

実環境下での個人認証に向けた歩行映像データベースの構築

鈴木 温之¹ 榎原 靖¹ 村松 大吾^{2,1} 八木 康史¹

概要: 防犯カメラ映像は、現代の犯罪捜査において、犯人の足取り追跡や犯人と被疑者の同一性の鑑定等、必要不可欠な存在となっている。歩容認証は他の生体認証と違い、カメラから遠方であっても利用可能という特長を持っていることから、そのような防犯カメラ映像に基づく犯罪捜査にとって極めて有用な技術となり得る。しかし、従来の歩容認証は主に一人の人物が孤立して歩行している映像のみを対象とし、実環境下で頻繁に見られるような複数人物が重なって歩行しているような映像に対して適用することは困難であった。そこで、本研究では実環境下の映像に対する歩容認証の実現に向けての第一歩として、実環境下の歩行映像データベースを構築した。本データベースでは、大阪大学吹田キャンパスにおいて、最大 140 人の被験者が、様々な歩行方法（例えば、携帯電話を見ながら、荷物を持ちながら、友人と対話しながら等）で歩行する様子を、異なる場所、角度に取り付けた 6 台のネットワークカメラで撮影した。また、映像内の人物密度は歩行開始時の人物の流量を制御することで調整し、6 つのカメラはそれぞれ異なる場所、異なる角度から撮影した。結果として、実環境を模した様々な状況下での 31 シーンからなる、約 5 時間の歩行映像を収集した。本データベースを用いて、複数人物が映っているシーンに対する歩容認証のベースライン手法の初期性能評価を行い、考察を行った。

1. はじめに

我々の暮らしの中で防犯カメラは重要な役を担っている。警視庁は繁華街等の防犯対策の一環として、街頭防犯カメラシステム [1] を導入し、新宿、渋谷、池袋等の首都圏の公共空間に防犯カメラを設置し、繁華街における犯罪の抑止や捜査への活用を進めている。その成果として、平成 25 年中に、警視庁本部において録画した 415 件の映像データを警察署長に提供し、うち 320 件が検挙活動・事案の立件・解決等へ活用されている。

一方、そのような犯罪捜査においては犯人と被疑者といった個人の特定が重要となるが、その個人特定の方法として、指紋や静脈、虹彩を使った認証方法がある。例えば、指紋情報を取得する場合は、対象者がスキャナに指を置き、静脈情報を取得する場合は赤外線カメラに手を近づけて、手の透過具合を調べる。但し、これらの生体認証手法は、いずれもセンサに手を近づける必要があり、対象者が非協力的である犯罪捜査といった場面での利用は難しい。それに対して、歩き方の個性を用いた歩容認証の場合、カメラから遠く離れた場所で歩いているだけで取得ができる。また、顔をサングラス・マスク・ヘルメット等で隠しているよ

うな場合でも歩容特徴は取得できるので、犯罪捜査への応用の期待が高まっている。実例として、防犯カメラに映っていた放火犯を歩容認証によって特定し、逮捕の決め手になったことがある [2]。

歩容特徴の表現方法として、モデルに基づく手法と見えに基づく手法が提案されている。現状は、見えに基づく手法、特に、シルエットに基づく手法 [3] が主流となっている。その中でも gait energy image (GEI) [4], frequency-domain feature (FDF) [5], chrono-gait image (CGI) [6], gait entropy image (GEnI) [7], Masked GEI [8] などが提案されている。

そのようなシルエットベースの歩容認証手法は、観測方向・速度・服装変化などの影響を受けるため、それに対して頑健な手法も提案されており、それに合わせて、それらの条件変化に頑健な歩容認証を評価するための歩行映像データベースも多数提案されている。しかし、それらはいずれも単一歩行者が映っているシーン、つまり孤立シーン (図 1) を対象とするため、複数人物が行き交うシーンは扱われていない。

例外として、Hofmann らは [9]、一方の歩行者がもう一方の体に隠れるように歩くシーンに対する歩行データベースの構築及び認証手法を提案している。しかしながら、条件は映像内に登場する人数や生じる隠蔽の度合いは実際の防犯カメラの映像とは違い単純なものであることから、実

