

行動に基づく関節自由度の制約を利用した人体姿勢推定
Human Posture Estimation under Restriction of Joint-Freedom-Degree based on Human Behavior

池田 浩雄†
Hiroo Ikeda

石山 壘†
Rui Ishiyama

坂本 静生†
Shizuo Sakamoto

1. はじめに

画像を入力とする、非接触で人体姿勢を推定する技術は、人体認識、行動解析など様々な分野に応用可能であり、近年、その要求は高まりつつある。

人体姿勢推定について、カメラからの人体シルエット画像に関節物体モデルをマッチングさせる方法[1]が提案されている。しかし、人体シルエット画像は、その形状が類似していても姿勢が異なる場合がある。これにより、シルエットマッチングの評価関数に対して、推定姿勢のパラメータに縮退が発生し、安定した推定が困難という問題がある。

そこで、本稿では、人体構造を表す人体フレームモデルに、行動・動作に基づく姿勢の制約条件を適用し、非線形最小二乗法により、モデルと対象人物のシルエット画像をフィッティングさせる人体姿勢推定手法を提案する。

2. 人体フレームモデル

CGの世界では、人体を木構造とした剛体の連結体で表すことが一般的である。本稿では、腰(Waist 部位)をルートとした木構造とし、11 部位の球・円筒の剛体で人体構造をモデル化する(人体フレームモデル)。(図1 参照)

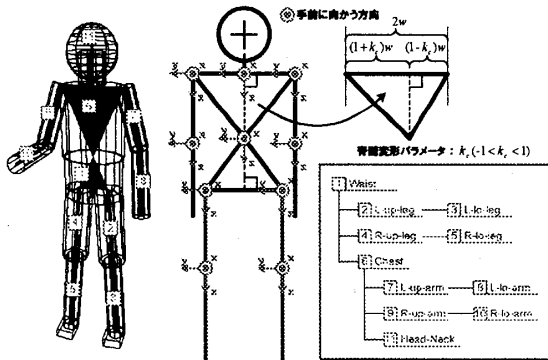


図1. 人体フレームモデル

隣接部位同士の上位部位からの xyz 軸回転 $\theta_i = (\theta_{ix}, \theta_{iy}, \theta_{iz})$ (i : 部位番号) を人体姿勢とし、Waist 部位の位置 $p = (p_x, p_y, p_z)$ を人体位置とする。さらに Chest 部位には脊椎変形を示す k_c を設定する。これにより、モデルの位置姿勢は 37 パラメータのベクトル $x = (p, \theta_1, \dots, \theta_{11}, k_c)^T$ で表すことができる。また、位置姿勢 x から人体位置 p と Waist 部位の姿勢 θ_1 を除いたルート部位からの相対姿勢を $s = (\theta_2, \dots, \theta_{11}, k_c)^T$ と定義する。位置姿勢 x を操作することで、モデルに様々な姿勢を行わせることが可能となる。各部位の大きさは、文献[2]の測定値を基に導いた平均体型を利用する。

3. 行動・動作に基づく姿勢の制約

人体の各関節が許された自由度で任意に可動すると考え

ると、取り得る姿勢は膨大となる。しかし、ある一つの動作を考えた場合、その姿勢は各関節が関係性を持つ限定された動きとなる。この性質に着目し、動作に応じた時系列姿勢を基に、姿勢の制約条件を求める。今回、動作として歩行動作を対象とした。

