

リズムの相互引き込みを用いた「場」的制御

—開かれたマルチロボットシステムにおける機能分散と相互補償—

金沢工大 三宅美博、○鈴木清晴、清水 博

Mutual-Entrainment-Based “Ba” Oriented Control

---- Function Distribution and Mutual Compensation in Open Multi Robot System ----

Yoshihiro MIYAKE, ○ Kiyoharu SUZUKI, Hiroshi SHIMIZU: Kanazawa Inst. Tech.

Abstract--- Mutual-entrainment-based “Ba” oriented control is proposed. In this report, load carrying model in multi-robot system (Omikoshi model) was constructed as an example of it. As a result, it was clarified that coordinative function distribution depending on the global dynamics between the load and the robotic system is achieved in the model.

Key Words: “Ba” oriented control, mutual entrainment, multi-robot system, Omikoshi model

1 はじめに

従来の知的人工システムでは、設計者がシステムと環境を分離し予め環境を規定することによって、システムを一義的に設計する自己完結型のシステム構築法が用いられてきた。しかしこのような方法では環境が複雑化するにつれシステムが際限なく肥大化し、さらに予め規定されない環境には対応できないという原理的問題も生じる。一方、生命システムは有限の複雑さしか持たないにも関わらず、それよりも遥かに複雑な外部環境の中で自律的に生きていくことができる。これは内部観測に伴うシステムの無限定性を、拘束条件の自己生成によって自己言及的に限定できることに基いている。そして、環境とシステムの間での循環的相互作用を通して自他非分離的な「場」を自己組織することで、適切な拘束条件の生成が可能になる。本研究では、生命システムの持つこのような自己不完結性に基づく開かれた知の在り方に学び、人工システムにおける「場」的制御を実現する。

昨年度は、その最も簡単な制御ケースとして、ロボット間のみ開かれているマルチロボットシステムを構築した。具体的には、システム内での相対位置に応じてグループ編成をさせるという機能表現を実現した。そして、各ロボットが歩行リズムの相互引き込みを通して生成する位相勾配パターンを拘束条件として用いることで、個々のロボットの歩行パターンの無限定性を自己言及的に限定し、距離関係を規定し、協調的グループ形成を実現した。(詳細に関しては、昨年度の本学会講演論文を参照のこと)しかし、グループ編成モデルでは、外部環境を一定と仮定しているため、環境とマルチロボットシステムの相互関係における拘束条件の適切性を評価できないという大きい問題があった。そこで、今年度はマルチロボットシステムが荷物を運搬する問題を設定し、ロボット間だけでなく、環境としての荷物に対しても開かれているモデルを構築する。そしてリズムの相互引き込みを用いた「場」的制御の有効性を確かめる。

2 リズムの相互引き込みに基づく「場」的制御

著者は、実際の生命システムから「場」的制御の基本構造を学び、それに基づいて知的マルチロボットシステムを構築するというアプローチを試みている。そして、Fig.1に示す真正粘菌 (*Physarum*) の走化性をモデル系として、環境適応的な形態形成における細胞内コミュニケーション機構の解明からスタートした。その結果、この生物は表現の多義性を内包する無限定型サブシステムの集団から構成され、その無限定性が細胞内化学リズムの相互引き込みを通して限定されることが実験的に明らかになった。そのとき個々のサブシステムの表現、たとえば頭や尾という分化は、外部環境および他のサブシステムとの相互関係に基づいて規定された。そして、それらサブシステムが相互に多様化し協調的に機能分散することで、個体としての機能表現である環境適応的形態が形成されることが示された。しかも、複雑な環境変化やシステム自身の切断

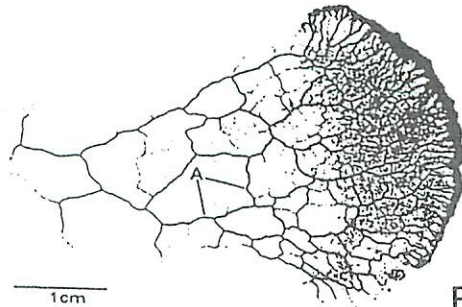


Fig.1

Plasmodium of *P. confertum*. The plasmodium is organized into a fanlike front with a network of strands or veins in the rear. From Siermerling (1970).

