

パーティクルフィルタによる3次元人物部位の追跡

古川 裕次郎[†] 米元 聡[‡]

九州産業大学大学院情報科学研究科[†] 九州産業大学情報科学部[‡]

1. はじめに

近年、3次元空間上で人物を追跡する技術は、特にセキュリティの分野において人物の行動を詳細に把握する上で必要な技術として注目されている。中でもパーティクルフィルタを用いた状態推定法にもとづく追跡手法が有効であることが数多く報告されている。本論文では追跡の枠組としてパーティクルフィルタを用い、単一人物の複数部位を追跡する問題を扱う。本論文では、従来研究に多く用いられる複数カメラからの情報を統合する方法に加え、構造上の制約を考慮した複数部位の追跡手法について述べる。

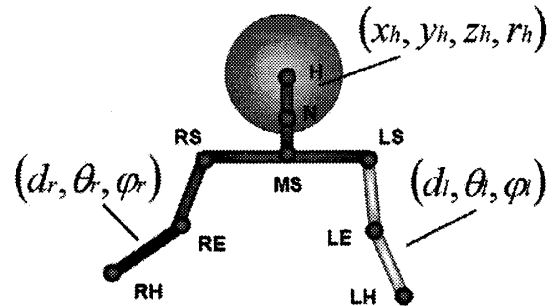


図1: 上半身モデルの定義

2. パーティクルフィルタによる状態推定

ある時刻 t において状態ベクトルを x_t 、観測値を y_t とし、さらに時刻 t までの観測値の集合を $Y_t = \{y_1, y_2, \dots, y_t\}$ とする。追跡問題は x_t の事後確率 $p(x_t | Y_t)$ を推定する問題として定式化できる。しかし、観測値 Y_t を直接推定できないため、ベイズの定理より推定できる以下の形に置き換える。

$$p(x_t | Y_t) = \frac{p(y_t | x_t) p(x_t | Y_{t-1})}{p(y_t | Y_{t-1})} \quad (1)$$

また時刻 t における x_t の事前確率 $p(x_t | Y_{t-1})$ は、マルコフ性により次式のように変換できる。

$$p(x_t | Y_{t-1}) = \int p(x_t | x_{t-1}) p(x_{t-1} | Y_{t-1}) dx_{t-1} \quad (2)$$

(1)(2)より、追跡は各時刻の事後確率 $p(x_t | Y_t)$ を求める問題となる。パーティクルフィルタでは $p(x_t | Y_t)$ を、重みをもつパーティクル (仮説) の集合により近似表現する。以下の処理により事後確率 $p(x_t | Y_t)$ の期待値を逐次更新し求める。

STEP.1 仮説の選択

時刻 $t-1$ における事後確率 $p(x_{t-1} | Y_{t-1})$ を近似した N 個の仮説 $\{s_{t-1}^{(n)}\}$ をもとにランダムサンプリングにより新しい仮説 $\{s_t^{(n)}\}$ を選択する。

3D Human Body Tracking by Particle Filters

[†]Yujiro Furukawa, Graduate School of Information Science, Kyushu Sangyo University

[‡]Satoshi Yonemoto, Faculty of Information Science, Kyushu Sangyo University

STEP.2 予測

選択された仮説 $s_t^{(n)} \sim p(x_t | x_{t-1} = s_{t-1}^{(n)})$ をそれぞれシステムモデル $x_t = x_{t-1} + v_t$ (v_t はノイズ) に従って伝播し時刻 t における仮説 $s_t^{(n)}$ を生成する。

STEP.3 重み $\pi_t^{(n)}$ の推定

各仮説 $s_t^{(n)}$ の重み $\pi_t^{(n)}$ を画像特徴との尤度

$p(y_t | x_t = s_t^{(n)})$ から計算する。ただし重み $\pi_t^{(n)}$ は $\sum_{n=1}^N \pi_t^{(n)} = 1$ となるよう正規化しておく。

STEP.4 期待値 \hat{x}_t の計算

事後確率 $p(x_t | Y_t)$ の期待値 \hat{x}_t を N 個の仮説 $\{s_t^{(n)}\}$ とその重み $\{\pi_t^{(n)}\}$ より計算する。

