

照明変動下における移動ロボットによる人物追跡 —ターゲットと周囲の人物の相違性の考慮—

○ 磯邊柚香 †, 増山岳人 ‡, 梅田和昇 ‡

†: 中央大学大学院理工学研究科, isobe@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

‡: 中央大学理工学部, {masuyama, umeda}@mech.chuo-u.ac.jp

<要約> 本稿では, 照明変動が発生し周囲に人物が存在する環境における, 移動ロボットによる人物追跡手法を提案する. ステレオカメラを用いて, カラー特徴と位置特徴を用い, 環境に応じて重みづけを行うことでターゲットを判別する. 重みには, 追跡中の画像の色味変化と明るさ変化, ターゲットと周囲の人物とのカラー情報と位置情報に関する相違度を用いる. 照明変動やオクルージョンが発生する実環境での実験により, 提案手法の有用性を検証する.

<キーワード> 人物追跡, 移動ロボット, 照明変動

1. 序論

自律移動ロボットの代表的な機能の一つとして, 特定の人物の追跡が挙げられる. 人物追跡は, 屋内外を問わず, またターゲット以外の物体や人物が存在する環境でも行える必要がある.

移動ロボットによる人物追跡には広くカメラが用いられている[1-3]. しかし, 照明変動によるカラー情報の変動や周囲の人物の存在により, 追跡が困難となる問題がある[4].

筆者らは従来研究 [5,6]において, ステレオカメラを用い, ターゲットのカラー特徴と位置特徴に基づいた人物追跡手法を構築している. 画像調整機能であるホワイトバランスとシャッタースピード, ゲインの変化量より, 追跡環境の明るさ変化と色味変化を表すパラメータを定義する. 同時に明るさ情報から, カラー特徴の取得しやすさを推定する. これらのパラメータにより, 位置及びカラー特徴に関するターゲットモデルとの相違度に対して, 照明環境に応じた重みを設定する. しかし, カラー特徴に基づいたターゲット判別の有効性は, ターゲット以外の人物がどれだけターゲットに似ているかという点にも依存すると考えられる. 同様に, 位置特徴の有効性もターゲット付近の人物の位置によって変化し得る. 本稿では, 各特徴が類似するターゲット候補の存在も考慮して, 各特徴に重みづけを行う手法を提案する.

2. 提案手法

2.1 手法の概要

従来手法[6]と同様に, まず, ステレオ画像から得られる3次元点群よりターゲットの候補領域を抽出する. カラー特徴と位置特徴により, 候補領域の中からターゲットを判別する. 最後にオクルージョン対策処理を施す. 以上を毎フレーム繰り返す.

2.2 ターゲット候補領域の抽出

まず, ステレオ画像の視差情報より, 3次元点群を作成する. 3次元座標系は図のように設定される. 点群が密集する領域にターゲット候補が存在すると仮定する. 更に, 点群の密度が高い領域の幅や奥行き, 高さの情報からターゲット候補領域を抽出する.

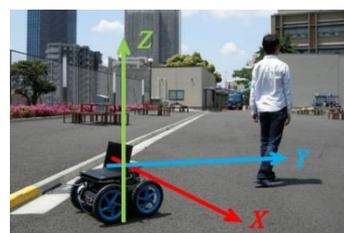


図1 3次元座標系

2.3 ターゲットの判別

2.3.1 カラーと位置の相違度の作成

抽出された候補領域のカラー特徴と位置特徴を用いてターゲットの判別を行う。

カラー特徴として、HSV 色空間の色相 h と彩度 s を用いる。各候補領域のカラーヒストグラム $H_c(h, s)$ とテンプレートとして予め保存されたターゲットのカラーヒストグラム $H_t(h, s)$ を次式により比較し、カラー情報の相違度 R_{color} とする。

$$R_{color} = \sqrt{1 - \sum_h \sum_s \sqrt{H_c(h, s) H_t(h, s)}} \quad (1)$$

なお、各ヒストグラムはそれぞれの全点数により予め正規化する。

また、位置特徴として、図 1 で示されるロボット座標系 X, Y における各候補領域の位置 (X_c, Y_c) と、カルマンフィルタを用いて予測したターゲット位置 (X_t, Y_t) とを次式により比較し、位置情報の相違度 $R_{position}$ とする。

