

差分ステレオと進行方向を考慮した パーティクルフィルタによる人物追跡

○川下 雄大 (中央大学), 柴田 雅聡 (中央大学),
増山 岳人 (中央大学), 梅田 和昇 (中央大学)

Multiple Human Tracking Using Particle Filter and Subtraction Stereo Considering Directions of Human

○Takehiro KAWASHITA (Chuo University), Masatoshi SHIBATA (Chuo University),
Gakuto MASUYAMA (Chuo University), and Kazunori UMEMA (Chuo University)

Abstract: In this paper, a tracking system based on Particle Filter is presented. Three values are introduced for evaluation: distance, color, and directions of human. When a target is detected, robust tracking of the target is realized using above three values. The proposed method is evaluated through experiments supposing surveillance camera.

1. 緒言

近年、監視カメラによる不審者検出や人流計測のために、カメラ画像から人物をリアルタイムで自動的に検出・追跡するシステムの開発が期待されている^(1~3)。我々は、先行研究において、計測対象を移動物体に制限する差分ステレオ⁽⁴⁾と呼ばれる三次元計測手法とパーティクルフィルタを用いた人物追跡手法を提案している⁽⁵⁾。本稿ではこれを拡張し、歩行中の人物の進行方向がフレーム間で大きく変化しないことに注目し、人物の進行方向を追跡対象判別時の評価値として用いることでオクルージョンに頑健な人物追跡手法を提案する。システムの概要を Fig.1 に示す。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2 節で、提案手法での人物検出の基盤となっている差分ステレオと影検出について述べる。3 節では、3 次元距離情報と色情報に加え人物の進行方向を用いたパーティクルフィルタによる人物追跡手法について述べる。4 節では、提案手法を用いて行った人物追跡実験について述べる。最後に 5 節では、結論と今後の展望について述べる。

2. 人物検出

2.1 差分ステレオ

提案手法では画像中の人物を検出する手法として、差分ステレオを用いる。差分ステレオでは左右カメラそれぞれで背景差分によって前景領域を抽出し、その後抽出された前景領域のみを用いてマッチングを行い、距離情報を得る。このように、マッチングする領

域を前景領域に限定することで、マッチングの誤対応と処理時間を削減することができる。差分ステレオによって検出された前景領域を Fig. 2(b)に青色で示す。

2.2 影検出

差分ステレオによって抽出された前景領域には、オブジェクトの影となる領域も含まれてしまう。そのため、人物を正確に検出するためには、影となる領域を除去する必要がある。画像座標 (x, y) における輝度値を $I_{(x,y)}$ とし、背景画像における同位置の輝度値を $I'_{(x,y)}$ とすると、影を判定する評価関数は次式で表わされる。

$$\theta_{(t+1,x,y)} = \begin{cases} \alpha\Psi_{(x,y)} + \beta\Lambda_{(x,y)} \\ \quad + (1 - \alpha - \beta)\theta_{(t,x,y)}, & \text{if } \frac{I_{(x,y)}}{\eta} < I'_{(x,y)} \\ \infty, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $\theta_{(t+1,x,y)}$ は影と判断するためのスコアを表し、 $\theta_{(t+1,x,y)}$ が閾値以下となる画素を影と判断して前景領

