

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04046

研究課題名（和文）複数センサと確率的ビジュアルフィードバックの統合による移動ロボットの制御

研究課題名（英文）Control of a Mobile Robot by Integrating Multiple Sensors and Probabilistic Visual Feedback

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

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）：ロボットのカメラの画像から対象を認識させる方法は探索、監視や物体検出といった高度な作業が実現可能になる。本研究では画像認識における不確かさへの対処やビジュアルフィードバック制御の適用範囲を拡大するため、カメラとセンサを融合した認識システムの構築、確率モデルを用いた推定法、魚眼カメラや全天球カメラを導入した新しい制御法を開発した。魚眼カメラ等の画像歪み特性を新たな認識方法とそれに基づく制御法を開発し、移動ロボットの制御に利用した。また複数のモデルを利用した人物の歩行運動の推定と追従制御を実現した。カメラとセンサの情報を統合し、機械学習により学習モデルを作成し、これを自己位置推定に適用した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

魚眼カメラや全天球カメラによる移動ロボットの制御法を検討した。従来のカメラから魚眼カメラ等に置き換えることによりロボットの視野が広がり、衝突回避や搭載するカメラ台数の削減を可能にする。複数の確率モデルを利用した推定法により人物の不規則な運動に対応できる。またカメラとセンサを融合し、それを学習に利用することで、従来法では難しい環境下でのロボットの自己位置推定法を実現した。提案手法により複雑な環境下での良好なロボットの画像認識や制御が可能となる。本研究課題の成果を利用することでより実用的なロボットシステムの開発が期待できる。

研究成果の概要（英文）：A method of recognizing objects from images by a camera attached to a robot is feasible for advanced tasks such as search, surveillance, and object detection. In this research, we construct a recognition system that integrates camera and multiple physical sensors, and use a probabilistic model in order to deal with the uncertainty in image recognition. Furthermore, to improve the image recognition capability of the robot, we introduced a fish-eye camera and a spherical camera. We developed a new method of recognizing the image distortion characteristics of the cameras and a new control strategy considering of the characteristics. We developed a method for estimating of walking motion of a person using multiple models and then proposed a control law that enables a mobile robot to follow the person based on it. We integrated the information from the camera and physical sensors, created a learning model by machine learning, and applied it to self-localization estimation of a mobile robot.

研究分野：ロボット制御

キーワード：制御工学 移動ロボット 視覚情報 自己位置推定 センサ融合

1. 研究開始当初の背景

ロボットに視覚センサを取り付け、その画像から対象を認識させる手法は一般的にロボットビジョンと呼ばれ、探索、監視や物体検出といった高度な作業が実現可能になる。ロボットビジョンは品物といった物体を対象とした産業用だけでなく、人間を認識の対象とすることで介護サービスの補助にも適用できる。また自動車の自動運転の実現に貢献する技術である。カメラといった視覚センサからの情報を利用したロボットは環境の変化に速やかに対応するために、正確かつリアルタイム時間で情報を処理することが求められる。近年の計算機の処理能力および画像処理技術の向上により様々な応用技術が実現されたが、適用環境が複雑化するにつれて、必要となる計算能力が非常に高くなっている。

複雑な環境下でリアルタイムでの計算が可能な画像認識を実現するためには、距離センサなどの物理センサとの融合や不確かさを考慮した確率モデルを融合させるのが有用であると考えられる。しかしながら、視覚センサと他の物理センサをどのように移動ロボット上に配置させるか、2次元情報である視覚情報と3次元情報である物理センサをどのようにして統合させるかなどの様々な課題があり、ロボットのダイナミクスを含めたシステム全体を考慮した設計法について検討する必要がある。また確率モデルもどのように制御システムと併合するか検討する必要がある。画像情報を利用した制御法であるビジュアルフィードバック制御は視覚センサを取り付けたロボットマニピュレータや移動ロボットなどに用いられている。環境や対象の確率モデルに基づいてロボットを制御することで物体認識における誤認識や見失いの回避などより柔軟な対応が可能になる。そこで確率モデルを利用した新しいビジュアルフィードバック制御設計法や推定法を提案し、実環境での有用性を検証する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では画像認識における不確かさに対処するため、視覚センサと物理センサを融合した認識システムの構築、確率モデルを用いた移動ロボットの制御の実現を目指している。また移動ロボットの画像認識能力を向上させるため、魚眼カメラや全天球カメラを導入する。ここでは魚眼カメラ・全天球カメラの画像歪み特性を新たな認識方法とそれに基づく制御法を開発する。提案手法を移動ロボットの位置制御、人物追従制御や自己位置推定に適用し、その有効性を実験により検証する。

