

撮影領域に重なりがないカメラ間における人物軌跡の 対応付けに関する検討

赤塚 久哉[†] 高橋 友和[†] 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]

[†]名古屋大学大学院情報科学研究科
〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

E-mail: [†] { akatsuka, ttakahashi, ide, murase }@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 本稿では、低コストな広域人流解析システムを目的とした、撮影領域に重なりのないカメラにより撮影された映像から人物の特徴を抽出し、カメラ間で人物軌跡を対応付ける手法を提案する。撮影領域内の追跡ではパーティクルフィルタを用いる。対応付けに必要な個々の人物特徴は、追跡によって得られた複数フレームの領域から抽出することでロバストな特徴を抽出する。次に抽出された特徴を組み合わせ、撮影領域に重なりをもたないカメラ間で高精度に人物軌跡を対応付ける。実験により、提案手法による領域内の人物の追跡成功率は81%、人物領域追跡成功時における領域内の人物軌跡の対応付け成功率は85%となることを示し、不連続な撮影領域間の人物軌跡の対応付けに関する有効性を示す。

キーワード パーティクルフィルタ, 人物軌跡, 広域人流解析

Matching of Human Trajectories between Non-Overlapping Cameras

Hisaya AKATSUKA[†], Tomokazu TAKAHASHI[†], Ichiro IDE[†], and Hiroshi MURASE[†]

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8603 Japan

E-mail: [†] { akatsuka, ttakahashi, ide, murase }@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a method for corresponding human trajectories taken from multiple non-overlapping cameras by extracting human features, for wide-area human flow analysis system. Features of pedestrians are extracted robustly from trajectories tracked by Particle Filter. By combining the extracted features, human trajectories are high accuracy between non-overlapping cameras. As a result of experiment human regions are correctly tracked within a frame by the rate of 81% and human trajectories are correctly corresponded across frames by the rate of 85% when human region tracking is successful. The result indicated the effectiveness of the proposed method for tracking human and corresponding human trajectories between non-overlapping cameras.

Keyword Particle Filter, Human Trajectory, Wide Area Human Flow Analysis

1. はじめに

セキュリティシステムや、交通流解析、マーケティング、スポーツシーンの解析などを目的とし、カメラを用いた人物・車両などの移動物体の検出・追跡に関する研究が多く報告されている。藤本ら[1]は、店舗内に全方位カメラを設置することで顧客行動の解析システムを提案している。小林ら[2]は、2地点で収集された車長・車高データから同一車両を対応付け、旅行時間を算出している。内海ら[3]は、サッカー映像において隠れがある選手領域も検出・追跡する手法を提案している。

我々は、図1に示すような、大学のキャンパス、大規模なイベント会場や商店街などでの使用を目的とし

た、低コストな広域人流解析システムの実現を目指している。これが実現できれば、屋外においてより広域な交通流解析やマーケティングが可能になる。そのためには、できるだけ少数のカメラを広範囲に離散的に配置する必要があり、各カメラは広角な撮影領域を持つ。

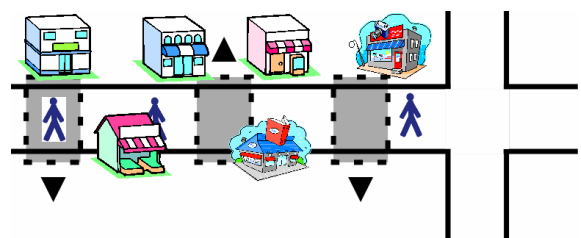


図1. 広域人流解析システム

つことが望ましい。このようにして配置された複数のカメラは、設置場所やコストの制約により、撮影領域に重なりを持たない場合が想定されるため、各撮影領域間における人物軌跡の対応付けが必要となる。また、広角なカメラで撮影された低解像度な画像から移動物体の特徴の抽出は困難となる。上村ら[4]は、色ヒストグラムと色コリログラムを特徴量とし、異なるカメラで撮影された映像間で同一人物を照合する手法を提案している。しかし、映像中に人物の占める割合が比較的大きく、得られる特徴量が多くなると考えられる。実環境下では、より広範囲を撮影するために映像中に人物の占める割合が小さくなり、得られる特徴が限定され、さらにそれぞれの特徴から得られる情報が少なくなる。そこで本稿では、システム構築のための基礎的検討として、実環境下の低解像度での不連続な撮影領域間における人物軌跡の対応付けに関して以下の2つを検討する。

- ・ 各撮影領域におけるパーティクルフィルタ[5]を用いたロバストな人物領域の追跡による安定した人物軌跡特徴の抽出。
- ・ 複数の特徴を組み合わせることで異なる撮影領域間で高精度な人物軌跡の対応付け。