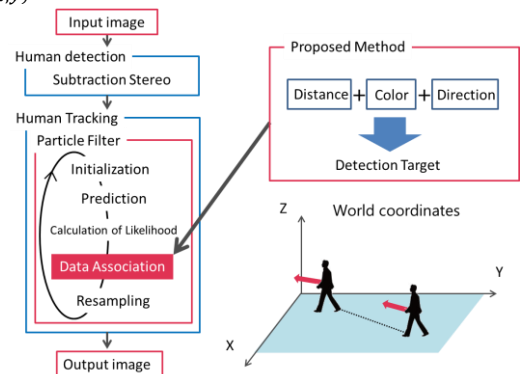


Fig.1 Flow of proposed method

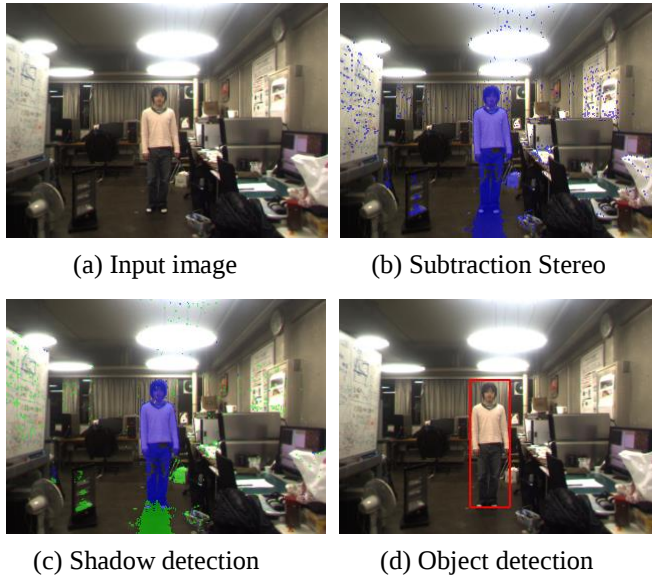


Fig. 2 Flow of the object detection

域から除去する． Ψ は前景の注目画素の近傍画素値と背景の近傍画素値の相違度を表し， A は前景の色相と背景の色相の相違度を表す．また， α ， β ， η はそれぞれの項に対して重みを与える定数である．影検出手法の詳細は文献⁽⁶⁾を参照されたい．影検出を行った結果を Fig.2(c)に示す．図中の緑色の領域が影として検出されている．検出された影領域を前景領域から除去し，最終的に検出された人物領域を Fig.2 (d)に示す．同図の矩形の中心座標を人物の重心とする．

3. 人物追跡

3.1 パーティクルフィルタ

提案手法では，2 節で述べた差分ステレオにより検出された人物の重心に対してパーティクルフィルタを適用し，追跡を行う．主な処理は，予測，尤度計算，対応付け，リサンプリングの 4 つである．提案手法では，人物の進行方向を利用することで位置情報と色情報のみでは対応付けしきれない状況においても対応付けを可能にする．各処理内容の詳細を 3.2 節にて述べる．

3.2 処理内容

i. 初期化 | Initialization

人物検出時に，人物重心周辺にパーティクルをランダムに散布する．

ii. 予測 | Prediction

等速直線運動を仮定し，前フレームの位置情報から対象の位置を予測する．その際，前フレームで対応付けが成功したパーティクルと失敗したパーティクルでは，異なる予測処理を行う．

・対応付け成功時

追跡対象のランダムな動きにも対応するために予測値に乱数を加える．

・対応付け失敗時

乱数によってパーティクルが誤った方向へ遷移することを防ぐため予測値に乱数は加えず，前フレームの移動量のみから予測を行う．

iii. 尤度計算 | Calculation of likelihood

人物の重心と各パーティクルのワールド座標系 X, Y 平面上(Fig. 1)のユークリッド距離より各パーティクルの尤度を求める．尤度 L は次式より定義する．

$$L = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

d は，人物の重心と各パーティクルのユークリッド距離， σ は，標準偏差を表している．

iv. 対応付け | Data association

各フレームでパーティクルの追跡対象を探索し，人物とパーティクルの対応付けを行う．対応付けは，パーティクルの保持している位置情報・色情報・進行方向と各フレームで人物から得られる上記 3 項目をそれぞれ比較することで行う．詳細は，3.2.1 節にて後述する．

v. リサンプリング | Resampling

各パーティクルの尤度に従い，追跡に有効なパーティクルの選択を行う．これにより，人物の重心周辺にパーティクルが残り，安定した追跡が可能となる．

3.2.1 対応付け方法

各フレームで取得した位置情報・色情報・進行方向の 3 つの評価値と過去の情報とを比較し，追跡中の対象を探索する．以後，対応付けに用いる位置情報・色情報・進行方向の評価値について述べる．

