

2 台のカメラを用いた移動ロボットの 3 次元人物追跡における 追跡復帰機能の実現

○ 松原慎也[†], 梅田和昇[‡]

○ Shinya MATSUBARA[†] and Kazunori UMEDA[‡]

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

[‡]:中央大学理工学部, umeda@mech.chuo-u.ac.jp

<要約> 2 台のカメラの処理結果を融合するという新たなフレームワークの下で, 深層学習を用いて骨格情報が取得できる OpenPose を用いた移動ロボットによる特定人物の 3 次元追跡システムに, エピポーラ拘束により探索範囲を限定したテンプレートマッチングによる追跡復帰機能を搭載した新たな人物追跡システムを提案する. その追跡復帰機能の有効性を検証するために, 従来手法との比較実験と長距離での追跡実験を行い, 定量的な評価を行った.

<キーワード> 人物追跡, ステレオカメラ, 自律移動ロボット, 3 次元計測, 追跡復帰

1. 序論

近年, 自律移動ロボットは工場現場での運搬作業や高齢者向けの介護支援といった, 様々な場面での活用が期待されている. これらの自律移動ロボットにおける重要なタスクの一つに, 特定人物の追跡が挙げられ, 該当人物を安定して追跡する性能の向上に向けた研究が数多く行われている[1][2]. この追跡機能を実現するための研究には, ステレオカメラを用いることが多い. 取得した三次元情報を用いることで追跡ロボットの制御を行う.

我々は新たなステレオ視の枠組みとして, シーン全体の距離画像は取得せず, 単眼カメラ二台がそれぞれでタスクに応じた処理を行った後にその処理結果を融合することで必要な対象のみに関しての 3 次元情報を取得するという枠組みを提案した[3]. これにより先行研究では, この枠組みの下で, 人物検出に OpenPose[4]を用いた 3 次元追跡を提案し, 複数人物が存在する環境下での追跡を実現し, 定量的な評価を行った[5]. しかし, ここで提案した追跡手法は, 2 台のカメラ両方で追跡が成功しなければ, 距離計測が行えず移動ロボットによる 3 次元追跡が失敗してしまうという課題点があった.

そこで本論文では, 2 台のカメラのうちどちらかが追跡に成功すれば移動ロボットによる 3 次元人物

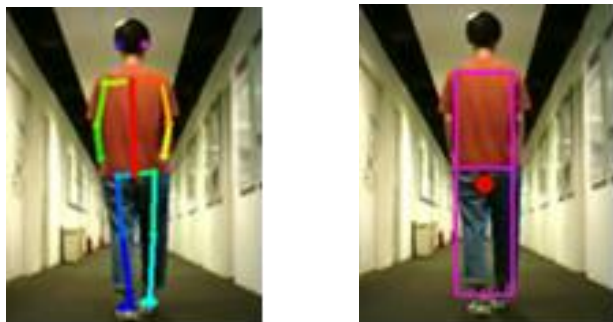
追跡が行えるよう追跡手法を改善し, 2 台のカメラを用いて追跡を復帰させる機能を備えた新たな追跡システムを構築する.

2. 追跡手法の概要

提案手法では, 人物検出に単一画像から複数の人物の骨格情報をリアルタイムに検出することができる OpenPose を用いる. 図 1 に示すように, OpenPose により得られた骨格情報のうち左右の肩と足首の座標を用いて人物領域画像を切り取る.

人物追跡の全体の流れを図 2 に示す. まず手を挙げている人物の領域を最初のテンプレート画像とする. そして OpenPose によって取得した人物領域画像とテンプレート画像の色ヒストグラム同士を比較し, 類似度を計算する. 類似度が一定の値を超えている場合, 追跡の対象と決定する. ここまでの処理を 2 台のカメラそれぞれで行い, その後, 2 台のカメラの視差 (横方向のずれ) から追跡対象までの距離を計測し, 人物と移動ロボット間の距離と位置の情報をを用いてロボットを制御する. これを毎フレーム繰り返すことで追跡を可能にしている. 図 3 に示すように, 色ヒストグラム同士の比較には, 前フレームの追跡対象者の人物領域画像をテンプレート画像として用いる. テンプレート画像は毎フレーム更新している. このとき, 現フレームで決定した人物

