

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

中央大学 ○磯邊 柚香, 増山 岳人, 梅田 和昇

Robust Target Detection for Human Following with a Mobile Robot under Varying Illumination Environments

Chuo Univ. Yuzuka ISOBE, Gakuto MASUYAMA, Kazunori UMEDA

Tracking a specific person is one of the important functions of a mobile robot system. Vision systems of a mobile robot often suffer from varying illuminations in outdoor environments. In this paper, we present a target tracking system for a mobile robot based on color and 3D information of a target obtained from a stereo camera. By weighting each information based on lighting conditions, robust person tracking is achieved under environments where multiple people exist and lighting condition extremely changes. The effectiveness of the proposed system is verified through human following experiments in outdoor environments.

1. 序論

自律移動ロボットに求められる重要な機能の一つに、人物の追跡がある。この機能は、工事や災害の現場では資材運搬、日常生活では荷物運搬といったタスクへの活用が期待される。

人物追跡の研究は数多く行われている [1, 2, 3]。しかし、これらの研究の多くは照明変動の少ない屋内環境を想定しており、屋外での適用を図った研究 [4] においても照明が多様に変動する環境での追跡には至っていない。屋外での人物追跡においては、時々刻々と変動する照明条件を考慮した手法の構築が必要となる。そこで我々は、先行研究 [5] において、ステレオカメラを用いた照明変動にロバストな人物の追跡手法を提案している。しかし、この手法では色情報のみを用いて追跡対象人物の識別を行っていたため、短時間で急激に照明条件が変動する環境や、追跡対象以外に複数の人物が計測範囲に存在する環境には脆弱であるという問題があった。

そこで本論文では、追跡対象人物の色情報と位置情報を用い、照明条件に応じた各情報の組み合わせにより、照明変動にロバストに追跡対象を検出し、検出結果を用いた人物追跡手法を提案する。また、複数の人物が存在する屋外での実験により、提案手法の有用性を検証する。

2. 手法の概要

2.1 人物追跡の流れ

人物追跡の流れを図 1 に示す。まず、ステレオカメラから得られる視差画像を用いて、人物領域の情報を取得する。次に、追跡対象の特徴として色情報と位置情報を用い、取得した人物領域と追跡対象人物とを対応付ける。このとき、カメラから得られるホワイトバランスの変化を照明変動を示すパラメータとし、ホワイトバランスの変化量に基づき各情報に重みをつけた評価値により、追跡対象の検出を行う。検出した追跡対象人物の位置情報に基づき移動ロボットを制御することで、人物追跡を行う。この処理を毎フレーム繰り返す。

2.2 色情報と位置情報を用いた追跡対象の検出

従来手法と同様に、図 2(a) の入力画像中で矩形で示されるように人物は検出される。図 2(b) はこの人物領域のみを切り出した画像で、この領域に対応する視差画像が図 2(c) である。各人物領域に対応する色情報は、視差情報に基づいた図 2(d) の範囲で抽出される。色情報として照明変動に強い色相と彩度を用い、検出された人物と追跡対象との色情報の相違度 R_{Bhat} を次式に

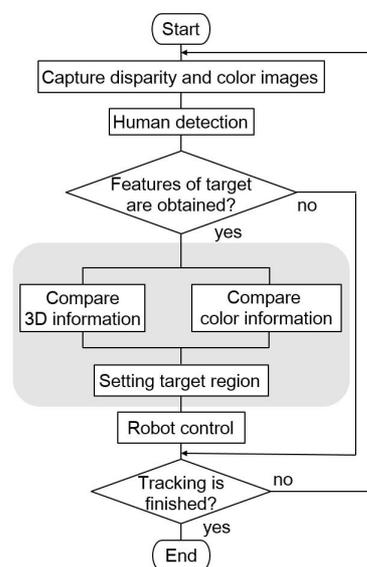


図 1 フローチャート



(a) 検出例



(b) 人物領域



(c) 人物領域



(d) 人物領域

図 2 色情報の取得範囲

より計算する。

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

$H_{inp}(h, s)$, $H_{temp}(h, s)$ 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. なお, 追跡対象の色情報は追跡開始前に登録したものと比較することで, 一定フレーム毎に更新する.

また, 追跡対象人物のロボット座標系 X, Y の位置情報に対してカルマンフィルタを適用し, 現在のフレームでの人物位置から次フレームでの位置を予測する. 予測された位置 (X_e, Y_e) と検出された位置 (X_s, Y_s) のユークリッド距離 E を次式により算出する.

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

算出した R_{Bhat} , E をそれぞれ色情報, 距離情報に関する評価値とする. これらを用い, 検出された人物と追跡対象人物との相違度 D を次式で定義する.

$$D = \begin{cases} (1 - \alpha)R_{Bhat} + \alpha E & (\alpha < \beta) \\ E & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (3)$$

D が最も小さい人物領域を追跡対象の領域とする. ただし, α は照明変動の大きさを表すパラメータで, ホワイトバランスの変化量 W に関して $\alpha \propto |W|$ であり, $\alpha > 0$ とする. また, β は照明変動の閾値で $\beta < 1$ である. α が β 以上の値をとるとき, 照明変動は大きく追跡対象の色情報は大きく変化する.

