

オクルージョンを考慮した移動ロボットによる人物追跡

Target Tracking with a Mobile Robot under Occlusion

○ 磯邊柚香 (中央大) 増山岳人 (中央大)
正 梅田和昇 (中央大)

Yuzuka ISOBE, Chuo University, isobe@sensor.mech.chuo-u.ac.jp
Gakuto MASUYAMA, Chuo University
Kazunori UMEDA, Chuo University

Target tracking is one of the important functions for autonomous mobile robots. In the environments where a target-tracking system is used, there may be many people and objects. When the system is applied in such environments, occlusion is a challenge for achieving target tracking. In this paper, an occlusion handling method for target tracking with a mobile robot is proposed. By using a stereo camera, both color and location information is used for target detection. During target tracking, the state of occlusion is determined. According to the state, an appropriate tracking process is applied. The effectiveness of the proposed method is verified through target-tracking experiments. In the experiments, the proposed system is compared with the target-tracking system without the occlusion handling method.

Key Words: Target Tracking, Occlusion, Stereo Camera, Outdoor Environment

1 序論

自律移動ロボットに求められる機能は多岐に渡り、人物追跡はその一つである。この機能により、ロボットが荷物や資材を運搬しながら特定の人物を追跡することが可能となる。汎用的な機能であるため、工事や災害現場、人間の日常生活など適用範囲は広く、様々な環境での需要が見込まれる。

ロボットの動作環境には物体や追跡対象以外の人物が存在することが考えられる。他の物体や人物と追跡対象との区別に加えて、オクルージョンが発生する状況にも対処する必要がある。このような環境に対応するために、多くの人物追跡手法が提案されている。一般に、カルマンフィルタ等の時系列フィルタを用いることでオクルージョンへの対応が行われている [1, 2, 3, 4]。しかし、時系列フィルタのパラメータ設定により対応可能なオクルージョンの継続時間に制約がある点が課題として挙がる。また、未検出フレームがオクルージョンによるものか、他の原因によるものかを適切に判断することも実環境においては重要となる。従って、オクルージョンを検出し、適切な追跡処理を施す手法の構築が必要となる。

本論文では、周囲の物体や人物によりオクルージョンが発生する環境下においてもロバストな追跡手法を提案する。また、従来手法との比較実験により、手法の有用性を検証する。

2 提案手法の概要

2.1 人物追跡の流れ

本手法のフローを Fig. 1 に示す。ステレオカメラから取得された計測環境の 3 次元情報を用いて、人物候補領域を抽出する。各物体領域の色情報と位置情報を組み合わせて、検出した人物候補の中から追跡対象を決定する。決定した追跡対象および計測範囲に存在する物体の位置情報により、オクルージョンの度合いを判定する。追跡対象の検出が行われなかったフレームにおいては、カルマンフィルタにより予測された追跡対象の位置情報を基に、周囲の物体によるオクルージョンの発生を判別する。オクルージョンの発生および度合いの判定により、色情報の更新タイミングの設定やカルマンフィルタによる位置予測の継続時間を延長する処理を施す。

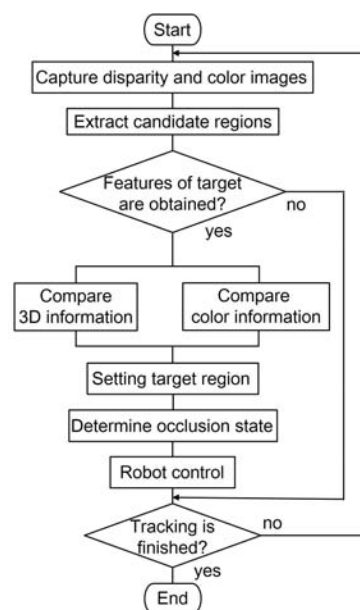


Fig.1 Flow chart

2.2 3次元ボックス群を用いた人物候補領域の検出

計測範囲に存在する人物を検出するために、距離画像セグメンテーションを応用した人物候補領域の抽出手法がある [5]。これは、視差画像中の 3 次元情報を俯瞰平面に投影し、投影点の密度から物体領域を抽出する手法である。しかし、物体が画像中に収まりきっていない場合や他の人物に体の一部が遮蔽されている場合には、投影点の密度が小さくなる問題が発生する。

