

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：34506
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2012～2014
課題番号：24500288
研究課題名(和文) 移動ロボット向けソフトコンピューティングライブラリの開発

研究課題名(英文) Development of softcomputing library for mobile robots

研究代表者

田中 雅博 (Tanaka, Masahiro)

甲南大学・知能情報学部・教授

研究者番号：70163574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：ソフトコンピューティングを移動ロボットの分野にも応用し、実使用できるようなモデルやソフトウェアライブラリの公開を行う研究である。

移動する領域をあらかじめ想定したものであり、環境マップを作成しておく。その中で、レーザースキャナを用いた、初期位置推定および移動中の自己位置推定、路面検知、障害物検知、経路決定、ファジィ制御などのアルゴリズムを具体的に構築し、作成したソフトウェア情報を公開することができた。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop models and software library including soft-computing techniques for mobile robots. By creating an environmental map in advance, we developed various algorithms such as initial position estimation, localization while moving, ground surface detection, obstacle detection, path selection and fuzzy control, and we can supply our library to interested researchers.

研究分野：推定理論

キーワード：移動ロボット 自己位置推定 レーザー距離センサー 状態推定 粒子フィルタ

1. 研究開始当初の背景

本研究テーマに関し、研究メンバーはソフトコンピューティング手法の研究及びコンピュータビジョンの経験も積んできており、移動ロボットについては、台車ロボット Segway RMP 200 の上に各種視覚センサーを搭載して、さまざまなロボティクスの視覚認識関連の課題を実現するためのプラットフォームを構築中である。また、別途、Pioneer 3-AT という4輪の台車ロボットを所有している。これらの研究経験と現有設備を活かして、本研究プロジェクトで汎用的なソフトウェア群をソフトコンピューティングの技術を応用して開発する。

2. 研究の目的

センサー信号の前処理、自己位置推定、環境認識、行動決定など、知能化を要するさまざまな要素がある。

(1) 大域的自己位置推定

初期位置推定あるいは、推定が途切れたときの復活処理。進化的アルゴリズム、中でも Differential Evolution (DE) の利用を考えている。

(2) 局所的自己位置推定

2次元格子地図を使って行う。粒子フィルタを使うのが簡単で、有効である。

(3) 路面状況の把握と物体検知

路面を確実に見つける方法を確立する。また、路面上の物体や環境構造物との区別なども必要である。

(3) ロボットの制御

人に追従するタイプの動作を行う場合に、人との間隔にファジィ数を用いることで、なめらかな追従が行えるようにする。ここにはファジィモデルである。

(4) 経路決定問題

3. 研究の方法

アルゴリズムを構成するのに、モジュール化を明確に行うことが、ロボット全体のアルゴリズムを明確にするのに必要であり、有用である。我々は RT ミドルウェアの土台のもと、RT コンポーネントを作り上げていく。各種センサーを搭載した移動ロボット自体の基本となる信号取得や制御の部分はこれまでの共同研究の成果として既にかなりできており、実際に動かしながらコンポーネントの内容を確認していくことができる。

(1年目)

当申請課題における、主要な部分を以下に説明する。初年度は、主として低次の認識処理を実現していく。

(1) 大域的自己位置推定

GPS は屋外であってもうまく機能しない場合があり、また、誤差も結構大きい。そこで、レーザーレンジスキャナにより環境形状をスキャンし、あらかじめ作っておいたマッ

プ情報のどの位置・向きと最もよくマッチするか、進化的アルゴリズムにより求める実験を行う。また、GPS と協調させて推定する手法もベイズ推定を基礎として確立する。

(2) 局所的自己位置推定

初年度は、自己位置推定とマップの同時推定アルゴリズムもリアルタイムで使えるように実装する。なお、自己位置推定や SLAM の中には、粒子フィルタによる確率的アルゴリズムを用いており、高速で計算するためのノウハウを蓄積していき、プログラム化・コンポーネント化する。

