

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11492

研究課題名（和文）生物の群逃避行動を模倣する群ロボットの反射的振る舞いの高速伝播メカニズムの実現

研究課題名（英文）Implementation of High-Speed Transferring Mechanism of Reacting Behaviors for Biomimetic Group Robot Systems

研究代表者

王 志東（Wang, Zhidong）

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：40272017

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、魚や鳥の生物の群れに観察される機敏な回避行動を模倣し、運転補助システムを有する複数の車両が多車線での高速走行中の緊急事態への停止タスクへ新たな手法の提案を目指し、群に複数サブグループの関係性を考慮した群停止の相互作用ダイナミクスモデルを設計した。構築したマルチロボットのシミュレーションシステム及び実機検証システムを用いて、群緊急停止行動の基本検証を行い、複数車両群の安全停止性能の向上の結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、魚や鳥の生物の群れの優れた特性を模倣し、複数ロボットシステムの制御法の理論的な展開を進めた。それと同時に、応用として運転補助システムを有する車両が高速走行中の緊急停止場面で、提案した周囲の車両の状態に伴う群停止のメカニズムは、センシング遅れなど各種の不確実性が有する場合での追突の可能性の軽減に有効となるデータを示し、今後の知能的な運転補助システムの開発に寄与を期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we proposed a dynamics model with interactions among multiple vehicles for group emergency stopping at a multi-lane highway, by mimicking agile group escaping behaviors of fish and bird swarms. From the viewpoint of improvement in driving safety, the validity of the proposed system control methodology of group emergency stopping is illustrated via experiments using a multi-robot simulation system and an experimental system developed in this research.

研究分野：ロボット工学

キーワード：自律分散制御 マルチロボット システム 自律マルチ移動ロボットシステム 群効果 アドバンスドライバアシスタンスシステム 生物模倣 協調制御システム

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

本研究の開始当時では、複数ロボットやマルチエージェントシステムの自律分散制御の研究が盛んに行われ、明示的にネットワーク通信に依存せず局所の相互作用によるマルチダイナミクスモードを有するシステムの構築の研究が多く進展を得ている。本研究グループでは、鳥や魚の群れに特有となる俊敏な群逃避行動を模倣する自律分散システムの構築の先行研究も進めており、部分個体の故障などに対しても、安定な情報伝達を実現できている。それらの成果は、本研究を進めるための重要な基礎となっている。

一方、複数移動体の制御の観点において、自動車の自動運転・安全停止のための運転補助の研究開発は盛んに行われている。しかし、ほとんどの研究は、単体の移動体の緊急停止機能の実現を限定しているものである。複数車両の協調において GPS の精度の限界から高速道路や多数の車両が行き交う交差点では、車両間の Adhoc 通信ネットワークにおいて正確な複数車両間の位置関係を付加するのは容易ではない。Eyesight や LIDAR System のようにロバストな運転補助は、距離センシングをベースとした制御手法が基本であるが、本研究が着目したネットワーク通信に依存せず移動体群の高速協調制御アーキテクチャは容易に適応できる特徴があり、問題解決の重要な手段となる。

## 2. 研究の目的

本研究は、明示的なネットワーク通信を必要とせず、かつ大規模システムに適応できる鳥や魚の群れに特有となる俊敏な群逃避行動を工学面で実現することに着目する。複数移動ロボットシステムへのインテグレーションを通して、ロボット個体の振る舞い及び局所相互作用に基づく複数ロボット間のマルチダイナミクスモードを有する協調伝搬を実現する新しい手法を確立することが目的である。本手法の確立は、今後人間の環境で活動する作業ロボットや複数自動運転自動車の間に、局所相互作用による協調的な行動ベースシステムを構築するための基礎的な要素技術となる。また自律分散型協調システムの応用として、高速道路や交差点での事故や震災など緊急事態でのロボットの新しい協調行動の制御手法としての適応を目指すこととなる。

## 3. 研究の方法

(1) 局所相互作用による群停止行動を実現するマルチダイナミクスモード協調手法の提案  
群システムの安定性の保証や相互作用の単方向性の導入を検討し、サブグループ間の緊急事態発生状況に基づく局所相互作用の状態及び条件を定式化する。そして、ロボット個体にマルチダイナミクスモード制御系を実装し、明示的なネットワーク通信を持たない群停止行動を実現する手法を確立する。

(2) 複数自律移動ロボットシステムの設計・試作及び基礎実験による群停止行動の検証  
マルチダイナミクス協調手法の提案と共に複数自律移動ロボットとシミュレーションシステムを構築し、インピーダンスベース相互作用による群停止行動の検証やロボットの各種内部ダイナミクスの設計、異なる規模のロボット群の協調行動特性の研究を行う。

