



TITLE:

Adaptation of a group to various environments through local interactions between individuals based on estimated global information( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Hayakawa, Tomohiro

---

CITATION:

Hayakawa, Tomohiro. Adaptation of a group to various environments through local interactions between individuals based on estimated global information. 京都大学, 2020, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2020-09-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22771>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; Source of Chapter 2: Tomohiro Hayakawa, Shigeto Dobata, and Fumitoshi Matsuno, "Behavioral responses to colony-level properties affect disturbance resistance of red harvester ant colonies," *Journal of Theoretical Biology*, Vol.492: 110186, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2020.110186>. Source of Chapter 3: ©2020 IEEE. Reprinted, with permission, from Tomohiro Hayakawa, Tomoya Kamimura, Shizuo Kaji, and Fumitoshi Matsuno, "Autonomous distributed system for gait generation for single-legged modular robots connected in various configurations," *IEEE Transactions on Robotics*, 2020. In reference to IEEE copyrighted material which is used with permission in this thesis, the IEEE does not endorse any of Kyoto university's products or services. Internal or personal use of this material is permitted. If interested in reprinting/republishing IEEE copyrighted material for ...

京都大学	博士 (工学)	氏名	早川 智洋
論文題目	Adaptation of a group to various environments through local interactions between individuals based on estimated global information (個体の大域的情報推定に基づいた局所相互作用による集団の環境適応)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>生物の群れは、集団全体の目的達成のために局所的に行動を決定する多くの個体から構成され、自律分散システムと見なすことができる。例えば、社会性昆虫などは個体間の相互作用を巧みに制御することで、多様な環境への適応を可能としている。しかし、生物から学び、人工物としての自律分散システムを構築することは、実際には容易ではない。本論文では、各個体が集団の大域的情報を局所的な相互作用を通して推定し、推定した大域的情報を個体の行動にフィードバックする制御則に着目している。また、生物の群れを対象として、大域的情報に基づく個体の行動変化が集団の環境適応にどのように寄与するかを解析している。さらに、人工物としてモジュラーロボットを対象として、大域的情報の推定機構と各個体へのフィードバック則を構築し、その有効性を検証している。本論文は5章からなり、各章の要旨は以下の通りである。</p> <p>第1章は序論であり、自律分散システムとしての群れの行動則の構成論についてまとめ、従来の群行動則における環境適応の課題を述べている。また、個体が集団の大域的情報を局所的な相互作用から推定し、推定した大域的情報に基づいて行動を変化させることに着目する意義づけを行っている。さらに、本論文の構成を述べている。</p> <p>第2章では、集団の大域的情報に基づいて決定されるアリ個体の行動則が、コロニーの環境適応性に与える影響の解析を行っている。アリは個体間の栄養交換により、コロニー全体の栄養状態を推定していると言われている。また、アリ個体は、コロニー内の個体数と相関のある周囲の個体密度や、コロニー全体の栄養状態と相関をもつ個体栄養状態に基づいて行動を変化させることが知られている。一方で、コロニーのアリの個体数や栄養状態といった大域的情報に基づく個体の行動則は種ごとに異なり、各種の行動則がコロニー内の個体数やコロニーの存続にどのように影響を与えるかはよく知られていない。本研究では、採餌・塚作業・巣保守・幼虫の世話という4種類のタスクを分業で行うなどの生態がよく解明されているアカシユウカクアリを対象としている。アカシユウカクアリのコロニーの生活循環の状態遷移モデルを構築し、各種の行動則がコロニー内の個体数やコロニーの存続に与える影響をシミュレーションによって調べた。その結果として、コロニー内の個体数の増加に応じて個体間の接触率を下げる個体行動則は、コロニー内の個体数が多くなると死亡率の高いタスクを実行する状態への遷移を抑え、最終的にコロニー内の個体数を多く維持することに寄与することが分かった。さらに、コロニーの栄養状態の悪化に応じて採餌タスクへの遷移率を増加させる個体行動則は、外部環境の変化に対してコロニーの生存力を高めることに寄与することが示された。</p> <p>第3章では、結合分離が可能な1脚モジュラーロボットにより構成された多様な形態の多脚ロボットが安定な歩行を実現するための分散制御則を構築している。モジュール型多脚ロボットは生物を模倣した形以外に様々な形態を構成できるので、より多様なタスクを達成することが期待できる。多脚ロボットが静歩行を行う上で多脚ロボット全体の質量中心位置は重要な情報であるが、未知の形態の多脚ロボットにおいて全体の質量中心位置情報を事前に得ることはできない。この問題を、第2章のアリの個体間栄養交換の戦略を応用することで解決する。すなわち、各モジュールは近傍モジュールのみと</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	早川 智洋
<p>交換した情報から、合意制御を用いることで多脚ロボット全体の質量中心位置を推定する。各モジュールは推定した質量中心位置に基づいて質量中心が支持多角形を出ないように各脚の動きを決定する。構築したシステムは、任意の脚数および多様な脚配置をもつ多脚ロボットに適用可能で、脚故障という動的な内部環境変化に対して安定な歩行を実現することを数学的に証明した。さらに、動力学シミュレーションと実機実験によりその有効性を検証した。</p> <p>第4章では、未知の不整地環境を、モジュラー型多脚ロボットがモジュールを追加しながら繰り返し踏破しようとすることにより、その環境の踏破を可能とする形態を獲得する分散制御則を構築している。不整地環境上においても、ロボット全体の質量中心を含む円が支持多角形に内包されていれば多脚ロボットは、円の半径に比例した転倒安定余裕をもって静歩行可能である。ここで、ロボット全体の質量中心位置の推定には第3章で述べた各モジュールの局所的な情報交換による合意制御を適用する。まず、各1脚モジュールは推定した多脚ロボットの質量中心位置と支持多角形との幾何関係から転倒の危険性を分散的に監視する。いずれかのモジュールが危険を検知した場合には、その情報を近傍モジュールに通知するとともに、スタート位置に引き返す行動を始める。また、危険の情報を受け取ったモジュールもスタート位置に引き返す行動を始める。モジュール間の通信速度は、各モジュールの運動速度に比べて十分に速いと仮定しているため、各モジュールの運動は直ちに整合する。スタート位置に戻った後、各モジュールは転倒を回避するために自身のどの位置に新たなモジュールを追加すべきかの情報を発信する。新たに追加されるモジュールは、検出した結合位置の候補の中からランダムに1つを選び、その位置に結合する。このアルゴリズムに従って、新たな形態で環境踏破の試みを繰り返すことにより、多脚ロボットが環境踏破に適した形態へと変化していく。提案したアルゴリズムの有効性を動力学シミュレーションと実機実験により検証した。</p> <p>第5章は結論であり、本論文のまとめと、今後の課題について述べている。</p>			

