

多視点カメラを用いた個人識別のための歩行特徴量に関する検討

田中 秀典[†] ウ 小 軍[†]
新井 啓之[†] 小池 秀樹[†]

多視点カメラで撮影された人物の歩行動作を3次元で解析し、個人識別に有効な特徴を見い出す。歩行動作からの個人識別を目的とした研究においては、定まったアングルから取得できる特徴量を用いるのが一般的である。しかし、実世界を撮影対象とした場合、常に一定のアングルから人物を撮影できるとは限らず、同じ特徴量を取得できるとは限らない。本研究では、人物の歩行動作を3次元モデルベースで解析することにより、異なるアングルに対応可能な特徴量を抽出し、個人識別を行うことを目的とする。多視点カメラを用いて歩行動作を撮影した映像に対し特徴量を見い出し、識別を行う実験により、提案手法の有効性を確認する。

キーワード: 多視点カメラ、視体積交差法、骨格モデル、トラッキング、歩行特徴量

A Study on Features for Gait Identification with Multiple Cameras

Hidenori Tanaka,[†] Xiaojun Wu,[†] Hiroyuki Arai[†] and Hideki Koike[†]

We propose a feature extraction method, which aims to identify walking people using multiple surveillance cameras. In gait identification, images captured from a same view direction are generally demanded. However, a practical setup of surveillance cameras have multiple view directions, and same features are not extracted. In the proposed method, we analyze walking people using 3D skelton model and extract gait features for gait identification which is applicable to different view directions. The discernment capability for personal identification of the proposed method is shown by experimental results.

Key words: multiple cameras, shapes from silhouette, skelton model, tracking, gait feature

1. はじめに

昨今の凶悪犯罪の増加やテロへの懸念の増大に伴い、監視カメラ映像から効率的に不審者を発見する技術への期待が高まってきている。これを実現する一つの手段として、施設内等の異なる場所または異なる時間においてカメラの前に現れた人物の対応付けを行うことは有効である。この人物の対応付けには、主に顔、服装、歩行動作等が手がかりとなる。この中で歩行動作は、人物の向きによらず情報の取得が可能であり、個人の特徴が含まれていることから、盛んに研究がなされている¹⁾。

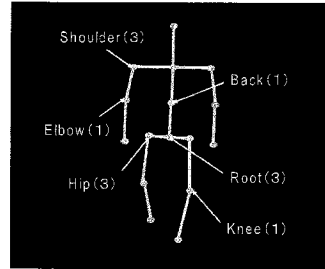
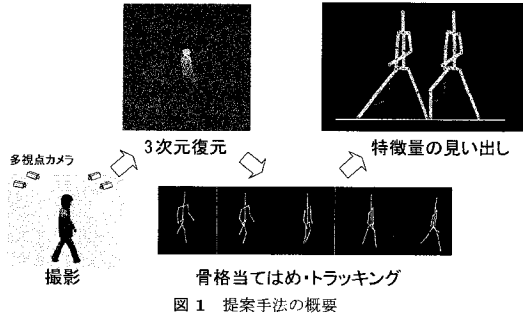
歩行動作からの個人識別に関する研究においては、従来、2次元で解析をするというアプローチがほとんどであった²⁾⁻⁵⁾。これらの手法は大きくシルエット画像を用いるアピランススペースの手法とシルエットにモデルを当てはめて得たパラメータを用いるモデルベースの手法に分けられる。アピランススペースの方法は、より大局的な特徴に着目した手法であり、

シルエットの切り出しが良好であれば有効な手法である^{2),3)}。一方、モデルベースの手法は、より局所的な特徴に着目した手法であり、モデル当てはめが良好であれば有効である^{4),5)}。しかしながら、これら2次元で解析するアプローチでは、いずれの方法においても定まった方向からの解析であるため、監視カメラから得られる様々な方向の映像への対応が難しいという問題があった。

近年、安価で高性能なカメラの出現、およびマシンパワーの飛躍的な増加に伴い、2次元の手法の課題を解決する手段として、多視点カメラを用いて3次元で歩行動作を解析しようとする試みがなされている^{6),7)}。これらの手法では、多視点カメラからの情報を用い、シルエットに人物の3次元モデルを当てはめ、そのパラメータを解析することで個人識別を行っている。このような3次元の手法では様々な方向の映像への対応が可能であるが、いずれの研究においても個人識別に有効な特徴量を明確化するにはいたっていない。

