

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12053

研究課題名（和文）高速情報伝播波を用いた群制御手法に関する研究

研究課題名（英文）Research on group control methods using high-speed information propagation waves

研究代表者

園田 耕平（Sonoda, Kohei）

立命館大学・情報理工学部・助教

研究者番号：90638628

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、動物行動学の最新知見である「高速情報伝播波アルゴリズム」を群ロボットの制御手法に応用した。従来手法は動物の群れに特有の「急激な方向転換」が難しく、非常に緩慢な旋回運動しか行えない。そこで、「群れ内部を高速伝播する情報伝達機構」の理論モデルを開発した経緯から、その群制御への応用を着想した。そして、高い運動機能をもつ群制御手法を開発し、シミュレーションと群ロボットで検証実験を行い有効性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は「動物行動学」における最先端の知見である群理論モデルである「高速情報伝播波アルゴリズム」を「スワームロボティクス」という新興分野に応用する試みであり、両分野の横断的な研究として高い意義がある。また、実証された群制御手法は群ロボットの制御のみならず、群行動のシミュレーションやアニメーションなどへの応用可能性がある。

研究成果の概要（英文）：This research has applied the latest knowledge in animal behavior, the "high-speed information propagation wave algorithm," to a control method for swarm robots. Conventional methods have difficulty making the "rapid changes of direction" characteristic of flocks of animals, and can only perform very slow turning movements. Therefore, I came up with the idea of applying it to group control based on the background of developing a theoretical model of "an information transmission mechanism that propagates at high speed within a group." This research has developed a group control method with high motor capabilities and conducted verification experiments using simulation and swarm robots.

研究分野：動物行動学

キーワード：群行動 群制御 群ロボット

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

群ロボットの制御手法は動物行動学の理論に完全に依拠しているが、その理論的基礎は数十年前の知見のまま発展していない。とくに、動物の群れに特有の運動制御能はまだ部分的にしか再現されていない。

そこで、動物の群れで観測されている高い旋回能力に関わるとされている「高速情報伝播波」に着目した。そして、その理論的モデルを独自に開発し、シミュレーション上で再現することに成功した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「高速情報伝播波アルゴリズム」を用いた群制御手法の応用可能性の検討である。具体的には、「A. シミュレーションによる理論検証」、「B. 群ロボットによる実証実験」を行う。Aではモデルの制御機能を理論的に評価検証する。Bでは群ロボットにモデル実装し、現実環境下での性能を実験的に評価する。

3. 研究の方法

群制御手法の性能評価として「回避性能」および「旋回性能」を評価する(図1)。理論検証(A)はコンピューターシミュレーションを行うが、実環境では実行できない変数や条件を網羅的に検証する。また、実証実験(B)では、理論的に検証した内容を物理環境に落とし込み、Ki-lobot (K-team社)などの群ロボットを用いて提案手法の現実的な性能評価を行う。

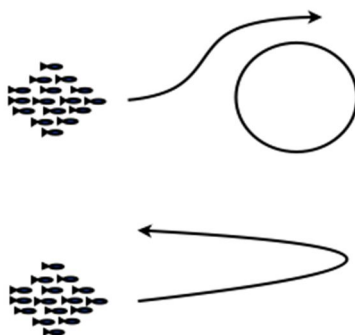


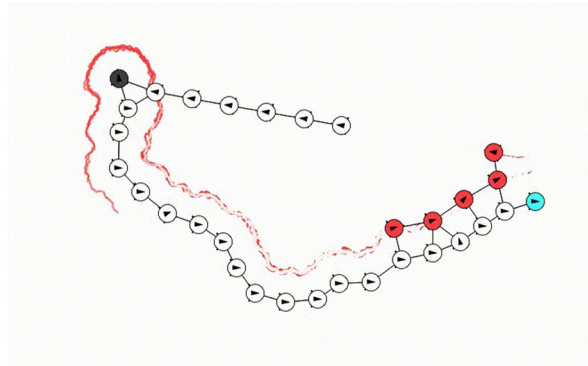
図1：群れの回避行動(上)と旋回行動(下)

