

# 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

Human Following with a Mobile Robot  
Based on Extraction of a Target Region Using a Stereo Camera

○ 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

This paper presents a target tracking system for a mobile robot in both indoor and outdoor environments. A stereo camera, which is robust to sunlight and illumination changes, is used. Human regions in images are detected from 3D information. Using color information, a target region is discriminated from the detected human regions. Hue and saturation are chosen as features robust to illumination changes. Finally, a mobile robot is controlled based on the 3D information of the detected target region. The effectiveness of the proposed system is verified through human following experiments in both indoor and outdoor environments.

**Key Words:** Human Following, Mobile Robot, Stereo Camera, Outdoor Environment

## 1 序論

自律移動ロボットは、工場や災害現場、人間の日常生活等、様々な場面での活用が期待されている。これらの実環境において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。

このタスクを行う際、予め動作環境の情報をロボットに与えることは難しい。そのため、ロボット自身が環境をセンシングし人物を検出することが重要となる。

人物追跡の実現を目的とした研究も数多く行われている。Doiら[1]は肌や服のカラー情報を用いたロボットによる人物追跡手法を提案している。色情報を特徴量とした研究に対し、佐竹ら[2]やChenら[3]は視差情報を特徴量とした手法を構築し人物の追跡を実現している。しかし、これらの研究の多くは屋内での運用を想定しており適用範囲が限定される。これに対し、Takemuraら[4]は屋外環境も想定した人物追跡システムを構築している。しかし、人物検出処理において色情報を用いているため、急激な照明条件の変化に対応することが困難な場合もある。屋外において、この時々刻々に変動する照明条件に適応することは解決すべき課題の一つである。

そこで、本論文では、ステレオカメラを用い、照明環境にロバストな人物追跡手法を提案する。

## 2 人物追跡手法

ステレオカメラは、パッシブセンサであるため、太陽光の影響を受けにくく屋外でも使用可能であり、人間を計測対象としても人体に影響はない。また、一般にカラー画像と視差画像を取得可能であり、カラー情報と3次元情報を同時に得られるという長所がある。本手法では、これらの利点に着目したシステムを構築する。

図1に提案する人物追跡手法のフローチャートを示す。得られる画像のうち、視差画像は照明変動に頑健である。そこで、まず、取得した視差画像を用いて人物の検出を行う。次に、カラー画像を用いて、検出された人物領域中から追跡する人物の領域を決定する。この際、特徴量には照明変

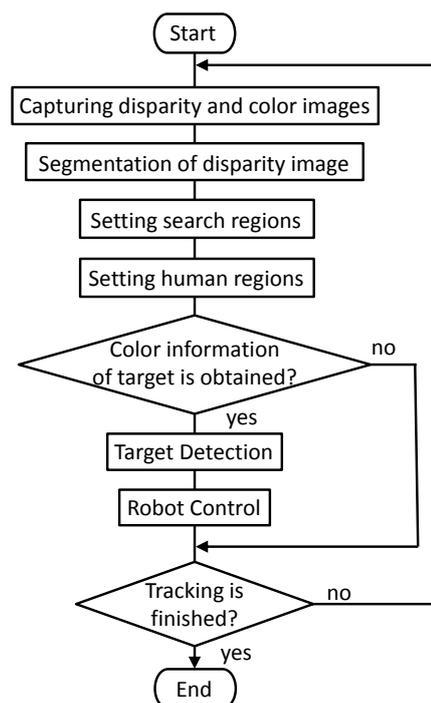


Fig.1 Flow chart of the proposed method

動に強い色相と彩度を用いる。決定した追跡対象領域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。

### 2.1 視差画像を用いた物体のセグメンテーション

視差画像中で物体の領域抽出(セグメンテーション)を行うために、生形ら[5]の提案した距離画像セグメンテーションを利用する。撮影環境を俯瞰する平面(投影平面)に、視差画像から得られる3次元情報をプロットし、投影点とする。例として、図2(a)の入力画像から得られる投影点を図2(b)に示す。次に、投影平面をセルに分割し、セル毎に投

