

論 文 要 旨

Abstract

論文題目

Title

Computational Methods for Intelligent Motion Control of a Biologically Inspired Modular Robot

生物様モジュールロボットの動作制御のための計算手法に関する研究

The notion that the whole is greater than the sum of the parts is very applicable when considering the concept of emergence in complex systems. Given a system consisting of homogenous sub-systems with a set of behaviour and constraints, we are interested in knowing how the interaction of the sub-systems can lead to emergence of system level behavior. In particular we consider the brittle star typed robot as the system which is composed of homogenous modules (sub-systems).

Emergent structures in nature, such as ant colonies, neural networks and cellular automata provide inspiration for developing equivalent computational models for solving difficult problems. Thus we leverage off such computational structures to develop novel control models for the modular robot. Specifically, the research reported herein explores cellular automaton (CA), neural networks (NN) and finite state machine (FSM) as motion control models.

In the cellular automata-based control model, the modules of the robot are modeled as cells in a lattice configuration representing the robot. Suitable transition rules transform the lattice in a manner which induces motion in the robot.

The neural network inspired model considers each leg of the robot as a fully connected neural network with modules represented as neurons interconnected via synaptic weights. Motion is achieved by propagating phase information from the modules closest to the main body to the remainder of the modules in the leg via the synaptic weights.

One way to visualize the module is to consider it as a finite state machine with the phase angle at any given point in time being representative of its state. This makes the robot a collection of state machines. Therefore the problem of motion control of the robot becomes the task of finding optimal sequence of state transitions, which would transform the robot producing desired locomotion.

The proposed control models go hand in hand with a variety of parameters. Optimal settings of these parameters is crucial in achieving coherent motion characteristics. We have adopted the evolutionary computational approach, specifically genetic algorithm to evolve suitable parameters for each of the control models.

The effectiveness of the proposed approach in terms of robustness of the models to modules failures, and adaptability to different desired movements has been verified using simulations.

Name LAL SUNIL PRANIT

平成 21 年 2 月 6 日

琉球大学大学院  
理工学研究科長 殿

論文審査委員

主査 氏 名 遠藤 聡志  
副査 氏 名 M.R. アシャリ  
副査 氏 名 名嘉村 盛和



学位（博士）論文審査及び最終試験の終了報告書

学位（博士）の申請に対し、学位論文の審査及び最終試験を終了したので、下記のとおり報告します。

記

申請者	専攻名 総合知能工学専攻 氏名 LAL SUNIL PRANIT 学籍番号 068657F		
指導教員名	遠藤 聡志		
成績評価	学位論文 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格	最終試験 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格	
論文題目	Computational Methods for Intelligent Motion Control of a Biologically Inspired Modular Robot (生物様モジュールロボットの動作制御のための計算手法に関する研究)		
審査要旨 (2000 字以内)			
<p>部分的な性質の総和を超えた性質を示す複雑系システムの創発的特性の制御や動作予測は重要な研究分野である。本研究では創発的なシステムとして、沖縄の海でもよく観察される、柔軟な形態を有するクモヒトデに着目し、新しい移動技術へ発展可能な柔軟構造を検討し、モジュール型ロボットを製作、制御法を検証することで、複雑創発システムの設計、制御に関する指針を示した。</p> <p>ロボットは、RC サーボ 1 機、制御マイコンから構成されるモジュール構造を有し、連結によりスネーク形状や、五放射相称に接続することで、クモヒトデ型ロボットとして構成することができる。</p>			

(次頁へ続く)

## 審査要旨

重量バランスから、モジュール単体では移動することができず、ロボットモジュール全体の協調がないと移動ができない。すなわち全体構造の協調制御をローカルモジュールの制御による創発的動作として獲得する必要がある。

本研究では、モジュール間の制御モデルに関して、有限オートマトン、セルオートマトン、ニューラルネットワークの3つのモデルを提案し、動作制御の獲得を行った。

ロボットの各モジュールを有限状態機械とた有限オートマトンモデルでは、モジュールの連結角度をモジュールの状態とすることで、ロボット全体が大型の有限状態機械となり、結果的にはロボットの動作制御問題は状態遷移の最適化問題として扱うことができる。

各モジュールをセルとしたセルオートマトン制御モデルでは、オートマトンに対して適切なルールを発見するために遺伝的アルゴリズムおよび共進化アルゴリズムを使い、モデルは一次元セルオートマトン、二次元セルオートマトン、弁別ルールを有する二次元セルオートマトンの3種の制御モデルを段階的に構築した。

ニューラル・ネットワークモデルでは一つずつのモジュールを人工ニューロンにより表し、遺伝的アルゴリズムによりシナプスの結合強度を学習した。人工ニューロンと違い、モジュールは自己状態及び連結角度を保持していることで、ロボット中心本体に一番近いモジュールから、放射連結した次のモジュールに状態情報が伝播し、それによってロボットが動作する。

これら提案した各モデルに対して、物理計算エンジン Open Dynamics Engine (ODE) を用いたシミュレーション空間で、ロボット動作に関する遺伝的アルゴリズムによるパラメータ最適化を行い実験を行った。その結果、より円滑な動作、および移動を獲得することができ、さらに、一部モジュールの強制停止における動作検証を行い、ロボットの対故障設計への有効性を示した。

進化で動作獲得したロボットの要素動作を、さらに発展的に進化させるには問題があった。すなわち、学習させたタスク用の制御パラメータは他のタスクに使用できないという問題である。タスク依存の獲得パラメータの汎化のための再学習はコストが高い。

この問題を解決するため、ビヘイビヤールボティクスに基づき新たな動作制御方式を提案した。ロボットの細かい動きを基本のビヘイビヤールとして学習し、そのビヘイビヤールを結合することで、望んでいるタスクに活用する。提案手法により、基本ビヘイビヤールの学習のみで自由裁量的なコース移動可能とした。

本論文では、モジュール型ロボットの動作における創発制御に関する考察を行った。結論として、有限オートマトンとセル・オートマトンとニューラル・ネットワークを新たにモジュール型ロボットに対して動作制御モデルに活用し、続いて、複雑システムを設計制御する新しいアプローチを提案した。そのアプローチでは、サブシステムのビヘイビヤールを用いてシステムの基本のビヘイビヤールを作成し、さらにサブシステムを結合することで、グローバルビヘイビヤールを構成させた。これは、複雑システムの段階的構築法として有用である。

以上のように、本論文は工学的に価値のある新しい研究成果が示されており、また、上記の者は専門分野および関連分野の十分な知識を有することも確認できたので、学位論文および最終試験とも合格とする。