

## 低フレームレート映像のための 歩行周期に基づく位相同期による歩容認証

森 敦史<sup>†1</sup> 榎原 靖<sup>†1</sup> 八木 康史<sup>†1</sup>

近年、広域監視や犯罪捜査等を目的として人の歩き方の個性に基づく個人認証である歩容認証が注目を集めている。一般的に、防犯カメラによる映像は通信帯域や記録装置の容量の制限から、低時空間解像度で撮影されていることが多く、標準的な時間解像度を想定した従来の歩容認証手法を適用することは困難である。本研究では、歩容を固有空間における軌跡として捉え、映像の時間解像度と歩行周期を考慮した時間伸縮と時間シフトによる歩容位相同期手法を提案する。また、シーケンス内の歩容の揺らぎを考慮して、歩行周期を単位とした照合結果を統計的に処理することで、頑健な照合を行う。実験では、時空間の両方の解像度に関する認証性能評価を行い、本手法の有効性を確認した。

### Gait Identification using period-based phase synchronization for low frame-rate videos

ATSUSHI MORI,<sup>†1</sup> YASUSHI MAKIHARA<sup>†1</sup>  
and YASUSHI YAGI<sup>†1</sup>

Gait analyses have recently gained attention as methods of identification for wide-area surveillance and criminal investigation. Generally surveillance camera videos are taken by low spatio-temporal resolution because of limitation on communication band and storage device. Therefore it is difficult to apply existing gait identification methods to low spatio-temporal resolution videos. In this paper, we propose period-based gait trajectory matching in eigen space using phase synchronization. A gait can be taken as a trajectory in eigen space and phase synchronization is done by time stretching and time shifting. In addition, statistical procedures on period-based matching results make robust matching for fluctuation among gait sequence. Experiments about performance assessment on spatio-temporal resolution demonstrate the effectiveness of the proposed method.

#### 1. はじめに

近年、防犯システムやアクセスコントロールのための個人認証技術の必要性が高まっており、バイオメトリクスによる認証技術が注目されている。バイオメトリクスには、声紋、指紋、手の平の静脈、虹彩、顔画像、歩容等を利用したものがある。この中で、歩容認証はカメラから離れた場所での認証が可能であるという点で、広域監視への応用が期待されている。一般的に防犯カメラは、通信帯域や記憶装置の容量の制限から低時空間解像度で撮影されていることが多い。このことから歩容認証を防犯カメラ映像に適用するには低時空間解像度に対応する必要がある。

一方、既存の歩容認証手法は標準フレームレート (30fps 以上) 映像を想定しており、低フレームレート映像を想定した処理及び評価を行っていない。例えば既存手法<sup>1)2)3)4)</sup> は、歩行周期を単位とした歩容特徴を抽出しているが、低フレームレートで取得された歩容シーケンスでは存在する画像が時間軸上で疎なことから歩行周期の誤検出が起こりうる。またそこから抽出される歩容特徴については、歩行周期毎に取得される画像列に含まれる歩容の位相が大きく異なることがあるため、不安定になる可能性がある。また時空間解像度の評価については Stuart ら<sup>5)</sup> が空間解像度の変化による認証への影響について言及しているが、実応用のためには時空間の両方の解像度の性能評価が必要である。

本研究では、低時空間解像度映像に対して有効な認証手法として歩行周期に基づく位相同期による歩容認証を提案する。まず歩行周期間の歩容の揺らぎに対応するために、プローブとギャラリーの照合単位をシーケンス全体から歩行周期単位のサブシーケンスへ分割する。次に、低フレームレート映像から検出された歩行周期の量子化誤差を考慮して、時間シフトと時間伸縮により、歩容位相同期を行う。最後に、歩行周期単位の照合結果を統計的に統合することで頑健な照合を実現する。また、実験では時空間解像度の両方に関する性能評価を行った。

本研究では犯罪捜査支援を想定して、防犯カメラによって撮影されるプローブは低フレームレートとし、その後、候補者を個別に通常ビデオカメラにて撮影するギャラリーは標準フレームレートとする。

