

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K21033

研究課題名（和文）視覚情報に基づく移動ロボット群の故障推定と耐故障隊列制御に関する研究

研究課題名（英文）Study on fault detection and fault-tolerant control for multiple mobile robots based on visual information

研究代表者

大原 伸介 (OH-HARA, Shinsuke)

山梨大学・総合研究部・助教

研究者番号：60550762

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）：本研究ではカメラからの視覚情報に基づいた複数台からなる移動ロボット群の制御法と故障検出法について考察し、実験により検証した。故障推定には正常モデルと故障モデルの複数のモデルを作成し、それらモデルを使用したシミュレーションベースの推定法、パーティクルフィルタを実現した。この推定法を移動ロボットの状態推定に適用する際に、視覚情報に基づいたロボットの状態推定は照明環境の変化等により失敗することがわかった。そこで照明環境にロバストな色不変量とソナーセンサを融合した状態推定法を実現した。その状態推定法と画像ベース制御を利用した複数台移動ロボットの隊列制御を実現し、実験により有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we consider fault detection and formation control for multiple mobile robots based visual information. We construct the state estimation based on particle filter using normal model and fault models of mobile robots. The visual state estimation method is not effective under changing light environments. This problem needs to be solved when applying the fault detection to mobile robot. Therefore, we propose the state estimation fusing color invariance and sonar sensor for mobile robots. Then, we construct formation control of multiple mobile robots using the visual state estimator and image based control. To demonstrate the effectiveness of proposed method, the experiments are performed.

研究分野：制御工学

キーワード：隊列制御 故障推定 パーティクルフィルタ 画像ベース制御

1. 研究開始当初の背景

近年、複数台の移動ロボットが互いに協調してあるタスクを実現させる制御法に関する研究が盛んに行われている。移動ロボット群の協調制御システムの応用例は多岐に渡る。例えば、航空管制やスマートハイウェイ等の ITS、GPS 衛星の軌道計画やレスキューロボットシステムなどがある。このように移動ロボット群の制御システムは産業分野や医療・福祉、防犯・防災等の様々な分野での適用が期待できる。

移動ロボット群の制御の研究では、各ロボットの故障を明確に考慮されていない場合が多い。実際に故障した移動ロボットがロボットグループ内に存在すると協調運動の実現ができなくなる可能性がある。例えば故障して意図しない動作をしている移動ロボットがいると、周囲のロボットがそのロボットの動きに合わせてしまい、群れの分離等といった想定外の現象が生じ、移動ロボット群の協調運動が実現できなくなる。複数台の移動ロボットがある状態へ一致させる問題は合意問題（コンセンサス問題）と呼ばれる。移動ロボット群の隊列制御における指定された隊列の形成も一種の合意問題とみなすことができる。移動ロボット群の制御において、故障ロボットが存在すると合意問題は非常に困難な問題になる。移動ロボット群をより効率的に運用するためには、故障検出および故障に対応した制御アルゴリズムが必要になる。

近年の画像処理技術の向上により、移動ロボットに搭載したカメラの視覚情報を用いた移動ロボットの制御に関する研究も盛んである。視覚情報から得られる情報量は非常に豊富であるため、物体認識などの高度な処理や行動が実現可能になる。視覚情報を利用した移動ロボット群の協調制御を実現することにより、生物の群れ行動を模擬できるような複雑な協調動作を実現する。しかしながら、視覚情報を利用した移動ロボット群の制御に関する研究は少なく、また視覚情報に基づくロボットの故障検出に関する研究はほとんどない。以上が本研究の着想に至った背景である。

2. 研究の目的

本研究では移動ロボット群の故障検出および耐故障隊列制御を実現し、故障を想定した移動ロボット群の協調制御を実現する。ここでは移動ロボットにカメラを搭載させ、カメラからの視覚情報（画像情報）をもとに移動ロボット群の故障推定と隊列制御を実現させる。本研究では、カメラからの視覚情報から画像処理により画像平面上に映っているロボットの動作を推定し、それにもとづいて状態および故障推定を行う。

3. 研究の方法

本研究は視覚情報に基づいた移動ロボッ

ト群の故障推定アルゴリズムと視覚情報に基づいた移動ロボット群の耐故障隊列制御アルゴリズムの開発し、それら実験により有効性を検証する。

本研究では、各移動ロボットにカメラを搭載させ、画像認識によりロボット群の中で故障したロボットを推定するアルゴリズムを開発する。ここではモデルベースの状態推定に基づいて故障推定法を実現する。また視覚情報を利用した移動ロボットの耐故障隊列制御法を開発する。隊列制御中に故障と推定されたロボットが存在した場合、他のロボットは故障ロボットと衝突しないよう、隊列を速やかに再構成させることを考えている。開発した隊列制御アルゴリズムを複数台の移動ロボットを用いて、実験により本研究の有効性を明らかにする。

