

学位論文審査の結果の要旨

報告番号	先端科学技術 甲第一〇八 号	氏 名	南 斉 俊 佑
論文題目	Nested Reconfigurable Modules for Multi-robot System		
論文審査委員	主査 岩瀬 将美 島山 省四朗 石川 潤 釜道 紀浩		

少子高齢化や生産年齢人口の減少といった社会問題を背景として、政府は2014年にロボット革命実現と銘打ち、介護・福祉や農業、防災・インフラなどの分野に関係する企業と需要サイド、大学などが連携して開発・普及に取り組むための具体策検討を決定している。今後益々ロボットに対する期待が高まり、エンジニアは期待に応えるロボットの開発を進めなければならない。

農業、防災、インフラなどの分野では、複数のロボットが各々の環境下において、それぞれの役割を果たしながら、ネットワークを構築し、情報の共有とタスクの最適分担、相互扶助を行う群ロボットシステムの導入が期待されている。このためには、各々異なる環境やタスクに対して柔軟に対応し、適応する能力が必要となる。環境やタスクに対する柔軟性や適応性の重要性は、古くから認識されており、環境やタスクに応じてロボットシステムが形態や機能を変形し、最適化していく能力は「**Reconfigurability**(再構成可能性)」と定義され、これまでの研究は **Reconfigurability** の実現方法から2タイプに分類できる、すなわち **Intra-reconfigurability** と **Inter-reconfigurability** である。

本論文では、この **Intra-reconfigurability** と **Inter-reconfigurability** を合わせもつ新たな機能や能力を定義し、群ロボットシステムで実現することを目的としている。**Intra-reconfigurability** とは、環境やタスクに応じて、群ロボットを構成する個々のモジュール自身が形態や機能を能動的または他動的に変化させる能力である。**Inter-reconfigurability** とは、モジュールの連携やネットワーク構築状態を必要に応じて変化させる能力である。これらの **reconfigurability** を入れ子状(Nested)とする、つまり **Reconfigurability** を **Reconfiguration** する新たな **Nested Reconfigurability** を提案することで、幅広い環境に適応し、様々なタスクを柔軟にこなし、効能を最大化することを目指している。これを実現する1つのアプリケーションとして、多様な環境での走破性、種々のタスクに応じられる柔軟性が求められる多脚型ロボットを想定し、多脚型 **Nested Reconfigurable** ロボットを開発している。

1章では、本研究に着手するに至った社会的背景、技術的背景を述べ、特にこれまでの群ロボットに関する **Intra-**, **Inter-reconfigurability** の研究について整理し、**Nested Reconfigurability** に着想するまでのバックグラウンドを述べている。また、**Nested Reconfigurability** の概念を説明し、概念を実現するに必要な課題を設定し、具体的な問題解決についてのアプローチを示唆している。

2章以降では、**Nested Reconfigurability** を有するロボットの実現について述べており、特にテオヤンセン機構を有する多脚ロボットを具体的なアプリケーションとしている。テオヤンセン機構は、ピンジョイント平面リンク機構の一つであり、1つのアクチュエータで駆動され、リンク長の組み合わせにより多様な歩容が再現できる。そこで、リンク長を可変とする再構成可能型テオヤンセンリンク

③作成例

機構を提案し、要請される脚先軌道を適切に再現するリンク長の有効な決定方法、実現された脚先運動の新規性と実用性を示している。この成果が次の雑誌論文にまとめられている。

[1] S. Nansai, R. E. Mohan, and M. Iwase, “Dynamic analysis and Modeling of Jansen Mechanism”, *Procedia Engineering*, Vol. 64, pp. 1562-1571, 2013

Intra-reconfigurable なテオヤンセン機構は 1 つのモータで駆動できるが、モータを一定速度で駆動しても、対応する脚先軌道の速度は一定とならない。そこで、複雑なヤンセンリンク機構の運動学解析を Bilateralion 問題に帰着することで、脚先速度ノルムと駆動リンクの角速度が比例関係にあることを明らかにし、その結果を利用してヤンセンリンク機構の脚先を等速度運動させる駆動リンクの角速度指令値を設計している。このヤンセンリンク機構モジュールを複数搭載した多脚歩行ロボットに発展させているが、この時、異なる歩容を実現中の脚や歩容を遷移中の脚の同期をとるため、脚モジュールを連結する股関節軌道を適切に生成する必要がある。これを解決する Inter-reconfigurable 歩行プラットフォームを実現し、下記の論文にまとめている。

[2] S. Nansai, et. al., “On a Jansen Leg with Multiple Gait Pattern for Reconfigurable Walking Platforms”, *Advances in Mechanical Engineering* (accepted), 2015

Intra-reconfigurable なヤンセンリンク脚モジュールを Inter-reconfigurability を有するように開発した歩行プラットフォームに連結することで、Nested Reconfigurable な多脚ロボットの実現に成功している。このロボットを用いて、異なる歩容サイクルから生じる、最大 6 種類の有用な歩行パターンが生成できることを確認しており、下記の論文にその成果がまとめられている。

[3] S. Nansai, N. Rojas, R. E. Mohan, R. Sosa, and M. Iwase, “A Nobel Reconfigurable Jansen Leg with Multiple Gait Patterns”, *Robotics and Autonomous Systems*

最後に、Nested Reconfigurable な多脚ロボットを、指定した位置へ移動させるための制御系設計法を与えている。Nested Reconfigurable なロボットは、個々のモジュールにも、そのモジュールが複数集まるときの構成方法にも再構成可能な自由度があるため、環境適応性やタスク実行可能性は高い一方、構成の複雑さは一段と増す。そのため、複雑度の高いロボットに対する制御系開発は重要である。ここでは、ロボットの動的モデルを導出し、そのモデルに基づくエネルギー制御系を提案することによって、シンプルなアルゴリズムで制御ができることを示している。

[4] S. Nansai, R. E. Mohan, N. Tan, N. Rojas, and M. Iwase, “Dynamic Modeling and Nonlinear Position Control of a Quadruped Robot with Jansen Linkage Mechanism”, *J. of Robotics*

以上、本論文において著者が検討して得た結論に記された事柄は、多様な環境に適応し、種々のタスクに柔軟に対処する群ロボットを実現するうえで重要となる Nested Reconfigurability という新たな概念を提案し、その概念を、テオヤンセンリンク機構を有する多脚ロボットで実現、有効性を実験的に検証していることから、本論文の価値は工学的、工業的な観点からも十分に評価できる。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。