

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06360

研究課題名（和文）「場」の創成・制御に基づく大規模移動体の陰的誘導

研究課題名（英文）Implicit navigation for swarm robots based on the "Field" control

研究代表者

末岡 裕一郎 (Sueoka, Yuichiro)

大阪大学・工学研究科 ・助教

研究者番号：50756509

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、多数の自律移動体（エージェント）群が存在する空間に意図的に場を創り、場を制御することで、自律移動体群のナビゲーションを実現することを目指した。この目的を達成するために、シミュレーションを用いて場の創成法を解析し、音を用いた実機検証に取り組むことで、場の設計法とロボットのコントローラ的设计法的具体例を示した。実機検証においては、群ロボットの誘導、障害物が存在するケースにおける障害物を回り込む動きの実現、さらには異なる周波数の音の聞き分けによる広範囲のロボットの誘導に成功した。これは、場の制御によるロボットナビゲーションの実現、さらには音場の共創が実現できたことを示唆している。

研究成果の概要（英文）：This research focuses on the robot navigation based on the "Field" control. First, we conducted simulations in order to analyze the creation method for navigation field. In the real world, we prepared sound devices and challenged to manipulate the robot movement based on the sound field. After designing a robot's algorithm and a sound field, we found that mobile robots succeeded in a goal-navigation task by habituating appropriately the robot to the sound. Moreover, we achieved the obstacles avoidance task based on the same robot controller, which indicates that the obstacle implicitly made a potential field to navigate a robot. Finally, we succeeded in a wide-range navigation task by using multiple speaker devices.

研究分野：制御工学

キーワード：陰的誘導 場の制御 群ロボット ナビゲーション

1. 研究開始当初の背景

自律移動ロボットを多数使い、適切にナビゲーションすることができれば、災害現場での探索活動や広大な土地の監視行動など、種々の場面で適応可能なシステムの構築が可能となる。本研究では、群ロボットのナビゲーションのヒントを自然界における「シープドッグによるヒツジ追い」という現象に求めた。この現象では、シープドッグが“ヒツジは群れたがる”，“ヒツジは自分を嫌っている”といったヒツジの性質を理解しているため、わざわざ1匹ずつを誘導することはせず、群れの一部に刺激を与えるだけで目標地点まで群れ全体をうまく誘導する。すなわち、シープドッグが図1のようにヒツジの群れを陰的に誘導するための「場」を創り、「場」をうまく利用してヒツジの群れを操っているということである。

申請者はこれまで統計的な解析を通じて、シープドッグというヒツジが嫌う存在、ここではそれを“リペラ”と呼ぶこととするが、リペラがうまく走り回ったときヒツジが目標地点まで誘導されることを明らかにした。また、リペラに学習を施すことで誘導性能を上げる（リアルタイムに場をうまく創り直す）ことも可能だと分かってきた。ところで今一度自然界の現象に立ち返ると、実はヒツジはお腹がすくと餌を求めて自分から自然と帰ってくるということが知られている。ここで餌のようにエージェント群が惹きつけられる存在のことを“アトラクタ”と呼ぶこととする。すなわちこのシープドッグの事例では、犬という“リペラ”と、餌という“アトラクタ”をうまく用いることでヒツジの群れという大規模システムを操っているということであり、大規模なシステム（移動体群）を誘導する鍵は少数のアトラクタとリペラを用いて移動体群が陰的に誘導される「場」を創り、「場」をうまく制御することではないかと考えた。

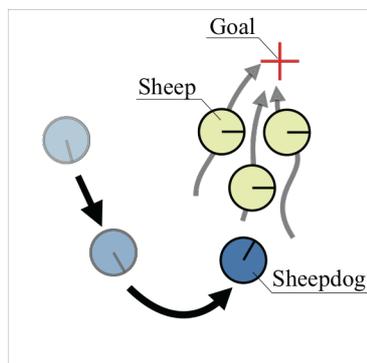


図1. シープドッグによる陰的誘導の「場」の制御

2. 研究の目的

本研究では、多数の要素・エージェント群に対してそれぞれに直接コントローラを設計

するのではなく、少数の“指揮者”のような存在によってそれらを導く「場」を創り、「場」を制御することでそれらを“自然”と、いわば陰的に望ましい状態へと誘導することを“陰的誘導”と名付け、力学系の観点から陰的誘導の「場」の創成法を明らかにすることを研究目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、異質・少数エージェントの配置、動かし方を力学系におけるベクトル場の“沈点”，“源点”の観点から理論的に解析し、実世界において「場」によるロボット群の陰的誘導の実機検証を通じてその目的を達成する。実機実験に際しては、音という物理メディアを採用することで、音場を創り、音場を制御することでロボット群を誘導する実験を行う。