3. 研究の方法

(1)魚眼カメラや全天球カメラによる移動ロボットの位置制御と隊列制御

市販の標準レンズのカメラでは視野角が狭いため、ロボットに適用する上で様々な制限を有する。このため視野角の広い魚眼カメラ、全天球カメラを移動ロボットに導入する。魚眼カメラや全天球カメラは大きな視野角を有しているが得られた画像に歪みが生じるため、制御に利用する上でこの画像の歪み特性を考慮する必要がある。本研究では画像情報を球面モデルに射影し、それに基づいたマーカ認識と制御法を提案し、実験により検証する。

(2)人物の歩行動作モデルの切り替え推定を行う人物追跡制御

人物の歩行動作は歩くだけでなく、止まったり、曲がったりと様々な動作モードが存在し、時に不規則的にそれらの動作モードが切り替わることがある。本研究ではカメラから人物の足を認識し、動作モードを推定し、人物を追従する移動ロボットの制御法を考える。ここではロボットのカメラにより人物の足を撮影し、足の色情報を獲得させる。その色情報を基にパーティクルフィルタによりその位置を推定する。パーティクルフィルタは確率モデルを利用した推定法の一つである。さらにパーティクルフィルタの予測モデルの切り替えにより人物が歩行しているか、止まっているかという動作モードを推定させる。推定した足の位置と動作モードに基づいて移動ロボットを歩行している人物に追従させる。

(3)CNNによる移動ロボットの自己位置推定の検討

画像情報と物理センサを融合させた移動ロボットの自己位置推定法の実現について検討する。移動ロボットのカメラから得られた一連の画像列から特徴点のマッチングを用いることで移動ロボットの位置や姿勢を推定することができる。しかしながら、画像のぼけや特徴の少ない環境では特徴点のマッチングができず、位置姿勢が推定できない場合がある。そこで本研究では画像情報と姿勢センサを融合し、これを機械学習により自己位置推定法を検討する。ここでは得られた情報を畳み込みニューラルネットワーク(CNN)に学習させて、その学習モデルにより移動ロボットの自己位置を推定させる。

4. 研究成果

(1)魚眼カメラや全天球カメラによる移動ロボットの位置制御と隊列制御

本研究では魚眼カメラを搭載した移動ロボットのモデリングを行い、ビジュアルフィードバック制御を構築した。ここではカメラから得られた画像特徴量を球面モデルに射影させることでモデリングを行った。画像ベース法に基づく制御システムを構築して移動ロボットのマー

力認識による位置制御の有効性を検証した。また本研究では魚眼カメラによる移動ロボット群の隊列制御の実現を行った。魚眼カメラによるマーカ位置推定法を開発し、UGV2台またはUGVとドローンの隊列制御を実現した。UGVの隊列制御では推定された位置情報からロボット間の相対速度を推定する外乱オブザーバを構築し、これを隊列制御に利用した。提案手法により良好な隊列制御が実現された(図1参照)。

全天球カメラは360度の視野を有しているカメラである。全天球カメラの投影モデルを考え、それに基づいたマーカの位置推定法を検討した。マーカにはARマーカと4つの円からなるマーカを用い、位置精度やマーカ認識範囲を検討した。マーカ認識に基づいた移動ロボットの位置制御法を検討した。移動ロボットの制御には時間軸状態制御を利用し、時間に基づく前進・後進の切り替えによりロボットの位置と姿勢を制御させた。実験の結果、マーカ認識により位置推定は良好な位置精度を有しており、移動ロボットの位置制御が可能であることを示した(図2参照)。

