

# 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>†</sup> 榎原 靖<sup>†</sup> 八木 康史<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学

〒 567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

E-mail: †{mori,makihara,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

あらまし 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。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。また、位相同期時に推定した歩行周期を利用し、歩容画像の位置合わせを行うことで複数の歩行周期を含んだ低フレームレートのシーケンスを用いた時間超解像を行う。実験では、時空間の両方の解像度に関する認証性能実験を行い、提案手法と時間超解像の評価を行った。

キーワード 歩容認証, 低フレームレート, 空間解像度, 時間解像度, 位相同期, 時間超解像

## Gait Recognition using Period-based Phase Synchronization for Low Frame-rate Videos

Atsushi MORI<sup>†</sup>, Yasushi MAKIHARA<sup>†</sup>, and Yasushi YAGI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Osaka university

8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

E-mail: †{mori,makihara,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

**Abstract** Gait analyses have recently gained attention as methods of identification for wide-area surveillance and criminal investigation. Surveillance videos are generally taken by low spatio-temporal resolution because of limitation on communication band width 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 the eigen space using phase synchronization. A gait can be taken as a trajectory in the eigen space and phase synchronization is done by time stretching and time shifting. Statistical procedures on period-based matching results make robust matching for fluctuation among gait sequences. In addition, a time super-resolution sequence is constructed from a multi-period low frame-rate sequence based on the phase synchronization. Experiments of performance evaluation on spatio-temporal resolution the effectiveness of the proposed method and a time super-resolution demonstrate.

**Key words** Gait recognition, Low frame rate, Spatial resolution, Temporal resolution, Phase synchronization, Time super resolution

### 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、注目されている。しかし、従来使われている暗証番号やパスワードを用いた認証方法では情報の流出等によるなりすましの危険性がある。そこで個人の生体情報であるバイオメトリ

クスが関心を集めている。個人認証には指紋、静脈、虹彩、顔、筆跡、歩容などさまざまな特徴を利用した多くの手法が提案されており、その中でも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おり、現在までに様々な手法が提案されている [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]。Sarkar ら [1] は、各種手法のベースラインアルゴリズムとして、シル

エットシーケンスの直接照合手法を提案している。その際、プローブを歩行周期単位、ギャラリーをシーケンス全体単位として扱い、プローブ・ギャラリー間の位相が合うように時間シフトさせ、最も位相が合うときのシルエットシーケンス間の谷本距離に基づいて認証を行っている。村瀬ら [2] は、歩容シルエットシーケンスを固有空間上の多様体として表現している。プローブ・ギャラリー共にシーケンス全体を照合単位として、時間シフトに加え、時間伸縮を行うことで最も位相が合う位置を探索して照合を行っている。しかし、シーケンス全体を照合単位としていることから、周期間での歩容の揺らぎによる影響を受けやすいと言える。Niyogi ら [4] は、時空間歩容ボリュームに基づく解析を行っており、Ohara ら [3] は、それにフーリエ解析を適用することで時空間における歩容特徴を抽出している。また、平均シルエット [6] やそれに加えて歩行周期の 1 倍、2 倍周波数成分の振幅スペクトルも利用した周波数領域特徴 [5] を用いた手法も提案されている。これらの手法においては、まず歩行周期を検出し、歩行周期単位の特徴を抽出し認証を行っている。

この中でも歩行周期に基づく特徴を利用した認証 [5] [6] は、歩行周期毎での照合結果を統計的に処理していることから、周期間の歩容の揺らぎに対するロバスト性がある。

また既存手法が対象としているデータセットの多くは、画像の高さ 128pixel、フレームレート 30fps などの標準的な時空間解像度を持つ歩容シーケンスである。しかし一方、街頭に設置されている監視カメラで撮影された映像は、一般的に通信帯域幅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。それゆえ、監視カメラに既存手法を適応させた場合には、認証性能の低下が考えられる。例えば、歩行周期に基づく特徴を利用した認証 [5] [6] では、時間軸方向に歩容シルエットが疎に存在しているため歩行周期の誤検出が起こる可能性がある。この誤検出により、歩行周期に基づく特徴が本人同士でも大きく異なることが考えられ、そのため本人拒否誤りが起こる可能性がある。