本稿では、多視点カメラを用いて、人物の歩行動作を3次元モデルベースで解析することにより、異なるアングルにおいても対応可能な特徴量を抽出し、個人識別を行うことを目的とする。以下、第2章では多

[†] NTT サイバースペース研究所
NTT Cyber Space Laboratories



視点カメラを用いて人物の歩行動作を3次元的に解析し、個人識別のための特徴量を見い出す。第3章では、提案手法の有効性を検証する実験を行い、実験結果を示す。そして、最後に第4章で本稿のまとめを行う。

2. 提案手法

提案手法は、図1に示すように、大きく分けて3次元復元、骨格モデルの当てはめ・トラッキング、特徴量の見出しにより構成される。

2.1 3次元復元

まず、多視点カメラで同期撮影を行い、人物の歩行動作を獲得する。そして、背景差分を行うことによりシルエット画像を得る⁸⁾。その後、詳細に3次元で動きを解析するために、人物の3次元形状を復元する。3次元復元手法としては、視体積交差法 (Shapes from Silhouette) を用いることとする⁹⁾。なお、ここで各カメラは、あらかじめ平面パターンを用いてレンズの非線形歪みを校正し、カメラパラメータを求めておく¹⁰⁾。

2.2 骨格の当てはめ・トラッキング

次に、復元された3次元形状に対し、図2に示すような3次元骨格モデルを当てはめる。これにより、身体の部分の詳細な特徴を算出することができる。ここで骨格モデルは、実際の人に添う形で、各関節に数字で示す角度の自由度 (全身で16関節20自由度、各関節の角度は定まった範囲で制限される) と関節間の長さの自由度 (全身で15自由度) があり、これらが定まることにより1姿勢が定義される。本手法では、各関節の角度に関しては時々刻々と変化する量とするが、各関節間の長さは1シーケンスにおいて一度当てはめが行われれば、その後のトラッキングにおいては不変とする。なお、各関節間の長さは3次元空間内の絶対値であり、見る方向によらない量である。

そして、連続するシーケンスの初期フレームにおいて、人物の体形を考慮して3次元骨格の当てはめを行う。初期姿勢が決まると、それ以降のフレームでは、前のフレームの姿勢を考慮しトラッキングを行うことで、姿勢を推定する。トラッキングの手法としては、

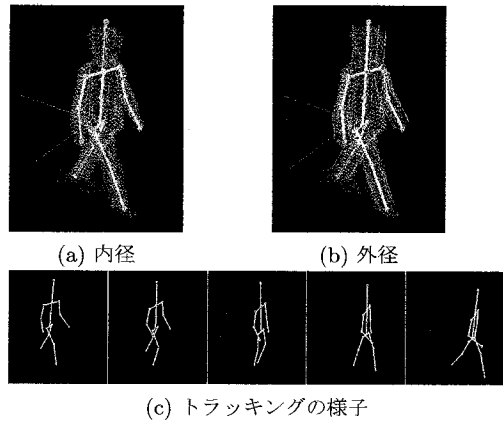


図3 骨格の当てはめ・トラッキング

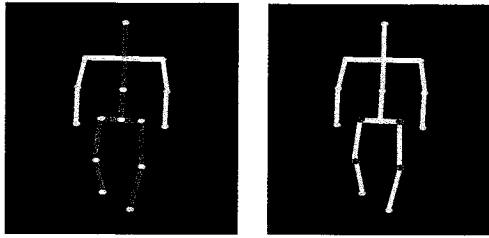
進化的アルゴリズム (遺伝的アルゴリズム) を用いた最適化計算により行う。ここで最適化の評価関数としては、図3(a),(b)に示すような各部分における内径と外径の間に含まれる3次元形状の点群の数を最大とするものとする。式1に評価関数の詳細を示す。ここで K は関節間の長さの自由度の数であり、 N は3次元点群の数、 s は骨格、 s_i は i 番目の骨、 $U(s_i)$ は s_i の内径と外径の間の空間である。図3(c)にトラッキング結果の一例を示す。

$$f(s) = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^N x_j \quad (1)$$

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{voxel}_j \in U(s_i) \\ 0 & \text{voxel}_j \notin U(s_i) \end{cases}$$

