

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 5 日現在

機関番号：13904  
 研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23700203  
 研究課題名（和文） 移動ロボット制御のための人物の重なりテンプレートを用いた複数人物同時追跡  
 研究課題名（英文） Multi-Person Tracking using Overlapping Silhouette Templates for a Mobile Robot  
 研究代表者  
 佐竹 純二(SATAKE JUNJI)  
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教  
 研究者番号：60392726

研究成果の概要（和文）：ステレオカメラから得られた距離情報を用い、人物上半身のシルエット形状をテンプレートとして人物を検出・追跡する方法を開発した。交錯する人物を安定に追跡するため、それぞれの予測位置をもとに複数人物が重なり合ったシルエット形状を推定し、正確に位置推定を行う方法を開発した。また、カーネル密度推定に基づく尤度マップ近似を用いて処理を高速化し、実際に移動ロボットを用いて特定人物追従の性能評価実験を行った。

研究成果の概要（英文）：We developed a tracking method which uses depth templates of person shape applied to a dense depth image. An accurate, stable tracking is realized by using overlapping silhouette templates which consider how persons overlap in the image. The number of image comparison is decreased by using an approximated likelihood map based on kernel density estimation. We performed experiments of specific person following in real environment where many ordinary people exist, and analyzed the results.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：パターン認識，人物追跡，移動ロボット

## 1. 研究開始当初の背景

動画像から人物を追跡する技術は、行動認識や監視システムなどに利用でき、非常に重要な技術の一つである。特に移動カメラを用いた人物追跡技術は、車載カメラを用いた歩行者検出や自律移動ロボットの制御に必要であり、今後さらに需要が高まると考えられる。また、電動車椅子による高齢者介護の安全性の向上など、社会的な貢献も期待できる。

動画像を用いて人物を追跡する研究はこれまでも数多く行われており、人の検出には輪郭情報（エッジや HOG 特徴）を用いるのが一般的であるが、複雑な状況で正しい認識を行うには多数の学習データを必要とする。また、HOG 特徴量と画像の輝度情報を

併用した高精度な人物検出手法も提案されているが、特徴空間の次元数が大きいために各画像での人物検出に時間がかかり、実時間性よりも検出性能に重点が置かれている。

本研究ではステレオカメラから得られる距離情報を利用し、テンプレートマッチングをベースにした追跡方法を用いることで、実環境下で複数人物の重なりが頻繁に発生する状況でも高速かつロバストな追跡を行う方法について研究する。

## 2. 研究の目的

本研究では、多数の人物が自由に行き交う複雑状況下で、移動ロボットを制御するための画像処理技術について研究する。ショッピ

ングセンターのような広い空間の中で、複数の人物が様々な方向へ自由に移動する状況を想定し、ロボットカメラから撮影された画像を用いて各人物を発見・追跡する。この時、多数発生するオクルージョンに対応するため、本研究では人物のシルエットの重なりを考慮した追跡方法を用いる。そして、オンラインでの処理を実現し、実際に複数人物が行き交う複雑状況下で移動ロボットが特定人物を追従したり、他の人物を避けながら移動できるシステムを構築する。

### 3. 研究の方法

従来の人物追跡手法でよく用いられている輪郭情報では複雑な状況に対応することが難しいため、本研究ではステレオカメラから得られる距離情報を用い、複数の人物の重なり合ったシルエット形状を直接利用した追跡方法を用いる。交錯する人物を安定に追跡するため、それぞれの予測位置をもとに複数の人物が重なり合ったシルエット形状を推定し、ステレオカメラから得られた距離画像とのマッチングを行うことより各人物を正しく認識し、人物を単独に検出するよりも正確に位置推定を行う（図1）。

各人物の追跡にはパーティクルフィルタを用いるが、全てのパーティクルについてテンプレートマッチングを行うのは画像比較のコストが大きい（図2(a)）。そこで、カーネル密度推定に基づく尤度マップ近似を用いた処理の高速化（図2(b)）により、実時間での人物追跡処理を実現する。

また、見え情報を用いて追従対象人物を識別するため、SIFT特徴に基づく人物識別の方法も開発する。体の向きの変化に対応するため、複数の方向から撮影した画像を用いて見えモデルを作成し、ロボットと人物の距離に応じたしきい値を設定する（図3）。

さらに、提案手法の有効性を確認するため、オクルージョンが多数発生する複雑状況下で実際に移動ロボットを用いて特定人物追従の性能評価実験を行う。また、大学の食堂や中庭だけでなく、いくつかの展示会でもデモ実演を行い、一般の人々が多く存在し、自由に移動する、実際のショッピングセンターに近い状況下での実証実験も行う。