よって実環境での利用を考えたときに、歩容認証は周期間の歩容の揺らぎに対応しつつ、評価実験ではさまざまな時空間解像度についての性能評価を行う必要がある。

そこで本論文では、まず、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を提案する。提案手法では照合単位に歩行周期を用いることで周期間の歩容の揺らぎに対応し、低フレームレート映像による歩行周期の検出精度を考慮した位相同期を行う。歩容の揺らぎへの対応は、複数の歩行周期それぞれに対して得られた照合結果から、歩容の揺らぎによる外れ値を認証から除外することで実現する [5] [6] [1]。

次に、実験では時空間解像度の両方について提案手法の認証性能評価を行う。Mowbray ら [9] が空間解像度についてのみの認証性能評価を行っているのに対して、



図 1 歩容シルエットボリューム (GSV): 10fps

我々は時間解像度に関する評価も併せて行う。

また、歩行周期をサブフレーム単位で検出して位相同期を行った場合、一周分だけの歩容シーケンスの時間超解像を行える可能性がある。時間超解像を行うことで、低フレームレートのシーケンスからより高いフレームレートのシーケンスを作成できるため、低フレームレートのシーケンスではサンプリング定理から利用できなかった周波数領域特徴による手法が利用できるようになる。

本論文の構成を以下に示す。2. 章では歩容特徴抽出について述べ、3. 章では提案手法の照合単位と歩行周期に基づく位相同期について述べる。5. 章では歩容認証実験について述べ、4. 章では推定した歩行周期に基づく時間超解像処理について述べる。最後に 6. 章で結論と今後の課題について述べる。

## 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ルし、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: Gait Silhouette Volume) 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 1 枚の歩容シルエットを第三主成分まで表したときの固有空間上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、また、提案手法で用いるために歩行周期の検出を行う。歩行周期  $N_{gait}$  は左右二歩分を単位として定義し、GSV の時間方向の正規化自己相関を計算することによって、

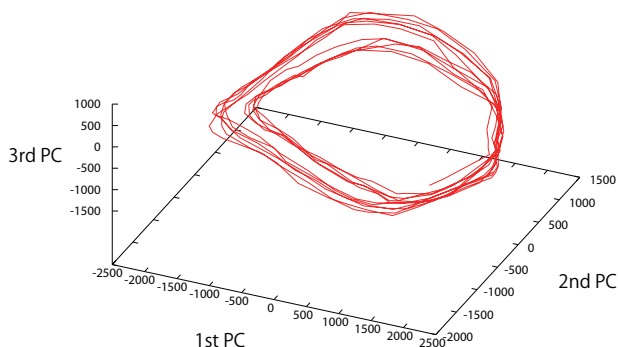


図 2 固有空間上での歩容シーケンス

以下のように算出する .

$$N_{gait} = \arg \max_{N \in [N_{min}, N_{max}]} C(N) \quad (1)$$

$$C(N) = \frac{\sum_{x,y} \sum_{n=0}^{T(N)} g(x,y,n)g(x,y,n+N)}{\sqrt{\sum_{x,y} \sum_{n=0}^{T(N)} g(x,y,n)^2} \sqrt{\sum_{x,y} \sum_{n=0}^{T(N)} g(x,y,n+N)^2}} \quad (2)$$

$$T(N) = N_{total} - N - 1 \quad (3)$$

ここで  $C(N)$  は  $N$  フレーム分シフトしたときの GSV の正規化自己相関であり,  $g(x,y,n)$  は  $n$  フレーム目の空間位置  $(x,y)$  における輝度値で,  $N_{total}$  は GSV に含まれる総フレーム数である. また今回は, 走行・早歩き・牛歩といったような通常の歩行から外れるものについては取り扱わないので, 歩行周期の範囲は通常の歩行における個人差を考慮して 1 歩行周期を  $[0.83, 1.3]$  秒とし, これをフレームレートに応じてフレーム単位に変換し,  $N_{min}$  と  $N_{max}$  を設定する.