3. 3次元人物モデルの定義

3.1 上半身構造と構造制約

本論文では上半身構造の推定を行う。図1に本論文で用いる上半身構造を示す。各リンクの長さは頭部の推定した半径 r_h から求める。図の H, N, MS, RS, RE, RH, LS, LE, LH は制御点を表す。構造制約として剛体の多リンク構造を用いる。この構造制約は簡単な物理シミュレーションでよく用いられる、多リンクモデルの姿勢計算によって実現する。具体的には頭部、左右の手の位置の変位をもとに構造制約を満たすように全制御点の位置を数回の繰り返し計算によって求める。

3.2 上半身推定モデルの定義

上半身を以下の3つのモデルで表現し、3種類のパーティクルフィルタを用いて推定する。

- 頭部モデル: $PF_h(x_h, y_h, z_h, r_h)$
- 右腕モデル: $PF_r(d_r, \theta_r, \phi_r)$
- 左腕モデル: $PF_l(d_l, \theta_l, \phi_l)$

ここで (d_r, θ_r, ϕ_r) , (d_l, θ_l, ϕ_l) は肩 RS, LS を基準としたローカル座標のパラメータである。

4. 3次元人物部位の推定

頭部は比較的画像特徴が求めやすい部位であるため、まず頭部 H の推定を行う。腕の変位は上半身構造に影響を及ぼすため、厳密には右腕、左腕を同時に推定する必要がある。しかし本手法では、左右の腕は比較的影響が少ないと考え、腕の仮説生成は左右それぞれ個別に行い、手の位置 RH, LH を推定した後、最後に上半身全体を推定する。また尤度計算時に多視点情報を統合して利用する。

具体的には以下の手順で段階的に推定する。

1. PF_hの推定: 推定結果を制御点Hに登録する。
2. PF_rの推定: 右肩RSを基準に右腕RHを推定する。推定時は構造制約を満たす仮説として右腕を投影し画像特徴との尤度を計算する。制御点RHに登録する。
3. PF_lの推定: 左肩LSを基準に左腕LHを推定する。推定時は構造制約を満たす仮説として左腕を投影し画像特徴との尤度を計算する。制御点LHに登録する。
4. 1.-3.の H, RH, LH をもとに全制御点位置を計算する。N, RS, RE, LS, LE などは構造制約により自動的に推定される。

5. 実験結果

実験では2台のカメラで撮影した2視点動画像系列に対し本手法を適用した。図2に実験に用いた入力画像の例を示す。図3, 図4にその推定結果を示す。パーティクル数はそれぞれ300とした。頭部モデル、右腕モデル、左腕モデルの推定結果をそれぞれ青色、緑色、黄色で示している。パーティクルの状態として、点は頭部、両手の3次元位置を投影したもの、リンクは推定した上半身構造を表している。図4は図3の詳細を示したものであり、推定中のパーティクル集合の一部を頭部は円、左右の腕はリンクとして投影している。構造制約により3つのパーティクルフィルタの推定結果が統合されている。

6. おわりに

本論文はパーティクルフィルタを用いた追跡手法の1つであり、多視点情報の利用に加え、構造制約を考慮できる3次元人物部位の追跡を実現した。今後の課題としてはリアルタイム処理に向けての高速化、全身への適用などが挙げられる。

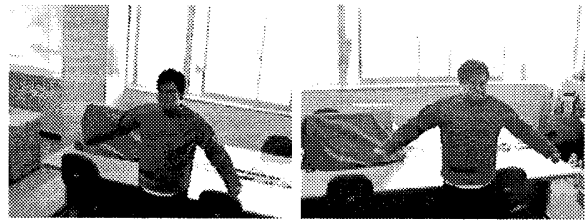


図2: 入力画像. (左)視点1 (右)視点2



図3: 推定結果. (上)視点1 (下)視点2

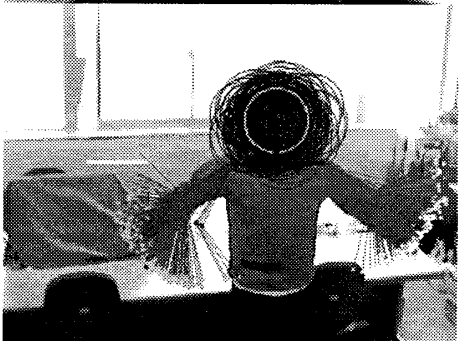


図4: 詳細表示. (上)視点1 (下)視点2