2.3 特徴量の見出し

特徴量の見出しでは、トラッキングで得られた足部分のパラメータに着目し、それらを歩行周期毎に切り出す。さらに、歩行の速度を定めた時間に正規化する。そして、そこから見出された特徴を多次元のベクトルとして表現する。



(a) 足の長さパラメータ (b) 足の角度パラメータ

図 4 本手法で用いる足部パラメータ

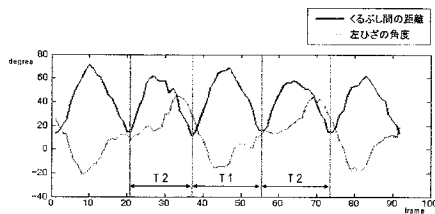


図 5 くるぶし間距離による歩行周期の切り出し

2.3.1 足部パラメータの獲得

トラッキングにより得られた各関節間の長さと同関節の角度の時系列データに関して、足部分のパラメータを獲得する。ここで本手法において足部分に着目するのは、運動学的な側面から歩行はCPG (Central Pulse Generator) が制御しており、CPG は人によって大きく異なることが知られているからである。¹¹⁾ また、腕部分は細いのでシルエットの切り出しがうまくいかない場合があるため骨格の当てはめがうまくいかない、腕部分はオクルージョンが多いためにトラッキングが不安定になりがちである。実環境では腕に物を持った場合等に特徴として信頼できないといったことも考慮し足部に限定する。具体的な足部分のパラメータとしては、図 4 に示すように背中・両腰・両もも・両すねの長さ、および両大腿部・両膝の角度を獲得する。ここで、両腰・両もも・両すねの長さに関しては、左右で同じ長さとする。また、両大腿部の角度は 3 自由度あるが、微少で不安定な 2 自由度を除いた 1 自由度、人物の進行方向に沿った軸を採用することとする。

2.3.2 歩行周期の切り出し

歩行周期に関しては、運動学的な側面から、右単脚支持期・両脚支持期・左単脚支持期といったように区分するのが一般的である。しかしながら、この周期を観測するためには足の接地の瞬間を検出する必要があり、画像からではその瞬間を安定に検出するのは難しい。そこで、本手法では、前節で得られた長さと同角度を用い、両くるぶし間の距離が時系列で極小となる瞬間を検出し、周期を定義する。具体的には (T1) 左

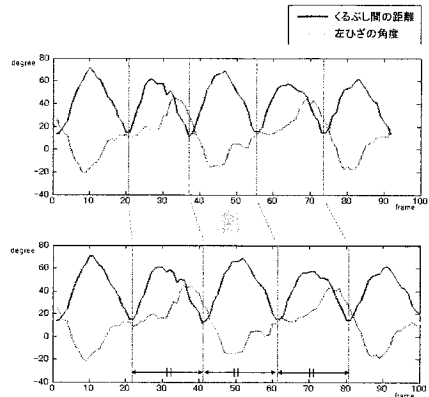


図 6 LinearTimeNormalization による歩行速度の正規化

足が接地しており右足くるぶしが左足くるぶしの横を通過する瞬間～右足が接地しており左足くるぶしが右足くるぶしの横を通過する瞬間、(T2) 右足が接地しており左足くるぶしが右足くるぶしの横を通過する瞬間～左足が接地しており右足くるぶしが左足くるぶしの横を通過する瞬間、と定義する。図 5 に歩行周期の切り出しの様子を示す。両くるぶし間の距離が極小を取る瞬間を検出し、T1 フェーズであるか T2 フェーズであるかを対応づける。

2.3.3 歩行速度の正規化

人物により歩行速度は異なり、また、個人間でも歩行速度にばらつきがある。これらが異なった状態では特徴量を正しく比較することができないので、歩行速度の正規化を行う。速度の正規化では得られた特徴量を、前節で検出した歩行周期の時間から、ある定めた一定時間への比を用いて、線形的に補間する (LinearTimeNormalization)。これにより、すべての周期の特徴量を同じ時間幅で評価できるようになる。

