

カラーヒストグラムを用いたレーザ・カメラによる複数移動体追跡

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 system using Laser and Camera using Color Histogram

*Kouji 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 SIR/MCMC combined particle filters. Targets tracked are distinguished based on their color histograms.

Key Words: Laser range finder, Sensor fusion, Particle filter, MCMC, Color histogram

1. はじめに

ロボットの活動の場が工場内から屋外環境へ移るにつれて、ロボットが処理すべき情報は飛躍的に増加するが、これをすべてロボット単体で処理するには限界がある。そこで環境側が情報を取得、管理し、ロボットに必要なタイミングで必要な情報を提供できれば、超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。

本研究ではこの考えに立ち、環境に固定したセンサによってロボットに必要な環境情報の一つである人間などの移動体を追跡し、位置を計測するシステムを開発している [2],[4]。このシステムは Level Set 法によるビデオカメラ画像内での移動体追跡情報 [6] と、環境に固定された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。

本報告では、提案したシステムにカラーヒストグラムを用いた移動体のラベリング処理を加えることで、個々の移動体を識別しつつ複数移動体を同時追跡する手法を提案する。

2. 提案システムの概要

2.1 システム構成

Fig.1 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。

2.2 追跡処理の概要

Fig.2 に各センサユニットで得られ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

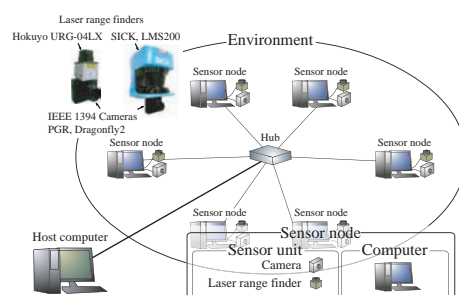


Fig.1 Tracking system using multiple sensor units

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、後述するラベリング処理で用いるために、カメラから得られた領域の HS 正規化カラーヒストグラムも保持されている。

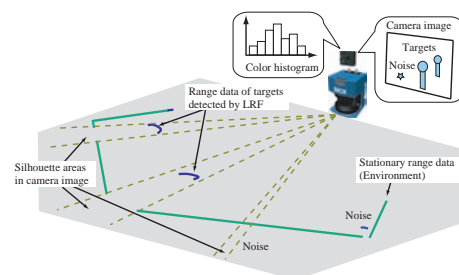


Fig.2 Information fusion of range data and camera images

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],[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. カラーヒストグラムを用いたラベリング

本章では，Mean Shift Tracking[3],[5] やカラーヒストグラムを利用し，前述した従来システムにラベリング処理を加えることで，個々の移動体を識別しつつ追跡するシステムを紹介する．ただし本報告では以下の3種類の手法について検討する．

手法1 Mean Shift Tracking と移動体追跡結果の比較に基づくラベル割り当て

手法2 Mean Shift Tracking による移動体追跡とラベル割り当て

手法3 ヒストグラムの比較によるラベル割り当て

3-1 手法1: Mean Shift Tracking と移動体追跡結果の比較に基づくラベル割り当て

Mean Shift Tracking は2次元画像上で移動体にラベルを付加しつつ追跡することができる．そこで，Mean Shift Tracking を従来システムに並列に組み込むことで，レーザやカメラで位置を推定した移動体にラベルを付加することを考える．手順を以下に示す．

1. 前章のシステムにより移動体位置を推定する
2. 各カメラでそれぞれ Mean Shift Tracking により移動体を追跡する
3. カメラ画像に1で推定した移動体中心を投影する
4. Mean Shift Tracking により得た画像中の移動体の中心を調べる
5. 3と4の画像中での距離 (Fig.3) を調べる
6. 5の距離の大小で推定した移動体が画像中のどの移動体であるかを判定する