(3) 路面検知

路面検知方法については、今まで画像を射影変換する方法や距離画像の得られる Kinect センサーを使う方法などを考案、試してきたが、まだ実用化できていない。初年度においては、大きな障害となる路面異常の検知を斜め前方に向けたレーザーレンジスキャナのコンポーネント出力も利用する。路面が障害物なのかという識別問題にソフトコンピューティングの手法の適用方法を検討する。

(4) 障害物・移動物体検知

水平に装着しているレーザーレンジスキャナにより何らかの障害物(静止、移動物体とも)を見つけることは効果的にできている。障害物に関する検出点をクラスタリングするのにソフトコンピューティングを用いることを検討する。

(5) コントローラ

台車(ロボット本体)制御については、与えたマップと検知した物体に基づいてポテンシャル関数を用いることで経路を決定するシステムを作成する。そこで得られた経路に沿って進むよう、ファジィ制御を行うシステムの検討・試走を行う。

また、センサーを乗せたパンチルトユニットの制御プログラムを作成する。ユニットには、カメラを搭載することを考えており、人を検知すればユニットを動かして人をとらえるというような方法を行う。動かす向きや速度など、ファジィ制御を用いる。

(2~3年目)は、高次の認識処理を主として行う。初年度で、主として低次の認識処理コンポーネントを作った後、2年目以降は、検知したものが、人であるか、車であるか、速度はどうか、といった高次の認識処理に重点を置く。

すなわち、レベル2において検知したものが人であるか、車であるか、速度はどうか、といった高次の認識処理において、検知点のグルーピングとノイズ処理によって、物体と検出点群を対応させ、さらに、点群を時間的な変化を見ることによって移動しているかどうかといったことを見る。

経路決定については、上記の高度な認識結果が重要な役割を持つ。ロボットが進行経路を決めるときに、歩行者の有無、移動している方向検知などをもとに、安全な経路を決定

する必要がある。目標値までの間に複数の中間ゴールを設け、それらをクリアしながら進むなどの方法が考えられる。意図的なランドマークを使用しない予定である本システムにおいて、中間ゴールをどのように設定するかということも、検討課題である。

4. 研究成果

初期テーマにしたがって研究を進めたが、特に以下のテーマに関して大きな成果があった。ここでは、それらの成果の内容について述べる。

(1) 路面検知

路面検知については、Segway が前後に揺れながら動くという特性をもつため、揺れの角度のハード的な補償あるいはソフト的な補償をする方法が考えられる。われわれはそれぞれの方法について具体的な方策を考え、実装を行った。

a. ハード的補償

パンチルト雲台を Segway RMP の上に搭載し、Segway RMP のピッチ角を本体 PC から直接取得して、逆位相になるように本体を制御することで対処した。この方式の欠点を挙げれば、フィードバックではどうしても時間遅れが生じてしまうという点である。そこで、動きの指令を入力、台車のピッチ角を出力とする自己回帰モデルを作成し、それによってモデル予測制御を実現したが、完全にはうまくいっていない。

b. ソフト的補償

視野の中の格子点位置の距離データ群を用いて、深度センサーの姿勢パラメータを推定する方法を発明し、特許出願した。このアルゴリズムではセンサーの傾き表現にオイラー角を用いており、センサーの高さとピッチ角およびロール角を推定対象としている。

まず、センサーを傾けず、位置を原点としたときのセンサーのビューモデルはセンサーのデータ取得特性を用いれば容易に表現できる。それを、オイラー角で傾けたとき、見えるデータとセンサーのパラメータ（高さ、2つの角度）は、三角関数を用いた非線形関数で表現できる。従って、高さ方向のみを考慮すれば、観測された路面（床面）にあるデータの大部分が高さ0となるようなパラメータの値を探索することにより、パラメータの値を推定することができる。観測値は、短い周期で取得され、取得した1セットデータ中、どの点が路面上の点なのか、わかっていない。これらの問題点を克服するために、我々は、推定アルゴリズムを、ニュートン法を用いる方法と、拡張カルマンフィルタを用いる方法の2つを提案し、動作を検証した。その結果、拡張カルマンフィルタを用いた方が良い結果が得られ、画面上に路面上の点が少なくなっても、パラメータの変動モデルが急激な変動を抑制し、正しい姿勢が得られた。