<sup>†1</sup> 大阪大学  
Osaka University



図1 歩容シルエットボリューム (GSV): 10fps

## 2. 歩容特徴抽出

### 2.1 歩容シルエットボリュームの作成

最初に背景差分を用いて歩容シルエットを抽出する. 次に歩容シルエット領域の高さが128pixel になるように, アスペクト比を保ったままスケーリングし, 水平中心の位置合わせを行うことで画像サイズ  $88 \times 128$ pixel の画像を作成する. 最後に, それらを時間方向に重ね合わせることで時空間の歩容シルエットボリューム (GSV) を作成する. 図1に作成した GSV の例を示す.

### 2.2 PCA による歩容シルエットの次元圧縮

照合時の計算量を削減するため PCA を利用し歩容シルエットの次元圧縮を行う. 本論文では学習にギャラリーの全シーケンスの画像を用い, 固有値の累積寄与率が90%以上になる次元数を用いた. 固有空間上では一枚の歩容シルエットを一点として表すことができ, 歩容シーケンスは点と点を結んだ軌跡として表わすことができる. 図2に第三主成分までの歩容シーケンスを示す. この空間上で軌跡の一周は歩容の一步を表しており, 図2を見ると軌跡が大きく二つに分かれているのが, これは歩容に左右非対称が含まれているためである.

### 2.3 歩行周期の検出

照合時のプローブとギャラリーの照合単位をシーケンス全体から歩行周期毎のサブシーケンスに分割するため歩行周期検出を行う. 歩行周期は左右二歩分を単位として定義し, GSV の時間軸方向の正規化自己相関を最大化することによって求める. 詳細については<sup>1)</sup>を参照されたい.

## 3. 歩容特徴の照合

### 3.1 照合単位

歩容における手の振りや足の運び, 歩行周期などには揺らぎが存在し, 揺らぎの大きさは認証性能の低下につながる. ここで, 歩行周期間の揺らぎに対応するために照合単位を歩行周期単位のサブシーケンスへ分割することを考える. 本研究では表1に示すように二つの照

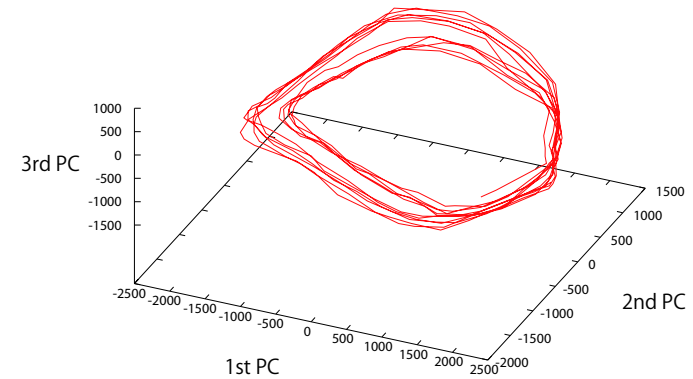


図2 固有空間上での歩容シーケンス

表1 提案手法の照合単位

手法	照合単位	
	プローブ	ギャラリー
Sequence-Period	シーケンス全体	歩行周期
Period-Period	歩行周期	歩行周期

合方法を提案する. いずれの手法においてもギャラリーは歩行周期を単位とし, 低フレームレートのプローブについては歩行周期かシーケンスのいずれかを用いる. 以降では, プローブの照合単位が歩容シーケンスのときの手法を Sequence-Period, プローブの照合単位が歩行周期のときの手法を Period-Period とする. また, 照合単位毎に算出された特徴間距離 (3.2 節参照) に対して, その最小値を出力結果とすることで, 歩行周期間の揺らぎに対応する.