4. 研究成果

本研究では、群ロボットを自然とナビゲートするための「場」の創成・制御法の解析・実機検証に取り組み、その主たる成果は以下の3つとなる。

- (1). ベクトル場に基づく「場」の創成法の解析
- (2). 音場の制御による群ロボットのナビゲーション
- (3). 障害物の生み出す陰的誘導場に基づくロボットのナビゲーション

以下でそれぞれの結果について具体的に述べる。

(1)ベクトル場に基づく「場」の創成法の解析

ここでは、ベクトル場の「沈点」,「源点」と言った存在を複数使い、それらをどのように配置し、動かすべきか統計的な解析を行った。その際に、沈点と源点を組み合わせた場合の誘導効率が、沈点のみでの誘導を試みた場合に比べ、高くなることが明らかとなった。また、場を創成するために必要な少数エージェントの数と誘導性能の解析も行った。

(2)音場制御によるロボットナビゲーション

実世界において“音”という物理メディアを用いて音場を創成し、音場を制御することで群ロボットを誘導することを試みた。ロボットのコントローラ（行動アルゴリズム）としては「音の聞こえる/聞こえない」を「直進/回転」という行動に割り当て、ロボットが徐々に音に慣れていくものとした。図2に示すように音を聞くこと、またその感度を調節することのできるロボットを設計し、音場を創るロボット（スピーカロボット）を我々が外から無線デバイスを用いて動かすことで、ロボットを目標地点までナビゲーションできることを確認した。これは音場の制御に伴う群ロボットの制御を実現できたことを示している。

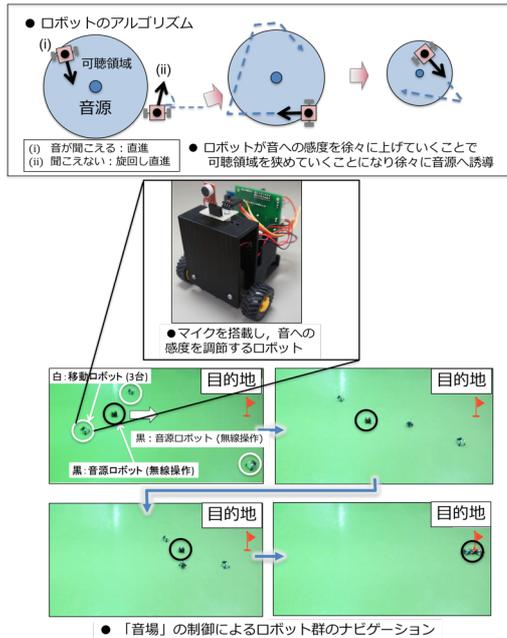


図2. 音場制御によるナビゲーション：ロボットアルゴリズムと実機検証の様子

(3) 障害物の生み出す陰的誘導場に基づくロボットのナビゲーション

音は「回折」という壁・障害物を回り込む現象が存在する。この現象を場の創成に生かせないだろうかと考え、図3(上)のような状況を想定したナビゲーション問題に取り組んだ。図3上の状況において、ロボットに対し、音に慣れる(音への感度を下げる)という単純なコントローラを設計するのみで、障害物を自然と回避し、ロボットをナビゲーションすることができた(図3下)。通常、ロボットが障害物を回避しながら、目標地点まで誘導するためには、カメラ情報に基づくセンシングから複雑な行動を設計しなくてはならない。これに対し、本研究の結果は障害物などの存在を場の創成に活用することで、場の設計やロボットのコントローラ設計を劇的に簡略化できる可能性を示唆しており、場の設計に伴う陰的誘導の実用性を示すものだとも言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 12 件)