この問題により、追跡対象の一部が見えていても人物候補として検出されないフレームが発生し、未検出フレームが増えてしまっていた。混雑環境下においては、オクルージョンが頻発することが予想されるため、未検出フレームの増加により追跡対象の位置予測が不安定になりやすい。そこで、体の一部のみでも人物

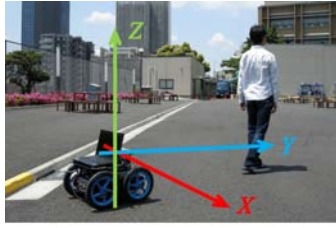


Fig.2 X-Y-Z coordinate of the proposed system

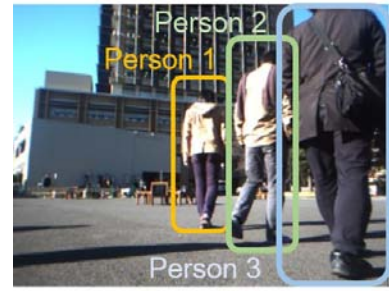


Fig.3 Example of color image

の候補として検出可能なフレームを増加させるために、2次元の俯瞰平面上の密度ではなく3次元点の密度を用いて人物検出を行う。

取得した視差画像のサブピクセルでの3次元情報を用いて、Fig. 2に示すロボット座標系の空間内で領域分割処理を行う。

例として、Fig. 3に示すフレームでの処理を挙げる。このフレームでの3次元情報をFig. 4に示す。この空間をボックスに分割し、各ボックスでプロット数を算出する。プロット数が大きいボックスを抽出し、3次元のラベリングを行う。本手法においては、処理時間短縮のために4近傍ラベリングとする。ラベル付けされたボックス群に対して、ミーンシフト法を用いて領域分割・統合処理を施す。処理の結果、Fig. 5のように各ボックス群が得られる。各ボックス群の大きさから人物候補領域を検出する。検出の結果、Fig. 6の3つのボックス群が人物候補領域として抽出される。

2.3 色情報と位置情報を用いた追跡対象の決定

検出された人物候補領域の色情報と位置情報により、追跡対象を決定する。従来手法 [6] において構築している、照明変動にロバストな追跡対象の検出手法を用いる。これは、追跡対象と検出された人物の各情報の相違度、ホワイトバランスの変化量により重みづけを行うことで、照明変化に対応した追跡対象検出を行う手法である。

人物候補領域のボックス内の各投影点に対応するカラー画像の画素値より、色相と彩度のヒストグラムを作成する。保存しておいた色ヒストグラムと人物候補領域のヒストグラムの相違度を次式により算出する。

$$R_{Bhat} = \sqrt{1 - \sum_h \sum_s \sqrt{H_{input}(h, s) H_{template}(h, s)}} \quad (1)$$

$H_{input}(h, s)$, $H_{template}(h, s)$ はそれぞれ入力画像、テンプレート画像における色相 h 、彩度 s での正規化された頻度を表す。

人物候補領域の横幅および距離情報から、各領域の位置情報を決定する。決定した位置情報とカルマンフィルタにより予測される追跡対象の位置情報の相違度を計算する。計算式は以下の通りである。

$$E = k \sqrt{(X_s - X_e)^2 + (Y_s - Y_e)^2} \quad (2)$$

(X_s, Y_s) は人物の位置、 (X_e, Y_e) は追跡対象人物の予測位置を示す。ここで、 k は E を無次元化するための定数である。

2つの相違度に照明変動に応じて重みづけを行い算出した評価値を用いて、追跡対象を決定する。

2.4 オクルージョン判別

追跡対象と周囲の物体、人物との位置関係を3ステップに分けることで、オクルージョンの度合いや、未検出フレームにおけるオクルージョン発生判別の判別を行う。ステップ分けには、Fig. 7に示す計測環境を俯瞰した平面を用いる。各図において青い長方形はステレオカメラ、点線はステレオカメラの左右のレンズの画角、 D は計測可能な最小距離値を表す。Fig. 7(a) で、Region A は追