(3) 異なる複数の群逃避行動の起因が存在するグループ群停止モードの伝搬振る舞いと特性に関する解析  
群の異なる個体から同一種類または異なる種類の不確定要素を有する起因からの複数の群停止行動を誘発した状況で、群全体の停止モードの伝搬パフォーマンス及び特性を定量的に解析し、開発試作したシミュレーション及び実機実験システムを用いて検証を行う。これは将来自動運転車両の異なるレーンでの緊急停止に群停止協調制御手法を導入するための基礎的な研究である。

## 4. 研究成果

生物の群れの回避行動を模倣し、Boid モデルに基づいて仮想インピーダンスベースの Schooling 行動や群反射的逃避モードのダイナミクスに帰還する緊急回避行動を実現したうえ、群に複数サブグループの関係性を条件とした単方向性を有する個体間の逃避モードの相互作用ダイナミクスモデルを設計した。構築したマルチロボットシミュレーションシステムを用いて、ロボット個体にマルチダイナミクスモードによる群緊急停止行動の基本検証を行った上、忘却特性を有するメモリ型のグループ間相互作用を有する複雑環境での群緊急停止行動の特性検証もし、計画した協調手法の有効性を確認できた。

提案する手法に基づいて群停止における検証実験のためのオンボード画像処理部を有する小型対向二輪型複数移動ロボットシステムを構築し、群停止の際の反射的な振る舞い及び群停止の

基本特性の検証を行った。移動ロボット実機に搭載する RGBD 高速ステリオセンサ ZEDmini の視野制限問題に対して、センサレンズ前にミラー要素を適切な位置方向に設置することで以前他のロボットのセンシングに利用できなかった上部の RGBD 撮像領域を他の視角へのセンシングに利用する新しい手法を提案し、視野角を 1.8 倍まで拡張できたことの検証実験を用いて有効性を示した。さらに、実機による提案手法の有効性の検証と共に、構築したマルチロボットのシミュレーションシステムを用いてさらに大規模な群の特性の検討のための基本データを提供した。

さらに、走行中の車両の不確実性を有するセンシング遅れおよび停止制御の遅れ、及び走行中の車間距離をモデル化し、数値シミュレーションシステムにて、車間距離の不確実性と共に、異なる種類の遅れにおける多種の不確実さ分布において群停止特性を分析し、追突平均相互作用数と停止後のロボット間距離の最短値の関係の解析を行った。さらに、追突の確率の高いロボットのセンシング遅れと直前車両の停止特性の各停止パラメータの特徴を分析し、サブグループを有する群停止行動によってシステムの安全停止特性の向上の結果を得て、実システムで応用する際の群停止に基づく協調制御の有効性及び特性をより明確した。

自動車のアドバンスドライバアシスタンスシステム (ADAS) を開発するための PreScan 物理ベースのシミュレーションプラットフォームを導入し、提案したサブグループを有する群停止行動の制御法を実装した。最新版の物理ベース 3DLiDAR シミュレーションプラグインを導入し、周囲に走行する自動車の運動観測及び緊急停止状態の推定部を設計・実装した。実環境に近いセンシング遅れの不確実性のデータを得て、群停止への行動によってシステムの安全停止特性を検証した。今後の群停止アルゴリズムの性能向上の研究により現実性の高いシミュレーションプラットフォームとして利用でき、効率的な開発に期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 黄 唯一、野上 匠、王 志東
2. 発表標題 分散制御システムの群停止行動における群効果評価のためのシミュレーションシステムの構築
3. 学会等名 日本設計工学会 2022年度春季大会研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takumi NOGAMI, and Zhidong WANG
2. 発表標題 Analysis of Group Effect in Group Emergency Stopping Behavior of Autonomous Multi-Robot Systems with Uncertain Sensing Delay
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野上 匠、王 志東
2. 発表標題 サブグループを有する複数自律型移動ロボットの不確かさが影響する群停止行動における群効果の検討
3. 学会等名 計測自動制御学会 第21回システムインテグレーション部門講演会 (SI2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takumi Nogami, and Zhidong Wang
2. 発表標題 Group Behavior on Emergency Mode Transferring in Autonomous Multi-Robot Systems with Subgroups
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野上 匠、松岡 俊佑、王 志東
2. 発表標題 サブグループを有する複数自律型ロボットの群逃避行動における制御の提案
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会2019
4. 発表年 2019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