領域画像を次フレームでのテンプレート画像とするため、フレーム間での色ヒストグラムの違いにより追跡対象者を見失う場合がある。この課題を解決するために、提案手法では追跡復帰機能を搭載する。



(a) OpenPose による骨格検出 (b)人物領域画像
図 1 人物領域検出

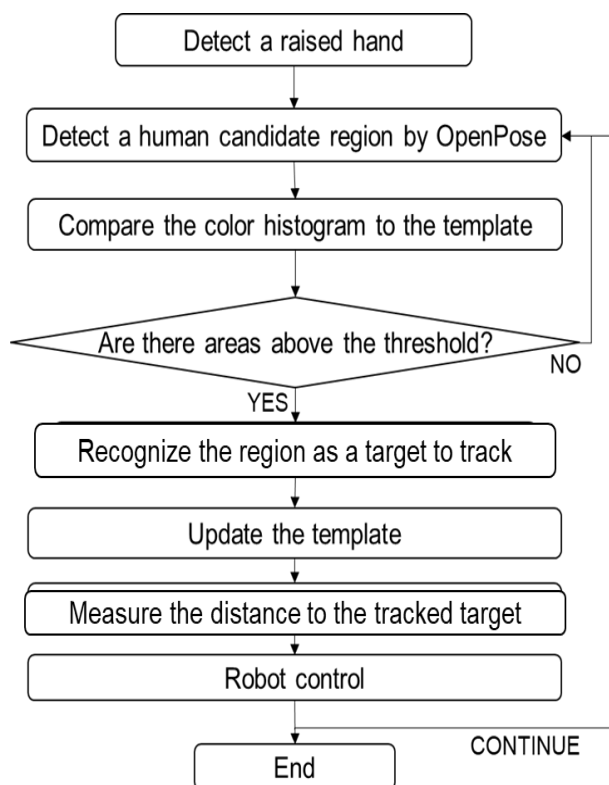


図 2 人物追跡のフローチャート

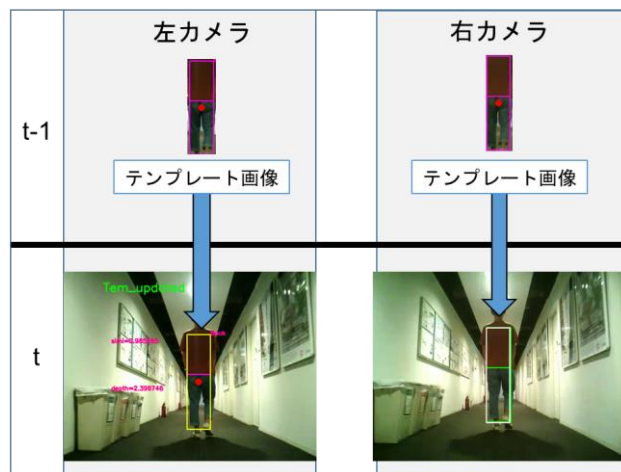


図 3 フレーム間での類似度比較

3. 追跡復帰法

エピソード拘束により探索範囲を限定したテンプレートマッチングによる追跡復帰法を提案する。2台のカメラのうち片方のみが追跡に失敗した場合、三角測量で距離を測ることができず、移動ロボットでの追跡は失敗してしまう。そこで、この場合にのみ、テンプレートマッチングを用いて、追跡に成功しているカメラの人物領域画像からもう一方の追跡に失敗しているカメラの人物領域画像を探索することで追跡の復帰を試みる。このとき、誤対応を減らし、かつ探索時間を短縮するためにテンプレートマッチングを行う際にはエピソード拘束を用いる。図 4 にこの手法の流れを示す。

