

平成 21 年 6 月 5 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007 ～ 2008

課題番号：19500127

研究課題名（和文） ロボット教示のための共教習システムに関する研究

研究課題名（英文） Co-Learning system for robot instruction.

研究代表者

山田 孝治（YAMADA KOJI）

国立大学法人 琉球大学・工学部・准教授

研究者番号：90274886

研究成果の概要：

本研究では、ロボットサービスや、e-ラーニングシステム等の、インタラクティブなシステムにおいて望ましい結果に導くよう、質問や教示進度を適宜修正し、学習法を修正しつつ習熟可能な、適応的な学習が可能なシステムの構築を目指しており、重量のバランスから、複数の腕が協力して動作しないと移動できないクモヒトデ型のモジュールロボットの動作学習を通して、学習則を効果的に獲得するための方法を検証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：知能ロボティクス

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学，ソフトコンピューティング

キーワード：知能ロボット，教示システム，教習システム

## 1. 研究開始当初の背景

平成 16 年度までに科研費若手研究によりマルチエージェントの集団現象による軟体動物の実現をクモヒトデ型モジュールロボットの開発を通じて行ってきた。さらに、18 年度まで萌芽研究によりヒトデ型ロボットの対称・非対称モデルをベースとして、運動特性の差異について考察してきた。

一方、ボランティアベースで小中学生に教えるロボット講座を行い、複数年にわたるプ

ロジェクトのため、ロボットおよびソフトウェアに関する技術や使用法、キット作成法の伝授に相当の労力を要した。そして学生の先見知識やスキルにより、教授の方法の修正が適宜必要とされた。さらに柔軟なヘルプシステム、わかりやすいマニュアル、指導書の充実、適切な情報教示の手順が必要とされている。また、指導する上で、受け手からの様々な反応により、指導者自らも学ぶことが非常に多く、このような新奇なフィードバックを、新たに情報提供の枠組みに修正して組み入

れることは重要であると考えられた。

共進化アルゴリズム、免疫アルゴリズムなどを用いてエージェントの協調、競合、進化を扱って来たが、その構図を、情報の受け手と送り手、両者が相互に成長しあうシステムとして構築できないかというのが背景である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、情報の受け手の状況を把握しつつ、受け手に最適な教示を与えるためのフレームワークを構築することである。本研究では、ロボットサービスや、e-ラーニングシステム等の、インタラクティブなシステムにおいて

- (1)望ましい結果に導くよう、
- (2)質問や教示進度を適宜修正コントロールすることができ、
- (3)提供時に、提供法を修正しつつ習熟可能で、
- (4)受け手側から未知の挙動を逆に教わる事もできる「教習システム」の構築を目指した。

## 3. 研究の方法

前年度までにクモヒトデ型をしたモジュールロボットの開発を行ってきた。これは、重量のバランスから、複数の腕が協力して動作しないと移動できず、動作の学習を通して、学習則を効果的に獲得するための方法を検証する。すなわち、特定の学習則を適用した場合の学習進度から、ロボットの学習特性を把握し、より効率的に学習できるような学習法を提供できる枠組みを検討する。

## 4. 研究成果

本研究で扱うロボットは、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。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(図1)。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学習する必要がある。このとき学習特性を把握した適応的な学習手法が望まれる。

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、動作制御の学習を行った。ロボットの各モジュールを有限状態機械と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。



図1 クモヒトデ型ロボット

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(図2)。

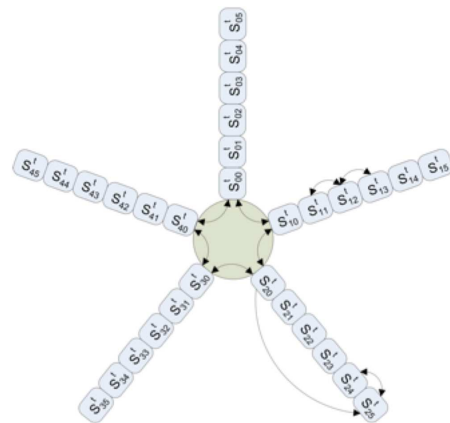


図2 二次元セルオートマトン構造

ニューラル・ネットワークモデルでは一つ一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。(図3, 4)

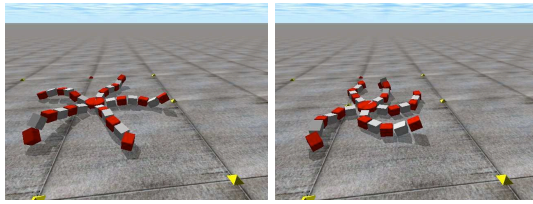


図3 ロボットシミュレーション

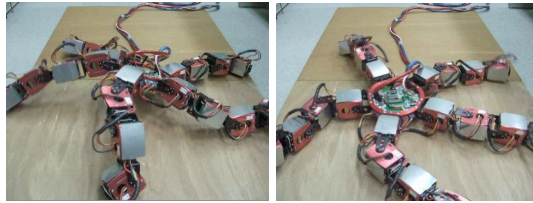


図4 実機稼働

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(図5)、さらに、学習状況の劇的な変化におけるシステム追従テストとして、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も示した。