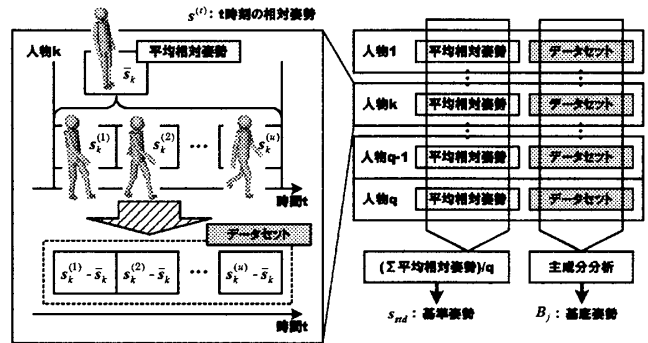


図2. 姿勢の制約条件の獲得

制約条件は、図2のように求める。まず、歩行動作における学習用時系列相対姿勢 $s_k^{(1)} \sim s_k^{(n)}$ を収集する。時系列相対姿勢 $s_k^{(1)} \sim s_k^{(n)}$ を平均し平均相対姿勢 \bar{s}_k を求める。個人の体型的オフセットを削除する為、時系列相対姿勢 $s_k^{(1)} \sim s_k^{(n)}$ から平均相対姿勢 \bar{s}_k を引き、データセットを作成する。このデータセットを複数人数集め、主成分分析する。求めた固有ベクトルを基底姿勢 B_j とする。以上より、相対姿勢は、式(1)のようにモデル化でき、係数 $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ を変数とする制約条件として得られる。

$$s(\lambda) = \bar{s}_k + \sum_{j=1}^n \lambda_j B_j \quad (1)$$

今回、人体フレームモデルとして平均体型を用いる為、平均相対姿勢 \bar{s}_k は、学習人数で平均した基準姿勢 s_{std} を採用した。また、基底姿勢 B_j は、動作再現可能で次元数が低い、累積寄与率 86% の 3 次元 ($n=3$) を採用した。式(1)より位置姿勢 x は、9 パラメータに低次元化された $x' = (p, \theta_1, \lambda)^T$ と相互な記述変換が可能となる。

4. 人体姿勢推定手法

4.1. 姿勢推定手法

本手法では、輪郭スムーズ処理後、矩形切り出しされた対象人物のシルエット画像 I'_i (I =画素ベクトル) にモデルの画像 I'_m をフィッティングさせ、収束時のモデルの位置姿勢から人体姿勢を推定する(図3参照)。矩形切り出しの位置・サイズは、カメラ入力側の輪郭スムーズ処理後の外接矩形に従う。フィッティングは、式(2)の評価関数を基に、非線形最小二乗法 (Gauss-Newton 法) により行う。

$$x' = \arg \min (|I'_i - I'_m(x')|^2) \quad (2)$$

† 日本電気株式会社 中央研究所 メディア情報研究所

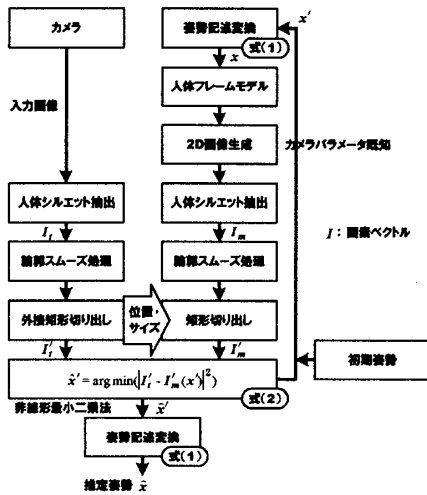


図3. 人体姿勢推定手法

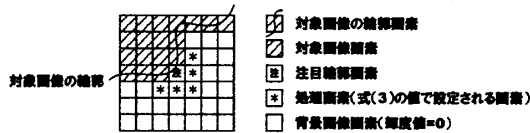
4.2. 輪郭スムーズ処理

初期姿勢の設定をロバストにする為、形状・奥行きを示す輪郭情報(特に輪郭の角点付近の情報)を残せる、輪郭に沿ったぼかし処理を行う。アルゴリズムを次に示す。

1. 対象画像のある一つの輪郭画素(注目輪郭画素)に注目し、その8-近傍の背景画像画素(処理画素)に対して、式(3)で求めた値を設定する(図4(a)参照)。
2. 輪郭画素全てについて、上記1の処理を行う。
3. 上記1,2までを1つのステップ処理とし、そのステップ処理後の画像に対して、さらに、ステップ処理を行う。これをステップ総数回繰り返す。最初のステップ処理をステップ No=1 とし、ステップ処理を繰り返す毎に、インクリメントする。(図4(b)(c)参照)。

$$\text{輝度値} = 255 - \frac{255}{(\text{ステップ総数} + 1)} \times \text{ステップNo} \quad (3)$$

(小数点以下切捨て)