### 3. 歩容特徴の照合

#### 3.1 想定しているプローブ・ギャラリーのフレームレート

最も有用と考えられる問題設定はプローブ・ギャラリーともに低フレームレートの場合であるが, 本研究ではプローブは低フレームレート, ギャラリーは標準フレームレートとする. この問題設定は次のような事例を考えれば有用であると考えられるためである. まず監視カメラで犯人の低フレームレートの歩容映像が撮影されたとき, 警察の捜査により容疑者が複数いたとする. そのときに容疑者の歩容を一般のデジタルビデオカメラで標準フレームレートにて撮影したものと照合することで犯人を探す. このような場合プローブを低フレームレート, ギャラリーを標準フレームレートとしても有用であると考えられる.

### 3.2 照合単位

一般的に歩行周期とシーケンス全体が照合単位として可能性がある. 歩行周期を用いるメリットとして, 得られる複数の照合結果を統計的に処理することで歩容の揺らぎによる外れ値を認証から除外することができる. 一方デメリットとして歩容を周期関数として考えた場合, 歩行周期間の歩容の連続性, つまり歩行周期の最初のフレームと最後のフレームの位相の連続性を無視していることが挙げられる. 特に 1fps (frame per second) のような非常に低フレームレートの場合, 歩行周期内に 1 フレームだけ存在することがあり, 歩容軌跡の照合がシルエットマッチングになってしまうことがある.

一方, シーケンス全体を照合単位として用いるメリットとデメリットは歩行周期のメリット・デメリットと逆, つまり, 歩容の連続性を考慮し, 歩容の揺らぎの影響を受ける. 特にシーケンス全体が照合単位としてプローブ・ギャラリーに用いられる場合 [2] では歩容の揺らぎが認証に大きな影響を与えることが考えられる.

このことから我々は表 1 に示すように歩容の揺らぎと歩容の連続性のトレードオフを考慮した 2 つの手法, Sequence-Period と Period-Period を提案し, 実験を通してそれぞれの性能評価を行う. Period-Sequence の組み合わせも可能だが, ギャラリーは標準フレームレートを想定しており, 歩行周期検出誤差が小さいことが考えられるため, 本研究ではギャラリーについては歩行周期を用いる.

#### 3.3 位相同期を考慮した照合

本節ではそれぞれの照合単位を用いた位相同期による固有空間上における歩容軌跡の照合について述べる. 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  $P_P, P_G$  とし, 次に  $S_P, S_G$  の  $t_P, t_G$  枚目の歩容位相をそれぞれ  $\theta_P(t_P), \theta_G(t_G)$  とする. 歩容位相は相対的な値のため, プローブのシーケンスの初期位相  $\theta_P(0)$  を 0 とする. これよりそれぞれの歩容位相を次のように表すことができる.

$$\theta_G(t_G) = \theta_G(0) + \frac{t_G}{P_G} \quad (4)$$

$$\theta_P(t_P) = \frac{t_P}{P_P}, \quad (5)$$

$\theta_G(0)$  はギャラリーの初期位相である. 位相を同期させ

表 1 提案手法と従来手法 [2] 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
Sequence-Sequence [2]	シーケンス全体	シーケンス全体

するためには  $\theta_P(t_P) = \theta_G(t_G)$  となる必要があり, そのときの  $t_P$  と  $t_G$  の関係は以下のように表すことができる.

$$t_G = at_P + b \quad (6)$$

$$a = \frac{P_G}{P_P}, b = -P_G\theta_G(0), \quad (7)$$

$a$  と  $b$  はそれぞれ時間伸縮係数と時間シフト係数である. 検出されたプローブとギャラリーの歩行周期  $P'_P (= P_P + \Delta P_P)$ ,  $P'_G (= P_G + \Delta P_G)$  は量子化誤差  $\Delta P_P$ ,  $\Delta P_G$  が存在するため常に真値と等しいとは限らない.

特に低フレームレートにおける量子化誤差は時間伸縮係数  $a$  に, 標準フレームレートの場合と比べると比較的大きな影響を与える. そこで我々は量子化誤差  $\Delta P_P$  をギャラリーのフレームレートの精度で推定する.