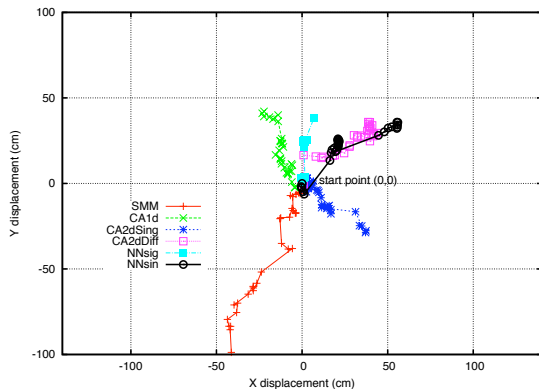


図5 各モデルの移動量

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る。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。

ビヘイビヤールボティックスに基づく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(図6)。

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、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、教示から習熟に至るプロセスを適応的に発展させた複雑系システムの段階的構築法として有用である。

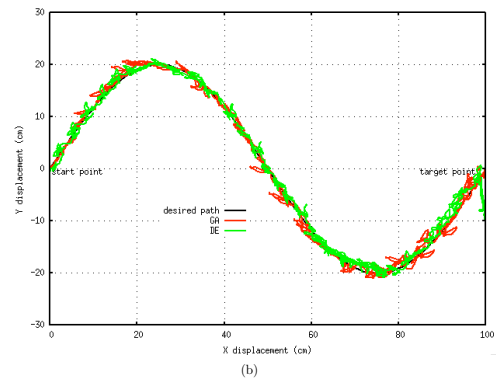
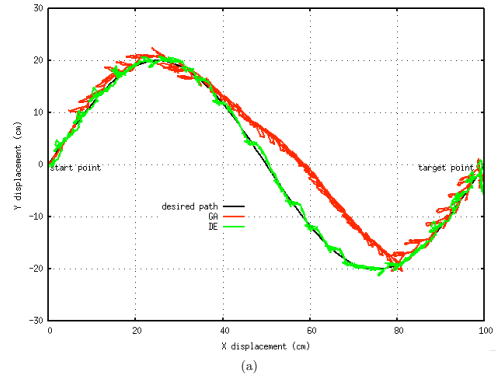


図6 基本ビヘイビヤール数の違いによるトラジェクトリ

本研究ではロボット教示学習に重点をおいた。e-ラーニングシステムのような人間に対するシステムの構築が今後必要であり、研究を進めている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

(1). Lal, S. P., Yamada, K., Endo, S.: Emergent Motion Characteristics of a Modular Robot through Genetic Algorithm.; Huang, D. S., Wunsch, D. C., Levine, D. S., Jo, K. H., (eds.) Advanced Intelligent Computing Theories and Applications: With Aspects of Artificial Intelligence. Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 5227, pp. 225-234. Springer, Heidelberg (2008)

[ISBN: 978-3-540-85983-3]

(2). Lal, S. P., Yamada, K.: Evolutionary Distributed Control of a Biologically Inspired Modular Robot.; Iba H., (eds.) Frontiers in Evolutionary Robotics. pp. 543-566. I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria (2008)  
[ISBN: 978-3-902613-19-6]

(3). Lal, S. P., Yamada, K., Endo, S.: Evolving Motion Control for a Modular Robot.; Ellis, R., Allen, T., Petridis, M., (eds.) Applications and Innovations in Intelligent Systems XV. pp.245-258. Springer, London (2007)  
[ISBN: 978-1-84800-085-8]

[学会発表] (計5件)

(1) Lal, S. P., Yamada, K., Endo, S.: Modeling and Simulation of Motion Control for Modular Robots. SI2008, 2F1-4 岐阜市長良川国際会議場(2008年12月6日)

(2) Lal, S. P., Yamada, K., Endo, S.: A novel approach towards controlling modular robotic systems. FAN2008 シンポジウム, pp. 431-436. 広島県情報プラザ(2008年10月24日)

(3) 神里志穂子, 山田孝治: 注視情報を考慮した舞踊動作学習の特徴抽出. 第22回人工知能学会全国大会, ときわ市民ホール/勤労者福祉総合センター(旭川市)(2008年6月12日)

(4) 仲間祐貴, Lal, S. P., 山田孝治, 遠藤聡志: ニューラルネットワークを用いたモジュール型ロボットの制御. Robomec 2008, No. 08-4, 2A1-G24. 長野市ビッグハット(2008年6月7日)

(5). 仲間祐貴, Lal, S. P., 山田孝治, 遠藤聡志: 単振動によるモジュール型ロボットの制御. SI2007, pp. 849-850. 広島国際大学 国際教育センター (2007年12月21日)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山田 孝治 (YAMADA KOJI)  
琉球大学・工学部・准教授  
研究者番号: 90274886

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者