¹ 大阪大学
Osaka University
² 情報通信研究機構
NICT Publicity



OU-ISIR gait dataset [10]



CASIA dataset [11]



USF database [12]



SOTON database [13]

図 1 歩行映像データベースの映像例



図 2 実環境下の歩行映像例

環境を十分に模しているとは必ずしも言えない。実際には、実環境下においては、図 2 に示すように、複数人物が互いを隠蔽しながら往来することとなるため、このような実環境下における歩容認証手法を開発することが必要となる。

以上のことから、実環境下のシーンに対応できるように歩容認証の適用範囲を広げることが本研究の最終目標であるが、この目標が達成されれば、防犯カメラの連携などが実現でき、人流解析や人数計数に大きな貢献ができる。そこで、本研究では実環境下の映像に対する歩容認証の実現に向けての第一歩として、実環境下の歩行映像データベースを構築し、本データベースを用いて、複数人物が映っているシーンに対する歩容認証のベースライン手法の初期性能評価を行い、考察を行った。

2. 歩行映像データベースの構築

2.1 概要

歩行映像データベースの構築方法として、街中にある実際の防犯カメラ映像を使うという方法があるが、歩行者のプライバシーなどの問題があるので、現実的とは言えない。そこで実環境を模擬すべく、大学構内においてエキストラ被験者による歩行映像の撮影実験を実施した。また、各被験者には本実験で収集した歩行映像の研究目的利用（論文・学会発表・公開データベース・報道等）に関する同意書への署名を求め、データベースのメタ情報となる年齢や性別の情報に関するアンケート調査も行った。2014 年 9 月 20

日に大阪大学吹田キャンパスの福利会館付近一帯を貸し切り、一般公募により集まった 140 人の被験者の歩行映像を撮影した。撮影に利用した実験場所の全体図は図 3 の通りであり、被験者の中にはアルバイトではなくボランティアで参加してもらった人もいた。

撮影現場には図 3 のように東西南北に 4 つの地点を設け、歩行者にはある地点から別の地点へと歩いてもらうように指示した。そのようにして歩いてもらった被験者を、各地点間に設置したカメラで撮影することで、実際の防犯カメラ映像を模擬した映像を撮影した。

また、本歩行映像収集実験に際しては、プライバシー保護や個人情報保護のため、撮影の関係者や被験者以外がカメラによる撮影への同意なしに撮影場所に入らないように、敷地のまわりに人員を配置し、注意喚起を行った。

2.2 カメラ配置

撮影には 6 つのネットワークカメラを使い、識別のためにカメラに対して H1 から H6 の ID を割り当てた後、図 3 のように配置した。U2 棟の 1 階は吹き抜けになっているので、そこを通る歩行者を上から撮影した。歩行者の前部、後部を撮影するために H1 および H2 カメラを向かい合うように配置した。また、カメラ H3 は X 地点を往復する歩行者を横から、カメラ H4 は Y 地点を往復する歩行者を上から撮影できるように設置した。最後のカメラ H5、H6 は Z 地点に続く通路に設置した。ここでも歩行者の前部、後部を映すために 2 つ使っている。図 3 の 6 つの画像はそれぞれのカメラが映す映像である。このカメラ配置によって様々な場所で様々な角度から歩行者を撮影した。

2.3 シーン設定

実環境を模した歩行映像データベースを構築するために、実際の場面で起こり得るような状況を想定して、それをもとにシナリオを組み、31 シーンを設定した。また、それぞれのシーンでは、歩行者には指示した通りに歩いてもらい、歩行時に特別な付帯状況をつくった。よそ見をしながら歩いてもらったり、または鞆を持ちながら歩いてもらったりと、付帯状況が歩行者にかかる場合や、各地点から歩行者を 1 点に同時に合流してもらうような、歩行者全体に対してかかる場合もあった。

