

タスクに適応可能なロボットモジュールの開発

中根 愛斗[†] Pitoyo Hartono[†]

公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科[†]

1. はじめに

近年のロボット開発の発展と普及により、ロボットの用途は、製造業や災害救助、エンターテイメントなど我々の身近な分野にまで広がりつつある。このような用途の多様化に伴い、環境やタスクの変化に対し適応的に行動を実行でき、場合によって形状を変えるロボットが必要となる。

従来の研究では、外環境に応じて、行動生成と形状変化が可能なロボットが提案された。その一例がモジュールロボットである。モジュールロボットでは、複数のモジュールを組み合わせることで1つのロボットを構築するため、組み合わせ方の変更により、外環境に合わせたロボット形状変形能力や、部分的故障に対する自己修復を実現する試みが行われている[1][2]。これらロボットの制御手法として注目されているのが Central Pattern Generator (CPG) である[3]。CPG は、歩行など生物の周期的な動作パターンを生成する神経回路網であり、これを結合振動子系でモデル化したものが、ロボットの歩行制御や関節制御に適用されている[4]。これらの研究では、目的とする制御パターンを実現するために、ロボット全体の構造を踏まえた上での振動子の配置と接続形状の設計が必要である。そのため、複雑なロボットに対し設計コストが高くなり、また用途の変更に対して再設計が必要となる。従来ではシミュレーション上での試行錯誤的な調節や、遺伝的アルゴリズムなど最適化手法を用いた設計が行われてきた[5]。

それに対して本研究では、任意の組み合わせが可能なロボットモジュールを開発し、目的とするタスクに応じてそれらの接続形状を適応的に修正できる CPG による制御を実現する。これにより、設計を簡略化できるため、様々な形状を持つロボットを構築することが容易である。

2. ロボットモジュール

本研究で提案するロボットモジュールシステムの概要を図 1 に、モジュール単体を図 2 に示す。本研究で開発するモジュールは、CPU、アクチュエータ、評価を得るためのセンサや電源を持ち、独

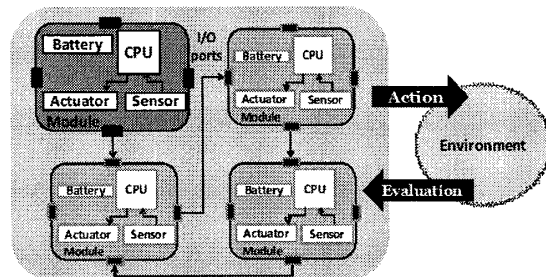


図 1. モジュールシステム概要

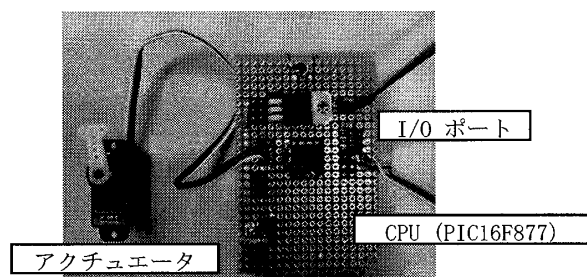


図 2. ロボットモジュール外観

立に動作できるものでありシステムの構成単位とする。モジュールは他のモジュールとの局所的な通信機能を持ち、多数のモジュールを組み合わせることで、ロボットを構成することが可能となる。

式(1)に示すように、各モジュールは固有角速度 ω_i の振動子として振る舞い、搭載するアクチュエータに対し周期運動を発生させる。

$$\frac{d\theta_i(t)}{dt} = \omega_i - \sum_{j=1}^n O_j \cdot \varepsilon_{ij} \sin(\theta_i(t) - \phi_{ij} - \eta(t)) \quad (1)$$

$$O_i = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta_i = 2\pi \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

本モジュールは内部状態 θ_i が 2π となった瞬間のみ接続したモジュールにパルス O_i を出力する。パルスを受信したモジュールは式(1)第 2 項によって動作周期の調整を行う。ここで、 $\varepsilon_{ij} \in \{1, 0\}$ はモジュール i - j 間の接続係数を示す。 ϕ_{ij} はモジュール間の動作位相差の理想値を設定し、 η はシステム共通ノイズである。

本研究では複数のモジュールの接続トポロジーの適応的な変化によって目的とする動作を生成可能なロボットの実現を目指す。ここでは、センサ値に基づいてモジュールの組み合わせとしてのロ