$$R_{position} = k \sqrt{(X_c - X_t)^2 + (Y_c - Y_t)^2} \quad (2)$$

ただし、 k は正規化定数である。 $R_{position}$ が 1.0 以上となる領域は、ターゲット候補から除外する。

2.3.2 各特徴への重みの作成

追跡環境に応じて、ターゲット判別に有用な特徴が異なる。提案手法では、算出したカラーと位置の各相違度に重みづけをすることで、ロバスト性の向上を図る。

まず、従来手法[6]で提案した照明変動を示すパラメータを導入する。追跡環境の色味変化を示すパラメータを P_c 、明るさ変化を示すパラメータを P_l とする。従来手法では、照度を変化させながら一様な色の画用紙を撮影する予備実験を行っている(図 2)。撮影時に、画像の自動調整機能であるホワイトバランス、シャッタースピード、ゲインのオンオフを切り替えて取得した画像より、カラー情報の相違度と各機能の出力値は図 3, 4 のように変化することがわかっている。 P_c, P_l は、実験で得られたカラー情報の相違度変化に沿うように出力値を変数とした関数により定義される。

$$\begin{aligned} P_c &= f(|\Delta R| + |\Delta B|) \\ P_l &= g(|\Delta S|, |\Delta G|) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 ΔR と ΔB はホワイトバランスの赤ゲインと青ゲインの変化量を表し、 ΔS と ΔG はそれぞれシャッタースピードとゲインの変化量を表す。

各特徴の有用性は、照明変動だけでなく、ター

ゲットと周囲の人物の各特徴の類似性にも依存すると考えられる。そこで、ターゲット候補間での各特徴の相違性も重みとして導入する。ターゲット候補に対して各相違度を算出した結果、最小となる値をそれぞれ R_{c1}, R_{p1} 、その次に小さい値を R_{c2}, R_{p2} とする。それぞれの差 $E_{color}, E_{position}$

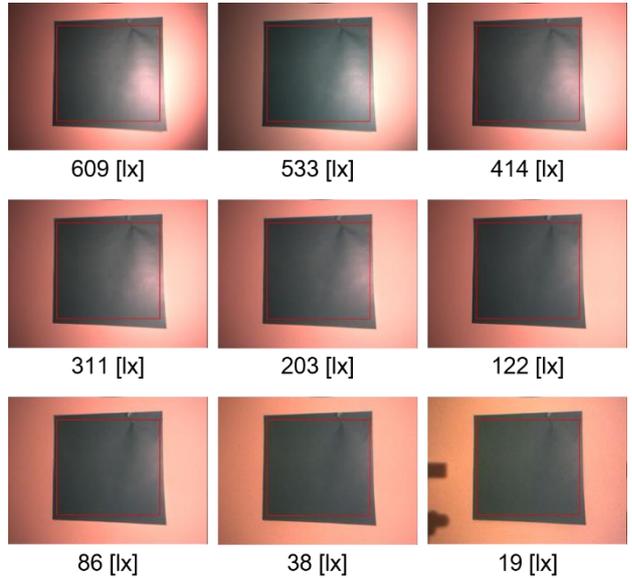


図 2 パラメータ定義のための実験条件

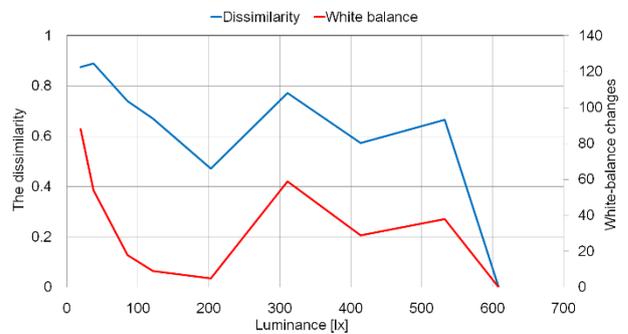


図 3 カラー情報とホワイトバランスの関係

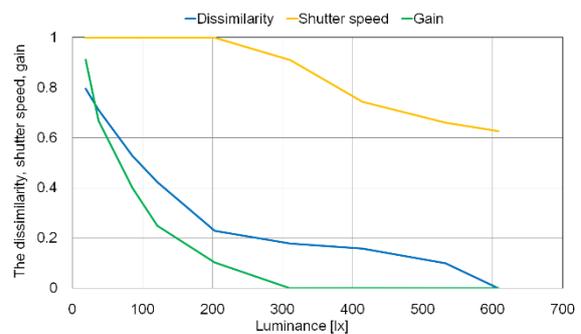


図 4 カラー情報とシャッタースピード、ゲインの関係

を各特徴のターゲット判別における有効性を示すパラメータとする.

