

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300082

研究課題名(和文)モノアイの研究

研究課題名(英文)Study of mobile robot navigation with MonoEye, the pan-tilt-zoom camera

研究代表者

角 保志 (Sumi, Yasushi)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号：30357305

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、環境構造化技術に基づくランドマーク検出について大きな成果が得られた。具体的には、これまでに開発してきた高精度マーカを改良するとともに、これを利用して移動ロボットの精密位置決めを実現する手法を確立した。移動ロボットプラットフォームを用いた実験により、高精度マーカをパンチルトカメラ(モノアイ)によって観測することで、ロボットの自律移動を非常に高い精度で制御できることを実証できた。また、ランドマーク画像シミュレーションのための環境モデリングについて、レーザースキャナを搭載したロボットのための新しいパスプランニングアルゴリズムを提案した。

研究成果の概要(英文)：In this research, a great outcome has been obtained about the landmark detection based on the information structured environment technology. Specifically, the developed high accuracy markers were improved and the high accuracy localization method for mobile robots was established by using these markers.

Based on the experiments using a mobile robot platform, it was shown that the autonomous navigation can be controlled in high accuracy using a pan-tilt-zoom camera (MonoEye) which observes the high accuracy visual marker. And also, a new path planning algorithm was proposed for the mobile robots with laser scanners, which allows environment modeling for the visual landmark simulation.

研究分野：ロボット工学

キーワード：自律移動ロボット 自己位置推定 画像処理 環境構造化 環境モデリング

1. 研究開始当初の背景

画像情報に基づくナビゲーションは、ロボットに搭載したカメラで得られた画像からランドマークを抽出し、予め用意した経路マップと照合することで、ロボットの自己位置を推定する手法である。

この分野では、画像局所特徴量を利用する手法が代表的であった。これは、あらゆる入力シーンに対応できる単一のビジョンアルゴリズムによって、経路全体をカバーしようとするものであり、いわば画像内容を記述するための理想的な一般原理を追究しているものであり、ナビゲーションだけでなく、コンピュータビジョンやパターン認識研究の分野における主流となっている考え方である。「画像処理の専門家が手間をかけて専用プログラム開発する必要がない」とか「誰でも開発できる」とかいったフレーズもしばしば使われる。

本研究は、こうした考え方とは全く逆の、「専用プログラム」を積極的に利用する方法を追究しようとしたものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、自律移動ロボットの画像情報に基づくナビゲーションに関する新しい方法論を提案することである。これまで様々な形で蓄積されてきた画像処理プログラム資産を利用して、走行経路に最適なビジョンベースナビゲーションシステムを自動構築する手法の確立が、本研究の目指す最終的な到達点である。これは、端的に言えば、白線検出で済む話ならそれを使うシステムの実現である。

本研究により、これまでアカデミックな分野では冷遇されてきた「専門家が手間をかけて開発したプログラム」を使い倒すことこそが、結果的に効率的なロボットビジョンシステム実現への近道であることを実証したい。

3. 研究の方法

(1)モノアイ(パンチルトズームカメラやロボットアームの先端に取り付けたハンドアイカメラ)によるランドマークの観測結果をもとにWorld座標系における自己位置を推定する手法を確立する。環境構造化技術を積極的に利用し、マーカや標識などをランドマークとして利用する技術についても追究する。高精度マーカの性能評価を実施し、これに基づく移動ロボットの制御技術を確立する。

(2)画像情報に基づくナビゲーションシステム自動生成に関する研究を行う。任意の場所から観測されるランドマーク画像をシミュレーション的に生成することを目指した屋内モデリングの研究を実施する。移動ロボット等に搭載したセンサ群を用いて映像・データ収集を行い、屋内の幾何学的モデルを作成する。また、複数のランドマーク検出プログラムを統合したシステムの研究にあたって

の予備実験を行う

(3)さまざまなランドマーク検出プログラムのソフトウェア構造の分析し、その共通APIを明らかにする。これまで開発してきた様々なロボットビジョンシステムに関するソフトウェア資産をコアとして利用し、代表的なランドマーク検出プログラムを開発する。ここでは、閾値処理、エッジ検出、コーナー検出、カラー解析、テンプレートマッチングなど、広く知られている特徴検出アルゴリズムを利用する。

