

Subsumption Architectureに基づく脚エージェント群による歩行の実現に関する基礎研究

○滝田謙介(北大工) 三上貞芳(北大工) 嘉数佑昇(北大工)

要旨

近年Subsumption Architecture (SSA) が提案され、多くの成功例が報告されている。しかし、その多くはロボットを一つのエージェントとみなして構築しているゆえ、対故障性、頑健性にかけることが指摘されている。さらに、SSAでは、学習機構への言及がなく、環境への適応性が必ずしも十分であるとはいえない。本研究は、これら欠点を改善するためにClassifier System (CS) を導入し、各脚をSSAに基づいてマルチエージェントとして構築し、結果として一つのロボット個体をボトムアップ的に構成可能な新しい分散階層型アーキテクチャを提案する。提案アーキテクチャに基づいた実機を製作し、歩行実験を通して、その実現可能性を検証する。

1. はじめに

歩行ロボットについての研究が盛んに行われている。しかし、それに用いられる手法は、現代制御手法[1]や、古典的AI手法等の記号的処理に重きをおいた実時間応答性に欠ける手法がとられてきた。しかし、R BrooksによりSSAという、実時間応答性に重点を置いた手法が提案され、多くの成功例が報告されている。しかし集中的な制御機構を用いているために対故障性、頑健性にかける。また、学習機構を持っていないために適応性も十分であるとはいえない。

本研究では、多足ロボットの歩行の実現について動物の行動の多くが自動運動と個体毎のパラメータチューニングであることに着目し、SSAに基づく脚エージェント群からなるマルチエージェント系により構成される分散階層型アーキテクチャを提案し、さらにSSAに欠ける学習機構として、CSを用いたパラメータチューニングの導入を検討し、実現可能性を実機により検証する。

2. SSA

SSAはR Brooksによって提案された手法である。SSAでは、図1に示すようなボトムアップ的にロボットを行動で分割して構築する[2]。常に下位の層が確実に動作することを確認し上層を付加する。各層間の結合は図2に示す禁止 (Inhibition), 抑制 (Suppression) を用いて行われる。このような構造のため、実時間応答性の確保が容易で、かつ環境適応性の高い移動ロボットの実現が可能である。

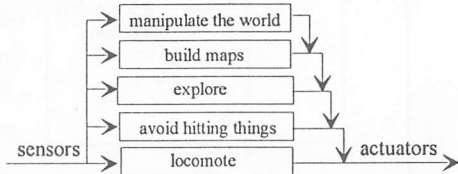


図1. Subsumption Architecture

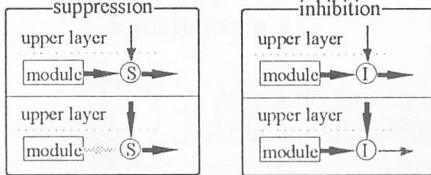


図2. Connection between Layers

3. 脚ロボットへのSSAの適用

本研究における歩行の定義を次に示す。

- 転倒しない(常に重心の正射影点が支持多角形の中に存在している)。
- 現在の位置から、他の位置に移動が可能

そのためのロボットの行動からの分割により設定した層構造は図3、図4に示すとおり4層からなる。以下にそれらの概略を述べる。

3.1. 第0層

モータコントロールのための実際のインタフェースとなる層である。

3.2 第1層

立つというタスクを遂行するためにモータの位置について第0層に干渉し、脚を安定な支持多角形が生成されるように調整する層である。

3.3 第2層

歩行というものは、立つという行動に、あるリズムを持った動きが付加したものと見なせる[3]。この層は、信号の伝搬によって、歩行のためにプリミチブなリズムを生成の層である。この層の付加によって、自然界にいる動物における自動歩行を実現することが可能である。

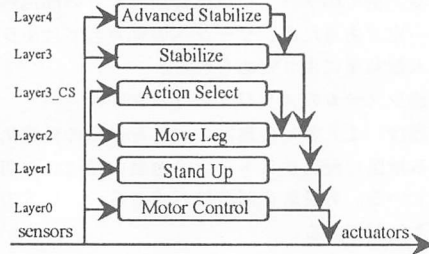


図3. Layered Control System

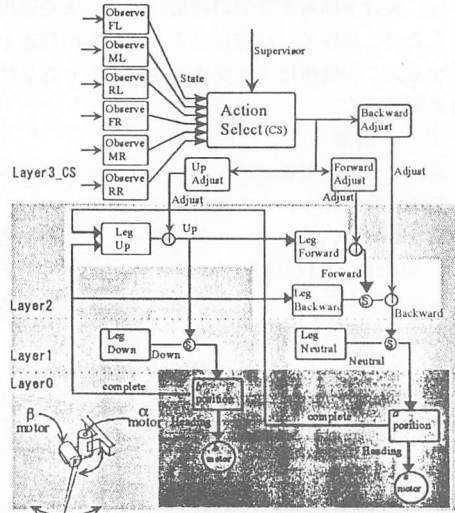


図4. Layer 3_CS: Action Select

3.4 第3層

第2層までの構成で、ある位相を持たせることで、歩行を実現することが可能である。しかし、実際のロボットにおいては、この位相が保たれる保証がない。そのために、安定した連続歩行が難しい。そこで、各脚の同期を、回復させるための層を付加する(図5)。各モジュールは各脚の次の脚の状態を予測し、ロボットが転倒の可能性がある場合には脚を接地状態に強制的に遷移させることにより、同期を回復させる。