### 3.2 位同期を考慮した照合

照合単位での特徴間距離の算出の際には歩容の位同期を行う. まずプローブ, ギャラリーのシーケンスを各々  $S_P, S_G$  とし, そのフレームレート [fps] を  $f_P, f_G (> f_P)$ , 歩行周期 [frame] を  $P_P, P_G$  とする. この時, プローブの初期位相を0とすると, 各々の  $t_P, t_G$  フレーム目の位相  $\theta_P(t_P), \theta_G(t_G)$  を以下のように表現できる.

$$\theta_G(t_G) = \theta_G(0) + \frac{t_G}{P_G} \quad (1)$$

$$\theta_P(t_P) = \frac{t_P}{P_P} \quad (2)$$

ここで、 $\theta_G(0)$  はギャラリーの初期位相である。位相を同期させるためには  $\theta_P(t_P) = \theta_G(t_G)$  となる必要があり、その時の  $t_P$  と  $t_G$  の関係は以下のように表わすことができる。

$$t_G = at_P + b \quad (3)$$

$$a = \frac{P_G}{P_P}, b = -P_G\theta_G(0) \quad (4)$$

ここで、 $\theta_G(0)$  は未知であるため、時間シフト係数  $b$  は探索により求める必要がある。また、プローブとギャラリーの歩行周期の観測値  $P'_P (= P_P + \Delta P_P)$  と  $P'_G (= P_G + \Delta P_G)$  には量子化誤差が存在し、特に低フレームレートであるプローブの誤差が実時間上では相対的に大きくなる。そこで、時間伸縮係数  $a$  についても、プローブの歩行周期の観測値近傍で探索する必要がある。以上のことから  $S_P, S_G$  の  $t_P, t_G$  フレーム目の歩容特徴を各々  $x_P(t_P), x_G(t_G)$  とすると特徴間の距離  $d(S_P, S_G)$  を次式により求める。

$$d(S_P, S_G) = \arg \min_{a,b} \sum_{t_P=1}^{N_P} \|x_P(t_P) - x_G([t_G + 0.5])\|_{L1} \quad (5)$$

$$\Delta P_P \in \left\{ i \frac{f_P}{f_G} \mid i \in \mathbb{Z}, |\Delta P_P| \leq 0.5 \right\} \quad (6)$$

$$b \in \{j \mid j \in \mathbb{N}, 0 \leq j \leq P_G - 1\} \quad (7)$$

ここで式 (5) の  $N_P$  はプローブの歩容シルエットの枚数、 $[\ ]$  はガウス記号であり、歩容特徴間の距離計算では  $L1$  ノルムを用いる。ギャラリーの照合単位は歩行周期であるため、 $x_G$  を周期関数で  $x_G(t + P_G) = x_G(t)$  で表すものとする。 $t_G$  はフレーム数であるため整数値となることから式 (5) に示す通り最近傍のフレームを採用する。時間伸縮は  $\Delta P_P$  を量子化誤差の範囲内で、ギャラリーの歩行周期検出の精度と同じ間隔で変化させることにより行い、時間シフトは  $b$  をギャラリーのサンプリング間隔で式 (7) の範囲内において変化させることにより行う。

## 4. 実験

### 4.1 データセット

実験には 185 人の被験者について各々の 2 歩容シーケンスの合計 370 歩容シーケンスから抽出した GSV を用いた。一人の被験者の 2 歩容シーケンスの内、片方をプローブ、もう一方をギャラリーとして用いるものとする。時間解像度については、60fps の歩容シーケンスから歩容シルエットを間引くことで低フレームレートの歩容シーケンスを作成した。空間解像度については  $88 \times 128$  pixel の GSV を縮小することで低空間解像度の歩容シーケンスを作

表 2 作成したデータセットの時空間解像度

フレームレート (fps)	1,2,3,4,5,6,10,12,15,20,30,60
空間解像度 (pixel)	$44 \times 64, 22 \times 32, 11 \times 16$