$$\begin{aligned} E_{color} &= R_{c2} - R_{c1} \\ E_{position} &= R_{p2} - R_{p1} \end{aligned} \quad (4)$$

以上のパラメータを用いて重み W を算出する.

$$W = \begin{cases} \frac{(1.0 - P_c - P_l)E_{color}}{(1.0 - P_c - P_l)E_{color} + E_{position}} & ((P_c + P_l) \leq 1.0) \\ 0 & ((P_c + P_l) > 1.0) \end{cases} \quad (5)$$

W によりカラー情報の相違度 R_{color} と位置情報の相違度 $R_{position}$ に対する重みは設定される.

各候補領域とターゲットとの相違度 D を次式のように定める.

$$D = WR_{color} + (1.0 - W)R_{position} \quad (6)$$

カラー特徴の相違度 R_{color} と位置特徴の相違度 $R_{position}$ には $(1.0 - P_c - P_l)E_{color} : E_{position}$ の割合で重みが付けられる. なお, 照明変動以後に位置情報のみに依存した追跡が継続されるのを防ぐために, D がしきい値以下のときカラーテンプレートの更新を行う. その際 P_c や P_l の値は0にリセットされる.

2.4 オクルージョン対策

ターゲットと周囲の物体や人物との位置関係からオクルージョンの発生状態を推定する[5]. オクルージョン状態として, (I) 発生していない, (II) 発生しているがターゲットは検出されている, (III) 発生しているがターゲットは検出されていない状態の3つを定義する. 推定されたオクルージョン状態により, カラーテンプレート更新のタイミング, 周囲の人物のフレーム間での対応付け, ターゲットの位置推定の継続判定などを行う.

3. 追跡実験

提案手法を用いて, 実環境において追跡実験を行った. 実験には予め屋内外の環境で取得した8027枚の画像を用いた. 撮影時, ステレオカメラ(Point Grey Research, Bumblebee2)を取り付けた移動ロボット(Segway Japan, Blackship)を手動で操作した. 提案手法, および重みを P_c, P_l , カラー特徴の取得しやすさを表すパラメータ D_l とした従来手法 [6] (式(7)), 重みを照明変動のパラメータ P_c, P_l のみとした条件 (式(8)) に関して実験を行った.

$$W_{previous} = \begin{cases} P_c + P_l & (D_l \geq 0) \\ P_c + P_l - D_l & (D_l < 0) \end{cases} \quad (7)$$

$$W_{P_c P_l} = P_c + P_l \quad (8)$$

提案手法および従来手法と P_c, P_l のみの条件との比較により P_c, P_l 以外にパラメータを導入することの妥当性を調べる. また, 提案手法と従来手法の比較により新たに導入したパラメータ $E_{color}, E_{position}$ の有効性を検証する.

各実験結果を以下の評価値により比較する.

$$P = \frac{A}{A+B}, R = \frac{A}{A+C}, F = \frac{2PR}{P+R}$$

A : ターゲットが正しく検出されたフレーム数

B : ターゲット以外が検出されたフレーム数

C : ターゲットが存在していたが何も検出されなかったフレーム数

なお, $k = 0.6m^{-1}$ (式(2)参照) とし, 式(3)の P_c, P_l を以下のように設定した.

$$P_c = 0.1(|\Delta R| + |\Delta B|)$$

$$P_l = (2.0|\Delta S| + 3.0|\Delta G|) \times 10^{-3}$$

実験結果を表1に, 提案手法によるターゲット検出の様子を図5に示す. 赤い矩形が検出したターゲットである.

結果より, 提案手法においては全ての評価値がその他の条件よりも高いことがわかる. また, P_c, P_l のみの条件に対して提案手法, 従来手法ともに各評価値が向上している. P_c や P_l の値が小さい環境でも, 図6のようにカラー特徴が現れにくい場合もあり, P_c, P_l のみの条件では特にオクルージョン発生時に頻繁に誤検出が起こっていた. 対して, 提案手法や従来手法ではカラー特徴よりも位置特徴に重みを置いてターゲット判別を行っていたため誤検出は発生しなかった.