以下2節にて、パーティクルフィルタを用いた人物軌跡特徴の抽出手法と人物軌跡の対応付け手法について述べる。続く3節で実際に行った実験の方法と条件を記す。そして4節では、実験結果の考察を行い、5節でまとめる。

2. 不連続な撮影領域間の人物軌跡対応付け手法

2.1. 手法の概略

本手法は、各撮影領域で人物軌跡の特徴を抽出する段階と、得られた特徴を用いて撮影領域間で人物軌跡を対応付ける段階からなる。処理手順を図2に示す。

・ 撮影領域内の人物軌跡抽出段階

各撮影領域においてパーティクルフィルタを用いた人物領域の追跡を行い、各人物領域特徴を複数フレームから抽出することで、安定した人物軌跡を特徴抽出する。抽出する特徴を以下に示す。

- ・ 人物軌跡の面積 (pixel)
- ・ 速度 (pixel/frame)
- ・ 色ヒストグラム

・ 撮影領域間の人物軌跡対応付け段階

複数の異なる特徴を組み合わせることで撮影領域に重なりをもたない複数の撮影領域間で高精度に人物軌跡を対応付ける。

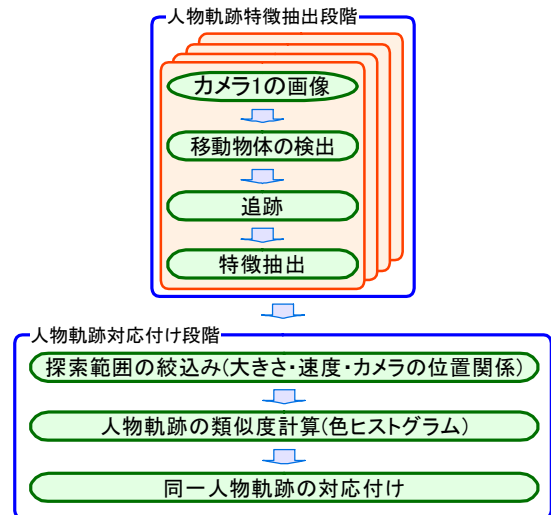


図2. 提案手法の流れ



図3. 複数の人物が一緒に移動している場合の例

広角なカメラで撮影された低解像度な画像から互いに隣接した複数の人物が移動している場合、個々の人物領域の切り分けが困難となり、本稿では、このような集団(一人の場合を含む)の軌跡を1つの人物軌跡として扱う(図3)。また、撮影領域に重なりを持たない複数のカメラでは、カメラ間での座標系の共有ができない。そのため、各撮影領域に出現した人物の特徴を抽出し、それを用いて他の撮影領域に出現した人物が同一人物かどうかを判定する必要がある。さらに、低解像度な画像では、人物領域のサイズが小さく、樹木や人物同士の交差などによる隠れの影響が高解像度画像に比べ大きく、特徴が安定して得られない問題がある。そこで本稿では、このような状況下で優れた追跡特性を持つパーティクルフィルタを用いて人物領域の追跡を行い、特徴をフレームごとに抽出し、それらを軌跡の最初から最後まで平均することで安定した特徴を得る。

2.2. 人物軌跡特徴の抽出

本節では、各カメラにおいて撮影された人物軌跡特徴の抽出手法を示す。

2.2.1. 抽出手順

Step 1. パーティクルフィルタを用いて移動物体領域ごとに追跡する。

Step 2. 追跡の結果得られた各移動物体領域に対して、各フレームでの速度、大きさ、色ヒストグラムを抽出し、それらを軌跡の最初から最後まで平均することで移動物体特徴を算出する。

Step 3. 検出された移動物体軌跡の速度と大きさを用いて、車両など人物以外の軌跡を除外する。

2.2.2. パーティクルフィルタ

パーティクルフィルタは、ある状態から次の状態への遷移を推定する際、次の状態を表すパーティクルをランダムに複数置き、観測される状態から確率的に次の状態を決定する手法である[5]。状態の遷移は、過去の状態遷移の履歴には影響されないという、マルコフ連鎖の考えに基づいて行われる。ある時刻 t における状態 \mathbf{x}_t 、そこに至る履歴を χ_t とおくと、確率分布は式(1)で表すことができる。

$$p(\mathbf{x}_t | \chi_t) = p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1}) \quad (1)$$