Development of Robot Modules with Adaptive Connection Topology

[†] Aito Nakane, [†] Pitoyo Hartono

[†] Graduate School of Systems Information Science, Future University - Hakodate

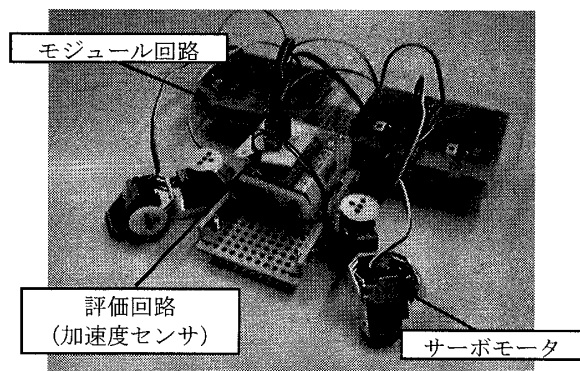


図 3. ロボットモジュール

ボットに対し、目的とする動作を反映する評価関数を定義できる。適応アルゴリズムとして、ハードウェア上に実装が容易である焼きなまし法 (Simulated Annealing; SA) [6] を選択した。

複数のモジュールから構成されるロボットの例を図 3 に示す。ここでは、4 台のモジュールを用いて 2 関節 2 脚のロボットを構成している。また、アクチュエータモジュールとは別に動作評価を行うための評価モジュールを搭載する。この評価モジュールからのフィードバックをもとに適応的にモジュール間の接続トポロジーを SA によって変更する。

3. 移動制御実験

本実験では、タスクとしてロボットの直線的な移動制御を設定する。そのため式 (3) に示す評価関数を与える。

$$E = \sum_n |a_x(n)| - |a_y(n)| \quad (3)$$

評価回路には 3 軸加速度センサを搭載しており、 a_x はロボットの前後方向、 a_y は左右方向の加速度を表している。ロボットが直進するときに、式 (3) で示す評価値が高くなり、回転運動するときに、評価値が低くなる。評価はモジュール間の接続形状を決定後、ロボットを一定時間動作させ、その間のセンサ値の累積を用いて行った。今回は前後方向への直線移動を扱うため、この評価関数を最大とするように SA を行った。またパラメータ $\phi = \pi$ とした。

評価値の推移と接続形態の変化の一例を図 4 に示す。学習初期の段階では、接続のないモジュールが個々の動作タイミングで動作するため、左右方向の動作が大きい回転運動などを行っており評価値が負値となっている。しかし SA によってモジュール間の接続形態が最適化されていくことで、前後方向への移動量が大きくなるような接続形態を獲得し評価値が増加していくことが確認された。また今回は、他モジュールとの最大接続可能数を 2 台と設定して実験を行ったが、最終的に得られた

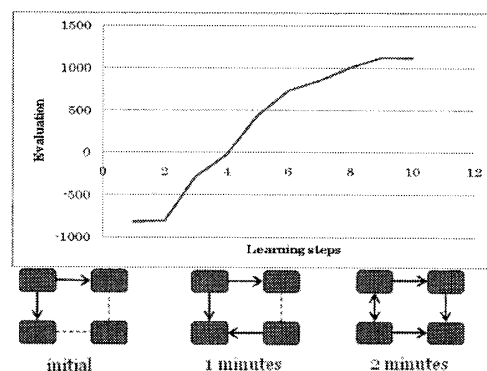


図 4. 接続形態の切り替えによる動作最適化

接続形態は、すべてのモジュールが最低 1 つのモジュールと結合している形態となった。

また、今回固定値として扱った動作位相差 ϕ の値を変化させることでロボットの動作を多様化可能であることを確認している。すなわち ϕ および目的のタスクに応じた評価法を適切に設計することで、任意のタスクを実現する接続形態を実現することが可能であると考えられる。

4. 総論

接続形態を適応的に切り替え可能な CPG を用いて、モジュールロボットの動作の最適化を実現した。今回取り扱ったタスクはロボット移動量の最適化とし、モジュール間位相差を固定で実験を行った。今後は、複数の位相差を選択可能にし、より複雑なタスクや、タスクの変化に対応した接続形態の獲得に関しても実験を行う必要がある。

関連研究

- [1] 神村明哉ほか, “ジュール型ロボットの移動パターン自動生成に関する研究,” 日本機械学会論文集, 70-690, C, pp. 886-892, 2003
- [2] X.Chen, et al. “Development of Multi-Legged Walking Robot Using Reconfigurable Modular Design and Biomimetic Control Architecture,” Journal of System Design and Dynamics, Vol.2, No.1, pp. 401-412, 2008
- [3] K.Matsuoka, “Sustained Oscillations Generated by Mutually Inhibiting Neurons with Adaptation,” Biological Cybernetics, Vol.52, pp. 367-376, 1985.
- [4] A.Crespi, A.J.Ijspeert, “Online Optimization of Swimming and Crawling in an Amphibious Snake Robot,” IEEE Transactions on Robotics, Vol.24, No.1, pp. 75-87, 2008
- [5] T.Mori, et al. “Reinforcement learning for a cpg-driven biped robot,” The Nineteenth National Conference on Artificial Neural Networks, pp. 777-782, 2002
- [6] S.Kirkpatrick, et al. “Optimization by Simulated Annealing,” Science, Vol.220, No. 4598, pp. 671-680, 1983