・位置情報による評価

距離による対応付けの評価値 D_d は，式(2)で算出した尤度によって重み付けられたパーティクル群の重心位置と各人物の重心の距離 D_y を比較することで算出する．

・色情報による評価

色情報による評価値について述べる．提案手法では，HSV 色空間のうち，Hue(色相)と Saturation(彩度)を用いる．色情報は，差分ステレオによって抽出された人物領域から取得する．色情報による対応付けの評価値は，各フレームで得られた色ヒストグラムとパーティクルが保持している前フレームで対応づいた人物の色ヒストグラムの類似度を計算することで取得する．類似度の計算は Bhattacharyya 距離により行う．Bhattacharyya 距離 D_c は，次式で求める．

$$D_c = \sqrt{1 - \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u q_u}} \quad (3)$$

ここで， p, q は，比較する正規化された色ヒストグラム， u は色相番号， m は色相の成分数を表す．

・進行方向による評価

対象の進行方向による評価方法について述べる．進行方向による評価は，以下の2つの値の差を計算することで行う．

1. パーティクルの保持している移動履歴から算出した進行方向
2. 各フレームの各人物の進行方向

まず，進行方向の求め方を述べる．1の進行方向を求める場合は，パーティクルの保持している対応付いた人物の過去の位置情報を用いることで算出する．

2の進行方向を求める場合，対応付けを行う前では，各フレームでの人物の過去の位置情報は不明なため単純には算出できない．そこで，各フレームの人物の位置と一定距離内にあるパーティクル群の重心位置から進行方向を算出する．Fig. 3に進行方向算出の例を示す．Fig. 3では，橙色の人物に関連した進行方向のみを示している．緑の矢印は，橙色の人物を追跡中のパーティクルから算出した進行方向(1の進行方向)である．赤い点線矢印は，橙色の人物と赤線の位置情報を保持しているパーティクルが対応付いていたと仮定し算出した進行方向である(2の進行方向)．青い点線矢印は，橙色の人物と青線の位置情報を保持しているパーティクルが対応付いていたと仮定し算出した進行方向である(2の進行方向)．また，右図は左図の俯瞰図であり，矢印等は左図と対応している．

次に，進行方向に加え人の動く速度によって算出した進行方向の”信頼度”を考慮する．ここで，信頼度とは進行方向を用いる上で算出された進行方向が有用であるかを評価するものである．例えば，人がほぼ止まっている時などは，どちらの方向に動くか予想は難しく，信頼度は低いと考えられる．逆に人の動く速度が大きい時は，大きく進行方向を変えることは少ないと考えられるため，信頼度は高いと想定できる．そのため，速度が一定値以上の場合のみ，進行方向を評価値の算出に用いる．速度を考慮した進行方向による評価値 D_a を次式で求める．

$$D_a = \begin{cases} 1.5^\alpha - 1 & \text{if } \alpha > \theta_{\max} \\ 1.5, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

α はパーティクルの保持している位置情報から算出した進行方向(1の進行方向)と各人物の進行方向(2の進行方向)の角度差， $\theta_{\max}$ は閾値を表している．

以上の位置情報・色情報・進行方向の評価値 D_d, D_c, D_a を足しあわせ，最小の値を持つ人物を追跡中の人物とし，対応付けを行う．対応付け終了後，パーティクルの保持している色情報，位置情報を更新する．

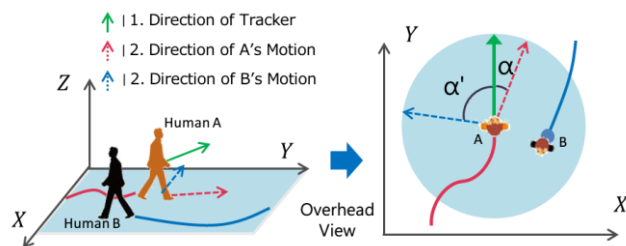


Fig. 3 Calculation of angular difference

Table 1 Camera installation conditions

	Height	Angle	Time
Scene 1	6.4m	60°	2min15s
Scene 2	2.4m	30°	2min30s

4. 評価実験

提案手法の有用性を検証するために，進行方向・距離・色情報の3つの評価値を用いた場合と距離・色情報のみを用いた場合での人物追跡精度を比較した．追跡には，各人物毎500個ずつパーティクルを用いた．実環境での運用を想定し，中庭とホールにカメラを設置し，実験を行った．カメラ設置環境をTable 1に示す．

