

平成 2 1 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760163
 研究課題名（和文） 多数のセンサによる物体位置姿勢計測のためのパーティクルフィルタの実装理論
 研究課題名（英文） Implementation Theory of Particle Filters for Measuring Object Poses with Multiple Sensors
 研究代表者
 上田 隆一（RYUICHI UEDA）
 東京大学・大学院工学系研究科・助教
 研究者番号：20376502

研究成果の概要：本研究では、複数のカメラ・センサから得られる情報を統合する演算方法の設計と、その演算を実行するソフトウェアの実装を目的とした。存在しているカメラの互いの相対姿勢（6 パラメータ×カメラの台数）をパーティクルフィルタで推定するアルゴリズムを実装した。これにより、複数台のカメラが協調して物体位置をロバストに計測することを可能とした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,500,000	0	1,500,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
総計	3,000,000	450,000	3,450,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：情報システム

1. 研究開始当初の背景

近年、セキュリティ、あるいは人・動物・ロボットや車両等の誘導・移動履歴管理等の目的から、カメラ等のセンサを利用した移動体の位置・姿勢検知と追従の研究・開発が盛んである[Oh 2006, 中村 2004]。このようなシステムでは、複数のカメラ・センサから得られる情報を統合する演算方法の設計と、その演算を実行するソフトウェアを実装することが必要である。

研究の観点からは、この演算・実装方法の汎用化が課題として求められるべきであるが、現在のところは用途に特化した開発のみが行われているのが実状である。その理由としては、数理モデル、ソフトウェア、ハードウェアそれぞれのレベルで互換性を持ったシステムを構築することが非常に困難なこ

とが挙げられる。

汎用化の際に直面する具体的な問題は様々であるが、主なものとしては 1) 多種のセンサからの様々な情報を物体の位置・姿勢情報に変換することが困難、2) センサの位置変更（移動）や着脱が困難という 2 点が挙げられる。

実際の計測システム設置の際は、なるべく同種のセンサを固定して用いてプログラムの実装を単純化することでこれらの問題の回避が図られることが多い。そのため、一般化した議論ができないシステムになりがちである。また、センサの固定は、移動カメラの利用等による、より死角の少ないシステムの実現のためには障害となるという実際的な問題も存在する。

上記の課題 1 に関しては、パーティクルフ

フィルタ [Doucet 2001] を利用することで解決できる。この手法は、ベイズの公式等を用いて多種多様な情報を特定の情報に変換するための数値計算法であり、ロボット工学においてはロボットや移動体の位置推定方法としてここ 10 年で主に海外で普及した手法である [Fox 2003]。国内においても、申請者ら [上田 2005] や友納ら [友納 2002] によって改良、利用されている。

図 1 は、 xy 平面上で方向 θ (矢印の向き) を持つ観測対象の位置・姿勢 (x, y, θ) をパーティクルフィルタを用いて推定している様子を示したものである。多数の小さい矢印がパーティクルを示しており、その分布は $xy\theta$ 空間中でどこに観測対象が存在するかを表す確率分布を近似している。パーティクルフィルタは、順次得られるセンサ情報を分布に反映させる演算を繰り返すことで推定を行う。推定が正しく行われた場合は、真の位置姿勢周辺にパーティクルが集まる。パーティクルの分布に対する演算方法はセンサごとに独立しており、かつパーティクルの分布は任意の確率分布を表現できるため、この手法を用いることで異種センサからの情報の統合が容易になる。

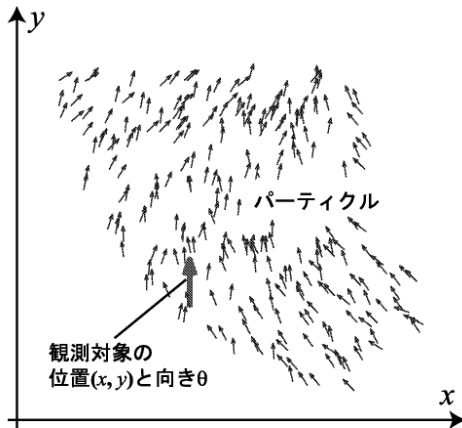


図 1: パーティクルと計測対象

ただし、課題 2 に対しては、パーティクルフィルタは直接的な解決法を与えない。さらに、パーティクルフィルタを多数のセンサや物体位置・姿勢計測に対して実行すると、図 2 のように各計算手続き間の情報の流れが複雑になり、計算量やデータ通信量が增大するという新たな課題も発生する。