また, ギャラリーの初期位相である  $\theta_G(0)$  は不明であるため, 時間シフト係数  $b$  についても推定する必要がある. ここでプローブとギャラリーの固有空間における特徴ベクトルをそれぞれ  $x_P(t_P)(t_P = 1, \dots, N_P)$ ,  $x_G(t_G)(t_G = 1, \dots, P'_G)$  とすると, 時間伸縮係数  $a$  と時間シフト係数  $b$  は特徴ベクトル間の距離を最小にすることで以下のように推定することができる.

$$d(S_P, S_G) = \arg \min_{a, b} \sum_{t_P=1}^{N_P} \|x_P(t_P) - x_G(\lfloor t_G + 0.5 \rfloor)\|_{L_1} \quad (8)$$

$$a \in \left\{ \frac{P'_G}{P'_P - ir} \mid i \in \mathbb{Z}, |i| \leq \frac{1}{2r} \right\} \quad (9)$$

$$b \in \{j \mid j \in \mathbb{Z}, 0 \leq j \leq P_G - 1\}, \quad (10)$$

ここで  $\lfloor \cdot \rfloor$  は床関数を表し,  $\|\cdot\|_{L_1}$  は  $L_1$  ノルム,  $r$  はフレームレート比 ( $=f_P/f_G$ ) を意味する. また, 前節で述べたように, ギャラリーの照合単位は歩行周期として見ることからギャラリーは周期関数として見ることができ, 特徴ベクトル  $x_G$  は  $x_G(t + P_G) = x_G(t)$  と表すことができる.

#### 4. 時間超解像

本章ではサブフレームオーダーの歩行周期推定に基づく時間超解像について述べる. 本研究における時間超解像とは, 低フレームレートの画像列からより高フレームレートの画像列を作成することである.

ある被験者において, 参照歩容画像列としてより高いフレームレートの本人のシーケンスが存在する場合, 3.3 節で提案した歩行周期に基づく位相同期を行うことで参照歩容画像列のフレームレートの精度で歩行周期を検出することができる. そこで歩容画像間の時間の推移をフレームレートの変化に対して線形であるとした場合, 検出されたサブフレーム単位の歩行周期によっては時間超解像を行える可能性がある. 具体的には, 図 3 のように, 複数歩行周期を保持した低フレームレートの歩容画像列

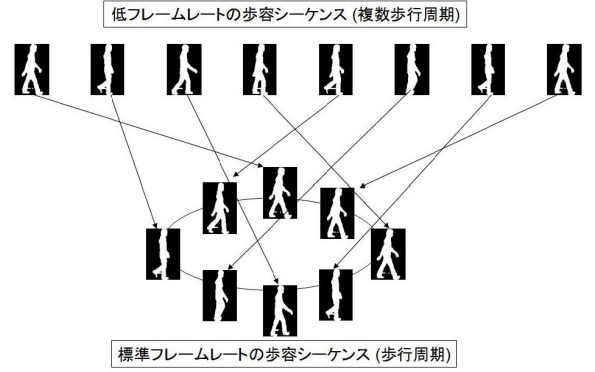


図 3 時間超解像の概念図

からその画像間の画像を補間することで標準フレームレートの 1 歩行周期の歩容画像列を作成する.

次に本論文の問題設定における時間超解像の理論限界に関する定式化を行う. 入力フレームレートを  $F_{in}$  とし, その時に検出されたサブフレーム単位で検出された  $p'$  とする. その時の  $p'$  が次のような有理数で表せたとする.

$$p' = \frac{p}{m} \quad (11)$$

$$p, m \in \mathbb{Z}(m \neq 0) \quad (12)$$

ここで,  $p, m$  は互いに素な自然数である. このとき, 元のフレームレート  $F_{in}$  に対して,  $m$  倍まで時間超解像を行うことが可能であり, そのときに必要なフレーム数は  $p$  枚である. 本研究においては式 (8) において本人同士のプローブ・ギャラリー間の照合を行うときに求められる最適な時間伸縮係数  $a$  から歩行周期を推定できるため, その歩行周期を用いることで時間超解像を行うことができる.