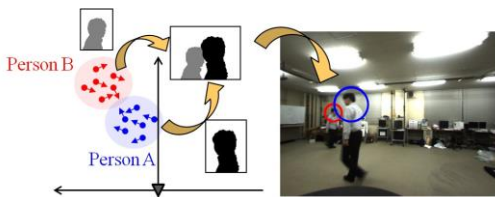
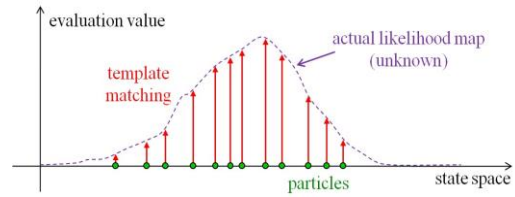
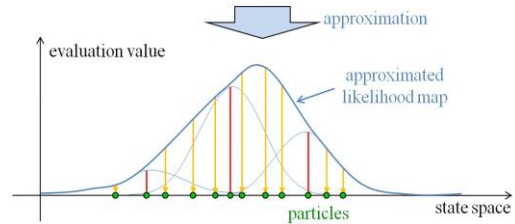
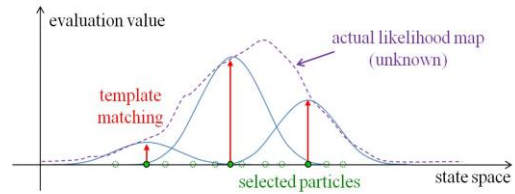


図1 重なりテンプレートを用いた複数人物追跡



(a) 全パーティクルに対するマッチング



(b) カーネル密度推定を用いた尤度推定  
図2 各パーティクルの尤度推定手順

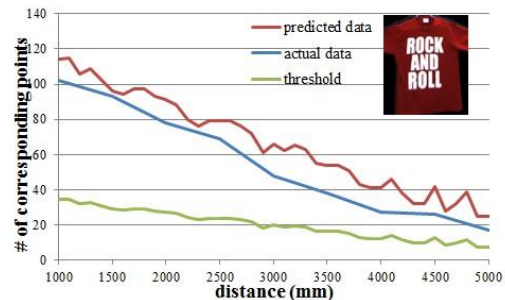


図3 距離に依存したしきい値の例

### 4. 研究成果

#### (1) 重なりテンプレートを用いた複数人物追跡

本研究ではステレオカメラを用い、距離情報を利用して複数人物の検出・追跡を行う方法を開発した。シルエットの重なりを考慮した距離画像テンプレートを用いることで、正確かつ安定な追跡を実現した。また、カーネル密度推定に基づき、少ない画像比較回数で尤度マップを近似することにより、高速な追跡処理を実現した。

二人の重なり（図4(a)）において、選択された一部のパーティクルの尤度（図4(c)）をもとに混合正規分布モデルにより近似した尤度マップの例を図4(d)に示す。それぞれの位置についてテンプレートマッチングを行って求めた実際の尤度マップ（図4(b)）とよく似た形状が得られていることが確認できる。

最大三人の重なりを含む動画像に対し、尤度マップ近似を用いて追跡を行った結果を



図5に示す。白縁・赤縁の付いた追跡結果がそれぞれ二人・三人の重なりテンプレートを用いたものであることを示す。重なりテンプレートを用いることで個別のテンプレートを用いた場合よりも追跡成功率が向上することが確認できた。

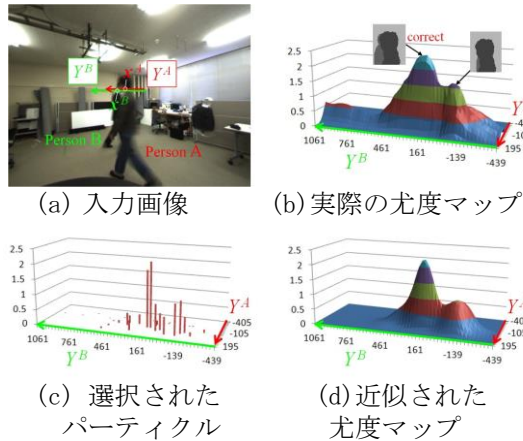


図4 二人の重なりテンプレートの尤度マップ近似例



図5 重なりテンプレートを用いた複数人物追跡の例

## (2) 見え情報を用いた追跡対象人物の識別

SIFT 特徴量を用い、衣服の模様をもとに人物を識別する方法とそのためのモデル作成方法を開発した。体の向きの変化に対応するため、複数の向きの見えモデルを作成し、距離の変化に対応するためのしきい値の設定方法を開発した。

