱っている。本章では、PDACの基本概念である仮想拘束に関して説明するとともに、残されている技術課題となる、PDACにおける仮想拘束に依存しない移動速度の制御と、仮想拘束の設計による複数歩容の統一制御について述べている。

第7章では、2足歩容の遊脚運動に着目した移動速度制御を達成した。仮想拘束による差異は、目標速度と計測された移動速度との差分を基に、逐次関係性を調整することで補償された。本手法は複数の仮想拘束に対して検証され、それぞれで収束速度などは異なるものの、十分な移動速度制御性能を有していることを示している。

第8章では、統一制御の一例として、2足歩行・走行を一括して表現できる仮想拘束を設計することで、2足歩行・走行の統一的な制御を実現した。歩行・走行間の遷移が仮想拘束の内部パラメータである減衰比1つを調整するだけで獲得され、さらには減衰比を移動速度に応じた関数としてエネルギーコストを最小化するように設計することで、歩行と走行が移動速度に応じて自然と切り替わる制御系を実現した。この制御系は、シミュレーションにおいて、歩行または走行からエネルギーコストの小さいものを選択し、遷移することで移動速度に対してほぼ一定のエネルギーコストを獲得できていることを示している。

第9章は本論文の結論であり、全体のまとめと今後の課題、展望について述べている。

以上のように、本学位論文は、マルチロコモーションロボットの先進的な制御手法を提案しており、成果の多くはロボティクス世界トップ水準の学術誌、国際会議に採録された評価の高いものである。よって、小林泰介君の学位論文は工学の発展に寄与するところが大きいと判断され、博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。