図 4 に作成した時間超解像画像列を示す. 図 4(a) は 6 秒間の 4fps の歩容画像列から 20fps, 図 4(b) は 4fps の歩容画像列から 12fps の 1 歩行周期の歩容画像列を作成したのになっている.

#### 5. 時空間解像度に関する性能評価実験

##### 5.1 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. シーケンスは時速 4km で歩いて, 進行方向左側から 6 秒間撮影したものをを用いる.

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 をアスペクト比を保ったまま縮小することで低空間解像度の歩容シーケンスを作成した. 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.

## 4fps gait sequence (6sec)



## 20fps gait sequence (gait period)

(a) 被験者 A

## 4fps gait sequence (6sec)



## 12fps gait sequence (gait period)

(b) 被験者 B

図 4 時間超解像結果

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)	44×64, 22×32, 11×16

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) の値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。

### 5.2 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、データセット  $DB_{high}$  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、44×64, 22×32, 11×16 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 5 に表す。グラフにおいて、水平方向はプローブのフ

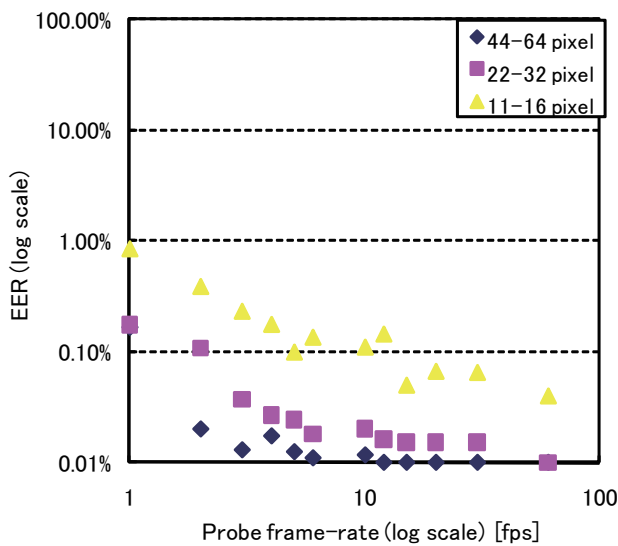
レームレート、垂直方向は本人拒否と他人受入の等誤り率 (EER:Equal Error Rate) を表し、共に対数軸を取っている。

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、44×64 から 22×32 への認証性能の低下が比較的小さいのに対して、22×32 から 11×16 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 22×32 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。

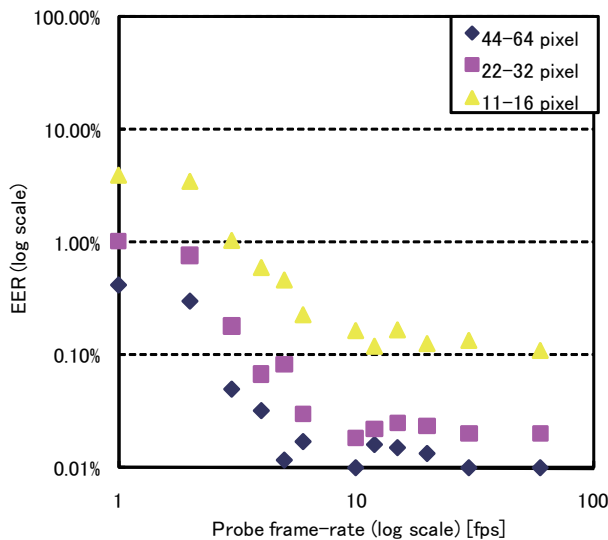
### 5.3 時間解像度に関する評価

評価する手法は提案手法二つ (Period-Period と Sequence-Period) と村瀬ら [2] 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 [6] (Average silhouette), 周波数領域特徴 [5] (Frequency-domain feature), 時間超解像後のシーケンスに対する周波数領域特徴 [5] (Frequency-domain feature (TSR)) の四つ、及び歩容特徴 Width Vector [10] を Sequence-Period で照合する手法 (Width vector) を加えた七つの手法とした。時間超解像は各々のシーケンスに式 (12) を適用したときの  $m$  が 1 より大きいシーケンスについて行った。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]