歩行者全体がシナリオ通りに歩いてもらえるように、シーンが始まる前に、歩行者を地点 X から Z の各地に適宜配置し、決められた地点に向かって歩いてもらった。1 シーンでは原則歩行者はスタート地点とゴール地点の 2 点を往復し、往復回数は撮影時間との兼ね合いでシーンによって個別に設定した。また、一列に歩いてもらったり、2 列が向かい合うように歩いてもらったり、できるだけカメラの映像内で人ごみが映るように歩行者に対して指示することもあった。



図 3 撮影現場の全体図. 赤い点が地点の場所, 黄色い箇所が実験に用いた敷地, 橙の線は地点から地点までの大まかな道筋である. 赤茶色のブロックは建物であり, 建物に書かれている記号は工学部の棟番号である.

データベースには人の密度の低い映像と高い映像が含まれるようにカメラに同時に映る人数を調整した. (図 4). 各地点には実験の関係者を配置し, 時間を測ってもらい, 秒ごとに一定の人数が出発するようにしてもらった. また, 一列になって出発してもらうか, 複数列になって出発してもらうかはシーン毎で決めた.



図 5 歩行映像データベースの映像例

撮影の序盤は歩行者として動員する人数を少なめにし, 人の密度の低く隠蔽条件の少ない映像を撮影した. 終盤に近づくにつれ, 動員数を増やして, 密度の高く隠蔽条件の厳しい映像を撮影した. さらに撮影では歩行者に対していろいろな歩き方をさせたが, その例を図にのせた (図 5). 図に乗っているような歩き方の他には, 他の歩行者を追い抜くような歩いたり, 4 人くらいのグループをつくって固まりながら歩いたりするようなものもデータベースには含まれている.

3. 歩行映像データベース制度評価実験

3.1 歩容認証のベースライン手法

本研究は実環境下の歩行映像データベースを構築した後, その中に含まれる, 同一画像内に複数の歩行者が映っているシーン, すなわち複数人物シーンに対して歩容認証を適用し, それがどのくらい精度が高いか検証を行った. しかし, 従来の歩容認証では図のようにある画像列に対して一人だけしか映っていないものでないと認証できない. そこで複数人物シーンにも対応できるよう歩容認証のベースラインを組んだ.



図 4 シーン別の密度



図 6 複数人物シーンに対する歩容認証のベースライン手法の概要

従来の歩容認証のベースラインは以下の流れで行われる。まず、入力画像に対して背景差分をとり、人物の影領域をそこから除去する。その後膨張、収縮のモルフォロジー処理を行い、人物のシルエットを補完する。生成されたシルエット画像列の一枚一枚を 88×128 画素に正規化した GSV (Gait Silhouette Volume) を作成する。そして、GSV に対して時間方向の正規化自己相関の最大化による周期検出を行い、1 周期 (2 歩分のことをさす) で平均化することで歩容特徴である平均シルエット (GEI) を抽出する。その GEI を入力用とし、登録用の複数の GEI 群と照合する。その中から最も近かった GEI を登録から選択し、その GEI が入力と同一人物のものであったなら認証が成功となり、そうでない場合は失敗とみなす。

複数の人物領域が存在するシルエット画像列から、個々

のシルエット画像列を抽出するために、追跡機能を追加した。入力に用いた画像列は 30fps なので、フレーム間による人物の位置情報はほとんど変わらないので、フレーム間のシルエットの位置関係を使って追跡を行った。個々の歩容特徴を抽出した後は 1 つずつ照合を行う。ただこの歩容認証の手順だと、人物のシルエットが重なったとき、つまりカメラ映像内で隠れが生じた場合には対応できず、歩容特徴を抽出することができない。

3.2 設定

今回はデータベースの中でも人の密度が低く、隠れが最も生じていないシーンを用いて歩容認証を行った。入力画像列の中で隠れが起きている画像は歩容特徴抽出の際には用いないようにした。認証の際の入力用の GEI 群をシーン 1-5 のカメラ H3 から生成し、登録用の GEI 群をシーン 1-6 のカメラ H3 から生成した。それらの映像を使った理由は、登場する人物が同じであるのと、カメラ H3 が歩行者を側面方向から撮影しており、歩行者を正面または背面から撮影している他のカメラと比べて、画像上での歩行者同士の隠蔽が比較的小さいためである。