(2) 初期位置推定

初期位置推定あるいは、推定が途切れたと

きの復活処理である。動作の最初なので多少時間がかかることは許される。我々は、環境モデル（ロボットが移動するエリア及びその周辺における、スキャンする位置の建物などの外形および特質（不透明な部分と、レーザーが抜ける可能性があるガラス面や植栽などを区別）情報をあらかじめ定義しておく。この環境モデルに対する尤度を定義して、位置を推定した。

進化的アルゴリズムである Differential Evolution (DE) を用いて初期位置を推定するアルゴリズムを構成した。

(3) 自己位置推定

自己位置推定は本研究課題における最大のテーマである。

このプログラムは、以下のような条件のもとで動作する。

- 初期位置推定あるいは実際にいる場所をキーボードから与えることによりスタートする。
- ロボットのオドメトリを利用する。
- 推定周期はデータのスキャンごと。
- 推定アルゴリズムは粒子フィルタによる。状態変数は、平面上の2次元座標とロボットの向き、合わせて3次元である。推定方法は、ピッチ角が所定の範囲に入っているときと入っていないときで異なる。

(ア) 範囲に入っていないとき

オドメトリのみで推定位置を更新する。

(イ) 範囲に入っているとき

オドメトリを進めた後、各粒子ごとに予測モデルに含まれる乱数を加える。スキャンデータを観測値として利用し、各粒子ごとに尤度を求め、それにより粒子の複製確率を設定する。

尤度の計算においては、壁面等の後ろに隠れる占有空間、壁面の手前の自由空間、さらに、ガラス窓の部分などの半透明な壁面より後ろの半自由空間と、スキャンデータとの関係においてそれぞれ一定の関数形の尤度関数をガウス関数を用いて設定している。

(4) 経路選択・行動制御

経路選択では、現在地（これは、自己位置推定により得る）から、目標地点（人による指示など）まで、効率的な経路を設計して、その線に沿って自動的に移動する問題を考える。

実際の問題としては、現在地から目標地点まで直線的な経路が描けないような環境において、中間目標地点を設け、中間目標地点を最短で結ぶような経路を設計する問題と捉えた。

一般論としては、固定障害物が多数ある場合の経路選択問題を考えることも必要があるだろうが、われわれの環境も含めて、多くのケースではそこまで考える必要がないと考えた。

制御方法には、ファジィ制御を用いた。現

在地から見た目的地に対する距離と向きをファジィ変数と置き、それぞれ「遠い」、「中くらい」、「近い」および「左」、「中央」、「右」の3つのケースに対して9つのファジィルールを設定した。さらに、障害物についても、同様に9つのルールを設けた。合計18個のルールに対して、速度と向きの出力をファジィ制御に基づいて決定し、制御を実際に行うアルゴリズムを構成した。

この経路選択アルゴリズムおよび制御アルゴリズムにより、当初考えていたポテンシャル法よりもはるかに高速で容易に実装できるシステムができた。

(5) ソフトコンピューティング手法を利用した無線 LAN 信号の空間計測による位置同定、環境状態変化検出

移動ロボットや携帯端末への展開を念頭に、位置推定手法の開発を行った。無線 LAN 信号強度や画像など複数種類のセンサーから得られた情報を統合し、屋内環境での無線 LAN 端末の位置を建物の階層と同時に推定する手法を開発した。本手法では確率モデルをもとにしたソフトコンピューティング手法を利用しているため、状態空間モデルを用いた位置と階層の推定精度の向上をモデル構築、実験により検証した。あわせて、画像情報とのセンサーフュージョンについて検討し、実験により可能性を示した。

あわせて、無線 LAN 信号の伝播状況の変化から空間の状態変化検出を行う手法を、変化点検出問題として帰着させ、実験により検証した。

(6) これらのアルゴリズムに関する説明や資料、プログラムの一部は、ホームページに公開した。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 33 件)

梅谷智弘, 澤田祐志, 田村祐一, 無線 LAN 信号強度を利用した屋内環境における状態変化検出の検討, システム制御情報学会論文誌, 査読有, 2015, vol. 28, pp. 140-147.