氏名	早川智洋
----	------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、各個体が局所的な相互作用を通して推定した集団の大域的情報を、個体の行動にフィードバックする制御則に着目し、社会性昆虫の代表であるアリと1脚モジュラーロボットを対象として、集団の環境適応性の向上のための各個体の行動則の設計について考察した結果をまとめたものであり、主な成果は以下の通りである。

1. アリ・コロニー内のアリの個体数やコロニーの栄養状態といった大域的情報に基づいて決定されるアリ個体の行動則が、コロニーの存続や個体数に与える影響について着目した。分業を行うアリの状態遷移モデルを用いた解析の結果、コロニー内の個体数の増加に応じて個体間の接触率を下げる行動則は、死亡率の高いタスクを実行する状態への遷移を抑え、結果的にコロニー内の個体数を多く維持することに寄与することがわかった。また、コロニーの栄養状態の悪化に応じて採餌タスクへの遷移率を増加させる行動則は、外部環境の変化に対してコロニーの生存力を高めることに寄与することが示された。

2. 結合分離が可能な1脚モジュラーロボットにより構成された多様な形態の多脚ロボットが、安定な歩行を実現するための分散制御則を構築した。各モジュールは近傍モジュールのみと交換した情報から、合意制御を用い多脚ロボット全体の質量中心位置を推定し、質量中心が支持多角形を出ないように脚の動きを決定する。構築したシステムは、任意の脚数や多様な脚配置の多脚ロボットに適用可能で、脚故障という動的な内部環境変化に対して安定な歩行を実現することを数学的に証明し、動力学シミュレーションと実機実験によりその有効性を検証した。

3. モジュラー型多脚ロボットが、モジュールを追加しながら、繰り返し環境の踏破を試みることにより、その環境の踏破を可能とする形態を獲得するアルゴリズムを構築した。まず、各1脚モジュールは推定した多脚ロボットの質量中心位置と支持多角形との幾何関係から転倒の危険性を分散的に監視する。いずれかのモジュールが危険を検知した場合には、その情報を近傍モジュールに通知するとともに、スタート位置に引き返す行動を始める。また、危険の情報を受け取ったモジュールもスタート位置に引き返す。スタート位置に戻った後、各モジュールは転倒を回避するために自身のどの位置に新たなモジュールを追加すべきかの情報を発信する。新たに追加されるモジュールは、検出した結合位置の候補の中からランダムに1つを選び、その位置に結合する。このアルゴリズムに従って、新たな形態で環境踏破の試みを繰り返すことにより、多脚ロボットが環境踏破に適した形態へと変化していく。提案したアルゴリズムの有効性を動力学シミュレーションと実機実験により検証した。

以上要するに本論文は集団の環境適応性の向上のための個体行動則の設計論について有用な知見を与えたものであり、その成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和2年8月6日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日: 年 月 日以降