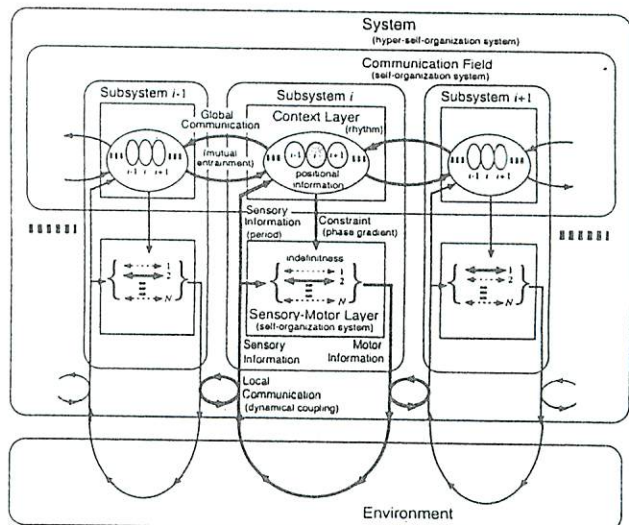


Fig.2

や増殖など予め規定できない変化に対しても、サブシステム間で状況に応じて機能分散や相互補償される現象が観察された。

システムの情報の構造はFig.2のようにまとめることができる。ここでは、個々のサブシステムは感覚—運動レイヤー (S層)と、それに拘束をかけるコンテキストレイヤー (C層)という2層から構成される。S層は表現の無限定性を内包し、C層はS層における無限定性を限定するための拘束条件を生成する。このとき重要なことは、S層と同様にC層に対しても感覚情報が入力されること、さらにリズムの性質をもつC層のあいだでの相互引き込みを通してコミュニケーション場が形成されること、そして、そこにおいて感覚情報を表現する振動数変調から拘束条件を表現する空間的位相勾配系 (位相の空間微分) が自己組織され、各サブシステムの相対的位置関係および環境との関係が表現されること、このような拘束条件を自己言及的にS層へ戻すことで無限定性が限定され、システムの機能表現が確定されることである。

3 荷物運搬モデル（お神輿モデル）

3-1 構成

まず、個々のサブシステムにおけるS層として用いたのは、我々の研究グループの多賀によって提案された2足歩行モデルである。それは、神経系と筋骨格系の間での循環的相互作用を通して多義的な歩行パターンを生成できる自己組織システムであり、拘束条件としての神経系への定常入力に依存して歩行パターンが限定される。そしてこれを要素としてマルチロボット系を構成する。一方、コミュニケーション場を構成するC層として用いたのは、非線形リズムとそれらの間での相互引き込みであり、上記歩行リズムとは異なるリズムである。具体的には、個々のロボットにおける荷物の上下揺れ幅を感覚情報としてC層に振動数変調の形で入力した。このとき、コミュニケーション場に自己組織される位相勾配は、マルチロボットと荷物から生成される運動の重心に対する各ロボットの位置関係に対応した。そこで、これが拘束条件を表現すると見做し、個々のロボットが位置に応じて歩行パターンの違いとして多様化し機能分散する。今回は、歩行リズムの固有振動数の違いとして多様性を生成した。

3-2 結果

本モデルの運動の様子をFig.3に示す。*印より前の時間帯ではC層からの拘束条件に従って、ロボット間で歩行振動数の空間勾配を形成し多様化している。ただしS層でのローカルな相互作用を通してみかけ上の振動数は同調し、その結果生じた位相ずれによって荷物が前後に揺れながら担がれている。*印以降は拘束条件からの限定を取り除き、歩行リズムの振動数を均質化した。そうすると先のような柔軟な担ぎ方ができなくなり倒れてしまった。このことは、個々のロボットが積極的に表現を多様化することによって協調的機能分散を進め、システム全体としての統合された機能表現を生成できることを示している。

さらに、このようなマルチロボットと荷物の相互作用から生成されるグローバルな運動パターンが、運搬する荷物の重量に依存して、離散的な形で3種類存在することも明らかになった。Fig.4は、荷物の揺れ角の時間変化を秩序パラメータとして、その運動パターンを表示したものである。上から順番に、荷物の重量が軽いつき、重いつき、運搬可能な重量の上限に近いときに対応している。それぞれ、揺れの周期が、歩行周期の約1/2、ほぼ歩行周期、不規則であることに特徴がある。さらに、これらのパターンの間では荷物重量の変化に依存して不連続的な転移が観察された。このことは、コミュニケーション場において状況依存的に拘束条件を生成できる可能性を強く示している。なお、このシステムにおける状況依存的な機能分散とその相互補償性の問題に関しては現在計算中である。