田中雅博, 和田昌浩, 梅谷智弘, 伊藤稔, キャンパスロボット KoRo の開発 - 4 年目の進捗状況, Mem., Konan Univ., Intelli. & Inform. Ser., 2014, vol. 7, no.1, pp. 95-109.

T. Matsuda, N. Hatakeyama, M. Takimura, M. Wada, M. Tanaka and T. Umetani, Detection of surface of the road using depth sensor on the pan-tilt unit for an inverted pendulum mobile robot, Proc. of the 45th International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 査読有, 2014, pp. 389-394.

T. Umetani, M. Tanaka, M. Wada and M. Ito, Target tracking for networked moving camera using unsynchronous multiple sensor data, Proc. of the 45th

International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 査読有, 2014, pp. 29-33.

M. Tanaka, M. Wada and T. Umetani, Parameter estimation of mixture PDF model for mobile robots by EM algorithm, Proc. of the 45th International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 査読有, 2014, pp. 381-388.

T. Umetani, S. Yamane and Y. Tamura, Indoor localization for augmented reality aided operation and maintenance system based on sensor data integration, Plasma and Fusion Research, 査読有, 2014, vol. 9 (3406054), pp. 1-4.

Masahiro Tanaka, Surface detection in a view of a depth sensor, 2014 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 査読有, 2014, pp. 385-388.

H. Kaku and M. Tanaka, A keypoint detector by a depth sensor, 2014 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 査読有, 2014, pp. 381-384.

N. Hatakeyama, T. Matsuda, M. Takimura, M. Wada, M. Tanaka and T. Umetani, Improvement of detection method of surface of the road using a depth sensor for an inverted pendulum mobile robot, 2014 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 査読有, 2014, pp. 389-392.

M. Takimura, T. Matsuda, N. Hatakeyama, M. Wada, M. Tanaka and T. Umetani, A study on human detection and tracking method for an inverted pendulum mobile robot, 2014 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 査読有, 2014, pp. 653-656.

田中雅博, 和田昌浩, 梅谷智弘, 伊藤稔, キャンパスロボット KoRo の開発 - 3 年目の進捗状況, Mem., Konan Univ., Intelli. & Inform. Ser., 2013, vol. 6, no.1, pp. 95-123.

M. Tanaka and K. Kochi, Initial position estimation of a mobile robot with a laser range finder by differential evolution, International Journal of Advanced Mechatronic Systems, 査読有, 2013, vol. 5, pp. 373-382, DOI 10.1504/IJAMECHS.2013.060020

田中雅博, 和田昌浩, 梅谷智弘, 伊藤稔, 移動ロボットに関連するソフトコンピュータライブラリの作成, Mem., Konan Univ., Intelli. & Inform. Ser., 2013, vol. 6, no.2, pp. 315-342.

和田昌浩, 田中雅博, 梅谷智弘, 伊藤稔, 倒立振子型移動ロボットにおける問題点の解決とこれからの展望について, Mem., Konan Univ., Intelli. & Inform. Ser., 2013, vol. 6, no.2, pp. 375-384.

M. Tanaka, State estimation approach for depth sensor's posture attached to a vehicle or a human body, 2013, システム制御情報学会論文誌, 査読有, vol. 26, no. 11, pp. 398-406, DOI 10.5687/iscie.26.398

T. Umetani, S. Yamane, T. Yamashita and Y. Tamura, State estimation of wireless mobile client based on sensor data fusion for localization in multistory building, 2013, システム制御情報学会論文誌, 査読有, vol. 26, no. 11, pp. 448-455, DOI 10.5687/iscie.26.448

M. Tanaka, State estimation of depth sensor's posture attached to an unstable dynamic object, Proc. of the 44th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 査読有, 2013, pp. 44-50.