2.3.4 特徴量の表現

歩行動作を獲得する中で、個人毎に差異の見られた図 7(a) に示すような人物の体格を表す足の長さ特徴 (背中、両腰、両もも、両すね) と図 7(b) に示すような人物の姿勢を表す足の姿勢特徴 (接地時の膝の角度、前傾・後傾、X 脚・O 脚) を個人性を表す特徴と仮定し、これらを多次元ベクトルとして特徴量を表現する。具体的な算出方法としては、足の長さ特徴に関しては、トラッキングにより得られた値をそのまま用いるが、姿勢特徴に関しては、接地時の膝の角度を足首間距離最大値と膝間距離最大値の比、前傾・後傾を大腿部の角度の平均値、X 脚・O 脚を膝間距離最小値で表すものとする。ここで、接地時の膝の角度として、足首間距離最大値と膝間距離最大値の比を用いるのは、接地するときの足の角度を検出するのが、接地の瞬間を画像から検出することに寄り、それが難しいので、足首間の距離と膝間の距離の最大値を接地の瞬間の角度の

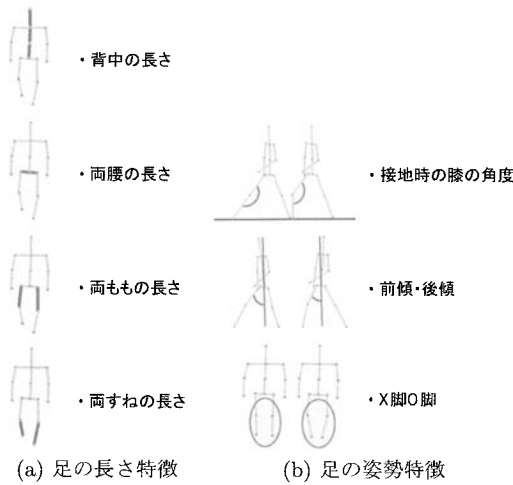


図7 本手法で用いる歩行特徴

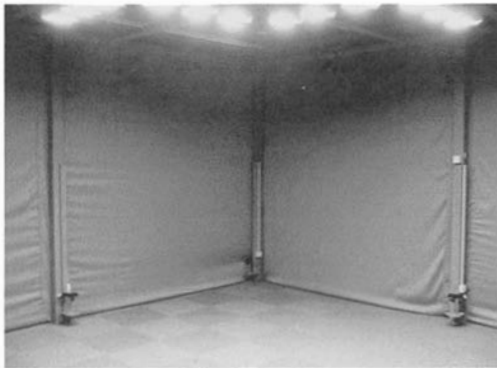
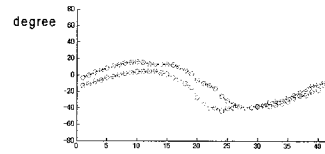


図8 撮影環境

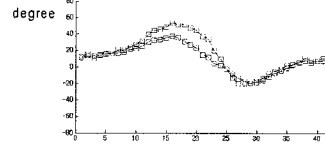
代わりに用いる。

3. 実験

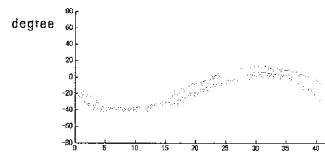
実験では、特徴量の有効性を確かめるためトラッキングで得られた足部のパラメータの検証、3つの識別実験(長さ特徴のみを用いた識別実験、姿勢特徴のみを用いた識別実験、長さ+姿勢特徴を合わせた識別実験)を行った。なお、実験環境としては、撮影用カメラとしてIEEE1394カメラ(SonyXCD-710R)を用い、入力画像の大きさはXGA(1024x768pixels)、フレームレートは30fps、撮影範囲としては約5.5mx2.0mx2.0mとした。図8に実際の撮影環境について示す。カメラレイアウトに関しては、撮影範囲を取り囲むように上方・下方から各8台ずつ合計16台のカメラを用いた。被験者は20代から30代の男性8人と女性2人であり、実際の歩行動作獲得にあたっては、被験者がで