本手法において、状態は撮影された画像上の位置 $\{x, y\}$ を意味し、時刻 t における、あるパーティクルの状態は式(2)で表すことができる。

$$\mathbf{x}_t = \{x_t, y_t\} \quad (2)$$

パーティクルフィルタを用いた追跡処理は以下で述べる「観測」、「選択」、「予測」という3つの操作を繰り返すことによって行われる。

- ・ 観測

時刻 $t-1$ におけるパーティクルの重みを求める。生成した背景画像と現在の画像の差分をとり、パーティクル点における差分値尤度とし、それをもとに重みを決定する。

- ・ 選択

時刻 $t-1$ におけるパーティクルの重みに比例した確率でランダムに N 個パーティクルを選択する。

- ・ 予測

選択されたパーティクルの時刻 t での位置を予測する。本稿では、追跡対象としており、予測モデルとして、式(3)で与えられる等速運動モデルを用いる。

$$\mathbf{x}_t = \mathbf{x}_{t-1} + \mathbf{dx}_{t-1} + \mathbf{N}(\sigma) \quad (3)$$

ここで、 \mathbf{dx}_{t-1} 、 \mathbf{dy}_{t-1} は時刻 $t-1$ におけるパーティクルの速度、 $\mathbf{N}(\sigma)$ は平均 0、標準偏差 σ_x, σ_y のガウシア

ンノイズである。

2.2.3. 初期状態の決定

パーティクルフィルタを用いて追跡する場合、初期状態を決定する必要がある。そこで、移動物体領域を検出し、追跡開始位置を求める。動画像中から移動物体領域を検出する手法として、一般的に背景差分法が用いられる。背景差分法とは、背景画像と検出対象を含む画像との差分をとることで、対象領域を検出する手法である。本稿では、検出対象は屋外での人物追跡を想定している。そのため、撮影画像中において人物が新たに出現する位置は画像中の周辺領域に限られる。本稿では、カメラの撮影領域ごとに検出の対象領域を事前に設置し、その領域を通過する人物を検出ことによりパーティクルフィルタの初期状態を自動的に取得し(図4)、日照条件などにより背景が徐々に変化する可能性を考慮して、IIR フィルタを用いた背景差分法[6]により背景を更新する。



図4. 人物検出領域

2.2.4. 特徴抽出

低解像度な画像から特徴を抽出する場合、人物同士の交差などによる隠れが抽出結果に大きく影響を与える。そのため、本手法では、パーティクルフィルタによる追跡によって得られた各人物領域に対して、大きさ、速度、色ヒストグラムをフレームごとに抽出し、それらの特徴量を平均することで安定した特徴を得る。

一般に、車やバイクなどは人物に比べて高速に移動し、検出される領域も大きいという性質をもつ。それらの性質を用いて、車・バイクなどの人物軌跡以外の移動物体を除外することで、人物軌跡のみを抽出する。

2.3. 人物軌跡の対応付け

本節では、2台のカメラを対象とした、人物軌跡の対応付け手法を示す。

Step 1. 撮影範囲の位置関係と人物軌跡の速度から対応する人物軌跡の出現フレームを予測し、探索範囲

を決定する。

Step 2. 探索範囲内のフレームに出現する人物軌跡との色ヒストグラム類似度を計算し、類似度がある閾値以上かつ類似度が最も高い人物軌跡を同一のものとして対応付ける。

人物軌跡を観測するカメラが撮影領域に重なりを持たない場合には、図 5 におけるパターン 1, 4 のように撮影領域外の交差点などの分岐点において欠落する人物や、新たに出現する人物が存在する場合があるため、異なる撮影領域の人物軌跡間に必ず対応が存在するとは限らない。よって、2 台のカメラ間における人物軌跡のパターンを以下のように分類する(図 5)。

- Pattern 1.** 撮影領域 1 から 2 へ移動する人物軌跡
- Pattern 2.** 撮影領域 2 から 1 へ移動する人物軌跡
- Pattern 3.** 撮影領域 1 のみを通る人物軌跡
- Pattern 4.** 撮影領域 2 のみを通る人物軌跡

まず、撮影範囲の位置関係により撮影領域間の不連続領域を移動するのに要する時間を予想し、移動後の領域における探索フレームを限定する。また、速度特徴を用いて、速度の向きが大きく異なる人物軌跡を探索候補から除外する。その後、対応付けたい 2 つの人物軌跡の色ヒストグラムの類似度を計算し、最も類似度が高い人物軌跡を同一のものとして対応付ける。また、対応付けの際に類似度に関する閾値を設定し、閾値を下回った場合はパターン 3, または 4 と分類する。

