

JPDAF とカラーヒストグラムを用いた 複数センサによる移動体追跡

○ 曾我部 光司(九大) 倉爪 亮(九大) 岩下 友美(九大) 長谷川 勉(九大)

Target tracking by laser sensor and camera using JPDAF and color histogram

○Koji SOKABE (Kyushu Univ.), Ryo KURAZUME (Kyushu Univ.),
Yumi IWASHITA (Kyushu Univ.), Tsutomu HASEGAWA (Kyushu Univ.)

Abstract: This paper presents a sensor network system consisting of distributed cameras and laser range finders for multiple objects tracking. Sensory information from cameras and laser range finders is integrated in a probabilistic manner using JPDAF-based SIR/MCMC combined particle filters. Target positions are estimated based on the weighted average of particles using color information.

Key Words: Multiple objects tracking, JPDAF, Color histogram

1 はじめに

家庭内などの日常環境で活動し人間の日常生活の補助を行うロボットには、周辺環境の状態を理解し、認識する能力が必要不可欠である。しかし、ロボットの可搬能力には限界があり、搭載できるセンサとコンピュータだけでは、十分な環境理解・認識能力を実現できない。そこで我々は環境に設置されたセンサやマーカから得た情報を、ロボットが活用しやすく整理し、必要な時にロボットに提供するための環境情報構造化技術の研究を行っている。これにより、高機能なロボットでなくとも、人間と共生し安全に作業を実行できるロボットシステムが構築できる。

これまでに環境情報構造化の1つとして、環境に設置されたカメラとレーザレンジファインダを用いて人やロボットなどの移動体位置を推定するシステムの開発を行っている[4]。このシステムは Level Set 法[6]によるカメラ画像内の移動体追跡情報と、レーザレンジファインダからの距離情報を、2種類のパーティクルフィルタ(SIR(Sequential Importance Resampling)パーティクルフィルタ, MCMC(Markov Chain Monte Carlo)パーティクルフィルタ[1])により統合することで、未知かつ複数の移動体の同時追跡を実現するものである。また、カメラから得られる移動体個々のカラーヒストグラムを用いたラベリング処理を行うことで、個々の移動体を識別して追跡することができる。しかし、この移動体システムには複数移動体が接近した際に、システムの移動体推定位置が不安定になる、または1つの移動体と推定されるという問題がある(Fig.1)。

この問題を解決するために、個々のパーティクルにカメラから得られる色情報を与えることで、複数移動体が接近した場合でも従来より安定して個々の位置を推定できるシステムを提案する。また、各パーティクルと各移動体の間には複数の対応付けが考えられる。そこで、パーティクル集合の寄与率を求め、それを基に各パーティクルの尤度を計算するJPDAF(Joint Probabilistic Data Association Filter)[3]を導入する。

本報告では、システムの概要とJPDAFを導入した

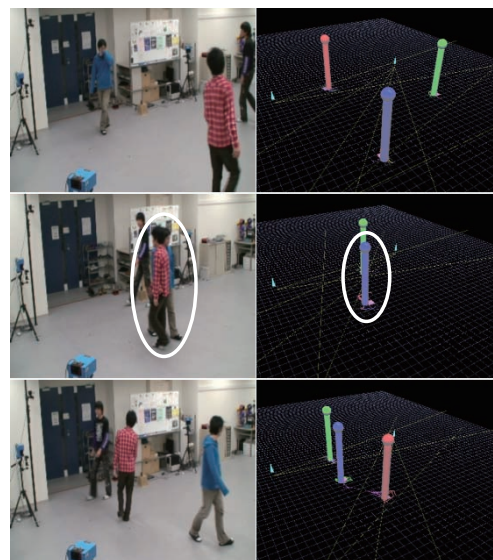


Fig.1 Tracking results using the system

SIR/MCMCパーティクルフィルタ、色情報を付加したパーティクルによる移動体位置推定手法について説明し、移動体追跡実験の結果、及び今後の課題について報告する。

2 提案システムの概要

2.1 システム構成

Fig.2に移動体追跡システムの構成を示す。カメラとレーザレンジファインダの組を1つのセンサユニットとし、これが1台のコンピュータに接続されてセンサ端末を構成する。環境中に分散配置されたセンサ端末は、1つのホストコンピュータへ接続され、そこで各端末からの情報が2種類のパーティクルフィルタで統合される。端末・ホスト間の通信はEthernetを介して行われる。