(4)モノアイ搭載ロボットによる屋内・屋外ナビゲーションの実証実験を行う。平成24年度は、屋内で実証実験を行う。搭載したモノアイによって推定した自己位置に基づき、実験室や廊下を自立走行するシステムを実現する。(1)-(3)の成果をもとに屋内外ランドマーク検出プログラム共通APIを策定し、モノアイを利用したビジョンベース自律移動ロボットを使った実証移動ロボットの位置決めについての実証を行う。

4. 研究成果

(1)環境構造化技術に基づくランドマーク検出に関連し、ロボットの位置姿勢を高い精度で推定できる新しいデザインのマーカを開発し、その性能評価を行った。このマーカを単眼のカメラデバイスを用いて観測することで、カメラとマーカとの相対位置姿勢を角精度1deg.以下で推定することができる。本研究成果は学会等でも高く評価され、知能ロボット分野で最も権威のある国際会議のひとつであるIROS(IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System)のBest Paper Awardを含む、下記の賞を受賞した。

- ・IROS2012 Best Paper Award (2012年10月)
- ・情報処理学会 グラフィクスとCAD 研究会 優秀研究発表賞 (2012年6月)
- ・第15回画像の認識・理解シンポジウム ベストインタラクティブセッション賞(2012年8月)
- ・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優秀講演賞 (2013年12月)
- ・Innovative Technologies 2013 (2013年9月)

(2)ランドマーク画像シミュレーションのための環境モデリングについて、レーザースキャナを搭載した屋内移動ロボットのための新しいパスプランニングアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムは、障害物が存在する環境下における移動ロボットのパス設計と環境情報の収集を最適化するものであり、ビジョンベースの移動ロボットナビゲーションの基礎となることが期待される。

(3)環境構造化に基づくランドマーク検出に

関する研究で予想以上の大きな成果が得られたので、これを仮想的なランドマークと仮定することで、移動ロボットのナビゲーションに必要なランドマーク検出アルゴリズム API を策定するとともに、これを利用した実証実験及び性能評価を実施した。これらを利用し、屋内外ランドマーク検出プログラム共通 API を整備した。具体的には、開発した高精度マーカと従来手法による各種マーカ検出プログラムとあわせて、ランドマーク検出 API をソフトウェアライブラリとして整備した。これは、環境構造化技術に基づくランドマーク検出と通常のランドマーク検出の共通 API の策定につながる物と期待される。

(4)移動ロボットプラットフォームおよび画像センシング・画像処理プラットフォームの開発を行った。電動車椅子を自律移動ロボットのベースとし、パンチルト機構を備えた単眼カメラによる画像入力機構の整備を行った。これらは、本研究の最終目的である、画像情報に基づく自律移動ロボットのナビゲーションに関する新しい方法論の提案を実現するための実証実験基盤となる。

ランドマーク検出に基づくナビゲーションシステムを開発した。移動ロボットプラットフォームのハードウェア制御機構を開発し、移動ロボットの位置決めに関する実証実験を高い精度で実施できる性能を達成した。加えて、モノアイによる仮想的なランドマーク(マーカ)の自動検出を実現し、その結果として達成できるグローバルな高精度自己位置推定結果に基づくナビゲーションのためのソフトウェアを整備した。さらに、屋内外の通常環境下での実証実験に備え、衝突回避のための安全センサ等の安全関連系の整備も行った。ランドマーク検出に基づく自律移動の実証試験を実施した。

以上により、本システムの有効性を検証することができた。特に、高精度マーカをパンチルトカメラ(モノアイ)によって観測することで、移動ロボットの自律移動を非常に高い精度で制御できることを実証することができた。

これらの成果は学会で高く評価され、知能ロボット分野で最も権威のあるとされる二つの国際会議である IROS (IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, Chicago, USA, 2014 年 9 月) および ICRA (IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seattle, USA, 2015 年 5 月) に採択された。

5. 主な発表論文等
〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 14 件)