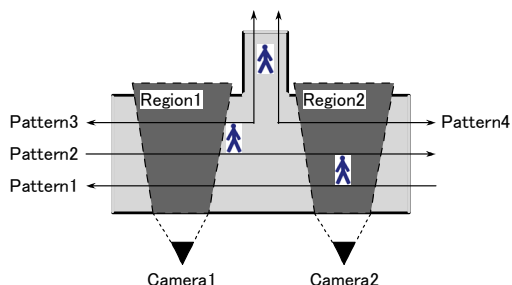


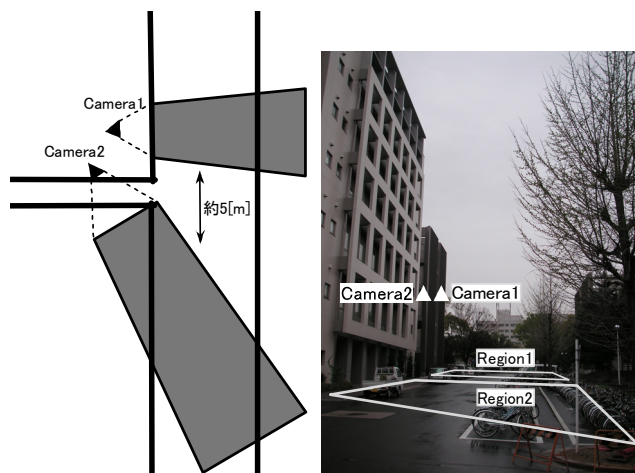
図 5. 人物軌跡のパターン

す。実験は以下の条件で行い、人物の追跡及び、人物軌跡の対応付け精度を調べた。

- ・ 撮影映像 : 同時刻に撮影された 10 分の映像セット 6 つ(すべて異なる日)
- ・ 撮影時間 : A.M. 10:00 ~ P.M. 5:00
- ・ 天候 : 曇天 5 セット, 降雪 1 セット
- ・ カメラ : CCD-V17 (SANWA 製)
- ・ 映像のフレームレート : 10frames/sec
- ・ フレーム画像のサイズ : 320×240 pixels
- ・ パーティクル数 : 500
- ・ 予測モデル(式 3)で用いる標準偏差 : 10 pixels
- ・ 色ヒストグラムのビン数 : 64 (RGB 各 4 段階)
- ・ 色類似度算出手法 : Bhattacharyya 係数 (式 4)

$$\rho = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u q_u} \quad (4)$$

ここで、Bhattacharyya 係数は分布間の類似度を表す指標として用い、 p と q は正規化された色ヒストグラムを、 m はヒストグラムのビン数を表す。



(a) 上から見た概略図 (b) 撮影環境を地上から撮影
図 6. 撮影環境

3. 実験

3.1. 実験条件

実環境下で撮影された映像に対して本手法を適用し、実験を行った。図 6 (a)に実験で用いた撮影環境を上から見た概略図を示す。図が示すように、カメラ 1 とカメラ 2 の間には小道が存在し、撮影領域間で人物が欠落または、新たに出現する可能性がある(Pattern 3, 4)。また、撮影領域間には平均約 5[m]の重なりのない領域が存在する。図 6 (b)は撮影環境を地上から撮影したものであり、画像中央付近の 2 つの三角形はそれぞれカメラの設置場所を、画像下部における囲まれた領域は、それぞれカメラ 1, カメラ 2 の撮影領域を示



(a) 背景と類似した色の人物 (b)面積の小さな人物
図 7. 領域内追跡失敗例



(a) 撮影領域 1 の人物軌跡



(b) 撮影領域 2 の人物軌跡

図 8. 領域間対応付け成功例



(a) 撮影領域 1 の人物軌跡



(b) 撮影領域 2 の人物軌跡

図 9. 領域間対応付けの失敗例

3.2. 領域内での人物軌跡特徴抽出結果

カメラ 1 にて撮影された映像中には 87 本、カメラ 2 にて撮影された映像中には 94 本の人物軌跡が存在した。評価は、各領域内で 15 フレーム以上追跡ができた

なら成功とした。追跡結果を表 1 に示す。全体の追跡成功率は 81%であった。

追跡失敗の原因として、背景からの分離が難しい色特徴をもつ人物軌跡が存在し、パーティクルフィルタ

による追跡に用いる尤度が低下したことがあげられる。(図 7 (a)) また、カメラ 2 での追跡成功率がカメラ 1 より低い理由として、カメラ 1 に比べカメラ 2 はより遠方の領域も撮影しているため、遠方の小さな人物軌跡の検出が困難であったため(図 7 (b))、または人物同士の交差時に他の人物軌跡を誤って追跡したことがあげられる。今後、観測段階で用いる尤度を算出する際、背景差分値だけでなく、色ヒストグラムなど他の特徴を組み合わせるなどの工夫が必要と考えられる。