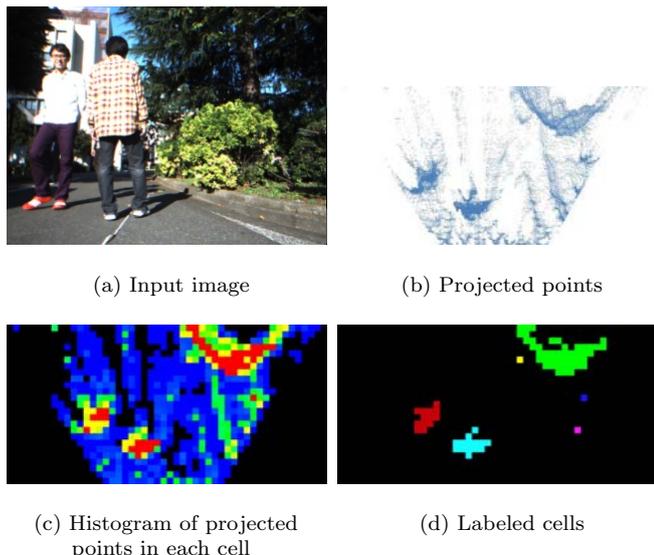


Fig.2 Process of setting search regions

影点の点数を算出する．セルに含まれる投影点数のヒストグラムを図2(c)に示す．赤いセルほどヒストグラムの頻度が高く、青いほど頻度が低いことを表す．人物のように一定の高さと幅を持つ物体の領域では、この投影点数が多くなる．そこで、投影平面上の各セルに対して投影点数に関するしきい値処理を行い、連結しているセルにラベリングを行った結果が図2(d)である．

## 2.2 探索領域の設定

投影平面上でラベル付けされた各セル群の縦横幅および高さからなる直方体領域を作成する．人物に対応する直方体領域では、各辺の長さは一定範囲に収まる．直方体領域の各辺の長さにしきい値処理を施すことにより、人物の形状に近い領域を抽出する．抽出された領域を探索領域とする．人物検出の候補となる物体は、この探索領域中に存在する．

## 2.3 人物領域の設定

図3(a)の入力画像において探索領域を設定した結果は、図中の赤い矩形で示される2次元領域に対応する．視差画像中でこの矩形に対応する領域内の各画素が、人物検出の候補となる物体に含まれるか否かにより2値化する．2値化した結果を図3(b)に示す．次にこの2値画像を低解像度化し、白画素のピクセル数を示すヒストグラムを行、列方向に関してそれぞれ作成する．作成例を図3(c)に示す．なお、矩形中で人物特徴をよく表す範囲として、人間の足から肩の高さまでをヒストグラム作成の対象とする．作成したヒストグラムと、事前に複数の人物画像から作成した人間の特徴を表したテンプレートのヒストグラムの類似度を式(1)に示すSAD (Sum of Absolute Difference) で比較する．

$$R_{\text{SAD}} = \sum_{j=1}^N |I_r(j) - T_r(j)| + \sum_{i=1}^M |I_c(i) - T_c(i)| \quad (1)$$

ここで、 $N$ 、 $M$ は行、列方向のヒストグラムの要素数、 $I_r(j)$ 、 $I_c(i)$ は取得したヒストグラムの各方向の $j$ 、 $i$ 番目の要素の値、同様に $T_r(j)$ 、 $T_c(i)$ はテンプレートヒストグラムでの各方向での各要素の値である．式(1)の値がしきい値よりも小さい探索領域を人物領域とする．