T. Matsuda, M. Wada, M. Tanaka and T. Umetani, A study on tracking control of pan-tilt unit for an inverted pendulum mobile robot, Proc. of the 44th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 査読有, 2013, pp. 219-224.

T. Umetani, S. Yamane and Y. Tamura, State estimation of mobile client based on sensor data fusion for localization in multistory building, Proc. of the 44th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 査読有, 2013, pp. 61-66.

M. Tanaka, M. Wada, T. Umetani and M. Ito, Detection of mobile robots for outdoor navigation robots, Proc. of the 43rd Stochastic Systems Symposium, 査読有, 2012, pp. 140-147.

21 M. Wada, M. Tanaka, T. Umetani, T. Kuga, A. Kojima, T. Matsuda, T. Sakai, A. Adachi, K. Inaoka and M. Ito, Framework of sensor fusion network for an inverted pendulum mobile robot KoRo, Proc. of the 43rd Stochastic Systems Symposium, 査読有, 2012, pp. 148-152.

22 T. Umetani, S. Yamane, T. Yamashita and T. Tamura, Localization of wireless LAN client in multistory buildings using strength of received signals in state space framework, Proc. of the 43rd Stochastic Systems Symposium, 査読有, 2012, pp. 159-162.

23 M. Ito and M. Tanaka, A differential evolution-based approach for global localization of mobile robot, Proc. of the 43rd Stochastic Systems Symposium, 査読

有, 2012, pp. 153-158.

24 T. Umetani, N. Kuga, M. Tanaka, M. Wada and M. Ito, Sensor fusion of vision system and thermal imaging sensor for target tracking, Proc. of the 43rd Stochastic Systems Symposium, 2012, 査読有, pp. 165-168.

25 田中雅博, 和田昌浩, 梅谷智弘, 伊藤稔, キャンパスロボット KoRo の開発 - 要素技術の開発とデモシステムの作成, Mem., Konan Univ., Intelli. & Inform. Ser., 2012, vol. 5, no.1, pp. 93-121.

26 M. Tanaka and S. Onishi, Detection of irregular ground area by single camera on mobile vehicles, International Journal of Advanced Mechatronic Systems, 2012, 査読有, Vol. 4, pp. 103-111, DOI 10.1504/IJAMECHS.2012.048396.

27 M. Tanaka, Robust parameter estimation of road condition by Kinect sensor, Proc. International Conference on Instrumentation, Control, Information Technology and System Integration, 査読有, 2012, pp. 197-202.

28 M. Tanaka and K. Kochi, Global localization of a mobile robot with a laser range scanner in the outdoor environment, ICMechS2012, 査読有, 2012, pp. 69-74.

29 M. Tanaka, M. Wada, T. Umetani and M. Ito, Detection of mobile objects by mixture PDF model for mobile robots, システム制御情報学会論文誌, 査読有, 2012, vol. 25, pp. 308-315. DOI 10.5687/iscie/25.308

30 T. Matsuda, N. Hatakayama, M. Wada, M. Tanaka, T. Umetani and M. Ito, A tracking control method and detection for the surface of road by using a pan-tilt unit on an inverted pendulum mobile robot, Proc. of 2013 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications, and Signal Processing, 査読有, 2013. pp. 277-280.