成した。本実験で作成したデータセットの時空間解像度の種類を表 2 に示す。

また時空間解像度の評価に加えて、歩容の揺らぎに対するロバスト性についての性能評価を行うため、歩行周期検出に用いた正規化自己相関 (以下 NAC) を基にデータセットを作成する。一般に歩容の揺らぎが大きいと NAC が小さくなり、揺らぎが小さいと NAC が大きくなる。ここでは各被験者の 2 歩容シーケンスについて NAC を計算し、その計算結果の小さい方の値に着目する。185 人について NAC の大きい方から 100 人を集めたデータセットを  $DB_{high}$ 、小さい方から 100 人を集めたデータセットを  $DB_{low}$  とする。

### 4.2 空間解像度に関する評価

評価手法として提案手法 Sequence-Period, Period-Period の二つを用い、データベース  $DB_{high}$  を用いる。またプローブのフレームレートについては 1 から 60fps、ギャラリーのフレームレートについては 60fps、空間解像度 [pixel] については、 $44 \times 64, 22 \times 32, 11 \times 16$  のものを用いて実験を行った。Sequence-Period, Period-Period に対する実験結果を図 3 に表す。グラフにおいて、水平方向はプローブのフレームレート、垂直方向は本人拒否と他人受入れの等誤り率 (EER) を表し、共に対数軸を取っている。結果よりいずれのフレームレートにおいても空間解像度の低下によって認証性能が下がっていることが分かる。但し、 $44 \times 64$  から  $22 \times 32$  への認証性能の低下が比較的小さいのに対して、 $22 \times 32$  から  $11 \times 16$  への認証性能の低下が比較的大きいことが分かる。よって、相対的には  $22 \times 32$  までの空間解像度の低下については、認証への影響が比較的小さいと考えられる。

### 4.3 時間解像度に関する評価

評価する手法は提案手法二つと村瀬ら<sup>6)</sup>の手法であるシーケンス同士の照合 (Sequence-Sequence)、平均シルエット<sup>2)</sup>、周波数領域特徴<sup>1)</sup>の三つの手法に加え、歩容特徴 Width Vector<sup>3)</sup>、Frieze Pattern<sup>4)</sup>を Sequence-Period で照合する手法を加えた七つの手法とした。データセットは  $DB_{high}, DB_{low}$  の二つを用い、プローブのフレームレートについては 1 から 60fps、ギャラリーのフレームレートについては 60fps、空間解像度 [pixel] については、 $22 \times 32$  を用いた。実験結果を図 4 に示す。グラフにおいて、水平方向はプローブのフレームレート、垂直方向は EER を表し、共に対数軸をとっている。結果よりほぼ全てのフレームレートにおいて提案手法の二つが既存手法より認証性能が良いことが分かる。特に Sequence-Period は全フレームレートでいずれの既存手法よりも認証性能が良く、Period-Period と比べると認証性