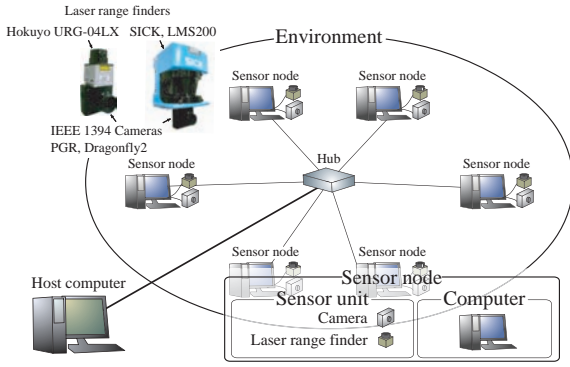


Fig.2 Tracking system using multiple sensor units

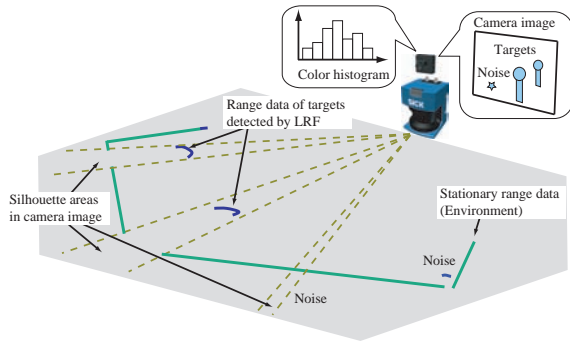


Fig.3 Information fusion of range data and camera images

2.2 追跡処理の概要

Fig.3 に各センサユニットにおけるレーザレンジファインダから得られる距離情報と画像中の移動体の追跡情報の概念図を示す．図中の実線は距離情報，破線は画像中の移動体のシルエット画像の領域である．シルエット領域の抽出には Level Set Tracking 法 [6] を用いた．このシルエット領域では，後述する移動体のラベリング処理や位置決定時に使用するために，HS 正規化カラーヒストグラムも保持されている．

2.3 SIR/MCMC パーティクルフィルタによる移動体位置推定

レーザレンジファインダおよびカメラからの観測情報は，センサユニットからホストコンピュータに送られる．ホストコンピュータでは，低解像度 MCMC パーティクルフィルタと高解像度 SIR パーティクルフィルタを階層的に用いてこれらの情報を統合し，移動体数が未知な場合でも追跡精度と収束性，安定性を兼ね備えた複数移動体の同時追跡システムを実現する．本手法の詳細については [2], [5] を参照されたい．

2.4 カラーヒストグラムによるラベル付け

カメラから得られるカラーヒストグラムを用いて，移動体にラベルを付加する．各センサ端末で Level Set Tracking により得られたシルエット領域に対して計算されたヒストグラムと，ホストコンピュータに登録した既存の移動体の

ヒストグラムを比較し，一致するものがあればそのヒストグラム固有のラベルを付加する．一致するものがなければ，新たな移動体であるとし，そのヒストグラムをホストコンピュータに登録し，新たなラベルを付加する．本手法の詳細については [4] を参照されたい．

本章で示したシステムを，以降では従来システムと呼ぶことにする．

3 JPDAF(Joint Probabilistic Data Association Filter)

従来システムでは，パーティクルのレーザレンジファインダによる尤度は，一番近いレンジデータのみ考慮して求めていた．しかし移動体が複数存在する場合には，各パーティクルと各移動体には複数の対応付けが可能であるため，それらを反映した尤度計算が必要である．そこで，パーティクル集合と各移動体との寄与率を求め，それを基に各パーティクルの尤度を計算する JPDAF(Joint Probabilistic Data Association Filter) を導入する．

3.1 JPDAF を導入した SIR/MCMC パーティクルフィルタ

本稿では，パーティクル集合 j と移動体 i の寄与率 β_{ji} を，集合内に存在する全てのパーティクルと移動体との距離を基に次のように定義する．

$$\beta_{ji} = \sum_{\theta \in \Theta_{ji}} \frac{\exp(-d^2/2\sigma_s^2)}{\sqrt{2\pi}\sigma_s} \quad (1)$$

ここで σ_s は位置誤差， Θ_{ji} はパーティクル集合と移動体の組み合わせ， θ はパーティクル集合 j 中のパーティクルと移動体 i の組み合わせ， d はパーティクルと移動体の最小ユークリッド距離である．この β_{ji} を用いて各パーティクルのレーザレンジファインダによる尤度 P_l を次の式で計算する．

$$P_l = \beta_{ji} \times \frac{\exp(-d^2/2\sigma_s^2)}{\sqrt{2\pi}\sigma_s} \quad (2)$$