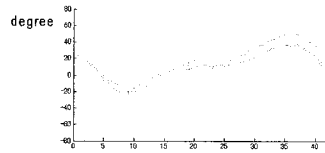
(a) 右大腿部の角度



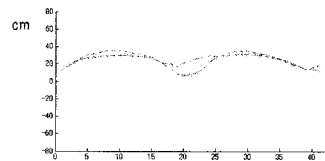
(b) 右膝部の角度



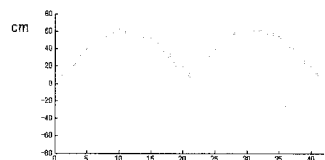
(c) 左大腿部の角度



(d) 左膝部の角度



(e) 両膝間の距離



(f) 両くるぶし間の距離

図9 足部の時系列パラメータ

きるだけ自然な状態で歩けるように、特段の動きの制約は設けず、撮影範囲内を約3往復してもらった。なお、本実験では歩行速度に関して、通常の歩行速度から大きく外れるものは含まないこととする。

3.1 足部パラメータの検証

トラッキングにより得られた足部の時系列パラメータに個人毎の特徴があるのかどうかを調べるために、

図9に2人分の両大腿部・両膝部の角度と両膝間・両くるぶし間の距離を1周期分示した。まず、ここで両大腿部の角度である図(a),(c)を見ると、全体的に波形がシフトしている。このことから人によって歩くときの大腿部の角度が違う、つまり前傾か後傾かが異なっているものと考えられる。また、タイミングの違いも見て取れる。次に、両膝部の角度である図(b),(d)を見ると、角度が大きい時に差が現れている。これは接地時付近であり、このことから接地時付近では人により足を曲げる曲げ具合が異なっていると考えられる。両膝間・両くるぶし間の距離である図(e),(f)では、くるぶし間の距離は差異がないが、膝間の距離は差異が現れていることが見て取れる。ここで最小値に着目すると、いわゆるX脚の人であるのか、またはO脚の人であるのかという違いを表しているものと考えられる。これらのトラッキングの結果得られた足部のパラメータから、今回見出しした特徴量が有効であるということが考えられる。

3.2 長さ特徴の検証

人物の体格を表す長さ特徴にどれくらいの個人識別能力があるのかを調べるため、10人、1人当たり約5~6シーケンスの歩行動作映像から周期毎の長さ特徴を算出し、教師ありで人毎に正解ラベルを与え、多次元空間を作成し学習を行い、同じく多視点で撮影された歩行動作から算出された特徴を、多次元空間に投影し、重判別分析法により識別された特徴のラベルを識別結果とした。識別結果としては77サンプル中69サンプル本人であると判定された。これにより、背中、両腰、両もも、両すねの4次元であっても長さには比較的高い識別能力が存在することがわかった。

3.3 姿勢特徴の検証

次に、人物の歩行時の姿勢を表す姿勢特徴にどれくらいの個人識別能力があるのかを調べるため、10人、1人当たり約5~6シーケンスの歩行動作映像から周期毎の姿勢特徴を算出した。そして、それらを先ほどの長さ特徴の場合と同様にして、学習・識別を行った。識別結果としては77サンプル中45サンプルにおいて正しく本人であると判定された。これにより、先ほどの長さ特徴ほどではないが、3次元の姿勢特徴であっても識別能力が存在することがわかる。なお、誤識別されているデータの中には、トラッキングにおける骨格の姿勢推定の不安定さが影響しているものがあることが見て取ることが出来た。

比較のため、角度の時系列データそのものを主成分分析で次元を圧縮した後、学習・識別を行うと、累積寄与率が95%を超える13次元で77サンプル中38サンプルにおいて正しく本人であると判定された。これにより、本手法で提案した姿勢特徴の方が、低次元で適確に個人の特徴を現しているものと考えることが出来る。