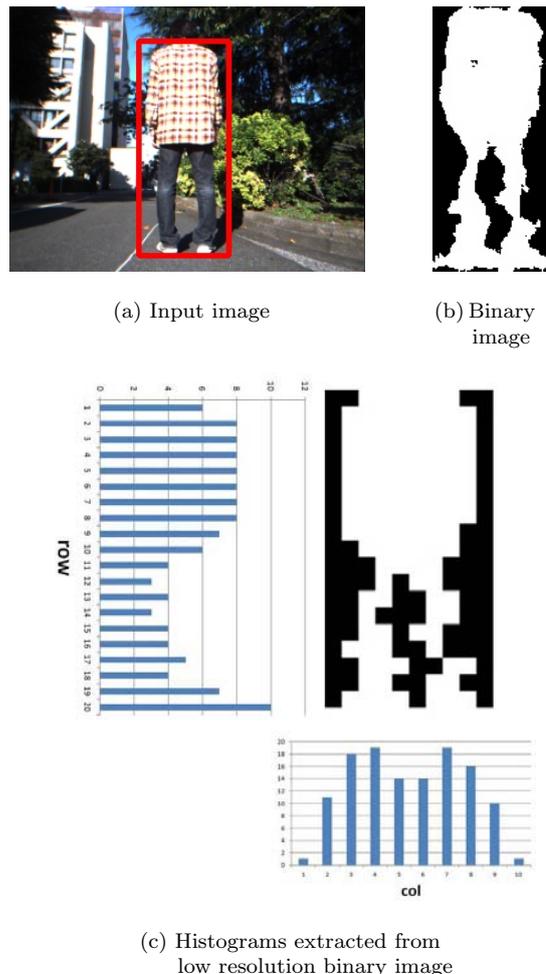


Fig.3 Process of setting human regions

## 2.4 カラー情報による追跡対象人物の決定

次に、カラー画像を用いて検出された人物から追跡対象を決定する．照明変動に強い色相と彩度を用い、人物領域と追跡対象の領域の類似度を式(2)のBhattacharyya係数により算出する．なお、追跡対象のカラー情報は追跡開始前に予め登録したものをを用いる．ただし、極端な照明変動によるカラー情報の変化にも対応するために、テンプレートのカラー情報は一定フレーム毎に更新する．

$$R_{\text{Bhat}} = \sqrt{1 - \sum_h \sum_s \sqrt{H_{\text{inp}}(h, s) H_{\text{temp}}(h, s)}} \quad (2)$$

$H_{\text{inp}}(h, s)$ 、 $H_{\text{temp}}(h, s)$ 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．計算結果にしきい値処理を施し、追跡対象の絞り込みを行う．しきい値よりも計算結果が小さい領域が存在するとき、その中で最も値の小さい領域を追跡対象領域とする．

## 2.5 追跡対象人物の検出結果に基づくロボット制御

追跡対象人物の検出結果に基づき、ロボットを制御し人物を追跡する．目標値を人物とロボットとの距離と方位としたPID制御を行う．方位の算出には、2.3節で作成した低解像度化した2値画像中の白画素の重心位置を利用する．この重心とステレオカメラのカメラ中心とが成す水平角度を方位とする．

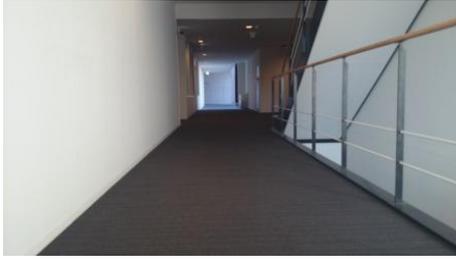


Fig.4 Experimental environment in indoor



(a) Example 1



(b) Example 2



(c) Example 3



(d) Example 4



(e) Example 5



(f) Example 6

Fig.5 Examples of detecting a target in indoor

### 3 移動ロボットによる人物追跡実験

本手法が実環境の照明変動にロバストであることを検証するために、屋内と屋外において人物の追跡実験を行った。屋内では43秒、屋外では2分49秒の追跡を行った。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。実験の結果の評価には以下の評価値を用いる。

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

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

#### 3.1 屋内での追跡実験

まず、屋内環境において実験を行った。実験は中央大学後楽園キャンパス2号館7階の廊下で行った。実験環境を図4に示す。また、実験における追跡対象の検出例を図5に示す。同図において、矩形は図3(a)と同様に追跡対象の領域