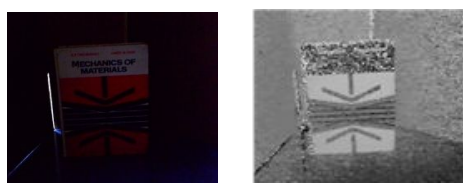
4. 研究成果

(1) 本研究では移動ロボットの故障推定にパーティクルフィルタを用いた。パーティクルフィルタはモンテカルロ法の一つで、非線形・非ガウス分布の状態空間モデルに対して状態推定を可能にする。ここでは二輪車両移動ロボットのモータが故障した場合を考えた。パーティクルフィルタのモデルとして、ここでは故障がない正常モデルと各モータが故障した故障モデルといった複数のモデルを作成した。本研究ではマルチモデルに基づいたパーティクルフィルタによる故障推定法を開発した。複数のモデルに対してパーティクルフィルタを並列に実行し、移動ロボットの位置や速度等の状態を推定させた。各モデルに対するパーティクルフィルタから得られた尤度を比較することで故障の存在を確認し、移動ロボットが故障しても適切に状態を推定できるようにした。ここではシミュレーションによりアルゴリズムの有効性を検証した。シミュレーションでは二輪車両移動ロボットの位置推定を行った。比較のため、故障を想定してないモデルのみと故障モデルを含んだマルチモデル型のパーティクルフィルタを実現した。シミュレーション結果より故障推定が可能であることを明らかにした。

(2) 本研究では移動ロボットに搭載されたカメラから他のロボットを認識・推定し、さらに故障推定を実現するよう取り組んだ。しかしながら、提案した推定法を実現する上で、視覚情報を用いた推定法では照明が変化する環境では追跡対象の認識に失敗することが多かった。本研究では追跡対象の特徴として対象画像の色情報を利用している。事前に獲得した画像から追跡対象の色情報を画像処理により色に関する確率分布を作成し、これをパーティクルフィルタの尤度として利用していた。移動ロボットにより対象を追跡させている時に、環境内の照明の明暗が変化することで対象物の色情報が大きく変化

し、これにより追跡ができずに見失ってしまうことがわかった。また環境内に同じ色の物体が存在すると、追跡対象を誤って違う物体を追跡するようなことが生じた。

本研究では照明環境の変化とロボットに周辺環境に同じ色の物体が存在する場合でも良好に対象を認識できるように対処した。ここでは照明環境の変化に対しては色不変量を、同じ色の物体の誤認識回避にはソナーセンサを導入することを試みた。色不変量とは物体に影や明度などの見かけ上の変化に対して、変化が小さくなるような特徴量である。画像の色情報を簡単な変換式により計算することができる。図1より色不変量の変換により、暗い照明環境内でも物体の特徴が明確になっているのがわかる。本研究では追跡対象の色情報を色不変量に変換させ、それに基づいた確率分布を作成してパーティクルフィルタに導入した。さらに移動ロボットに搭載されているソナーセンサから追跡対象とロボットの距離を測定し、パーティクルフィルタに融合させた。本手法の有効性は実験により検証した。実験では人物を追従するように移動ロボットを制御した(図2参照)。カメラからの視覚情報から人物の両足の色情報を取得し、色不変量に変換させた。また同時にソナーセンサから人物と移動ロボットの距離を測定させた。実験中、人物は照明が明るい場所から暗い場所へ移動し、移動ロボットが追従できるかどうか検証した。また人物の足と同じ色の物体の近くを歩行した場合の追従実験も行った。実験の結果、本手法が照明変化や足と同じ色の物体があっても見失いや誤認識することなく追跡対象に追従できることを示した。



(a) 原画像 (b) 変換画像
図1 色不変量による変換

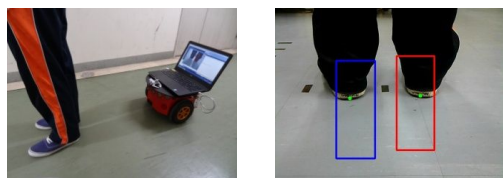


図2 移動ロボットの人物追従と両足認識

(3) 移動ロボットに搭載されたカメラの視覚情報から周囲の移動ロボットの認識・推定し、その推定値に基づいた複数台移動ロボットの隊列制御の実現方法を考え、実験による検証を行った。移動ロボットの認識・推定アルゴリズムには(2)と同様の視覚情報に基づ