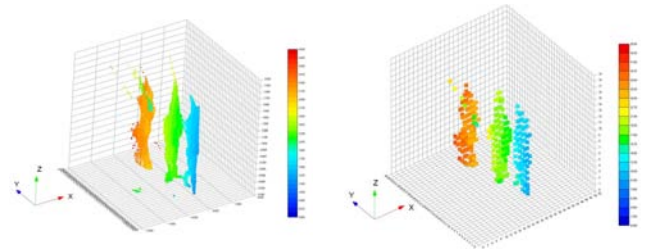
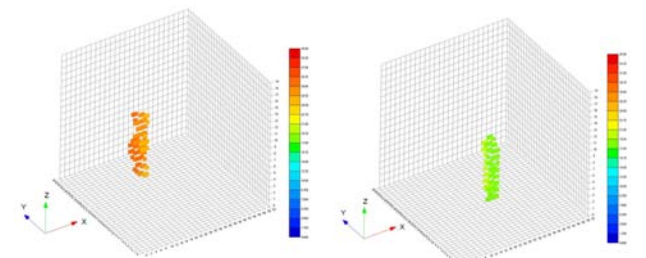


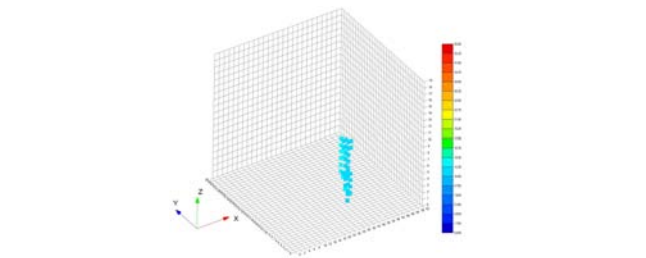
Fig.4 Point cloud

Fig.5 Divided boxes



(a) Person 1

(b) Person 2



(c) Person 3

Fig.6 Result of labeling and mean-shift clustering of point cloud

跡対象を遮蔽し得る領域を示す。ここで、オクルージョン発生直前に発生の可能性が高いことを検知するために、Region A の左右端は、追跡対象領域の左右端にマージンを加えた位置と各レンズとを結ぶ線分により表される。STEP 1 は、追跡対象が検出されているフレームにおいて Region A に他の物体や人物が存在しない状態とする。また、Fig. 7(b) のように Region A に他の物体や人物が存在するとき、Region B を作成する (Fig. 7(c))。Region B は追跡対象とロボットの間に存在している物体や人物が遮蔽する領域を示す。追跡対象が検出されているフレームにおいて、Region B の中に追跡対象に対応する領域が入っている場

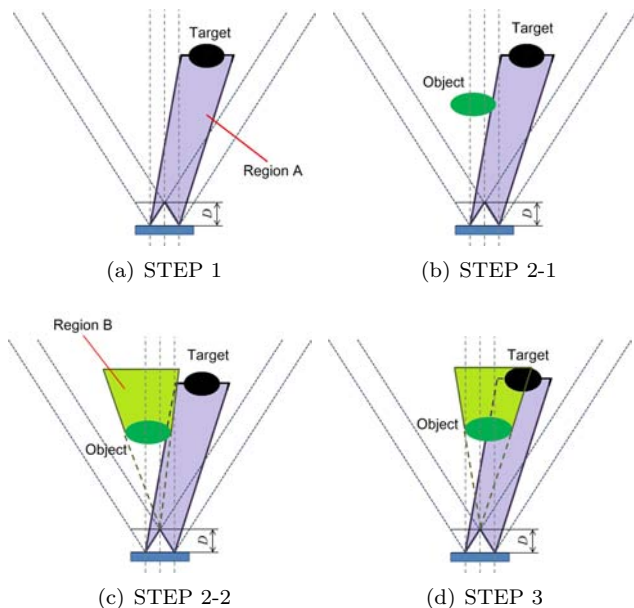


Fig.7 Details of Occlusion step

合を STEP 2 とする。また、未検出フレームにおいて、カルマンフィルタにより予測された追跡対象の位置が Region B に入っているとき (Fig. 7(d)) を STEP 3 とする。STEP 3 において、未検出はオクルージョンにより発生していると仮定する。

STEP 1 において、追跡対象は他の物体に遮蔽されていないことから、正確な色情報が得られやすい。そこで、STEP 1 のときには、追跡対象の色情報の更新を随時行う。また、STEP 3 では、未検出フレームがオクルージョンにより発生していることがいえるため、カルマンフィルタの継続時間の延長をする。