本手法はラベル付けだけに Mean Shift Tracking を用いるので，従来システムに簡単な処理を加えるだけで実現できる．さらに，Level Set Tracking では重なった移動体が1つの移動体と検出されていても，Mean Shift Tracking では分離して追跡しているため，正しいラベル付けが可能となる．また，ラベル情報をホストコンピュータ側で一括して管理することで，整合性のとれたラベル付けを行うことができる．一方，Level Set Tracking と Mean Shift Tracking を同時に用いるため計算量が多い問題がある．

3-2 手法2: Mean Shift Tracking による移動体追跡とラベル割り当て

Level Set Tracking では移動体が重なった場合，全体が1つの移動体と認識され，個々の移動体を切り分けることは困難であった．一方，Mean Shift Tracking は移動体が重なってもそれぞれを複数の移動体として別々に追跡できる．よって，それぞれの移動体の位置をより正確に反映した，精度の高い移動体存在領域が取得でき，従来システムより高精度な移動体の位置推定が可能と考えられる．そこで，従来システムで Level Set

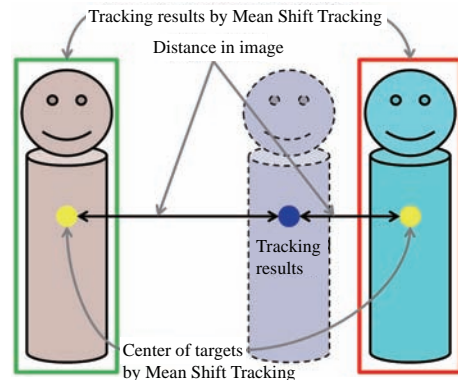


Fig.3 Method 1

Tracking により得ていた移動体存在領域を Mean Shift Tracking に置き換え，パーティクルフィルタでの尤度計算に用いる．また，Mean Shift Tracking による2次元画像上でのラベル情報も利用し，位置推定した移動体のラベリングを実現する．具体的には，Mean Shift Tracking により得た個々のカメラ画像上でのラベル情報をホストコンピュータ側で一括して管理し，推定位置の移動体にラベルを付加する．本手法は手法1と同様に，移動体が交差しても重なりが一瞬であれば正しい対応付けが可能であり，また Level Set Tracking を Mean Shift Tracking に置き換えたため，背景差分が必要無い．

3-3 手法3: ヒストグラムの比較によるラベル割り当て

カメラから得られる色情報であ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ことを考える．ヒストグラムは推定された移動体の周辺領域から計算されたものと，システムにあらかじめ登録されたものを用い，システムの保持しているヒストグラムにそのヒストグラム固有のラベル番号を付けるものとする．手順を以下に示す．

1. 画像から Level Set Tracking により矩形を得て，その矩形のヒストグラムを計算する．
2. 従来システムにより移動体の位置を推定する．
3. 1のヒストグラムとシステムに登録済みのヒストグラムを比較し，ヒストグラムが一致する移動体にラベルを付加する．

新規の移動体，もしくはまだラベルが付加されていない移動体は，まず過去の移動体とのヒストグラムの一致度の判定を行うため処理が異なる．手順を以下に示す．

1. 初めて Level Set Tracking の測定範囲に移動体が入ったとき，Level Set Tracking により矩形を得て，その矩形のヒストグラムを計算する．
2. システムに保持した既存の移動体以外のヒストグラムと1のヒストグラムを比較する．
3. 類似度がある閾値以上のヒストグラムや一致するヒストグラムがある場合，そのヒストグラムのラベル番号によりラベルを付加する．
4. システムに類似のヒストグラムがない場合，そのヒストグラムを移動体とシステムに保持し，新たなラベル番号を設定しラベルを付加する．

ヒストグラム比較時の距離尺度には Bhattacharyya 係数 (1) を用いる .

$$\gamma = \sum_{u=1}^m \sqrt{h_u^1(x_0)h_u^2(x)} \quad (1)$$

ここで Bhattacharyya 係数の $h_u^1(x_0)$ は画像から得られる正規化カラーヒストグラム, $h_u^2(x)$ はシステムに保持した正規化カラーヒストグラムとする .

