

## 分散カメラ環境におけるパーティクルフィルタの拡張 Enhancement of Particle Filter for Distributed Camera Nodes

味八木 崇† 山崎 俊彦† 相澤 清晴†  
Takashi Miyaki Toshihiko Yamasaki Kiyoharu Aizawa

### 1. まえがき

本稿では複数の幾何校正済みカメラノード群から成る分散カメラ環境において、安定したオブジェクトトラッキングを実現するためのパーティクルフィルタの拡張手法について報告する。非線形・非ガウス型時系列データの推定手法として二次元動画像でのトラッキングで利用されるパーティクルフィルタについて、状態空間モデルの準三次元への拡張と、予測サンプルをネットワークを介した複数カメラノード群で共有することによる追跡対象のカメラ間移動への対応を行った。このことから通信帯域の制限された分散カメラ環境における歩行者のカメラ間に渡る継続的な追跡の実現についての検討を行う。

### 2. パーティクルフィルタ

コンピュータビジョンやロボティクスの分野で物体追跡に利用され、Condensationとも呼ばれるパーティクルフィルタは、各時刻における状態ベクトルを逐次的に推定するための時系列フィルタリング手法の一つとして知られている[1]。

パーティクルフィルタの概略を次に示す。時刻 $t$ における状態ベクトルを状態空間 $S$ 中のベクトル $x_t$ とし、観測ベクトルを $y_t$ とする。また、観測ベクトル $y_t$ の履歴 $Y_t = \{x_1, \dots, x_t\}$ とする。一般に、状態の推定とは、状態ベクトル $x_t$ の確率密度関数 $p(x_t|Y_t)$ を推定する問題として定式化される。パーティクルフィルタでは状態空間中の離散的な仮説と、それに対応する重みを用いて、確率密度関数を多数の離散的な仮説から形成される仮説群として表現する。このことによって、非ガウス性の確率密度関数を近似することが可能となっている。同じく時系列フィルタとして知られるカルマンフィルタ等と異なり、確率密度関数にガウス分布を仮定しないことによって、背景の影響による追跡対象の誤検出や、対象の遮蔽への対処が可能となっている[3][4]。

その一方で、仮説群(パーティクル)の個数を制限した場合の性能低下が問題となるといわれている。パーティクルフィルタがその理論の基礎としている逐次モンテカルロ法は、マルコフ連鎖モンテカルロ法とは異なり、一定単位時間での仮説の数を無限大に近付けることで解が収束するものであり、計算コスト(仮説の数)と推定精度はトレードオフの関係にある。計算コストの低減の為に従来、仮説のリサンプリング時の対策が試みられてきている[2]。

本研究では固定カメラによる3次元空間での物体追跡において明らかである条件を設定し、拘束条件として課すことで、状態ベクトルの次元数を増加させずに複数のカメラ間でロバストな状態推定を行うことを試みる。

### 3. 提案手法

従来コンピュータビジョンの分野ではカメラで撮影され、2次元に縮退された一連の画像群に対してパーティクルフィルタを適用し対象の追跡を行うアプローチが採られてきた。本節では複数台のカメラを利用する分散カメラ環境で対象シーンの世界座標(準三次元空間)への簡易な変換を行い、この空間上でパーティクルフィルタの仮説群の生成を行うことで、複数カメラ間で追跡対象の移動を可能にする手法を提案する。

複数のカメラを利用して広域エリアの対象追跡を行う際には、図1に示すように幾何校正済みのそれぞれのカメラ上の画像座標系と世界座標系を変換することによって、カメラで捉えた対象物体の3次元位置を推定することが可能である。対象物体を円柱形のモデルで近似し、対象の三次元空間上での高さ(図中 $z=0$ を地面とした時の円柱の高さ)は変化しないと仮定すると、時刻 $t$ にカメラ上の画像座標系に投影される矩形領域の領域は図中上部右側の $z=\infty$ 方向から見た $xy$ 平面上での追跡対象の位置 $(x_t, y_t)$ から算出可能である。パーティクルフィルタ適用時の仮説群の生成をこの $xy$ 平面上で行うことによって状態ベクトルの次元を単純に保つことができ、計算コストを抑えることが可能になる。

従来のカメラ上の画像座標系で適用するパーティクルフィルタの場合、追跡対象の二次元座標値に加えて、カメラと対象との距離が変化することによる画像座標系上での物体の大きさの変化を扱う必要があった。しかし、一般に状態ベクトルの次元数を増加させると、指数関数的に計算コストが増加することが多く、仮説群のリサンプリング時の工夫が必要であった。

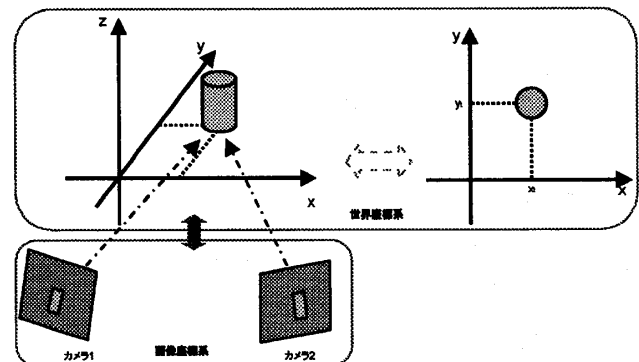


図1: 提案手法(世界座標系と画像座標系)

