

学位論文内容の要旨

報告番号	先端科学技術 甲第一〇八 号	氏 名	南 齊 俊 佑
論文題目	Nested Reconfigurable Modules for Multi-robot System		

本研究は、環境に対する高い柔軟性と適応能力を有する群ロボットシステムを実現するために、ロボットシステムを構成する個々のモジュールが自己形態変化能力を有し、かつ、その複数からなるネットワーク的なシステム自身も再構成可能であるような、Nested Reconfigurability と呼ばれる新たな概念を提案、確立し、その有効性を理論的側面と、実験的側面の両面から検証することを目的とする。

Nested Reconfigurability とは、これまでの Intra-および Inter-Reconfigurability の2つの性質を入れ子状に組み合わせた Reconfigurability のことである。Intra-Reconfigurability とは、独立した個々モジュールが Reconfigurability を有することを意味し、Inter-Reconfigurability とは、複数モジュールがシステムを構成するときの構成の手法に Reconfigurability を有することを指す。Reconfigurability とは、モジュールやシステムが必要に応じてその形態を能動的または他動的に変化させることができる能力であり、Reconfigurability を有することで環境への適応能力や、タスクに応じた最適な形態の実現が可能となる。本研究で提案する Nested Reconfigurability の Nest(入れ子)とは、Intra-Reconfigurability を有する複数のモジュールによってユニットを構成し、そのユニットの集まり方に Inter-Reconfigurability を持たせるとき、このユニットを1つのモジュールと考え、モジュールを複数集めてより大きなユニットを構成していくと、Intra-Reconfigurability と Inter-Reconfigurability が入れ子構造となることに由来している。この Nested Reconfiguration の概念を確立することで、不確実性の強い環境においても、多岐にわたるタスクを遂行することができるロボットの開発を開発する。

本研究では、Nested Reconfigurability を有するロボットシステムとして、ヤンセンリンク機構に着目する。この機構は、1 自由度の運動によって歩行運動を実現可能なリンク機構であり、この機構を多数連結させたとしても1 自由度で駆動することができる。しかしながら、この機構は、閉リンク機構であることから1 パターンの歩容しか描くことができない。したがって、従来までのヤンセンリンク機構に基づくロボットには走破性において問題が生じる。そこで、Nested Reconfigurability の概念を導入し、可変形ヤンセンリンク機構を提案する。可変形ヤンセンリンク機構とは、いくつかのリンクにアクチュエータを搭載したヤンセンリンク機構であり、閉リンク機構の特徴の1つである、リンクの長さの組み合わせによって異なる軌道が描かれることを利用し、リンクの長さをアクチュエータによ

って変化させることで多様な歩容を描くことができるヤンセンリンク機構である。また、モジュールの連結機構は、描かれる歩容の位置を連結させるために、ヤンセンリンク機構の位置を任意に調整可能な機構を搭載する。そして、可変形ヤンセンリンク機構を 4 つ組み合わせることで多脚型プラットフォームを開発する。本論文は、6 章からなる。

第 1 章では、Nested Reconfigurable システムに関する背景・研究目的・関連研究に対する本研究の位置づけを論じている。特に、自己形態変化を有する従来の群ロボットの研究について精査し、Reconfigurability の観点から、自己形態変化を有する Intra-Reconfigurability と、モジュールの構成状態に関する形態変化を意味する Inter-Reconfigurability とに分類することで、Intra-および Inter-Reconfigurability のもつメリット、デメリットをまとめ、その両方の長所をあわせもつ Nested Reconfigurability という概念の提案と説明を行う。

第 2 章では、可変形ヤンセンリンク機構単体の設計および運動学解析を行い、その実機実証を行っている。ヤンセンリンク機構の順運動学を、Bilateration 問題を解くことで導出し、リンクパラメータを変化させながら歩容を解析することで、平面での歩行のための歩容だけでなく、合計 6 種類の歩容を同定している。さらに、可変形ヤンセンリンク機構を設計・開発し、実機実験によって、解析結果の有用性・再現性を定量的に考察している。

第 3 章では、ヤンセンリンク機構の足先の速度制御を提案している。Bilateration 問題を応用することで足先と駆動リンクの角速度の関係を明らかにし、その関係に基づいて、足先を等速度に制御することができる駆動リンクの軌道を導出している。導出した軌道を用いて足先の速度制御化可能であることを、運動学シミュレーションを通して示している。

第 4 章では、開発した可変形ヤンセンリンク機構を 4 つ組み合わせた多脚型ロボットを設計し、歩行手法および歩容の変更手法を提案している。4 足歩行ロボットは、常に 3 脚で接地するように制御することで、安定な歩行を実現することができる。本章では、生物学に基づき、6 種類の歩容を実現する静的安定な歩行を実現させるための各脚の同期手法を提案している。さらに、静的安定な 2 種類の歩容の変形手法を提案している。

第 5 章では、エネルギー制御に基づく多脚型ロボットの位置制御系を設計している。本章では、設計した多脚型プラットフォームをさらに発展させたプラットフォームを想定し、そのロボットの動的モデルを Projection Method を用いて導出している。導出したモデルは、路面の摩擦係数などの未知のパラメータを含むため、制御系のための近似モデルを導出し、その近似モデルを用いてエネルギー制御に基づく位置制御系を設計している。制御系によってロボットの位置が制御可能であることを動的シミュレーションによって示している。

第 6 章では、本論文の結論を論じている。本研究では、不確実性の高い環境において適応能力を持つ Nested Reconfigurability の概念を確立し、その代表例として、可変形ヤンセンリンク機構およびそれを複数統合した多脚型プラットフォームを開発した。それらの動的・運動学シミュレーションや実機実験を通して、Nested Reconfigurability の有用性やその設計・制御方針を提案した。