- ① 角田祐輔, 末岡裕一郎, 高橋良輔, 枝知樹, 大須賀公一: 音場に基づくロボットナビゲーション, 平成28年度計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会, pp. 123-124, 大阪, 1月, 2017.
- ② 高橋良輔, 末岡裕一郎, 杉本靖博, 大須賀公一: 群システムにおける自己位置推定法“みなし”の提案. 第17回システムイ

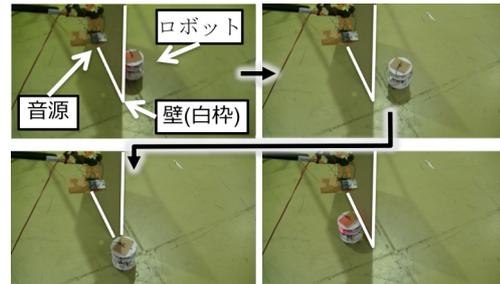
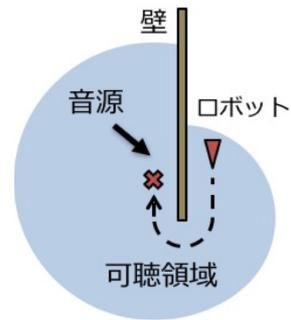


図3. (上) 障害物が存在する場合の可聴領域の音場の模式図. (下) 実機検証

ンテグレーション部門講演会(SI2016), pp. 2767-2768, 札幌, 12月, 2016.

- ③ Y. Sueoka, K. Nakayama, M. Ishikawa, Y. Sugimoto, K. Osuka, On heterogeneity in foraging by ant-like colony: how local affects global and vice versa, Tenth International Conference on Swarm Intelligence, pp. 249-256, Brussels, September, 2016.
- ④ 角田祐輔, 末岡裕一郎, 近藤鈴華, 杉本靖博, 大須賀公一: 音場の制御に基づく群れ行動の実現, Proc. of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 1A2-04a1, 横浜, 6月, 2016.
- ⑤ 佐藤裕斗, 末岡裕一郎, 石川将人, 大須賀公一: 群れの多彩な振る舞いを実現するシンプルな数理モデルの探求, Proc. of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 1A2-04b1, 横浜, 6月, 2016.
- ⑥ 近藤鈴華, 末岡裕一郎, 角田祐輔, 杉本靖博, 大須賀公一: RSSI場に基づく群れの行動制御の基礎実験, 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会, 吹田, 1月, 2016.
- ⑦ 末岡裕一郎, 久保田恒平, 石川将人, 杉本靖博, 大須賀公一: シロアリに着想を得た自律分散移動体による構造物形成の解析, 第28回自律分散システムシンポジウム, pp. 138-140, 広島, 1月, 2016.
- ⑧ 角田祐輔, 末岡裕一郎, 近藤鈴華, 杉本靖博, 大須賀公一: “Mi-Nashi” Localizationにおける位置情報のゆらぎが与える影響の解析, 第16回計測自動制

- 御学会システムインテグレーション部門
講演会, pp. 67-68, 名古屋, 12月, 2015.
- ⑨ 佐藤裕斗, 末岡裕一郎, 久保田恒平, 石川
将人, 大須賀公一: 群れ行動を実現する数
理モデルの構築とその誘導メカニズムの
解析, 第16回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, pp. 65-
66, 名古屋, 12月, 2015.
- ⑩ K. Kubota, Y. Sueoka, Y. Sugimoto, M.
Ishikawa, K. Osuka: Toward
exploration of pheromone effect in
object pattern formation, Int.
Symposium on Nonlinear Theory and its
Applications, pp. 289-292, Hong Kong,
December, 2015.
- ⑪ Y. Sato, Y. Sueoka, Y. Sugimoto, M.
Ishikawa, K. Osuka: Analysis of flock
guidance based on the vector field
representation, The First Int.
Symposium on Swarm Behavior and Bio-
Inspired Robotics workshop, Kyoto,
October, 2015.
- ⑫ Y. Sugimoto, S. Uchida, Y. Sueoka, K.
Osuka: Localization and Flocking
Behavior Realization of Multi-Robot
System based only on Ad-hock network,
The First Int. Symposium on Swarm
Behavior and Bio-Inspired Robotics,
pp. 283-284, Kyoto, October, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

末岡 裕一郎 (SUEOKA, Yuichiro)
大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 50756509

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()