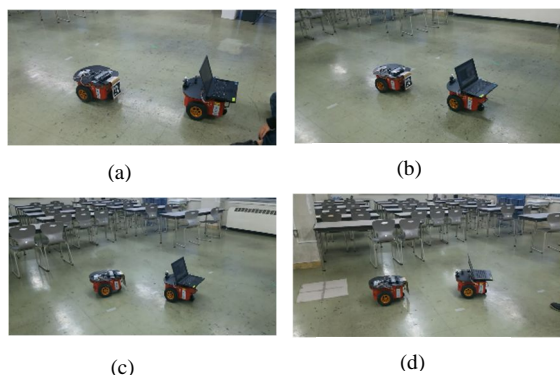
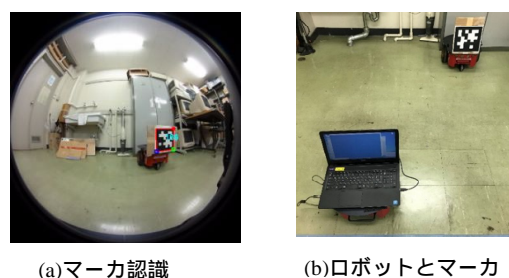


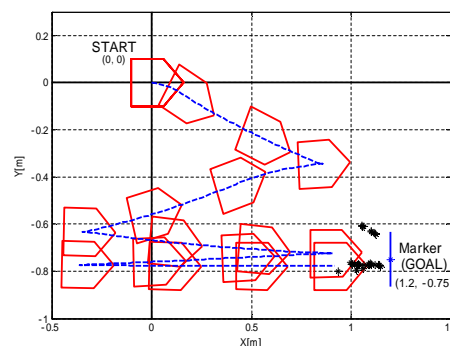
図1 魚眼カメラによる隊列制御(曲線運動)



(a)マーカ認識 (b)ロボットとマーカ

(2)人物の歩行動作モデルの切り替え推定を行う人物追跡制御

移動ロボットによる人物追跡では、カメラの画像情報から人物の足を認識し、パーティクルフィルタのモデル切り替えにより人物の歩行動作のモードの推定を行った。パーティクルフィルタの予測モデルに停止している静的モデルと歩行運動の動的モデルを適用し、複数のパーティクルフィルタを同時に起動させて、人物の足の位置と動作モードを推定させた。動作モードの推定には各パーティクルフィルタの予測値の尤度に基づいて判定と切り替えを行った。パーティクルフィルタで人物の足を推定しつつ、その足の推定位置情報に基づき、画像ベース法による移動ロボットの追従制御を実現した。提案手法の有効性を移動ロボットの人物追従の制御実験により検証した。実験の結果、モデルの切り替えにより歩行動作、支持脚および遊脚を推定し、移動ロボットによる人物追跡が実現された。また従来法よりパーティクルフィルタのパーティクル数を低減させても同程度の推定精度が実現できることがわかった。これによりモデル切り替えによる推定法の有効性を示した。しかしながら実験において、実際の歩行動作と推定した動作が異なる場合があったことがわかった。



(c)移動ロボットの軌道結果

図2 全天球カメラによる位置制御

(3) CNNによる移動ロボットの自己位置推定の検討

移動ロボットの搭載されたカメラから取得した一連の画像情報とセンサ情報を統合し、統合化された時系列データをもとに機械学習により移動ロボットの自己位置を推定させた。ここでは機械学習の一つであるCNNを導入し、時系列データを学習させた。ここでは前後のシーンからオプティカルフローをCNNにより学習する手法であるFlownetを利用した。はじめは移動ロボットにジャイロと加速度計を搭載したIMUセンサから得られた速度情報と画像情報を統合化した。しかしながら、ジャイロのドリフト特性のため、移動ロボットが走行・停止の動作を繰り返すと速度にバイアスが発生してしまい、CNNの学習が収束しない、または真値と予測値の差が大きいという学習モデルが生成されることがあった。そこでIMUセンサの代わりに移動ロボットのオドメトリを使用した。これによりCNNによる学習が収束し、かつ良好な学習モデルが得られるようになった。提案手法の有効性を実験により検証した。実験では学内の研究室または廊下で移動ロボットを手動で操縦し、カメラと