この式で計算したレーザレンジファインダによる尤度 P_l と，カメラによる尤度 P_c を掛け合わせたものを統合尤度とする．

4 色情報を付加したパーティクルによる移動体位置推定手法

従来システムでは，移動体が接近したときに複数移動体が 1 つの移動体と推定される問題があった．これはパーティクルを各移動体を表す複数の集団にクラスタリングする際に，単にパーティクル間の距離情報のみを用いていたためである．そこで本章では，カメラから得られる色情報を各パーティクルに保持させ，位置と色情報を用いて移動体位置の推定を行うシステムを提案する．

パーティクルに色情報を持たせ，複数の移動体と照合する方法として，各パーティクルがカラーヒストグラムを保

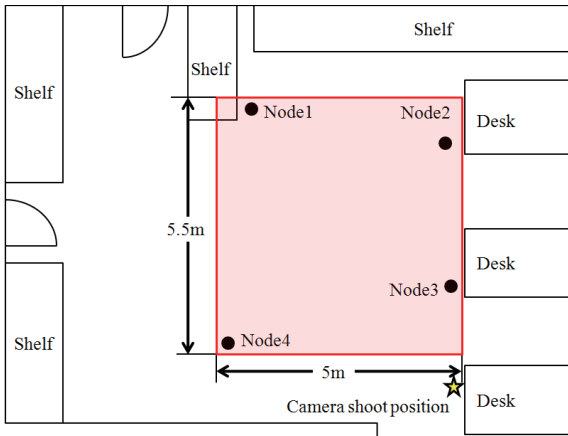


Fig.4 Experimental setup

持し、予め計測した移動体のカラーヒストグラムと比較し、移動体を特定する方法が考えられる。しかし、ヒストグラムをパーティクルの数だけ計算、比較するのは多くのメモリと計算コストが必要になる。そこで、パーティクルに保持させる色情報はレーザーレンジファインダのスキャン平面上の1点のHS値(Hue, Saturation)のみとする。これにより使用するメモリの量を抑え、比較計算は単純な数値計算に置き換える。以下に具体的な手法の流れを説明する。

1. 収束したパーティクルを各カメラ画像に投影し、レーザーレンジファインダのスキャン平面上の1点のHS値を取得する。
2. パーティクルが持つ色情報と取得済みの移動体の正規化ヒストグラムを比較し、パーティクルの色情報と一致するピンの値を得る。
3. 2で得た値を重みとし、パーティクルの重み付き平均を計算し、移動体位置を推定する。

カメラ範囲内に存在しない移動体は、従来手法と同様に距離のみを用いたクラスタリングにより移動体位置を決定する。

5 実験

本章では、前章までの手法を組み込んだシステムによるラベル付き移動体追跡実験を行い、従来システムと比較して提案手法の有効性を確認する。

5.1 実験環境

対象空間(5.5[m] × 5[m])(図中赤枠内)にセンサ端末を4つ配置し、3人の歩行者を約20秒間追跡した。空間構造およびセンサの配置をFig.4に示す。

5.2 JPDAFを導入したSIR/MCMCパーティクルフィルタを用いた移動体追跡実験

5.2.1 実験

JPDAFを導入したSIR/MCMCパーティクルフィルタの有効性を確認するために、移動体同士が接近し、離れる場合

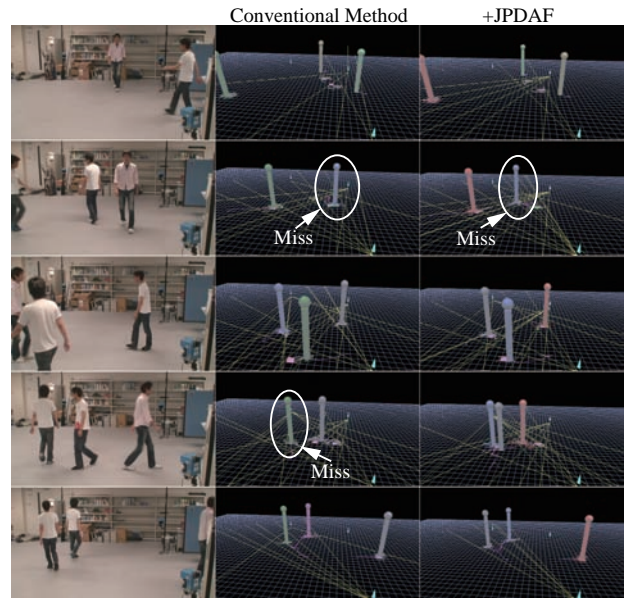


Fig.5 Tracking results

を想定した実験を行った。

実験結果をFig.5に示す。2枚目の画像では従来手法、提案手法ともに移動体が接近した際に1つの移動体として推定されているが、4枚目の画像では提案手法を組み込んだシステムでは、正確に複数移動体を推定することができていることが確認できる。