人物識別の性能を評価するため、5種類の衣服でモデルを作成し、カメラからの距離1m~2.5mの位置で回転して体の向きを変化させた入力画像に対して各モデルの採択率を求めた。実験の結果、衣服の模様が見えている場合には、再現率 93.1%、精度 99.7%の

識別性能を確認した。

また、実際にロボットを用いた特定人物の追跡実験を行った結果を図6に示す。図6左に追跡対象の認識結果、図6右にその追跡の様子を示す。赤丸の人物が追跡対象を示し、それ以外の色の丸は検出された他の人物を示す。似た模様の服を着た人物が存在する状況でも、正しく追跡対象を識別できていることが確認できた。



図6 移動ロボットによる特定人物追跡

## (3) 実環境下での特定人物追跡実験

展示会などを利用して、一般の人々が多く存在し、自由に行き交う実環境に近い状況での人物追跡実験も行った。その様子を図7に示す。オクルージョンが多数発生した場合や、太陽光源下でも安定に追跡を行うことができることを確認した。本研究で開発したシステムは、実際のショッピングセンターなどで

も特定人物を追従することが可能だと考えられる。



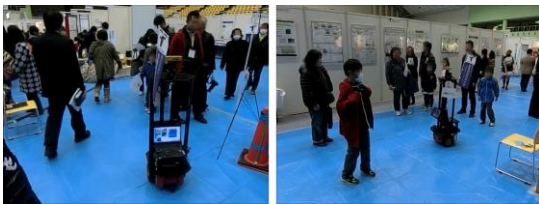
(a) 第9回 Business Link



(b) ROBOMECH2012



(c) オープンキャンパス



(d) ものづくり博 2012

図7 実環境下での人物追従実験の様子

## 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1件)

- (1) 佐竹純二, 三浦純, 人物シルエットの重なりを考慮したテンプレートをを用いたステレオビジョン複数人物追跡, 日本ロボット学会誌, vol. 31, no. 3, pp. 292-300, 2013. (査読有)

[学会発表] (計7件)

- (1) J. Satake, J. Miura, Experimental Evaluation of Stereo-Based Person Tracking in Real Environment, Proc. 13th IAPR Conference on Machine Vision Applications (MVA2013), pp. 202-205, Kyoto, Japan, May 2013. (査読有)
- (2) J. Satake, M. Chiba, J. Miura, A SIFT-Based Person Identification using a Distance-Dependent Appearance

Model for a Person Following Robot, Proc. 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2012), pp. 962-967, Guangzhou, China, Dec. 2012. (査読有)

- (3) J. Satake, J. Miura, Stereo-Based Tracking of Multiple Overlapping Persons, Proc. 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012), pp. 2581-2585, Tsukuba, Japan, Nov. 2012. (査読有)
- (4) J. Satake, J. Miura, A Fast Stereo-Based Multi-Person Tracking using an Approximated Likelihood Map for Overlapping Silhouette Templates, Proc. First Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR2011), pp. 392-396, Beijing, China, Nov. 2011. (査読有)
- (5) 佐竹純二, 三浦純, 複数人物のシルエットの重なりを用いたステレオビジョン人物追跡, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2012), 福岡, Aug. 2012. (査読無)
- (6) 千葉誠哉, 佐竹純二, 三浦純, 人物追従ロボットのための SIFT 特徴に基づく人物識別の改良 - 距離に依存した見えモデルの利用 -, 第54回自動制御連合講演会, pp. 76-81, 豊橋, Nov. 2011. (査読無)
- (7) 佐竹純二, 三浦純, 人物シルエットの重なりを考慮したテンプレートをを用いた人物発見・追跡 RTC の改良, 第29回日本ロボット学会学術講演会, 東京, Sep. 2011. (査読無)

[図書] (計1件)

- (1) 佐竹純二, 三浦純, 日常生活支援のための自律移動ロボット技術 - ステレオビジョンを用いた移動ロボットのための複数人物追跡 -, 産業開発機構株式会社, 映像情報インダストリアル, vol. 44, no. 2, pp. 54-59, Feb. 2012.

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
佐竹 純二 (SATAKE JUNJI)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 60392726
- (2) 研究分担者  
無し
- (3) 連携研究者  
無し