図3 学習に利用した画像シーン(回転運動)

センサ情報を取得し、それらを学習に利用した。実験により提案手法では良好な精度で自己位置推定ができることがわかった。図 3 は移動ロボットが回転運動時に撮影したある時刻での前後のシーンである。図 3 のようなシーンでは、既存の Visual SLAM では抽出され特徴点が少なく、かつ画像のぼけが存在するため自己位置推定ができなかった。一方、提案手法では自己位置推定が可能であることがわかり、提案手法の有用性を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Atsushi Fujimori, Yu-uki Ukigai, Shuhei Santoki and Shinsuke Oh-hara	4. 巻 9
2. 論文標題 Autonomous Flight Control System of Quadcopter Based on Waypoint and its Application to Formation Control with Mobile Robot	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Engineering Research	6. 最初と最後の頁 26-33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9790/9622- 091002633	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Atsushi Fujimori, Atsushi Hosono, Kazuro Takahashi and Shinsuke Oh-hara	4. 巻 8
2. 論文標題 A Modified Navigation Technique for Formation Control of Sonar-Equipped Mobile Robots with Large Obstacle Avoidance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Engineering Research	6. 最初と最後の頁 44-52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 細野敦士, 藤森篤, 大原伸介
2. 発表標題 ソナーセンサを有する移動ロボットの隊列制御と障害物回避
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大原伸介, 熊沢晃太, 松井涼, 藤森篤
2. 発表標題 魚眼カメラによる複数台移動ロボットの隊列制御
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部 岳晃, 大原 伸介, 浮田 芳昭
2. 発表標題 強化学習によるマイクロペリスタルティックポンプの動作シーケンスの獲得
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Atsushi Fujimori, Atsushi Hosono, Kazuro Takahashi, Shinsuke Oh-hara
2. 発表標題 Formation Control of Multiple Mobile Robots with Large Obstacle Avoidance
3. 学会等名 The 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 細野敦士, 高橋和郎, 藤森篤, 大原伸介
2. 発表標題 複数移動ロボットの隊列制御における大型障害物回避
3. 学会等名 日本機械学会関東支部山梨講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浮海祐希, 山時脩平, 藤森篤, 大原伸介
2. 発表標題 アルコマーカを用いたクアッドロータと移動ロボットのフォーメーション制御
3. 学会等名 日本機械学会関東支部山梨講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤森篤, 細野敦士, 大原伸介
2. 発表標題 大型障害物回避を伴う複数移動ロボットの隊列制御
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Fujimori, Yu-uki Ukigai, Shuhei Santoki, Shinsuke Oh-hara
2. 発表標題 Autonomous flight control system ofquadrotor and its application to formationcontrol with mobile robot
3. 学会等名 12TH IFAC SYMPOSIUM ON ROBOT CONTROL (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大原伸介, 磯貝大成, 藤森篤
2. 発表標題 魚眼カメラを用いた移動ロボットのビジュアルフィードバック制御
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山時脩平, 浮海祐希, 藤森篤, 大原伸介
2. 発表標題 クワッドロータと移動ロボットのフォーメーション制御
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

山梨大学 教員情報検索 大原伸介
<http://nerdb-re.yamanashi.ac.jp/Profiles/337/0033668/profile.html>

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
研究協力者	藤森 篤 (FUJIMORI Atsushi)	山梨大学・大学院総合研究部・教授 (13501)	

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
---------	---------