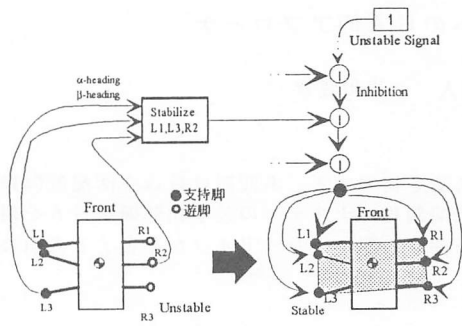


図5. Layer3:Stabilize

3.5 第4層

第3層によって、同期の回復が可能である。しかし、この層での観測対象は、未来の状態のみであるために、デッドロックに陥る可能性がある(図6)。

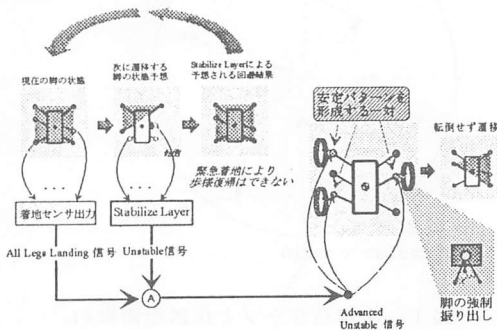


図6. Layer4: Advanced Stabilize

そこで、デッドロックを監視するために、着地センサより生成される着地信号と第三層の出力から、Advanced Unstable信号を生成する。デッドロックを検出したなら、強制的に脚を安定余裕の高い交互三点接地歩行をさせる層を付加する。

4. 分散階層7-足への歩行への適用

前節までの、構成により、歩行を行わせることは可能である。この構成は、各脚の同期の回復に中枢神経としての第3層、第4層を使用しているが、最低限の制御機構が、各脚に分散配置されているために、対故障性、頑健性の点において、有効であると考えられる。

しかし、各脚の同期の回復に強剛接地及び、強制振り出しといったいわば、大きなcalibrationのみを使用しているため、適応性に欠けると考えられる。そこで第3_CS層として、各脚にClassifier System (CS) による状態監視及び、行動選択を行う層を付加し、小さなcalibrationによる、適応性の確保について検討する。

4.1 Classifier System

自律エージェントを進化させる方法の一つは、その行動規則を学習させることである。本研究では、この規則をGAを用いて学習させる方法の一つであるClassifier System(CS)[4]を用いる。Classifier Systemはルールセットを集団と考える。各ルールは、分類子とメッセージから成り立っており、11**0011なら、11**が分類子で、0011がメッセージである(例はワイルドカード)。一般に、「バケツリレーアルゴリズム」という、ある種のバックプロパゲーションを使用し、各ルールの適合度を設定する。

本研究では、メッセージは各脚の離散的な状態表現とする。また、適合度には、CSの連鎖による操作だけでなく、全体の同期をとる層である、第3層からの信号を用いてペナルティを導入する。出力されたメッセージを用いて、各信号を抑制、禁止し、各脚エージェント自身による、安定歩行の確保について検討する。

4.2 第3_CS層

この層は、ある脚において、他の脚の状態を観測し、それによって得られた情報から、csに基づき行動を選択し、下位の層に対し干渉することで、同期の確保をおこなう。ペナルティは、第3層が介入してきたときに、その脚が接地状態でなかった場合にかけられる。

これは、動物における後天的学習にあたると思われることができる。

5. 実験

以上の構成を実験的に検証することを目的として、実機を試作した(図7)。

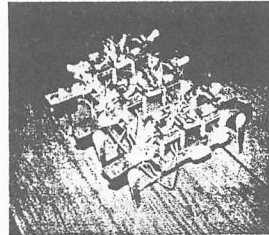


図7. Physical Robot

第0層では、モータが正確に任意の位置に動くことを保証するような回路を設定している。第1層の立つためのモータの設定角度は、中立の位置である。したがって、第2層を付加した段階において、始動時には、立つ状態から行動が発現する。ここまでの層について実機にインプリメントし実験を行った結果、同期歩行が生成することを確認した。

以上の層によっても位相差を持たせることによってある程度の歩行が可能である。理想的には全ての位相は変化しないことが望まれるが、実機においては、必然的に同じ位相は保たれる保証が無い。ずれの補正を行うためには、失われた全体の同期を回復させるための層が、上位に必要であると考えられる。

この場合、第3層以降の中核的制御を行う層の実装によりこの同期の回復が期待される。

5.1 第3層の有効性の検証

第3層の有効性の検証を目的にシミュレーションを行った。各脚の状態を4つとする(図8)。

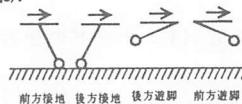


図8. State of Leg

全状態数4096通り、このうち重心を内包する支持多角形が形成されるのは、1728通りである。それ以外の、脚パターンの場合、第3層のstabilizeモジュールが働き、脚を強制接地させ、転倒を回避することが可能であった。

以上より第3層を付加することによって、転倒が予測されるような状態になった場合、強制的に各脚を着地状態に遷移させることによって、転倒を回避させることは可能であると考えられる。

6. おわりに

歩行ロボット実現の位置手法として、SSAに基づく分散階層アーキテクチャを提案し、検証を目的に実機を試作した。また、更なる安定歩行の実現のために、上位の層について、設計し、第3層についてシミュレーションにより有効性を確認した。

今後の課題として、第4層、第3_CS層の有効性の検証と、実機へのインプリメントが残されている。

参考文献

- [1] Charles, A K, Randal, L B: Use of Active Compliance in the Control of Legged Vehicles, *IEEE Trans. System, Man and Cybern.*, Vol.SMC-10, No.7, pp.393-401(1980).
- [2] Brooks, R A: A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-2, pp.14-23(1986).
- [3] 伊藤: 歩行運動とリズム生成, 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.3, pp.18-23(1993).
- [4] Holland, J, Reitman, J: Cognitive systems based on adaptive algorithms, *Pattern Directed Inference Systems*, Academic Press, ew York(1978).