表 1. 追跡結果

	軌跡数	成功数
カメラ 1 における追跡	87	73 (84%)
カメラ 2 における追跡	94	73 (77%)
合計	181	146 (81%)

3.3. 領域間の人物軌跡対応付け結果

表 2 に追跡成功時における人物軌跡のパターン別対応付け結果を示す。評価は目視にて行った。表中のカメラ 1 から 2 へ、カメラ 1 から 2 へ移動した軌跡数は、カメラ 1 とカメラ 2 の両方にて撮影された映像中において追跡が成功した軌跡数である。カメラ 1 またはカメラ 2 のどちらかのみで撮影されたパターンでは、それぞれのカメラにて撮影された領域中において追跡が成功した軌跡数であり、対応付けが行われなかった場合を対応付け成功とし、他の軌跡と対応付けが行われた場合を対応付け失敗とした。対応付け成功率は 85% と良好な結果を示した。対応付け成功例を図 8 に示す。図 8 (a) はカメラ 1 で撮影された人物軌跡を、図 8 (b) ではカメラ 2 で撮影された人物軌跡を示す。

複数の特徴を安定に抽出し、それらを組み合わせることによって人物軌跡を精度良く対応付けできたと考えられる。また、対応付け失敗の原因として、図 9 に示すような類似した色特徴をもつ人物軌跡が複数存在したことがあげられる。図 9 も図 8 と同様に(a)ではカメラ 1 の(b)ではカメラ 2 で撮影された人物軌跡を示し、(a)と(b)に現れた人物軌跡が異なることを目視で確認した。

表 2. 領域内追跡成功時の対応付け結果

	パターン	軌跡数	成功数
1	撮影領域 1 から 2 へ移動	28	24 (86%)
2	撮影領域 2 から 1 へ移動	17	15 (88%)
3	撮影領域 1 内の移動	9	6 (67%)
4	撮影領域 2 内の移動	15	14 (94%)

4. おわりに

本稿では、不連続な撮影領域間での人物軌跡の対応付け手法について検討した。パーティクルフィルタを用いたロバストな人物領域の追跡により安定した人物軌跡特徴の抽出を行い、複数の特徴を組み合わせ用

いることによって異なる撮影領域間での高精度な人物軌跡の対応付けが可能であることを示した。

人物軌跡の特徴を抽出段階において、本稿では背景差分値の情報のみを用いていたが、今後は色ヒストグラムなど他の特徴を組み合わせることで、よりロバストな追跡を目指す。人物軌跡の対応付け段階においては、HSV など異なる色空間の検討、位置などの特徴をさらに組み合わせることで人物軌跡対応付けの精度向上を目指す。

謝辞

日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室 諸氏に感謝する。本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金、21 世紀 COE プログラム「社会情報基盤のための音声・映像の知的統合」による。本研究では、画像処理に MIST ライブラリを使用した。(http://mist.s.m.is.nagoya-u.ac.jp/)

文 献

- [1] 藤本喜人, 小原ゆう, 柴田史久, 馬場口登, 八木康史, “店舗内に設置した全方位視覚センサによる顧客の行動解析”, 情処学研報 CVIM2004-142, Jan. 2004.
- [2] 小林弘忠, 石関隆幸, 遠藤雅也, 今井浩, 西村茂樹, 下浦弘, 天目健二, “2 地点車両観測情報からの全域的な交通流解析システム”, 情処学研報 SIG-ITS2000, Mar. 2000.
- [3] 内海慎久, 浜田玲子, 井手一郎, 坂井修一, 田中英彦, “色頻度・局所エッジ成分を総合的に用いた物体検出手法とサッカー映像における選手検出への応用”, 信学技報 PRMU2001-241, Feb. 2002.
- [4] 上村和広, 池亀幸久, 下山功, 玉木徹, 山本正信, “ネットワーク上の複数カメラを用いた実時間照合システム”, 信学技報 PRMU2003-242, Feb. 2004.
- [5] Michael Isard and Andrew Blake, “CONDENSATION – Conditional Density Propagation for Visual Tracking”, International Journal of Computer Vision, 29, 1, pp.5-28, Aug. 1998.
- [6] Liyuan Li, Wimin Huang, Irene Y.H. Gu and Qi Tian, “Foreground Object Detection from Videos Containing Complex Background”, Proc. ACM Multimedia 2003, pp.2-10, Nov. 2003