### 3.1. 前提条件

本手法の前提となる条件を次にまとめる

1. 複数カメラ間で幾何校正済みである各カメラと世界座標系との変換行列が既知である。
2. 追跡対象は地面に対して接地・直立しているこのことによって、カメラ座標系上の矩形領域の下端が地面に接地している(言い換えると図1中で $z=0$ である)ことが保証される。
3. 対象の3次元空間上での高さは変動しない追跡時間内に対象の高さが一定である、ということから画像座標系上での矩形領域の大きさの変化要因をカメラと被写体との距離のみから予測可能となり、状態ベクトルの次元数削減につながる。

### 3.2. 追跡手順

パーティクルフィルタで必要とされる初期状態について、本稿では手動で先頭フレームから領域を指定し対象モデルを生成した。この際上記の条件より、世界座標系での対象は円柱形で近似され、推定から得た高さはモデルに含まれ、不変とする。

モデル構築・仮説群の生成を図1上右に示すxy平面上で行うこと・仮説群のネットワークを介した転送以外の、パーティクルフィルタ処理手順については文献[4]と同等の手法を用いた。

### 3.3. 分散カメラ環境でのパーティクルフィルタ

著者らは東京大学柏キャンパス周辺区域に、人物追跡の試験環境となる屋外分散カメラ環境を構築している[5]。このシステムの特徴はネットワークインフラに無線LANを利用している点である。近年のHOTSPOTに代表されるように広域LANの代替手段として注目されているが、将来の屋外監視カメラシステムに利用されることが予想される。現在のシステム上で2ノード間のネットワーク転送速度の実測値は4.93 Mbit/sec程度であり、有線ネットワークの転送速度よりは劣るが、パーティクルフィルタの仮説群の転送には十分であった。

今後さらに、この分散カメラ環境での映像伝送も含めた対象追跡について検討を進める必要がある。

### 4. 実験環境

本稿では上記屋外分散カメラ環境で取得した20分程度のビデオシーケンスを対象として処理を行った。映像フォーマットにはMPEG4(MS-MPEG4v2)を用い、C++での処理に画像処理用のライブラリOpenCVとDirectShowを用いた。対向する2カメラ間で、捉えた追跡対象の仮説を共有することによって、追跡を継続する様子を図2に示す。

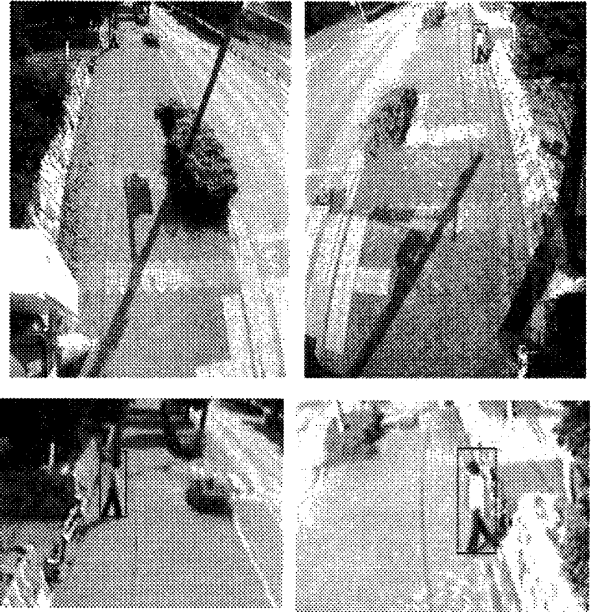


図2: 提案手法による追跡の様子(対向する2台のカメラからの入力映像。上: カメラ入力映像への予測矩形領域の重ね合わせ, 下: 拡大図)

### 5. むすび

本稿では、複数の固定カメラで撮影された映像からパーティクルフィルタによって対象を追跡する際に、三次元物体の制約を前提条件として取り入れることによって、

- ・ 画像座標上でのスケール変化
  - ・ 複数カメラ間での継続的な追跡
- の対応を可能にする手法について報告した。今後
- ・ 追跡対象の変形に対応できる柔軟なモデルの導入
  - ・ 複数対象の三次元的な遮蔽関係の理解
  - ・ 映像伝送も含めたネットワーク転送の効率化
- について検討を重ねる予定である。

### 参考文献

- [1] M. Isard and A. Blake, Condensation – conditional density propagation for visual tracking, *Int. J. Computer Vision*, vol.29, no.1, pp.5–28, 1998.
- [2] J. MacCormick and M. Isard, Partitioned sampling, articulated objects, and interface-quality hand tracking, *Proc. ECCV 2000*, pp.II-3–19, 2000.
- [3] H. L. Wang and L. F. Cheong, MRF augmented particle filter tracker. *Proc. CVPR 2005*. Vol. 2, pp. 1097–1103, 2005.
- [4] Z. Khan, T. Balch, and F. Dellaert. MCMC-based particle filtering for tracking a variable number of interacting targets. *IEEE Trans. PAMI*, Vol. 27, pp. 1805–1819, 2005.
- [5] 岩松, 味八木, 山崎, 相澤, “屋外分散型マルチカメラシステムによる人物追跡” 電子情報通信学会 画像工学研究会, IE2005-256, pp.17-22, Feb.20-21, 2006.