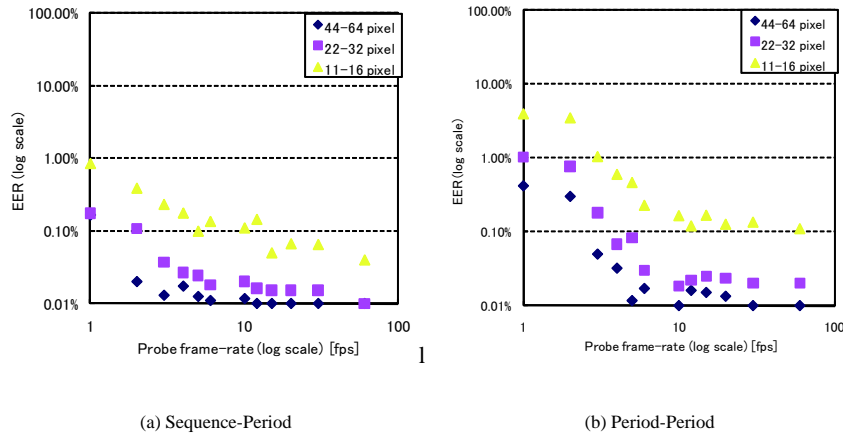


図 3 空間解像度に関する評価

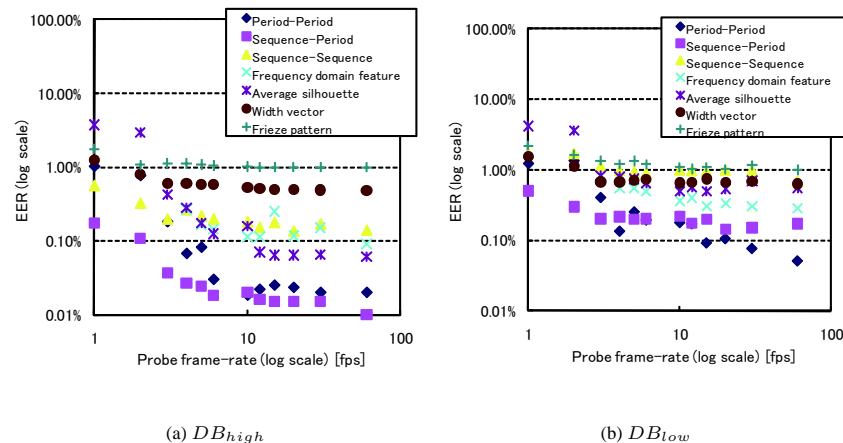


図 4 時間解像度に関する評価

能が安定している。加えて  $DB_{high}, DB_{low}$  の両方において提案手法による認証性能が最も良いということから、歩容の揺らぎにもある程度対応していると言える。しかし  $DB_{high}$  と比べると  $DB_{low}$  での提案手法の絶対的な認証率は大きく下がっていることから歩容の揺らぎへの更なる対応が必要であると考えられる。

### 5. 終わりに

本論文では低フレームレートのプローブ、標準フレームレートのギャラリーを想定した場合の歩行周期に基づく位相同期による歩容認証手法について述べた。照合単位をシーケンス全体から歩行周期へ分割し、照合単位毎に算出された特徴間距離に対して最小値を出力結果とすることで歩行周期間の歩容の揺らぎに対応した。また照合では検出されたプローブの歩行周期について量子化誤差を考慮した時間伸縮と時間シフトにより位相同期を行った。評価実験では 185 人の被験者の 370 歩容シーケンスを基にデータセットを作成し、歩容認証実験を行った。空間解像度に関する実験では解像度の変化における認証性能の変化を評価し、時間解像度に関する実験では提案手法が既存手法よりも高い認証性能を達成し、本手法が有効であることを確認した。今後の課題は以下の通りである

- ノイズを持ったデータでの評価実験
- 非線形時間伸縮を考慮した歩容の揺らぎへの対応
- ギャラリーが低フレームレート映像である場合への対応

### 参考文献

- 1) Y.Makihara, R.Sagawa, Y.Mukaigawa, T.Echigo, and Y.Yagi, *Gait Recognition Using a View Transformation Model in the Frequency Domain*, vol.3953. Springer Berlin Heidelberg, jul 2006.
- 2) Z.Liu and S.Sarkar, "Simplest representation yet for gait recognition: Averaged silhouette," in *Proc. of the 17th Int. Conf. on Pattern Recognition*, vol.1, pp.211-214, Aug. 2004.
- 3) A.Kale, N.Cuntoor, B.Yegnanarayana, A.Rajagopalan, and R.Chellappa, *Gait Analysis for Human Identification*, vol.2688. 2003.
- 4) Y.Liu, R.Collins, and Y.Tsin, *Gait Sequence Analysis using Frieze Patterns*, vol.2351. Springer Berlin / Heidelberg, 2002.
- 5) S.Mowbray and M.Nixon, *Automatic Gait Recognition via Fourier Descriptors of Deformable Objects*, vol.2688. Springer Berlin / Heidelberg, 2003.
- 6) H.Murase and R.Sakai, *Moving object recognition in eigenspace representation: gait analysis and lip reading*, vol.17. Elsevier Science Inc., feb 1996.