オクルージョンの発生を判定することにより、未検出フレームが連続した際の適切な処理を可能にする。また、照明変動に対応するためには色情報の更新が必要となるが、オクルージョンの度合い判別により、更新タイミングを設定することが可能となる。

3 オフライン実験

本手法の有用性を検証するために、従来手法との比較実験を行う。実験には事前に取得した画像を用いる。実験画像は、照明変動のある環境で取得したものである。実験環境の詳細を Table 1 に、取得したカラー画像の例を Fig. 8 に示す。また、撮影時には、ロボットを追跡対象に追従するように手動で操作している。画像取得にはステレオカメラとして Bumblebee2 (Point Grey Research) を用い、移動ロボットには Blackship (セグウェイジャパン) を用いる。取得した画像を用いて、各手法による実験を行う。各実験は以下に示す *Precision* と *Recall* の二つの値により評価する。

$$Precision = \frac{A}{A+B}, \quad Recall = \frac{A}{A+C}$$

A: 追跡対象人物が正しく検出されたフレーム数

B: 追跡対象人物以外が検出されたフレーム数

C: 追跡対象人物が存在していたが何も検出されなかったフレーム数

各実験の結果に関して、評価値の算出結果を Table 2 に示す。

提案手法においては、従来手法よりも適合率、再現率ともに向上していることがわかる。これは主に、提案手法により、オクルージョンの影響で体の一部しか見えていないときにも検出が可

Table 1 The details of experimental scenes

Scene	照明条件	人数	オクルージョン 回数/ 平均フレーム数/ 最大フレーム数	陰の発生
1	逆光	1.8	5.0 5 11	×
2	順光	1.9	4 5 7	×
3	側光	1.1	8 4 7	×
4	順光	1.1	15 7 14	×
5	側光	1.2	7 7 12	ビルの陰
6	順光	1.3	14 7 17	×
7	側光	1.3	14 7 17	木の陰

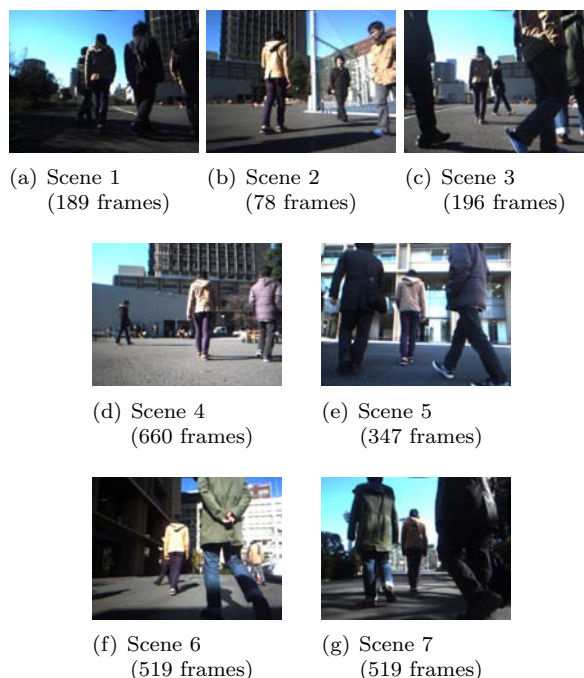


Fig.8 Off-line experimental scenes. The scenes are classified according to illumination environments

能となり、カルマンフィルタによる位置予測が安定したことによる。この例を Fig. 9 に示す。図中の赤い矩形は追跡対象の検出結果を示している。追跡対象よりもロボットに近い人物により、追跡対象領域の半分以上は遮蔽されている。特に上半身への遮蔽が大きいため、俯瞰平面での密度を算出する従来手法では人物領域として検出されない。しかし、提案手法では人物候補領域としての検出が可能となり、相違度算出の結果、追跡対象として判別できたといえる。加えて、オクルージョンを検出し適切な処理を施すことにより、オクルージョン継続時間に依存することなく追跡が可能となり、100%の適合率を得ることができた。また、オクルージョン状態の検出に関して、状態判定の正確性を各シーンに関して算出したものを Table 3 に示す。オクルージョンの状態を正しく検出できなかったフレームに関して、原因を以下の 4 つ