2. 研究の目的

そこで本研究では、上記の問題を解決するための理論とアルゴリズムの構築とハードウェア・ソフトウェアへの実装・評価を目的とする。センサの追加や位置変更が起こった際にその位置・姿勢を他のセンサで計測することで、パーティクルフィルタにおいて利用

可能とする計測アルゴリズムの開発と実験評価を行う。また、安価な超小型サーバを多数用いてパーティクルフィルタを分散実行し、計算負荷を分散するための演算・通信アルゴリズムを開発し、実験評価する。

計測では、あるセンサの位置姿勢が分かっている状態でそのセンサを用いることが通常である。したがって、他のセンサを多数配置して利用する研究においてもセンサの位置や姿勢は固定で既知とされる。一方、全く逆の方法として、非常に多数のセンサをばら撒き、センサ同士が通信しあうことで位相関係のマップを作り、どのセンサに近いかで観測対象の位置を表現する研究も存在する。前者の場合では精度良く観測対象の位置や姿勢を計測ができる利点があるが、固定されたセンサしか用いることができない。後者の場合、センサの位置は厳密に分かっている必要はないが、位置計測のための手法とみなした場合には精度の点で限界がある。

本研究では、上記の 2 例の良い点 (センサの配置が可変で、かつ一定の精度が得られる) を同時に実現することを試みる。装置や用途に特化したセンサネットワークの研究・開発では第一に精度を求める傾向がある。本研究ではこのような精度追求を目指した研究とは一線を画し、特定の用途を考慮せずに理論構築を行うことで他の研究・開発者へ一般的で有意義な理論の提供を行う。さらに実験によって、構成した数理モデルが現実に機能することを証明する。

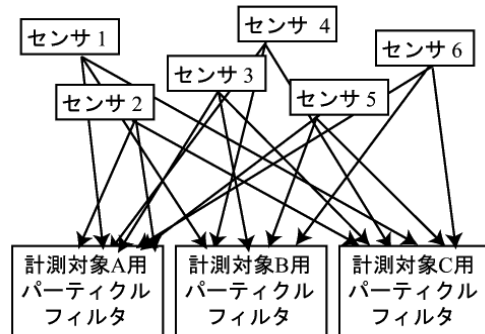


図 2: 情報の流れ

3. 研究の方法

(1) 初年度は、センサの着脱や位置変更に対応するアルゴリズムの開発と評価を行う。ここでの課題は「センサの位置や姿勢を互いに計測するアルゴリズム」と、「センサをパーティクルフィルタで利用するアルゴリズム」の構築が挙げられる。通常は、センサの位置姿勢計測の結果が得られた後、そのセンサを利用して他の物体位置姿勢計測を行うという方法が考えられる。しかし本研究では、それらを同時に行う方法に取り組

む。つまり、上記の2種のアルゴリズムを同時に動作する手法を構築、実装、評価する。

カメラによるセンサの位置・姿勢計測：未知のセンサを互いに識別することは不可能なため、一般に普及しているマーカを貼って可動式ウェブカメラで認識させるという仕様を想定する。具体的には、2次元バーコードとして急速に普及したQRコードと、カメラに識別しやすい色をつけたマーカを用いる。このマークは、申請者らの研究室で利用されてきたものであり、既存の画像処理アルゴリズムを使用できる。

画像処理の他に、センサの位置姿勢計測用のパーティクルフィルタにより他のセンサからの情報を統合するアルゴリズムを実装する。パーティクルフィルタのアルゴリズムは申請者らの研究においてすでに作成されている。計算量の分散は次年度に研究するため、平成19年度は高性能のコンピュータで計算処理を行う。

センサの利用：通常、センサを利用する場合には、その絶対位置と姿勢が既知であることが前提となる。しかし、あるセンサの位置姿勢が多少不確かでも、計測対象の位置姿勢がほとんど分かっていない状態であれば、そのセンサの情報は有意義になる。センサの情報 の有用さは、センサの位置姿勢計測用のパーティクルフィルタと、ある物体の位置計測用のパーティクルフィルタの状態を比較することで計算することができる。この計算には、情報理論の諸定理を用いる予定である。また、移動ロボットが自己位置推定と周囲の環境地図作成を同時に行う手法

(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)においても同様の問題を扱った研究が多数存在するため、これらの研究成果を適宜取り入れる。