表1 実験結果

	提案手法	従来手法 [6]	P_c, P_l のみ
	W	$W_{previous}$	$W_{P_c P_l}$
P [%]	99.4	94.7	90.5
R [%]	97.7	94.3	88.5
F [%]	98.6	94.5	89.5

表2 従来手法と提案手法の結果の違い

Case	従来手法	提案手法	フレーム数[枚]
1	B, C	A	598
2	B	C, O	56
3	A	B, C	21
4	C	B	31



図 5 追跡の様子

特に従来手法に関して、提案手法と結果に違いが現れたフレームは全部で 706 枚であり、その内訳を表 2 に示す。表中で Case は手法間で違いが出た結果の組み合わせを表す。A, B, C は評価値算出の際に定義したフレーム数を、O はオクルージョンが起こっていたフレーム数を表す。Case 1 は、従来手法では誤検出や未検出で提案手法では正検出となっていたフレーム数を示している。従来手法で未検出や誤検出となっていたフレームは 827 枚であり、そのうち 7 割以上の 598 枚は提案手法により正検出となった。Case 1, 2 を提案手法により改善されたフレーム、Case 3, 4 を改悪されたフレームとすると、違いが現れたフレームのうち改善されたフレームは 92.6[%]、改悪されたフレームは 7.4[%]であった。

従来手法では、図 7 のようにカラー情報が取得しやすい照明環境でもターゲットのカラー情報が影により変化するとき未検出が、周囲の人と色が似ているときに未検出や誤検出が起きていた。提案手法により改善されたフレームの多くは、これらに該当している。また、オクルージョン後にターゲットを見失い再検出する際にも、従来手法では照明環境の情報のみがターゲット特徴の信頼性を与える手がかりであった。ゆえに、図 8 のように逆光で長いオクルージョン後には位置情報に完全に依存した追跡が行われるが、ターゲット位置の推定誤差が蓄積した影響により誤検

出が起こっていた。図 9 の環境において、提案手法では、カラー情報にも 30[%]程度重みが置かれていたため未検出となっており、適切な重みづけが行われていたといえる。

4. 結論・今後の展望

本稿では、照明変動を推定し周囲の人物のターゲットとの類似性を考慮した追跡システムを提案した。照明変動を示すパラメータと、周囲の人物のターゲットとの類似性を示すパラメータを導入し、ターゲット識別に有用な情報に重みを置いてターゲットを判別することで、周囲に人がいる環境へのロバスト性の向上を図った。提案手法と従来手法の比較実験を行うことで、手法の有用性を示した。

今後は、位置特徴に関してもオクルージョンや混雑環境などの情報から重みを追加していくことを検討している。

参考文献

- [1] H. Kwon, Y. Yoon, J. B. Park, and A. C. Kak : “Person Tracking with a Mobile Robot using Two Uncalibrated Independently Moving Cameras,” Proc. of the 2015 IEEE Int. Conf. on Robotics and

Automation, pp. 2877-2883, (2005).

- [2] A. Tsalatsanis, K. Valavanis, and A. Yalcin : “Vision Based Target Tracking and Collision Avoidance for Mobile Robots,” Journal of Intelligent and Robotics Systems, Vol. 48, Issue 2, pp. 285-304, (2007).
- [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 Robotics and Systems, pp. 2949-2954, (2006).
- [4] H. Takemura, Z. Nemoto, and H. Mizoguchi : “Development of Vision Based Person Following Module for Mobile Robots In/Out Door Environment,” Proc. of Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp. 1675-1680, (2009).
- [5] 磯邊柚香, 増山岳人, 梅田和昇 : “周囲の人物の存在を考慮した移動ロボットによる照明変動下における人物追跡手法の構築”, 第 33 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1H3-01, (2015)
- [6] 磯邊柚香, 増山岳人, 梅田和昇 : “ステレオカメラの自動調整機能を利用した照明変動の検知に基づく移動ロボットによる人物追跡”, 第 21 回ロボティクス・シンポジア, (2016) (in press).



図 6 P_c , P_l のみが重みのときの誤検出



図 7 従来手法で検出に失敗したフレーム



(a) 従来手法 (b) 提案手法

図 8 #6476 での結果の違い