ステレオカメラはBumblebee2 (Point Grey Research, VGA) を使用し，30 fps で保存した動画に対して処理を行った．使用したPCのCPUはIntel Core2 Extreme (2.93 GHz)，メモリは3 GB RAM である．

それぞれのシーンでの実験の様子をFig. 5(a), (b)に示す．図中の色の付いた矩形は，差分ステレオにより検出された人物領域を表し，視認性向上のため人物毎に振られているIDに応じて矩形の色分けを行っている．図中にある番号は，人物ごとに割り振られたIDである．また，色のついた丸は，追跡を行っているパーティクル群の重心位置を表し，色付けについては，矩形と同様である．白丸は，まだIDが振られていないパーティクルを表している．

実験結果をTable 2に示す．人物追跡精度の評価は，人物が検出されIDが与えられてから，画面外に出るまでIDが変化しない場合，人物追跡成功とすることで行った．実験結果より，人物の進行方向を考慮することで，人物追跡精度が向上することがわかった．また，9～11fpsで処理が可能のため，オンラインでの処理も可能である．Scene 1では，人物同士の服の色が似ていることから色情報の評価値が対応付けに有用でない場合があった．しかし，提案手法では進行方向を用いることで対応でき，正確な対応付けが可能となった．Scene 2においては，カメラ右奥の位置では，人物がすれ違う際にIDの入れ替わりが起こることがあったが，進行方向を用いることでIDの入れ替わりなく追跡が可能とな

Table 2 Experimental Results

	Sum of detection	Tracking Accuracy (Previous)	Tracking Accuracy (Proposed)
Scene 1	35 people	88.0 %	93.9%
Scene 2	40 people	87.5 %	90.0 %