(a) Period-Period

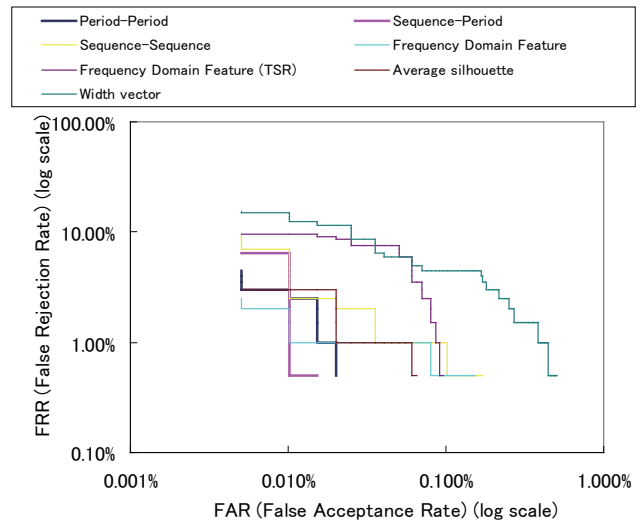


(b) Period-Period

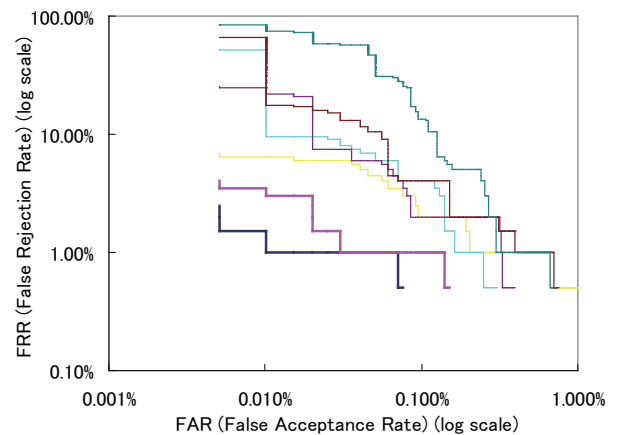
図 5 空間解像度に関する評価

については、 $22 \times 32$  を用いた。

実験結果として 30fps, 10fps, 4fps についての ROC 曲線 (Receiver Operating Characteristic curve) を図 6, 7, 8 に示す。グラフにおいて、水平方向は本人拒否誤り率 (FAR:False Acceptance Rate), 垂直方向は他人受入誤り率 (FRR:False Rejection Rate) を表し、共に対数軸を取っている。ROC 曲線では本人拒否誤り率と他人受入誤り率が共に低ければ性能が良いということであり、つまり、図上では左下であれば性能が良いということになる。結果より、いずれのフレームレートにおいても  $DB_{low}$  では提案手法が従来手法を上回っていると言える。また、 $DB_{high}$  ではいずれのフレームレートにおいて本人拒否誤り率が非常に低い場合においては周波数領域特徴が提案手法を上回っている。しかし、本人拒否誤り率が上がると提案手法と周波数領域特徴と



(a)  $DB_{high}$



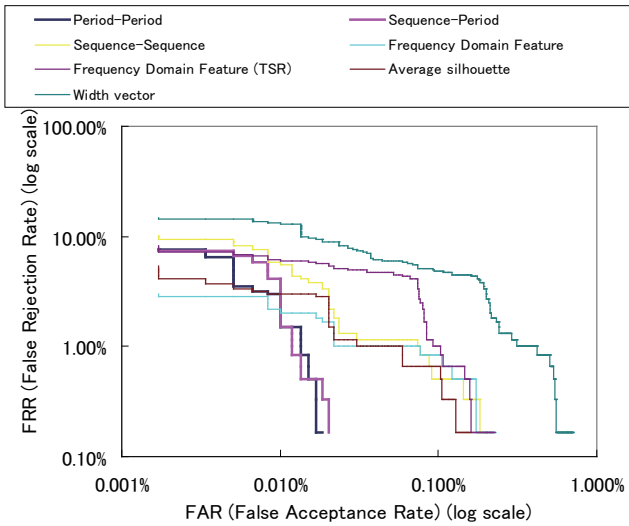
(b)  $DB_{low}$

図 6 時間解像度に関する評価 (30fps:ROC)