3.4 長さ+姿勢特徴の検証

最後に、長さ特徴と姿勢特徴を組み合わせるとどれくらいの識別能力があるのかを調べるため、10人、1人当たり約5~6シーケンスの歩行動作映像から周期毎に長さ特徴および姿勢特徴を算出し、先ほどと同様にして学習・識別を行った。識別の結果、77サンプル中76サンプルにおいて正しく本人であると判定された。これは長さ特徴のみを用いた場合および姿勢特徴のみを用いた場合の識別結果を上回っている。これにより、歩行動作による識別では、人間が人を識別する際に、その体格と姿勢に着目するように、長さ特徴と姿勢特徴の両方を用いた識別が最も識別能力が高いということが出来る。

4. まとめ

本稿では、多視点カメラを用いて人物の歩行動作を撮影、3次元モデルを用いて解析し、個人識別に有効な特徴量を見い出した。具体的には、多視点カメラで同期撮影された人物の歩行動作からシルエットを抽出し3次元復元を行い、得られた3次元形状に3次元骨格モデルを当てはめトラッキングすることで、各関節の角度および各関節間の長さの時系列データを得て、そこからくるぶし間距離を用いて周期および速度を正規化し、識別に有効であると考えられる足部分の特徴量を見い出した。実験においては、特徴量の有効性を示すため、まず、トラッキングにより得られた足部分のパラメータについて検証を行い、次に、3つの識別実験（長さ特徴のみを用いた識別実験、姿勢特徴のみを用いた識別実験、長さ+姿勢特徴を合わせた識別実験）を行った。結果として、足部分のパラメータについては今回注目した特徴が有効であるということが考えられ、また識別実験から長さ特徴による個人識別で77サンプル中69サンプルにおいて正しく本人であると判定され、姿勢特徴による個人識別で77サンプル中45サンプルにおいて正しく本人であると判定され、長さ特徴+姿勢特徴による個人識別で77サンプル中76サンプルにおいて正しく本人であると判定され、今回提案した特徴量の有効性を示すことが出来た。

今後の展望としては、より多人数で検証することや、更なる特徴としてタイミング特徴の抽出、そして、歩行の運動モデルを取り入れた高精度なトラッキング手法に関しても検討していきたい。

参考文献

- 1) Sudeep Sarkar, P. Jonathon Phillips, Zongyi Liu, Isidro Robledo Vega, Patrick Grother, Kevin W. Bowyer, "The HumanID Gait Challenge Problem: Data Sets, Performance, and Analysis," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 27, no. 2, pp. 162-177, Feb. , 2005.

- 2) R. T. Collins, R. Gross, and J. Shi, "Silhouette-based human identification from body shape and gait," In Proc. of the IEEE Conference on Face and Gesture Recognition (FGR2002), pp. 351-356, 2002.
- 3) N. Cuntoor, A. Kale, and R. Chellappa, "Combining multiple evidences for gait recognition," In IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2003.
- 4) L. Lee and W. E. L. Grimson, "Gait analysis for recognition and classification," In Proc. of the IEEE Conference on Face and Gesture Recognition (FGR2002), pp. 155-161, 2002.
- 5) C. Yam, M. S. Nixon, and J. N. Carter, "Automated person recognition by walking and running via model-based approaches," Pattern Recognition, Vol. 37, pp. 1057-1072, 2004.
- 6) Zhao. G, Liu. G, Li. H, and Pietikainen. M, "3d gait recognition using multiple cameras," In Proc. of the 7th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition(FGR2006), pp. 529-534, April, 2006.
- 7) Urtasun. R. and Fua. P, "3d tracking for gait characterization and recognition," In Proc. of the 6th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR2004), pp. 17-22, 2004.
- 8) C Stauffer and W. E. L. Grimson, "Adaptive background mixture models for real-time tracking," In Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR1999), Vol. 2, 1999.
- 9) ウ小軍, 和田俊和, 東海彰吾, 松山隆司, "平面間透視投影を用いた並列視体積交差法", 情報処理学会論文誌 CVIM 研究会論文誌, Vol. 42, No. SIG 6 (CVIM 2), pp. 33-43, 2001.
- 10) Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, pp. 1330-1334, 2000.
- 11) 滝口清昭, "自然歩行データ取得システム", 情報処理振興協会 (IPA), 平成 13 年度未踏ソフトウェア創造事業成果報告論文, 2002