4. 研究成果

(1) 群ロボットの空間探索アルゴリズムの開発

空間探索課題に対して、Ki-lobotを用いた既存のロボットチェーン(連結式)探索手法の改良を提案した。従来手法では、スタート地点とゴール地点を結ぶ経路に冗長性が生じるが、それを最短経路に修正した。自己位置推定ができないKi-lobotを用いて、コマンド履歴の計算(ローカル座標系)からスタート地点への最短経路を計算し帰巣させるが、それを後続のロボットに連鎖させ、帰巣経路自体を新規のロボットチェーン化させることを可能とした(図2)。研究成果は、ロボット研究分野の国際会議にて発表を行った。

研究計画では群制御に「高速情報伝播」を実装させることを最終目的にしているが、まずは通常の意味での「群制御」を実現させることが不可欠である。そのためには、群ロボットに群れ行動を行わせる必要があるが、Ki-lobotのような自己位置推定ができない「低機能」の群ロボットでは通常困難である。しかし、今回開発した手法では、そのような自己位置推定の能力を仮定しなくとも、「ある程度の精度」でローカル座標系の構築と群ロボット間の共有(ローカル座標系を共有すると擬似的にグローバル座標系となる)が可能であることが明らかになった。この手法を用いて、Ki-lobotに群行動を行う制御を実装できると考えられるため、非常に意義深い成果であると判断している。



●: NEST ●: FOOD ○: Robot which generated robot chain —: Connection by communication ●: Repairer Robot

図 2 : Kilobot による最短経路形成シミュレーション

(2) 障害物回避行動の検証

「高速情報伝播を用いた群制御手法」による障害物回避のシミュレーションを行なった。当該の群制御手法の特質すべき点は、先頭個体の「反転行動」が高速に後方個体につたわり、群れ全体が急旋回できることである。シミュレーションでは、先頭個体の障害物回避にともなう「急激な方向変化」が後方個体に高速伝播し、群れ全体が回避方向を共有して集団回避できると予測し、それを実証した(図 3)。一方、既存の群制御手法では、群れは障害物を個体レベルで回避し、バラバラになる様子が観測された。

本研究のシミュレーションの成果により、非常に単純な制御規則に基づいて高い機動性(障害物の集団回避)を実現できることが示された。また提案手法は単純な構成であることから、小型ロボット群の制御手法への実装も容易であると予想される。このため、本研究の成果から高機動性の群ロボット制御の実現可能性がみえてくる。

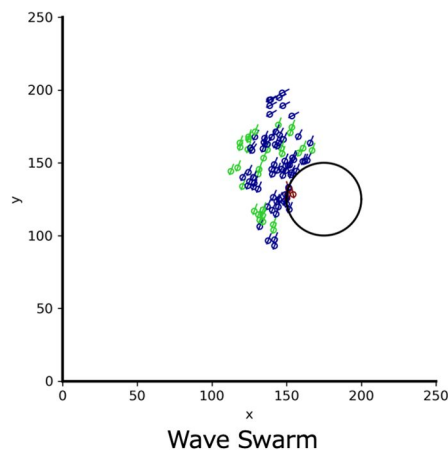


図 3 : 情報伝播波による障害物回避行動

(3) 捕食者回避行動の検証

従来モデルでは、前方個体による情報伝達機構がないため、群れの大きさが增大するにつれて後方個体の捕食者検知が遅れる傾向にある。後方個体は相互作用半径内に捕食者をとらえて初めて検知できるが、それは個別の捕食者検知と大差ない。一方、提案モデルでは高速情報伝播アルゴリズムの働きによって、従来モデルよりも圧倒的に有利に後方個体も捕食者回避が達成できる。シミュレーションでは提案モデルの回避速度が早く、個体の回避率も高い。また、捕食者との相対距離も大きく、時間的にその傾向は安定している。なお、この結果は国内会議にて成果報告し、国際会議や海外学術誌に投稿する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 美濃邊大樹, 高野諒, 園田耕平
2. 発表標題 小型ロボット群の採餌タスクにおけるパスインテグレーションに基づいた探索と経路生成
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 園山海斗, 園田耕平
2. 発表標題 高速情報伝搬を用いた群回避行動のモデリング
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 D. Minobe, R. Takano, K. Sonoda,
2. 発表標題 Modification method of robot chain formation based on path integration for swarm robots with limited communication
3. 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics, (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 園田耕平, 園山海斗
2. 発表標題 高速情報伝播波アルゴリズムによる群回避行動
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2023
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------