(a) Scene 1



(b) Scene 2



(c) Scene 3



(d) Scene 4-1



(e) Scene 4-2



(f) Scene 5

Fig.6 Experimental scenes in outdoor environment

を示し、矩形中の丸点は2.3節で作成した低解像度化した2値画像中の白画素の重心を表す。

実験の評価値は、適合率が100%、再現率が90%となった。図5にも示される通り、実験環境では間接照明や窓から射す光により、追跡する人物の服の色の明るさは時々刻々に変化していたことがわかる。実験において、これらの照明条件の影響を受けずに追跡可能であることを確認した。

#### 3.2 屋外での追跡実験

次に、屋内環境よりも照明条件の変動が厳しい屋外において実験を行った。実験は中央大学後楽園キャンパスの運動場付近で行い、次の5つの照明条件を持った環境について評価を行った。

シーン1: 順光

シーン2: 逆光

シーン3: 物体が存在し陰が発生する環境

シーン4: 日陰

シーン5: 日陰と日向が交互に現れる環境

実験シーンを図6に示す。実験における追跡対象の検出例を図7に、評価値を図8に示す。

実験の結果、全てのシーンにおいて適合率はほぼ100%となり、再現率は78%を超えた。

シーン4とシーン5において再現率は他のシーンよりも低くなっている。これは、カラー情報の更新に対して急激に照明条件が変わり、追跡対象の決定ができない場面があったことによる。しかし、一瞬は追跡対象を見失っても、再度追跡対象を決定しカラー情報を更新していたため、長時間見失う場面はなくロボットが停止してしまふことはなかった。



Fig.7 Examples of detecting a target in outdoor

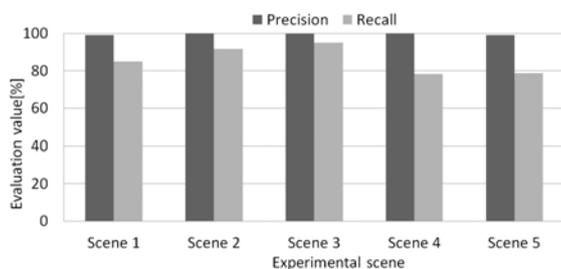


Fig.8 Evaluation of results in outdoor scenes

また、評価値である適合率と再現率はトレードオフの関係にあるため、種々の処理におけるしきい値設定により、これらの値は変動する。本実験においては、追跡精度に重点を置き適合率を上げるしきい値設定を行ったため、シーン全体で再現率が低くなった。しかし、ロバストなシステムの実現のためには、適合率、再現率ともに高い値を得られることが望ましい。人物や追跡対象を特定するためにより明確な特徴を用いることや、各処理段階における特徴量を増やすことで、再現率の向上を見込めると考えられる。

#### 4 結論と今後の展望

本論文では、ステレオカメラを用いて、照明環境にロバストに人物を追跡する手法を提案した。提案手法において、照明変動の影響を受けにくい特徴量を用い追跡対象人物の3次元領域を抽出することで、照明条件の変化への適応を図った。屋内における実験で照明変動のある環境での動作を確認し、屋外での実験ではほぼ100%の適合率、78%以上の再現率を得た。実験環境においては照明条件によらず

人物追跡が可能であることを確認した。

今後の課題は、複数の人物や様々な物体が存在する環境での適用である。これらの環境に対応するために、時系列データの使用、新たな特徴量の利用等を検討している。

#### References

- [1] Masataka Doi, Manabu Nakakita, Yoshimitsu Aoki, Shuji 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] Zhichao Chen, Stanley 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] Hiroshi Takemura, Zentaro Nemoto, Hiroshi 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] 生形 徹, 有江 誠, アレサンドロ・モロ, 寺林 賢司, 梅田 和昇, "距離画像セグメンテーションに基づくリアルタイム人物検出", 動的画像処理実用化ワークショップ DIA2012, pp.92-97, 2012.