シーン 1-5、シーン 1-6 のシナリオについては、その概要を第 2 章において既に述べているが、ここでもう一度その詳細を説明する。全ての歩行者が W 地点から出発して、X 地点、Y 地点、Z 地点へ均等に分かれる。そして、各々の歩行者は目的の地点についた後再び W 地点に戻る。したがって、カメラ H3 では 1 つのシーンの中で、W 地点から X 地点に向かって歩くときに 1 回、X 地点から W 地点へ戻るときに 1 回の計 2 回、同じ歩行者を撮影する。よって、各シーンから同じ歩行者の右向きと左向きの歩容特徴が得られることから、シーン 1-5 と 1-6 の間で、左右の向きで同じ方向の歩容特徴同士で認証を行った。入力用と登録用の歩容特徴がともに少ないためにできるだけ多くの結果から考察したいという理由から左右両方で認証を行った。

シーン 1-5、シーン 1-6 で W 地点と X 地点を往復する歩行者はそれぞれ約 20 人なので、入力データと登録データそれぞれ 20 人分抽出する予定であったが、X 地点に向かっている人と、W 地点へもどろうとしている人がカメラ



図 7 X 地点へ向かう人を横から撮影するカメラ H3 の画像



図 8 歩容特徴の抽出失敗例 (右: すれちがいの失敗例, 左: 並んで歩くことによる失敗例)

の前ですれちがいを起こしたり、(図 8 右) 歩行者がカメラに対して縦に並んで歩いたりして、(図 8 左) 歩容特徴をうまく全員分抽出できなかった。よって、入力用の歩容特徴のサンプル数は右向きと左向きでそれぞれ 14 と 10、登録用の歩容特徴のサンプル数は右向きと左向きでそれぞれ 17 と 13 となった。

3.3 実験結果

まず、1 対 1 認証の実験結果について述べる。1 対 1 認証においては、図 9 の通りである。他人受入誤り率 (False acceptance rate: FAR) と本人拒否誤り率 (False rejection rate: FRR) のトレードオフを示した受信者操作特性 (Receiver operating characteristics: ROC) 曲線を用いて結果を表す。認証結果の良し悪しを判断する指標として、FAR と FRR の等価誤り率 (Equal error rate: EER) が存在するが、EER は ROC 曲線のグラフの中で、FAR と FRR の値が同じである時のその値を指す。今回の認証における EER は右向きと左向きでそれぞれ 0.2 と 0.25 であった。

次に、1 対多認証の実験結果を示す。1 対多認証においては、図 10 の通りである。1 人の入力データに対して、登

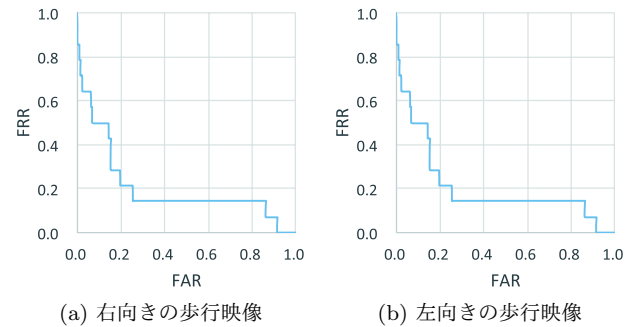


図 9 ROC 曲線

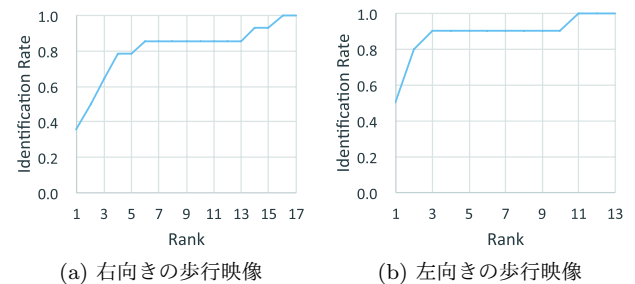


図 10 CMC 曲線

録データ全員のスコアを計算して、本人のスコアの順位を計算する。そして、入力データ全体で順位毎の累積正解率の割合を表した累積識別精度特性 (Cumulative matching characteristic curve: CMC) 曲線で性能を評価した結果である。1 位認証率は右向きと左向きでそれぞれ 0.35 と 0.5 であった。