Table 2 Evaluation of experimental results in outdoor scenes

Scene	Proposed method		Previous method	
	precision	recall	precision	recall
	[%]	[%]	[%]	[%]
1	100	100	100	87.6
2	100	100	100	77.1
3	100	98.9	100	87.9
4	100	98.9	99.6	83.2
5	100	97.1	100	68.8
6	100	83.5	97.0	56.3
7	100	99.4	100	70.6



Fig.9 Result of target detection under occlusion

Table 3 Accuracy of determination of occlusion state

Scene	Accuracy [%]
1	98.4
2	100
3	97.0
4	98.0
5	97.1
6	91.3
7	99.5
Total	94.3

に分け、その比率を Fig. 10 に示す。

- 1 人物がカメラに近すぎる場合やスミア現象発生時に視差情報が正しく得られなかった
- 2 追跡対象を見失った
- 3 ノイズにより存在しないものを物体として検出し STEP 2 になった
- 4 追跡対象領域が分割され Region B が生成された

これより、主にステレオカメラの原理的に計測が正しく行えない範囲や環境において、オクルージョン検出や追跡対象検出が行われなかったことがわかる。他のセンサとの組み合わせにより、ステレオカメラでは死角となる範囲に関しても網羅的に計測可能な手法の構築を検討している。

4 結論・今後の展望

本論文では、オクルージョンが発生する環境下における移動ロボットによる人物追跡手法を提案した。動作環境に存在する追

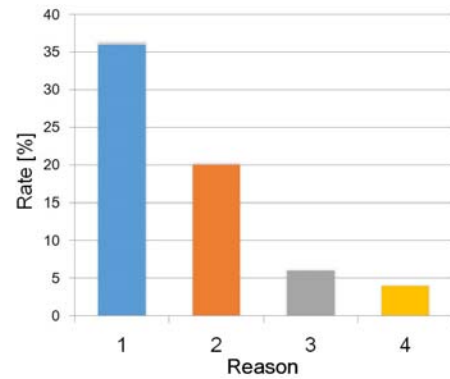


Fig.10 Rate of the reasons of misdetermination

跡対象以外の人物や物体により、追跡対象の体の一部が遮蔽される環境において追跡の安定性を向上させた。また、オクルージョンの発生を検出し発生状態に応じた処理を施すことで、オクルージョン継続時間によらない追跡の実現を図った。実験においては、従来手法を上回る値の適合率、再現率が得られた。

今後は、ステレオカメラでは計測不可能な範囲が存在することを課題とし、解決に取り組む。また、本実験よりも混雑した環境、より照明変動の大きい環境等、複雑な実環境での追跡の実現を目指していく。

References

- [1] J. Satake, M.Chiba, and J.Miura, "Visual Person Identification Using a Distance-dependent Appearance Model for a Person Following Robot," Int. Journal of Automation and Computing, Vol. 10, Issue 5, pp. 438-446, 2013.
- [2] N. Bellotto and H. Hu, "Computationally efficient solutions for tracking people with a mobile robot: an experimental evaluation of Bayesian filters," Int. Journal of Autonomous Robots, Vol. 28, Issue 4, pp. 425-438, 2010.
- [3] P. Chakravarty and R. Jarvis, "Panoramic Vision and Laser Range Finder Fusion for Multiple Person Tracking," Proc. of the 2006 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 2949-2954, 2006.
- [4] T. Germa, F. Lerasle, N. Ouadah, and V. Cadenat, "Vision and RFID data fusion for tracking people in crowds by a mobile robot," Int. Journal of Computer Vision and Image Understanding, Vol. 114, Issue 6, pp. 641-651, 2010.
- [5] T. Ubukata, K.Terabayashi, A.Moro, and K.Umeda, "Multi-Object Segmentation in a Projection Plane Using Subtraction Stereo," Proc. of the 20th IEEE Int. Conf. on Pattern and Recognition, pp. 3296-3299, 2010.
- [6] 磯邊柚香, 増山岳人, 梅田和昇, "移動ロボットによる人物追跡のための照明変動にロバストな追跡対象の検出", 2014 年度精密工学会秋季大会学術講演会, pp. 163-164, 2014.