B. K. Kim, H. Tanaka, and Y. Sumi, Robotic Wheelchair Using a High Accuracy Visual Marker LentiBar and Its Application

to Door Crossing Navigation, 2015 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA 2015), 2015.5.26, Seattle, USA

H. Tanaka, Y. Sumi, and Y. Matsumoto, A Solution to Pose Ambiguity of Visual Markers Using Moire Patterns, The 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2014), 2014.9.16, Palmer House, Chicago, Illinois, USA

田中秀幸、上田敦史, モアレを用いた高精度視覚マーカとロボット制御への応用, 第 14 回建設ロボットシンポジウム, 2014.8.28, 中央大学後楽園キャンパス, 東京

田中秀幸、角保志、松本吉央, 姿勢の曖昧性を解決する視覚マーカの開発, 第 14 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(SI2013), 2013.12.19, 神戸(優秀講演賞受賞)

H. Tanaka, Y. Sumi, and Y. Matsumoto, Further Stabilization of a Microlens-Array-Based Fiducial Marker, 2013 IEEE Intl. Symp. On Mixed and Augmented Reality (ISMAR2013), 2013.10.1, Adelaide, Australia

B. K. Kim, H. Tanaka, Y. Sumi, Topological Graph Based Boundary Coverage Path Planning for a Mobile Robot, 2013 International Symposium Artificial Life and Robotics (AROB 2013), 2013.1.30, Daejeon Convention Center, Daejeon, Korea

金奉根、角保志、田中秀幸, Mobile Robot Path Planning for Indoor Modeling Using a Topological Graph, 第 13 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(SI2012), 2012.12.17, 福岡国際会議場, 福岡

B. K. Kim, H. Tanaka, Y. Sumi, Boundary Coverage Path Planning for Modeling of Building Interiors, The 9th International Conference Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2012), 2012.11.28, Daejeon Convention Center, Daejeon, Korea

田中秀幸、角保志、松本吉央, 正対時でも安定・高精度な姿勢推定が可能な AR マーカ, 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2012.10.3, 慶応大学日吉キャンパス, 横浜

田中秀幸、角保志、松本吉央, マイクロレンズアレイを用いた高精度な姿勢推定が可能な視覚マーカ, 第 15 回 画像の認識・理

解シンポジウム (MIRU2012), 2012.8.6, 福岡国際会議場, 福岡 (ベストインタラクティブセッション賞受賞)

田中秀幸、角保志、松本吉央, 正面からの観測でも高精度な姿勢推定が可能な AR マーカ、情報処理学会 グラフィクスと CAD 研究会 第 147 回研究発表会, 2012.6.22, 早稲田国際会議場, 東京 (優秀研究発表賞受賞)

H. Tanaka, Y. Sumi, Y. Matsumoto, Application of moire patterns to AR markers for high-accuracy pose estimation, The 3rd International Workshop on Benchmark Test Scemes for AR/MR Geometric Registration and Tracking Methods, 2012.11.11, つくば国際会議場, つくば

H. Tanaka, Y. Sumi, Y. Matsumoto, A High-Accuracy Visual Marker Based on a Microlens Array, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), 2012.10.10, Hotel Tivoli Marina Vilamoura, Algarve, Portugal (Best Paper Award 受賞)

H. Tanaka, Y. Sumi, Y. Matsumoto, A Novel AR Marker for High-Accuracy Stable Image Overlay, The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronic (GCCE2012), 2012.10.3, 幕張メッセ, 千葉

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 1 件)

名称 : マーカ画像処理システム
発明者 : 田中秀幸
権利者 : 田中秀幸
種類 : 特許
番号 : 特願 2013-204947
出願年月日 : 2013 年 9 月 30 日
国内外の別 : 国内

取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角 保志 (SUMI, Yasushi)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・ロボティノベーション研究センター・主任研究員
研究者番号 : 30357305

(2) 研究分担者

田中 秀幸 (TANAKA, Hideyuki)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・ロボティノベーション研究センター・主任

研究員
研究者番号 : 70376656

(3) 研究分担者

金 奉根 (KIM, Bong Keun)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員
研究者番号 : 10415672