3.4 考察

認証の失敗例に対する考察を行う。右向きの歩行者の歩容特徴に対する 1 対多認証で出力された CMC 曲線を見ると、1 位認証率つまり、認証の正解率が約 35 % と非常に低い。そこで認証に失敗した同一人物の入力データ用と登録データ用に使われた歩容特徴を比較する (図 11)。

認証率の悪かった第一の原因は 2 つのシーンの中での歩行者の歩く姿勢が違うことである。シーン 1-5 では歩行者は何も持たないで歩くのに対して、シーン 1-6 ではスマートフォンを操作しながら歩いているので、後者のシーンでは姿勢が前のめりになって、腕はふらずに挙げたまになり、結果として本人の GEI 同士でも差が大きくなってしまったのである。

また、人物領域の抽出がうまくいっていないことも原因として考えられる。図 12 のように歩行者の人物領域抽出で足が人物領域に入っていないこともあるので、現状でよりよい結果を出すための方法として考えられるのは、人物領域抽出の改善および異なるシーンでも同じ姿勢で歩いている歩行者に対して体の部位を選択的に利用し認証を行うことである。

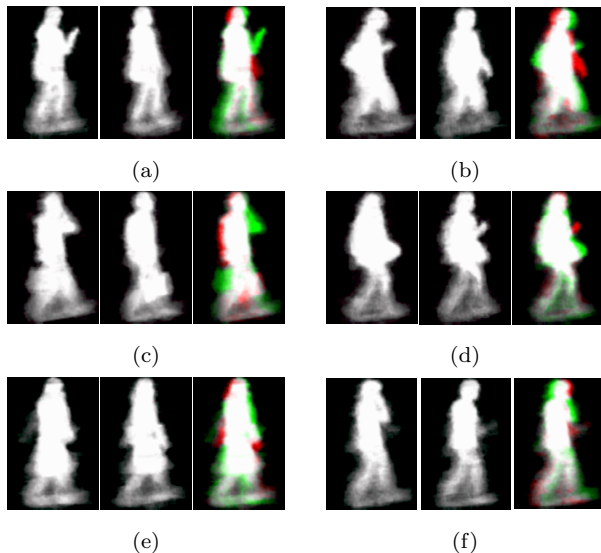


図 11 認証が成功しなかった歩容特徴 (GEI) の組み合わせ. 3 枚のシルエット画像が 6 組あるが, 3 枚のうち左が登録用, 中央が入力用の歩容特徴となり, 右がそれらの差分画像となる. 差分画像についてもう少し詳しく説明する. 白い部分が入力用と登録用で重なっている部分にあたり, 緑の部分が登録用の GEI で入力用と被っていないところにあたる. そして, 赤い部分はその逆を表す. つまり, 赤や緑の部分が大きいほど歩容特徴に差があることを意味する.



図 12 足の領域の抽出の失敗例

4. まとめ

本論文では, 実環境下の歩行映像データベースの構築の詳細について述べた. まず, 被験者の構成, 人数, 撮影を行った場所, カメラの配置から始め, 撮影の大きな流れ, 撮影シーンごとの歩行者の細かい設定, 映像例などを図をのせながら説明した. 最後にデータベースから複数人物が歩いているシーンに対して, 歩容認証のベースラインを組み, 実際に認証を行いその評価を行った.

今後の課題として (1) 人物領域抽出の改善 (2) 歩行者の姿勢の変動に対応した歩容認証の実現 (3) 隠蔽条件を考慮した実環境下のシーンに対する歩容認証の実現, の 3 つが挙げられる.

まず (1) について, グラフカットを用いた領域分割 [14] や, 標準歩容モデルを用いた領域分割といった高精度な人物領域抽出手法の導入 [15] により対処する予定である.