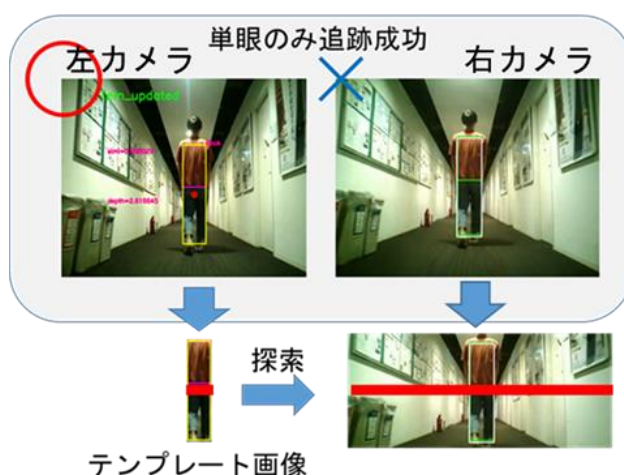


図 4 テンプレートマッチングによる追跡復帰

4. 実験

4.1 実験概要

提案手法の追跡復帰機能の有効性を検証するため、2種類の実験を行った。図5に示すように、実験は比較的明るく照明変動がある屋内環境で行う。1つ目は、従来の手法[2]と比較するため、従来の手法で行った実験と同条件（複数人存在する環境）でオフライン実験を行った。2つ目は、オンライン環境かつより長い距離で、移動ロボットによる3次元人物追跡を行った。両実験とも被追跡者は一定の速度で直進に歩行動作を行う場合である。実験で使用する装置を図6示す。カメラにはELECOM製UCAM-DLI500TN、移動ロボットにはAdeptMobileRobots社製のPioneer3-ATを使用した。図7に示すように移動ロボット上に2つのカメラを平行に並べることで、平行ステレオを実現した。基線長は95mmとした。



図5 実験環境



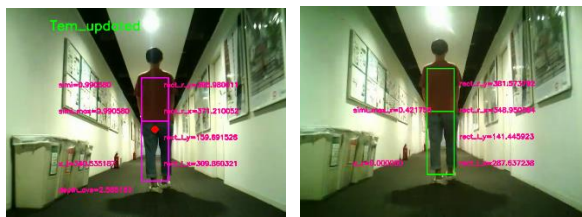
図6 実験で使用するカメラと移動ロボット



図7 平行ステレオ

4.2 実験結果

1つ目の追跡実験の結果を表1に、2つ目の追跡実験の結果を表2に示す。表1からわかるように、従来の手法では11フレームで移動ロボットによる追跡に失敗していた。これは全て2台のカメラのうちの片方が追跡に失敗してしまい距離計測が行えないことが原因であった。図8に追跡失敗の例を示す。左カメラでは問題なく追跡に成功しているが、右カメラでは照明の変化によって画像中の服の色の見え方が変わってしまい、追跡に失敗していることがわかる。ここでは追跡対象者の人物領域をピンク色、追跡対象者以外の人物領域を黄緑色で表す。つまり、右カメラでは追跡対象者以外の人物と判定してしまっている。これに対し、追跡復帰機能を備えた提案手法を用いることで、追跡に失敗していた11フレーム全てで追跡復帰に成功した。図9には、提案手法を用いて追跡の復帰に成功したフレームの例を示している。ここでは右カメラで一度追跡に失敗したが、左カメラで追跡に成功した人物領域画像をテンプレート画像としたことで、追跡復帰が成功した。また、追跡距離を長めにとった2つ目の実験の様子を図10に示す。従来の手法では左右のカメラ合計32フレームで追跡に失敗していた。追跡失敗のうち、3フレームがカメラ2台ともでの失敗であった。しかし、そのうち29フレームはいずれか1台のカメラで追跡が行われていたため、追跡復帰処理を行うことでそれら全てのフレームで追跡復帰に成功した。追跡復帰に成功したフレームの様子を図11に示す。よって、3フレームを除いた378フレームで移動ロボットによる追跡が成功し、追跡成功率99.2%という結果を得た。ここでの追跡成功率とは、左右のカメラのうち追跡成功数の少ない方を全フレーム数で割ったものを表す。本追跡システムを用いることにより、2台のカメラ両方で追跡対象者を見失った場合以外では追跡を復帰させること成功した。図12に2台のカメラ両方で追跡対象者を見失ったフレームの左右のカメラ画像を示す。このフレームで追跡に失敗してしまったのは、追跡対象人物の真上に照明がきたため、人物領域画像の色ヒストグラムが大きく変化してしまったことが原因であると考えられる。