31 T. Umetani, S. Yamane, T. Yamashita and Y. Tamura, Localization estimation of mobile wireless LAN client in multistory buildings using strength of received signals in state space framework, システム制御情報学会, 査読有, 2012, vol. 25, pp. 216-322, DOI 10.5687/iscie.25.316

32 T. Umetani, S. Yamane and Y. Tamura, Mobile client localization using data fusion of wireless LAN signals and three-dimensional camera image sequences, Proc. of the 9th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, 査読有, 2012, pp. 240-245, DOI 10.1109/URAI.2012.6462985

33 T. Umetani, N. Kuga, M. Tanaka, M. Wada and M. Ito, Target tracking based on fusion of unsynchronized sensor data from

vision system and thermal imaging sensor, システム制御情報学会論文誌, 査読有, 2012, vol. 25, pp. 323-327. DOI 10.5687/iscie.25.323

〔学会発表〕(計 12 件)

田中雅博, 深度センサによる視覚障がい者用歩行支援システム, 第 15 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, 3D1-4, pp. 2007-2011, 2014.12.15-17.

M. Tanaka and H. Kaku, Robust Nonlinear Kalman Filter and Its Application to Pose Estimation by Using a Mobile Depth Sensor, The 46th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 2014.11.1-2 (abstract).

大畔裕, 田中雅博, ファジィ制御を用いた屋外移動ロボット, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 3D3-03, 4 pages, 2014.9.4-6.

田中雅博, デプスセンサによる姿勢推定と周囲環境認識, 第 58 回システム制御情報学会研究発表講演会, 316-4 (6 ページ), 2014.5.21-23.

田中雅博, デプスセンサによる路面と壁面の検知方法, Vision Engineering Workshop 2013 (ViEW 2013), IS1-E4 (7 ページ), 2013.12.5-6.

M. Tanaka, M. Wada, T. Umetani and M. Ito, Parameter estimation of mixture PDF model for mobile robots by EM algorithm, 45th Stochastic Systems Symposium, Okinawa, Nov. 1-2, ext. abstract pp. 169-170, 2013.

T. Matsuda, N. Hatakeyama, M. Takimura, M. Wada, M. Tanaka, T. Umetani and M. Ito, Detection of surface of the road using depth sensor on the pan-tilt unit for an inverted pendulum mobile robot, 45th Stochastic Systems Symposium, Okinawa, Nov. 1-2, ext. abstract pp. 171-172, 2013.

大畔裕, 田中雅博, レーザー距離センサによる反射が不確定な環境下での移動ロボットの自己位置推定, 第 31 回日本ロボット学会学術講演会, 3J1-01, 4 pages, 2013.9.4-6.

田中雅博, 距離センサと推定アルゴリズムの併用による検知システム, 第 57 回システム制御情報学会研究発表講演会チュートリアル講演, pp. 1-8, 2013.5.15-17.

梅谷智弘, 臼井良, 田中雅博, 和田昌浩, 伊藤稔, 非同期センサデータ統合を利用した移動カメラによる対象物追跡, 第 57 回システム制御情報学会研究発表講演会, 326-4, 2013.5.15-17.

M. Tanaka, State estimation of depth sensor's postures attached to an unstable dynamic object, 44th Stochastic Systems

Symposium, Tokyo, Nov. 2, ext. abstract pp. 121-122, 2012.

T. Matsuda, M. Wada, M. Tanaka, T. Umetani and M. Ito, A study of tracking control of pan-tilt unit for an inverted pendulum mobile robot, 44th Stochastic Systems Symposium, Tokyo, Nov. 2, ext. abstract pp. 93-94, 2012

〔図書〕(計 1 件)

馬場, 田中, 吉富, 満倉, 半田, ソフトコンピューティングの基礎と応用, 共立出版 (182 ページ), 2012

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://carnation.is.konan-u.ac.jp/kaken.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 雅博 (TANAKA, Masahiro)

甲南大学・知能情報学部・教授

研究者番号: 70163574

(2) 研究分担者

和田 昌浩 (WADA, Masahiro)

甲南大学・知能情報学部・准教授

研究者番号: 80330405

(3) 研究分担者

梅谷 智弘 (UMETANI, Tomohiro)

甲南大学・知能情報学部・准教授

研究者番号: 10397630

(4) 連携研究者

伊藤 稔 (ITO, Minoru)

舞鶴工業高等専門学校・准教授

研究者番号: 70411840