次に (2) について歩行時の付帯状況によって影響を受ける部分を適応的に選択して, 認識時に重み付けするような手法を導入することで, 解決を図る予定である.

最後に, (3) について, 本論文では隠蔽が生じないということを前提に歩容認証を行ったが, 実際の防犯カメラ映像で人物の隠蔽は頻繁に生じることから, 隠蔽への対策は必須と言える. よって, 隠蔽部位の推定による部位毎の認証重みの適応的な設定などを隠蔽条件下での認証に導入する予定である.

謝辞

本研究は JSPS 基盤研究 (A)15H01693, 文部科学省の社会システム改革と研究開発の一体的推進「安全・安心な社会のための犯罪・テロ対策技術等を実用化するプログラム」の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] <http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/seian/gaitoukamera/gaitoukamera.htm>.
- [2] I. Bouchrika, M. Goffredo, J. Carter, and M. Nixon. On using gait in forensic biometrics. *Journal of Forensic Sciences*, Vol. 56, No. 4, pp. 882–889, 2011.
- [3] Yasushi Makihara, Daigo Muramatsu, Haruyuki Iwama, and Yasushi Yagi. On combining gait features. In *Proc. of the 10th IEEE Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2013)*, p. (to appear), Shanghai, China, Apr. 2013.
- [4] J. Han and B. Bhanu. Individual recognition using gait energy image. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 28, No. 2, pp. 316–322, 2006.
- [5] G. Zhao, R. Chen, G. Chen, and H. Li. Amplitude spectrum-based gait recognition. In *Proc. of the 6th IEEE Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 23–30, 2004.
- [6] Chen Wang, Junping Zhang, Liang Wang, Jian Pu, and Xiaoru Yuan. Human identification using temporal information preserving gait template. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 34, No. 11, pp. 2164–2176, nov. 2012.
- [7] K. Bashir, T. Xiang, and S. Gong. Gait recognition using gait entropy image. In *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Imaging for Crime Detection and Prevention*, pp. 1–6, Dec. 2009.
- [8] K. Bashir, T. Xiang, and S. Gong. Gait recognition without subject cooperation. *Pattern Recognition Letters*, Vol. 31, No. 13, pp. 2052–2060, Oct. 2010.
- [9] Martin Hofmann, Shamik Sural, and Gerhard Rigoll. Gait recognition in the presence of occlusion: A new dataset and baseline algorithms. In *Proc. of International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, Plzen, Czech Republic*, pp. 99–104, 2011.
- [10] Ou-isir gait database. <http://www.am.sanken.osaka-u.ac.jp/GaitDB/index.html>.
- [11] S. Yu, D. Tan, and T. Tan. A framework for evaluating the effect of view angle, clothing and carrying condition on gait recognition. In *Proc. of the 18th Int. Conf. on Pattern Recognition*, Vol. 4, pp. 441–444, Hong Kong,

- China, Aug. 2006.
- [12] S. Sarkar, J.P. Phillips, Z. Liu, I.R. Vega, P. Grother, and K.W. Bowyer. The humanid gait challenge problem: Data sets, performance, and analysis. *IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 27, No. 2, pp. 162–177, 2005.
 - [13] J.D. Shutler, M.G. Grant, M.S. Nixon, and J.N. Carter. On a large sequence-based human gait database. In *Proc. of the 4th Int. Conf. on Recent Advances in Soft Computing*, pp. 66–71, Nottingham, UK, Dec. 2002.
 - [14] Yuri Boykov and Gareth Funka-Lea. Graph cuts and efficient n-d image segmentation. *Int. J. Comput. Vision*, Vol. 70, No. 2, pp. 109–131, November 2006.
 - [15] 田上拓弥, 榎原靖, 村松大吾, 八木康史. 標準歩容モデルとの照合に基づく歩行者領域抽出. 情報処理学会研究報告 コンピュータビジョンとイメージメディア, 第2015-CVIM-195-61 巻, pp. 1–6, 奈良, Jan. 2015.