(a) 注目輪郭画素における輪郭スムーズ処理

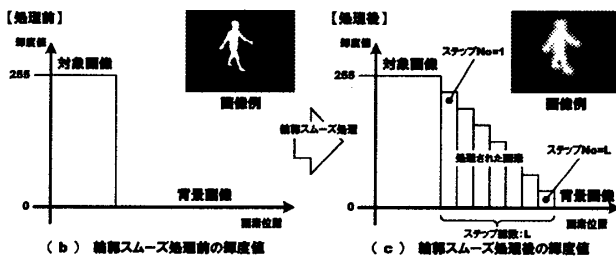


図4. 輪郭スムーズ処理

5. 実験

輪郭スムーズ処理の効果を検証する為、モーションキャプチャから求めた正解姿勢を基に、初期姿勢を変動させながら姿勢推定を行った。図5(a)は、図5(b)の対象画像に対して、姿勢推定可能であった初期姿勢をプロットしており、輪郭スムーズ処理有りの方が、姿勢推定可能な初期姿勢の範囲が大きく広がり、初期姿勢の設定についてロバストであることが確認できる。これにより、少ない初期姿勢選択

数で姿勢推定可能となる。処理を除く場合、推定可能初期姿勢の範囲が狭いので、多くの初期姿勢選択が必要となり、それに伴う推定処理の負荷が生じる。輪郭スムーズ処理は単純な処理であるがその導入効果は大きい。

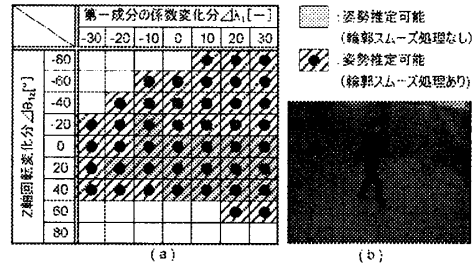


図5. 初期姿勢変動評価

次に、提案手法の有効性を確認する為、歩行動作の実験画像を用い姿勢推定を行った。初期の位置はシルエットの重心 x 座標と上下位置が最小になるよう自動に設定し、初期の Waist 部位は xy 軸回転を 0 、 z 軸回転をシルエットの重心移動方向から簡易に求めた進行方向とし、初期の係数 λ は第1成分のみを姿勢が対称性を示す ± 30 の2つに設定し、ステップ総数は経験的に 20 とした。出力される2つの推定結果から評価値が小さいものを正解姿勢とし、図6に姿勢推定結果として示す。提案手法の有効性が、図6(a)(b)より確認できる。しかし、図6(c)のように、自己オクルージョンが強くなると姿勢推定に不安定さが残る。

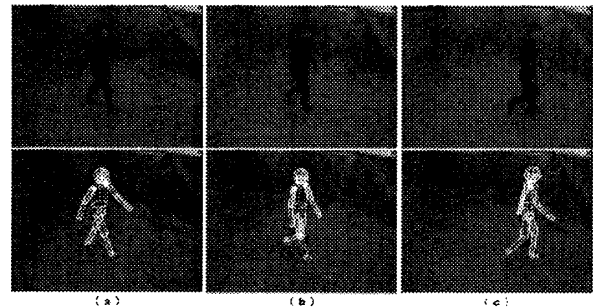


図6. 姿勢推定結果

6. まとめ

本稿では、人体フレームモデルに、行動・動作に基づく姿勢の制約条件を適用し、非線形最小二乗法を用いて、モデルと対象人物のシルエット画像をフィッティングさせる人体姿勢推定手法を提案した。歩行動作の時系列相対姿勢を主成分分析することにより、姿勢の制約条件を獲得し、フィッティングに非線形最小二乗法を用いることで、容易に姿勢推定が可能であることを示した。また、輪郭スムーズ処理による初期姿勢のロバスト性も示すことができた。今後は、歩行以外の動作も検証していくと共に、強い自己オクルージョンにも、安定して姿勢推定が行えるよう、特徴の追加や連続画像による姿勢の拘束等を検討していく。

参考文献

[1] 亀田能成, 美濃導彦, 池田克夫, シルエット画像からの関節物体の姿勢推定法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-D-II No.1, pp.26-35, 1996.1
 [2] 河内まき子, 持丸正明, 岩澤洋, 三谷誠二(2000): 日本人人体寸法データベース 1997-98, 通商産業省工業技術院くらしとJISセンター