本手法では, 観測されたヒストグラムを保持しておくことで, 移動体が測定範囲に出入りする場合でも, 正しいラベルを付加することができる . また, 移動体位置推定は従来システムをそのまま使い, ヒストグラムの比較を付け加えるだけなので, 計算時間はほとんど増加しない .

4. 実験

本章では, 前章で提案した 3 つの手法を用い, ラベルを付加した複数移動体追跡実験を行う . 従来システムに提案手法を組み込むことで, 各移動体にラベルを付加しつつ追跡できることを実験により確認する .

4.1 実験環境

対象空間 ($540[cm] \times 500[cm]$) にセンサ端末を 3 つ配置し, 3 人の歩行者を約 25 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 .

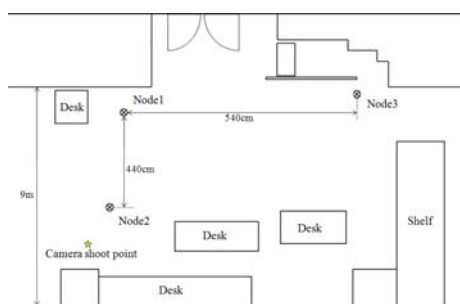


Fig.4 Experimental Setup

4.2 手法 1 による移動体追跡実験

移動体の推定位置の中心と, Mean Shift Tracking により 2 次元画像中で検出した移動体の中心の画像中の距離を計算, 比較することにより移動体をラベル付ける実験を行った .

3 人の歩行者を約 20 秒間追跡した結果を Fig.5 に示す . 図は左から実験環境の様子, それに対応する視点での従来システムによる移動体追跡の結果, 提案手法によるラベルを付加した移動体追跡の結果である . 従来手法では移動体の接近分離前後でラベルが変化しているが, 提案手法では接近分離前後でラベルを正しく付加できていることが確認できた .

4.3 提案手法 2 による移動体追跡実験

Mean Shift Tracking を移動体の存在範囲の取得に用い, そのラベル情報により移動体をラベル付けする実験を行った .

3 人の歩行者を約 20 秒間追跡した結果を Fig.6 に示す . 本手法でも, 接近分離前後でラベルを正しく付加できていることが確認できた .



Fig.5 Tracking Results(Method 1)

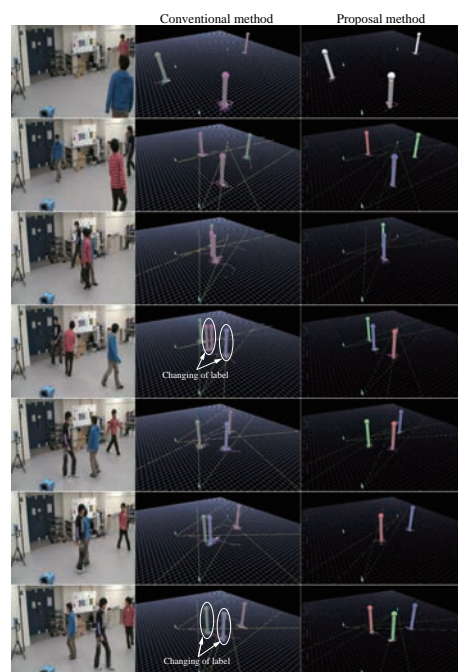


Fig.6 Tracking Results(Method 2)

4.4 提案手法 3 による移動体追跡実験

カラーヒストグラムの比較により移動体にラベルを付加する実験を行った . ただしここでは, 移動体の接近分離前後で正しくラベルを付加できること, 測定範囲出入り前後で正しいラベルを付加できることを確認する .