4 まとめ

本研究ではマルチロボットシステムにおけるリズムの相互引き込みを用いた「場」的制御を試みた。荷物運搬モデルとしてロボット間および環境との間で開かれた系を構築し、状況に応じた機能分散とその相互補償の実現可能性を示した。

参考文献

- [1] Y. Miyake, G. Taqa, Y. Ohto, Y. Yamaquchi and H. Shimizu (1994), Mutual-entrainment-based communication field in distributed autonomous robotic system. In: *Distributed autonomous robotic systems* (Asama H., eds). Springer-Verlaq, pp.310-321.
- [2] Y. Miyake, S. Tabata, H. Murakami, M. Yano and H. Shimizu (1995), Environment-dependent self-organization of positional information field in chemotaxis of *Physarum plasmodium*. *J. Theor. Biol.* (in press)

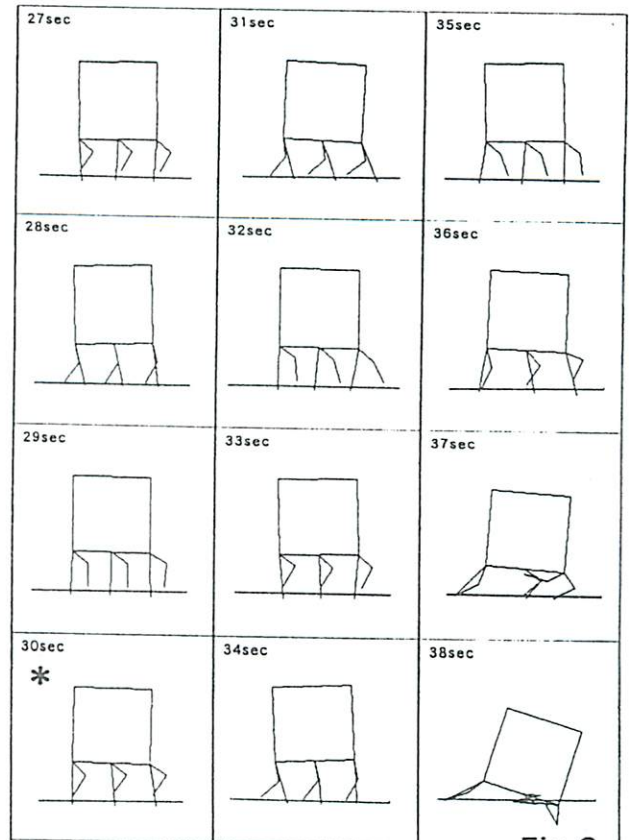


Fig.3

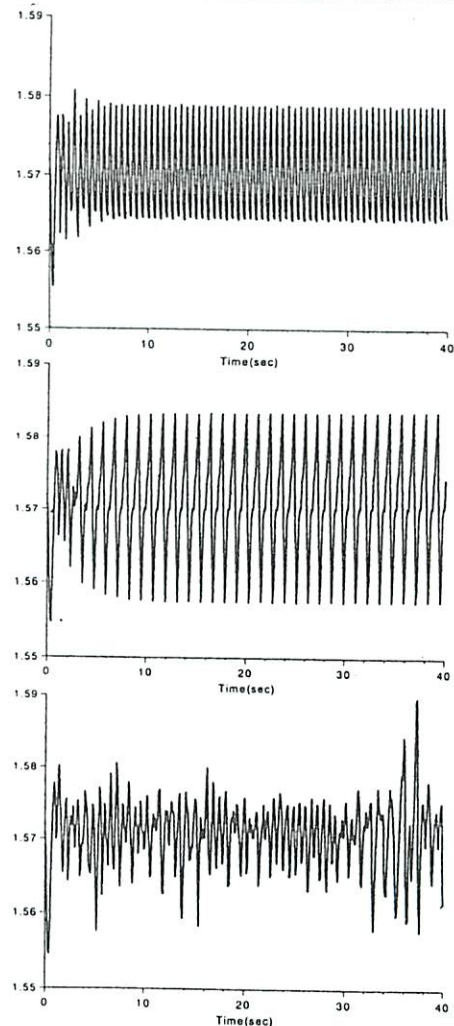


Fig.4