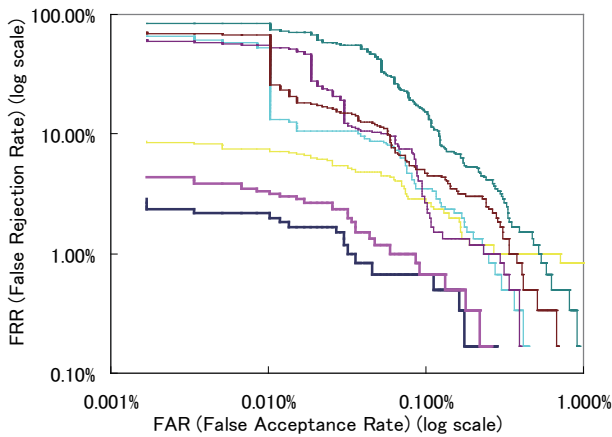
の曲線に逆転が見られる。

一方、元のシーケンスに対する周波数領域特徴 (Frequency Domain Feature) と時間超解像を行ったシーケンスに対する周波数領域 (Frequency Domain Feature (TRS)) の認証性能に関しては、全体としては元の周波数領域特徴の方が良い性能になるという結果が得られた。これは、周期間の歩容の揺らぎがある場合に、その揺らぎを含めて作成した一歩行周期から抽出した特徴が、認証に悪影響を及ぼすことがあるためと考えられる。

次に全てのフレームレートにおける EER の実験結果を図 9 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、提案手法である Sequence-Period が  $DB_{high}$  のほとんどのフレームレートにおいて認証性能が最も良いことがわかる。一方、 $DB_{low}$  においてはより高いフレームレートでは Period-Period の認証性能が最も良く、より低いフレームレートでは Sequence-Period の認証性能が最も良い、という結果になっている。これはより高いフレームレートでは歩容の揺らぎによる外れ値を認証から除外する Period-Period が効果的であり、



(a)  $DB_{high}$



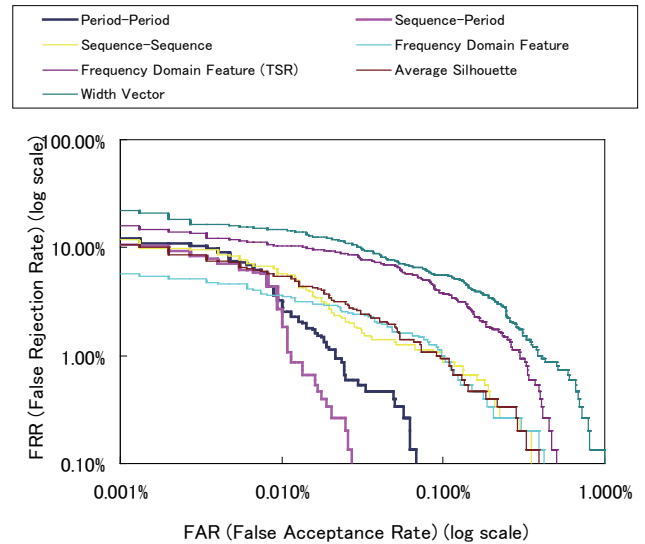
(b)  $DB_{low}$

図 7 時間解像度に関する評価 (10fps:ROC)

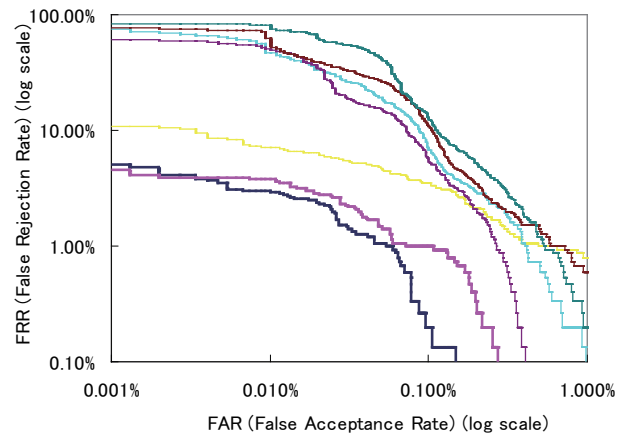
一方、より低いフレームレートでは歩容の連続性を保持している Sequence-Period がより効果的であるためだと考えられる。これらの性質は 3.2 節で述べたことと一致する。