4.4.1 移動体同士の接近分離実験

カラーヒストグラムの比較により移動体にラベルを付加することで, 移動体のラベルが接近分離前後で正

Table 1 Comparison of proposal method

手法	正確性	処理時間	消滅出現	背景差分
1		×	×	必要
2			×	不要
3				必要

しく付加されることを実験で確認する。

3人の歩行者を約30秒間追跡した。結果をFig.7に示す。図は左から実験環境の様子、それに対応する視点での従来システムによる移動体追跡の結果、提案手法によるラベルを付加した移動体追跡の結果である。本手法でも、接近分離前後でラベルを正しく付加できていることが確認できた。

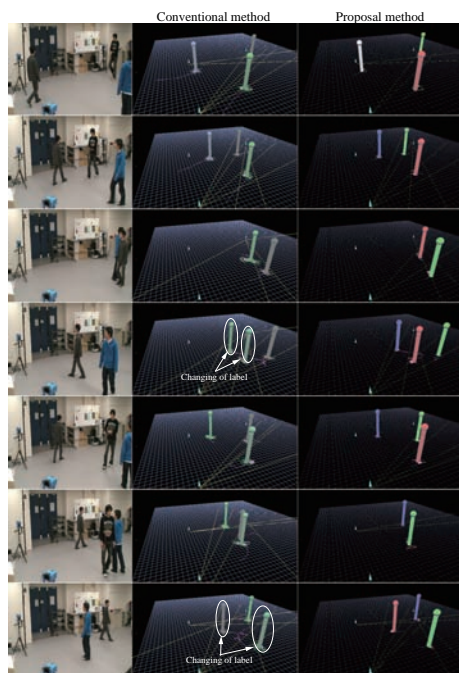


Fig.7 Tracking Results(Method 3)

4.4.2 測定範囲出入り前後の移動体対応実験

手法3では、移動体のヒストグラムをシステムにも保持しておくことで、一度測定範囲外に出て再び範囲内に入ってくる場合でも、移動体のラベルが正しく付加できる。

3人の歩行者が対象空間に出入りする場合を想定し実験を行った結果をFig.8に示す。対象空間に最初に入ったときのラベルは1人目の上着が黒の人物が赤、2人目の上着が赤の人物が緑、3人目の上着青の人物が青である。3人が再び測定範囲に入ってきたときも同じラベルが付加されていることが確認できた。

4.5 考察

各手法の比較をTable 1にまとめる。これより、背景差分が利用可能な場合には手法3が、困難な場合には手法2が有効であると考えられる。

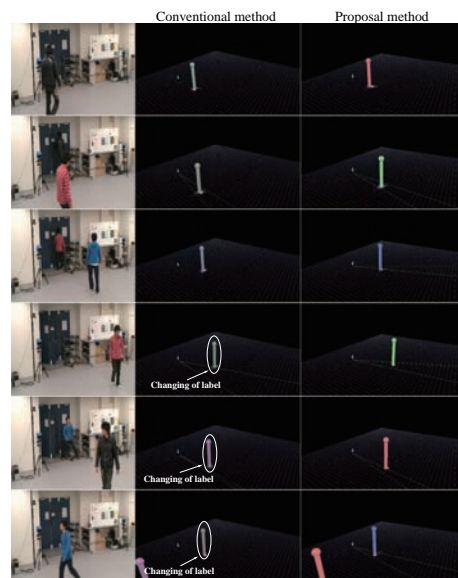


Fig.8 Labeling Results

5. まとめ

本報告では、環境構造構造化手法の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、追跡する移動体システムを開発した。まず、これまでに構築した移動体追跡システムの問題点を示し、カラーヒストグラムを用いて正確な移動体のラベル付けを行う手法を3つ提案した。実験の結果、いずれの方法でも移動体が接近、分離する場合において正しいラベルを付加できることを確認した。また手法3では、移動体が一度測定範囲から出て、再度測定範囲に入る場合においても正しいラベルが付加できることを確認した。

- [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] 岡田和典“ミーンシフトの原理と応用”情報処理学会研究報告, Vol.2008, No.27, pp.401-413, 2008
- [4] 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ー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.
- [5] 倉爪亮, 三次元空間での移動物体の追跡. 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.4, pp.314-317, 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.