(1) $\alpha < \beta$ の場合

色情報と位置情報は, 照明条件の変化を評価するホワイトバランスにより重み付けされる. これは, 照明変動により, 色情報への信頼度が変化するためである. 照明変動が小さい環境では色情報の信頼度は高いが, 照明変動が大きいと色情報は変化しやすく, 特に色相は大きく値を変えるため信頼度は低くなる. 一方, 位置情報は照明の影響は受けにくい, 位置情報のみを用いると, 人間の動作が不規則な場合に追跡困難となる.

(2) $\alpha \geq \beta$ の場合

色情報の信頼度は著しく低下すると考えられるため, 位置情報のみを利用した相違度が計算される. ただし, 位置情報のみ依存する追跡となることを防ぐために, D が閾値以下のときに追跡対象の色情報を更新し照明条件に対応させる.

3. 屋外環境での人物追跡実験

本手法の照明変動へのロバスト性を検証するために, 屋外の照明条件が変化する環境において実験を行った. ステレオカメラには Bumblebee2 (Point Grey Research) を, 移動ロボットには Blackship (セグウェイジャパン) を用いた. ロボット制御には PID 制御を用い, 2分31秒の追跡を行った. なお, $\alpha = 0.25 \times |W|$, $\beta = 0.8$ とした. また, 実験結果の評価値を以下に示す.

$$\text{適合率} = \frac{A}{A+B}, \quad \text{再現率} = \frac{A}{A+C}$$

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

実験は中央大学後楽園キャンパスの運動場付近で行い, 実験環境を順光, 逆光, ビルの陰 (順光, 逆光) の4つの照明条件を持つ環境に分類し評価を行った. 実験における追跡対象の検出結果を図3に示す. 図中で矩形は追跡対象人物を表し, 矩形内の点は追跡対象の重心位置を示す. 表1は, 実験結果に対する各照明環境での評価値の算出結果である. 実験の結果, 全ての照明環境において適合率は91%以上, 再現率は88%以上となった.

順光時のビルの陰での適合率, 再現率は, とともに他の照明環境よりも下がっている. 原因として, この環境において, 追跡対

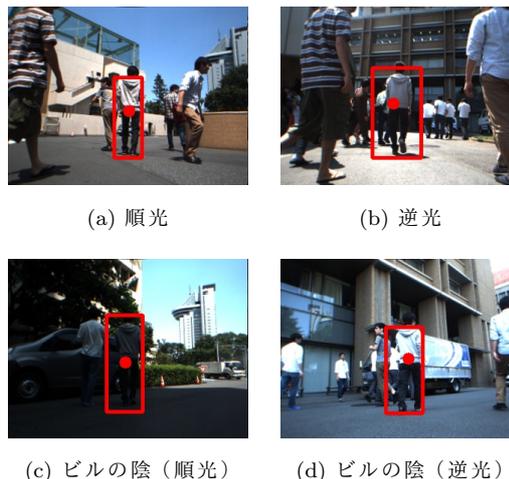


図3 検出結果

表1 実験結果の評価

照明環境	フレーム数 [枚]	適合率 [%]	再現率 [%]
順光	716	100	98.4
逆光	559	99.4	97.0
ビルの陰 (順光)	462	91.6	89.0
ビルの陰 (逆光)	472	99.8	95.4

象の検出が正しく行われていなかったことが挙げられる. 照明変動の頻度が高いときに, 追跡対象がカルマンフィルタの予測モデルと異なる動作をした場合, 誤検出や未検出は発生しやすくなる. 順光でビルの陰となる環境では, 他の環境に比べ照明変動が頻繁に起こっており, その際の人物の運動は不規則であったため, 適合率や再現率が低下したと考えられる.

4. 結論・今後の展望

本論文では, 追跡対象人物の色情報と位置情報を用い, 照明変動により各情報に重みづけを行うことで, 照明変動にロバストに追跡対象を検出し, 追跡する手法を提案した. また, 複数の人物が存在し照明変動のある屋外での実験を行い, 提案手法の有用性を検証した.

今後は照明条件が頻繁に変動する環境に対応するために, 異なる時系列フィルタリング手法の使用や照明条件の変化を示すパラメータの検証, 誤検出対策の処理の付与等による改善を検討している.

参考文献

- [1] M. Doi, M. Nakakita, Y. Aoki, and S. Hashimoto: "Real-time Vision System for Autonomous Mobile Robot", Proc. of the 10th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.442-449, 2001.
- [2] 佐竹純二, 三浦純: "ステレオビジョンを用いた移動ロボットの人物追従制御", 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.9, pp.1091-1099, 2010.
- [3] Z. Chen and S. T. Birchfield: "Person Following with a Mobile Robot Using Binocular Feature-Based Tracking", Proc. of the 2007 IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.815-820, 2007.
- [4] H. Takemura, Z. Nemoto, and H. Mizoguchi: "Development of Vision Based Person Following Module for Mobile Robots In/Out Door Environment", Proc. of the 2009 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp.1675-1680, 2009.
- [5] 磯邊柚香, 増山岳人, 梅田和昇: "ステレオカメラを用いた追跡対象領域の抽出に基づく移動ロボットの人物追跡", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集, 1P1-C07, 2014.