くパーティクルフィルタを用いた。事前に撮影した移動ロボットの視覚情報からロボットの特徴を取得してそれに基づいた確率分布を作成した。これをパーティクルフィルタの尤度関数として利用した。また移動ロボットに備え付けられているソナーセンサを融合させた。隊列制御法にはリーダ・フォロワ法に基づいた方法を適用した。カメラから認識したロボットをリーダと見なし、リーダの動きに追従するように移動ロボットを制御させた。パーティクルフィルタにより認識された移動ロボットから画像特徴量を求め、それを利用した画像ベース制御を開発した。具体的には、移動ロボットの画像特徴量をカメラのある位置に一致するように移動ロボットを制御させた。この一連の方法を隊列制御の実験により有効性を検証した。隊列制御の実験では、移動ロボット3台によるライン形状の隊列を形成させ、先頭のロボットをオペレータにより操縦させた。残りのロボットは先頭のロボットをリーダと見なし、それに追従するように制御した。図3は隊列制御実験の様子であり、図4は実験での各ロボットの軌道を示している。本手法により良好な追従性能を示した。また誤認識を回避できており、本推定法の有効性を示した。しかしながら、複数台移動ロボットの隊列制御において、搭載したカメラでは認識できる範囲が小さく、このため隊列可能な形状が制限されてしまうことがわかった。

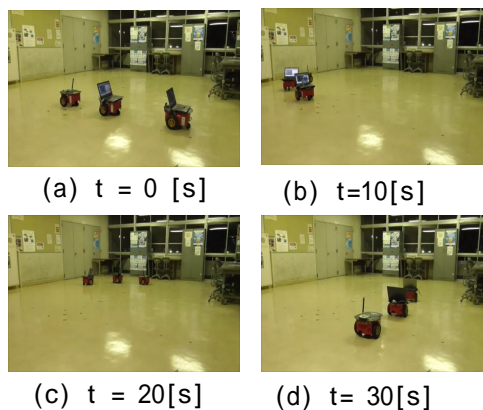


図3 移動ロボットの隊列制御

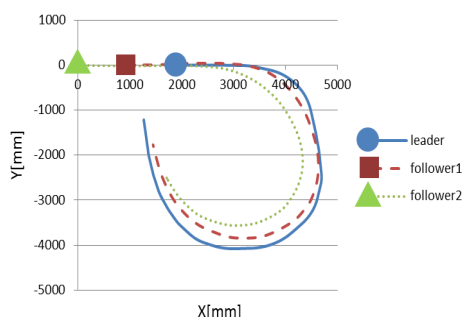


図4 各ロボットの軌道

今後は(1)の故障推定法の成果を実際の移動ロボットに適用し、実験により検証する。また移動ロボットのカメラに広角・魚眼レンズを取り付け、視認できる範囲を広げ、提案手法を改良し、故障推定と隊列制御を融合していく。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計4件)

大原伸介、大村将史、斉藤薫、藤森篤、画像情報を用いた複数台移動ロボットの隊列制御、IIP2017 情報・知能・精密機器部門(IIP 部門)講演会、2017年3月14日、東洋大学白山キャンパス(東京都・文京区)

斉藤薫、大原伸介、藤森篤、カメラとソナーセンサを融合した移動ロボットによる人物追従、山梨講演会、2016年10月22日、山梨大学工学部(山梨県・甲府市)

大原伸介、吉田和司、斉藤薫、藤森篤、パーティクルフィルタを用いた視覚情報とソナーセンサによる移動ロボットの人物追従制御、第34回日本ロボット学会学術講演会、2016年9月8日、山形大学小白川キャンパス(山形県・山形市)

吉田和司、大原伸介、藤森篤、色不変量を用いた視覚情報に基づく移動ロボットの人物追従制御、山梨講演会、2015年10月17日、山梨大学工学部(山梨県・甲府市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

大原 伸介(OH-HARA, Shinsuke)
山梨大学・大学院総合研究部・助教
研究者番号：60550762

(2)連携研究者

藤森 篤(FUJIMORI, Atsushi)
山梨大学・大学院総合研究部・教授
研究者番号：20209109