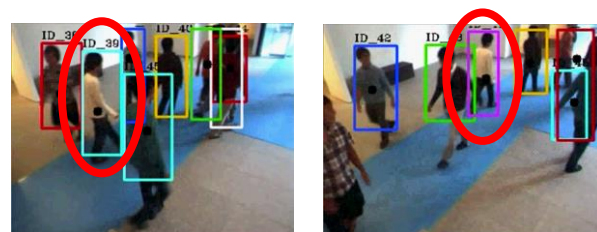


Fig. 4 Failures of human tracking

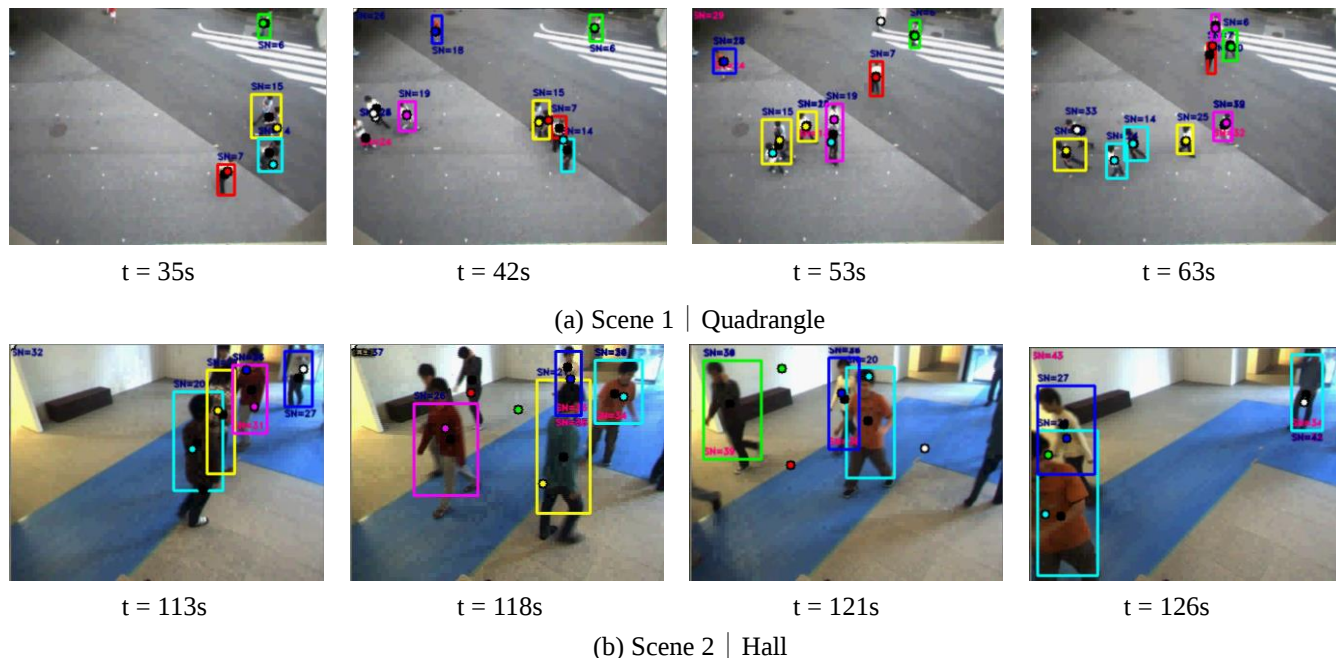


Fig. 5 Snapshots of experiment

った。一方で、人物追跡が失敗してしまうシーンも見受けられた。特に、Scene 2 のように、カメラと人物の距離が近い場合には、オクルージョンの影響が大きく人物が検出できない期間が長くなる。そのため、その間の予測値と追跡対象の位置が大きくずれてしまい、進行方向を考慮しても対応付け出来なくなるケースが生じる。追跡が失敗したシーン例を Fig.4 に示す。図の見方は、Fig.5 と同様である。

参考文献

- [1] 片岡裕雄 他: 歩行者予防安全のための CoHOG 特徴量改善による検出と Particle Filter による追跡, 電気学会論文誌, Vol.132, No.7, pp. 1108-1115, 2012.
- [2] 西濃拓郎 他: 複数尤度を用いた 3 次元パーティクルフィルタによる選手の追跡, 画像の認識・理解シンポジウム, MIRU2010, IS1-39, pp.307-312, 2010.
- [3] 倉爪亮 他: SIR/MCMC パーティクルフィルタを用いた分散カメラとレーザによる複数移動体の同時追跡, 日本ロボット学会誌, Vol.28, pp.65-76, 2010.
- [4] K. Umeda, *et al.*: Subtraction Stereo -A Stereo Camera System That Focuses On Moving Regions, In Proc. of PIE-IS&T/Electronic Imaging, Vol.7239, Three-Dimensional Imaging Metrology, 723908, 2009.
- [5] 川下雄大 他: 差分ステレオとパーティクルフィルタによる人物追跡, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 筑波, 2013 年 5 月.
- [6] A. Moro, *et al.*: Auto-adaptive threshold and shadow detection approaches for pedestrians detection, In Proc AWSVCI, pp. 9-12, 2009.

5. 結言

本論文では、差分ステレオにより得られた 3 次元距離情報と人の色情報に加え進行方向を利用したパーティクルフィルタによる複数人物追跡手法を提案した。また、提案手法の有用性を実証するため、監視カメラの運用を想定した 2 シーンの実環境で実験を行った。結果より、人物の進行方向を考慮することで人物追跡精度が向上し、提案手法がすれ違い等で生じるオクルージョンに対して有効であることを示した。

今後は、オクルージョンに対してさらに頑健な追跡手法を構築していく。また、他の実験環境でも提案手法が有効か検証を行う。