5.2.2 考察

実験の結果、本手法が問題解決に有効であることが確認できた。これは導入したJPDAFにより、パーティクルがより移動体周辺に収束するようになったためであると考えられる。しかし前項で示した実験のように、分離に失敗する場合もあり、今後さらに検討が必要である。

5.3 色情報を付加したパーティクルによる移動体位置推定実験

5.3.1 実験

色情報を付加したパーティクルによる移動体位置推定手法の有効性を確認するために、移動体同士が接近し、離れる場合を想定した実験を行った。ここでは、移動体同士が接近しても1つの移動体と推定されず、正確に複数の移動体と推定される事を確認する。

実験結果をFig.6に示す。従来システムでは移動体が接近した際に1つの移動体として推定されているが、提案した手法を組み込んだシステムでは、正確に複数移動体を推定することができた。

5.3.2 考察

実験の結果、本手法が有効であることが確認できた。なお、移動体位置推定時に各移動体のヒストグラムを使用しているため、ラベル付けも同時に行うことが可能である。

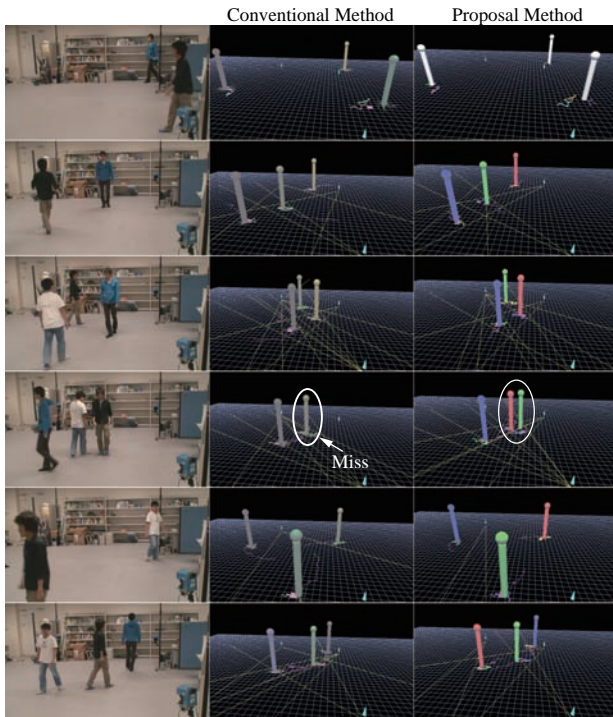


Fig.6 Tracking results

- [4] 倉爪亮, 山田弘幸, 曾我部光司, 村上剛司, 岩下友美, 長谷川勉. SIR/MCMC パーティクルフィルタを用いた分散カメラとレーザによる複数移動体の同時追跡. 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.1, pp.65-76, 2010.
- [5] 山田弘幸, 倉爪亮, 村上剛司, 長谷川勉. SIR/MCMC パーティクルフィルタを用いた複数カメラとレーザレンジファインダによる移動体追跡. 第13回ロボティクスシンポジウム講演会予稿集, pp.252-258, 2008.
- [6] 倉爪亮, 由井俊太郎, 辻徳生, 岩下友美, 原健二, 長谷川勉. Fast level set method の提案とビデオ画像の移動体リアルタイム追跡. 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.8, pp.2244-2254, 2003.

6 まとめ

本報告では、環境情報構造化手法の1つとして、環境内に存在する人やロボットなどの移動体を、移動体毎にラベルを付加しつつ検出、追跡するシステムについて説明した。まず、これまでに開発した移動体追跡システムの問題点を示し、パーティクルの尤度計算でパーティクル集合と計測データとの複数の組み合わせを考慮する JPDAF を導入した SIR/MCMC パーティクルフィルタを提案した。さらに色情報を付加したパーティクルによる移動体位置推定手法を提案した。

実験の結果、JPDAF と色情報の利用により、これまでに構築したシステムよりも移動体接近時の分離能力が向上することが確認された。

文献

- [1] Z.Khan, T.Balch and F.Dellaert. MCMC-Based Particle Filtering for Tracking a Variable Number of Interacting Targets. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.27, No.11, pp.1805-1918, November 2005.
- [2] Ryo Kurazume, Hiroyuki Yamada, Kouji Murakami, Yumi Iwasita, and Tsutomu Hasegawa. Target tracking using SIR and MCMC particle filters by multiple cameras and laser range finders. In *Proc. 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS08)*, pp.3838-3844.
- [3] Dirk Schulz, Wolfram Burgard, Dieter Fox, Armin B. Cremers. People Tracking with Mobile Robots Using Sample-based Joint Probabilistic Data Association Filters. In *Proc. the International Journal of Robotics Research*, Vol.22, No.2, 99-116, 2003.