(a)左カメラ（追跡成功） (b)右カメラ（追跡失敗）
図 8 従来手法での追跡に失敗したフレーム



(a)左カメラ（追跡成功） (b)右カメラ（追跡復帰）
図 9 新手法での追跡復帰に成功したフレーム

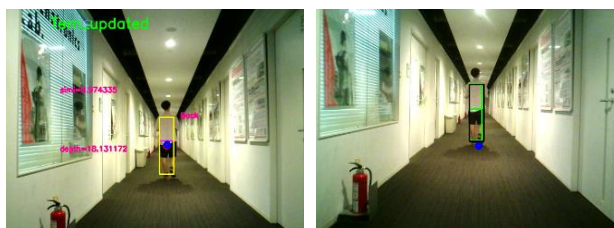
表 1 対象者追跡成功率

	従来手法	提案手法
対象者が存在したフレーム数	164	164
追跡失敗数	11	0
追跡成功率[%]	93.3	100

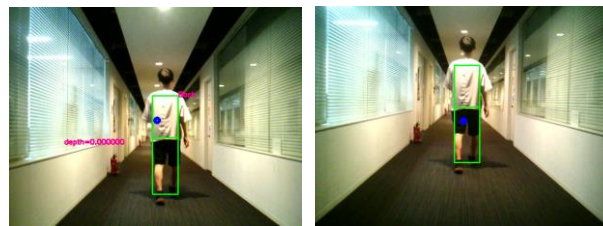


(a)左カメラ (b)右カメラ

図 10 追跡の様子



(a)左カメラ（追跡成功） (b)右カメラ（追跡復帰）
図 11 新手法での追跡復帰に成功したフレーム



(a)左カメラ (b)右カメラ
図 12 追跡に失敗したフレーム

表 2 長距離での追跡結果

	左カメラ	右カメラ
対象者が存在したフレーム数	381	381
追跡失敗数	18	17
追跡復帰数	15	14
追跡成功数（追跡復帰数も含む）	378	378
追跡成功率[%]	99.2	

5. 結論と今後の展望

本論文では、2 台の単眼カメラの処理結果を融合した移動ロボットによる特定人物の 3 次元追跡に、エビポーラ拘束により探索範囲を限定したテンプレートマッチングによる追跡復帰機能を搭載した新たな人物追跡システムを提案した。この機能により、2 台のカメラのうちどちらかのカメラで追跡に成功していれば移動ロボットによる 3 次元人物追跡が実現できることを実験で示し、2 台のカメラを用いることによる新たな利点を生み出すことができた。しかし、カメラ 2 台ともで追跡に失敗した場合、追跡の復帰は不可能である。今後は、2 台ともで追跡に失敗した時の対処法としてカルマンフィルタによる位置予測を手法に取り入れることを考えている。また、曲がり角など今の手法では追跡が困難な場所での追跡の実現を目指す。

参考文献

- [1] Yuzuka Isobe, Gakuto Masuyama, Kazunori Umeda : "Occlusion handling for a target-tracking robot with a stereo camera", Robomech Journal, Vol.5, No.4, pp.1-13, 2018.
- [2] Kenji Koide, Jun Miura : "Identification of a specific person using color, height, and gait features for a person following robot", Robotics and Autonomous Systems, 84: 76-87, 2016.
- [3] 本多 明彦, 梅田 和昇 : “二台のカメラのトラッキングの融合による移動ロボットの 3 次元

人物追跡”,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 1A1-M09, 2018.

- [4] Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaser Sheikh : "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields", Proc.of 2017 IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 7291-7299, 2017.
- [5] 松原慎也, 池勇勲, 梅田和昇 : “二台のカメラを用いた OpenPose の骨格抽出による移動ロボットの 3 次元人物追跡”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2020, 一般社団法人 日本機械学会, 1P2-I04, 2020.