

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	自律移動体群の局所空間的な相互作用の場を用いた情報伝播による機能的秩序の形成
Title(English)	Functional Order Generation by Local Space Interaction Field for Automatic Decentralized Swarm Systems
著者(和文)	折金悠生
Author(English)	Yuki Origane
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第267号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:倉林 大輔,天谷 賢治,塚越 秀行,中尾 裕也,畑中 健志
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第267号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	折金 悠生	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	倉林 大輔	教授	畑中 健志	教授
	審査員	天谷 賢治	教授		
		塚越 秀行	教授		
		中尾 裕也	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「自律移動体群の局所空間的な相互作用の場を用いた情報伝播による機能的秩序の形成」と題し、全8章より構成されている。

第1章「緒論」では局所的な観測と分散的な制御構造で自律的に動作する移動体の集団について、限られた計算能力や通信システムをもって柔軟・適応的・頑健なシステムを構成するものとして期待されていることを述べている。一方でこのようなシステムでは、個々の移動体が自律分散であるがゆえにその性質を損なわないまま集団全体としての秩序の状態を動的に形成・維持・制御することが、機能発現に欠かせないことを指摘している。これを受けて、本論文の目的が、局所的観測のみで個々の移動体が群全体に関する空間的な情報を推定できる手法の実現、およびこれに基づく機能的秩序形成手法の構築であると述べている。

第2章「関連研究と本研究の位置づけ」では、従前研究を概観し本研究の位置づけを述べている。すなわち、自律分散型の移動体が多数存在する状況では、それらの行動の間に生じる干渉を調停することが必要であること、これに対して本研究は空間的な場を用いた秩序形成が有用であるとの仮説を提示すること、を述べている。そのうえで本研究の貢献が、局所的かつ簡潔な状態量の伝達である相互作用のみによって集団に秩序状態を生成せしめること、またこれを用いた停留回避などの機能的行動を生成可能とすることである、と述べている。

第3章「問題設定」では、本研究で提案する手法の構築にあたって前提とする条件設定や移動体のモデルを導入し、本研究で取り組む問題について具体的に示している。自律移動体群の局所的な相互作用を表すネットワーク表現、秩序形成のための要素となる結合振動子系、物理的干渉を防止する制御バリア関数を導入したうえで、目的とする秩序形成との関係について説明している。

第4章「放物型相互作用による位相進行波を用いたリーダーフォロワ移動体群の停留抑制」では、リーダー移動体に引率される形態での自律移動体群における停留抑制手法について提案している。制御バリア関数を分散化し個々の移動体制御へ組み込むことで物理的な干渉を回避したうえで、これによって生じる停留を結合振動子系における位相勾配という秩序形成を用いることで抑制する方法

を提案している。これにより、制御バリア関数による衝突回避と位相勾配に基づく目標行動実行を、局所的な相互作用のみで実現可能であることを示している。

第5章「双曲型相互作用による定常波を用いたネットワーク状態推定」では、局所的な相互作用のみによって移動体群の大域的状態に関する情報を推定可能とする手法を提案している。すなわち、移動体の隣接関係に基づく相互作用ネットワーク上に結合振動子系を配置し、これらの間の相互作用を双曲型にすることによって一種の定在波を発生させることで、この定在波の振動モード解析により集団の配置に関する情報、ある個体の集団内における相対的位置情報、および集団の動的な状態に関する情報が得られることを示している。またこのシステムにおける結合パラメタの設計について論じている。

第6章「大域状態推定に基づく機能的秩序の実現」では、前章までの提案により局所的相互作用のみにて推定した集団の大域的状態に基づき、機能的な秩序の形成と移動体の行動制御手法について提案している。具体的には、リーダーが存在しない集団における同期的行動切り替え、および狭領域通過における停留状態回避手法を提案している。前者においては、提案手法によって移動体群において直接可視でない移動体の状態を反映し、群全体の同期的な行動切り替えを可能としている。後者では、群内における自身の相対的位置の推定に基づいて行動を分化させることで、停留状態からの脱出を可能としている。これらの手法について、シミュレーションを用いた検証を示している。

第7章「自律分散的に停留解消を行うロボットシステムの実装」では、前章までに提案した機能的秩序形成手法を現実の自律型移動ロボットに実装し、その実現可能性を示している。この際、結合振動子間の位相に関する相互作用について、LED発光による実装を行うとともに、 2π 周期性に伴う実装上の修正について論じている。また、双曲型相互作用における外乱に伴う発散の抑制手法を構築している。これらを踏まえ、3台の自律型移動ロボットを実装し、実験によって前章までの提案内容が実現可能であることを示している。

第8章「結論」では、本論文の主要な成果をまとめ、今後の発展について考察している。

以上を要するに、本研究は局所的な観測・相互作用のみによって自律型移動体の集団に渡る秩序を形成し、中央集権的な制御装置や管理機構を用いることなく同期的な行動切り替えや停留状態回避手法を構築したもので、自律型移動体群の機能向上に資する新たな制御手法を実現したことから、工学上・工業上寄与するところが大きい。よって博士（工学）の学位論文として十分な価値を有すると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。