(2)20年度は、パーティクルフィルタの計算負荷を分散化するために、計算機にパーティクルフィルタの計算を割り付ける仕組みと、有益なセンサ情報のみを利用して計算量・計算量を低減するアルゴリズムを開発・評価する。また、研究成果を随時発表していく。

パーティクルフィルタの分散実装：環境中に小型で安価な計算機を多数配置し、分散コンピューティングによってパーティクルフィルタを実行するアルゴリズムを開発・評価する。

使用するセンサ情報の選別：通信量・計算量の減少を図るために、各センサが各自行っている計測に対して有効なセンサを選別し、パーティクルフィルタに反映させるための

アルゴリズムを実装する。

4. 研究成果

存在しているカメラの互いの相対姿勢(6パラメータ×カメラの台数)をパーティクルフィルタで推定するアルゴリズムを実装した。このアルゴリズムは、複数のパーティクルフィルタで構成されており、各パーティクルフィルタは、各カメラ対(2台のカメラの組み合わせ)に対応している。また、各パーティクルフィルタを任意台数の計算機で分散して実行することが可能である。さらに、各カメラ対の相対姿勢計測結果を分散処理のまま互いに融通するアルゴリズム(幾何サンプリングと呼ばれる)が実装されており、ロバストな推定が可能となっている。

実験では、天井に取り付けた3台のカメラに、床面を移動するロボットの位置を観測させ、得た画像から各カメラの相対位置を計算した。試行した12回のうち、すべての試行において、全てのカメラの組み合わせで外れ値なく相対姿勢が求まった。また、幾何サンプリングの有効性も実環境で証明できた。

この結果は、第26回日本ロボット学会学術講演、国際学会 Distributed Autonomous Robotic Systems 9において発表された。また、シミュレーション結果について、2007年の計測自動制御学会システム・情報部門講演会において、部門奨励賞を受賞した。

参考文献

- [Oh 2006] S. Oh, et al.: "Instrumenting Wireless Sensor Networks for Real-Time Surveillance," Proc. of International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 3128-3133, 2006.
- [中村 2004] 中村克行, 他: "マルチレーザスキャナによる駅構内の旅客流動計測", 日本写真測量学会 平成16年度年次講演会発表論文集 pp.17-20, 2004.
- [Doucet 2001] A. Doucet et al. (eds.): Sequential Monte Carlo Methods in Practice, Springer, 2001.
- [Thrun 2005] S. Thrun et al.: Probabilistic ROBOTICS, MIT Press, 2005.
- [Fox 2003] Dieter Fox: "Adapting the Sample Size in Particle Filters Through KLD-Sampling," International Journal of Robotics Research, vol. 22, no. 12, pp. 985-1004, 2003.
- [上田 2005] 上田他: "パーティクルフィルタを利用した自己位置推定に生じる致命的な推定誤りからの回復法", 日本ロボット学会誌, vol. 23, no. 4, pp. 84-91, 2005.
- [友納 2002] 友納 正裕, 油田 信一: "不正確さを許すマップにおける移動ロボットの自己位置推定", 日本ロボット学会誌, vol.

20, no. 4, pp. 425-436, 2002.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

実川達明, 上田隆一, 新井民夫: サンプルリング実時間 Q-MDP 法 不完全な観測に基づき実時間行動する自律サッカーロボットへの適用, 日本ロボット学会誌, 27 巻, 71-78 ページ, 2009.

R. Ueda, S. Nikolaidis, A. Hayashi, and T. Arai: Global Pose Estimation of Multiple Cameras with Particle Filters, Distributed Autonomous Robotic Systems 9, 2009.

[学会発表](計3件)

上田隆一, ステファノス・ニコライディス, プラキア・カモル, 林 昭伸, 新井 民夫: パーティクルフィルタによる複数カメラの位置姿勢推定 シミュレーションによる検証, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会, 2007 年 11 月 27 日.

Y. Jitsukawa, R. Ueda, and others: Fast Decision Making of Autonomous Robot under Dynamic Environment by Sampling Real-Time Q-MDP Value Method, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Nov. 11, 2007.

上田 隆一, Nikolaidis Stefanos, 林 昭伸, 新井 民夫: パーティクルフィルタによる複数カメラの位置姿勢推定 実環境で得られたデータによる検証, 第 26 回日本ロボット学会学術講演, 2008 年 9 月 9 日.

[図書](計1件)

S. Thrun et al. 著, 上田隆一 訳, 確率ロボティクス, 2007.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田 隆一 (RYUICHI UEDA)
東京大学・大学院工学系研究科・助教
研究者番号: 20376502