またそれぞれのフレームレートにおいて最適な手法を用いたとしても、平均して  $DB_{low}$  における性能は  $DB_{high}$  における性能よりも低くなっている。このことから歩容の揺らぎにより対応することが必要だと考えられる。

また図 9 から Frequency Domain Feature と Frequency Domain Feature(TSR) の結果を比較しても 4fps 以上においては、時間超解像の優位性は見られなかった。しかし、その一方で、時間超解像を行うメリットとして、サンプリング定理により 3fps 未満では利用することができなかった周波数領域特徴を時間超解像を行うことで認証に利用可能なことが挙げられる。時間超解像可能なシーケンスだけをプローブとして用いて、平均シルエットと周波数領域特徴について実験を行った。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 3fps、ギャラリーのフレーム



(a)  $DB_{high}$



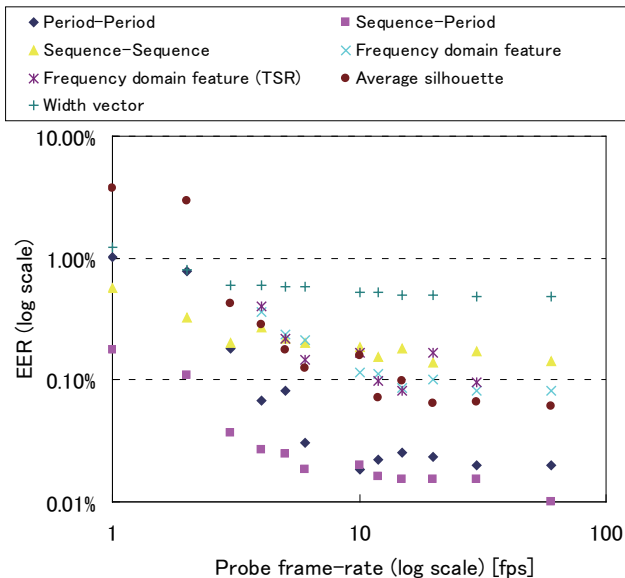
(b)  $DB_{low}$

図 8 時間解像度に関する評価 (4fps:ROC)

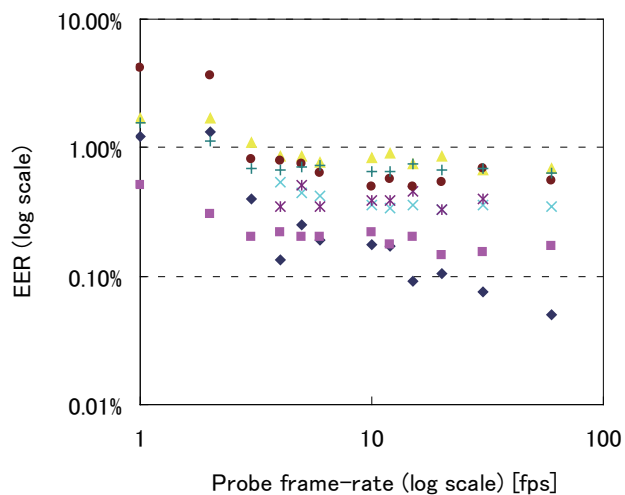
レートについては 60fps、空間解像度 [pixel] については、 $22 \times 32$  を用いた。実験結果を図 10 に示す。この結果より、いずれのフレームレート、データセットにおいても、時間超解像を行わない平均シルエットよりも、時間超解像を行った周波数領域特徴を用いる方が良い性能であることがわかった。中でも 2fps、1fps においては EER で 2%~5% ほどの大幅に認証率が上がっている。よって、フレームレートが極めて低く、一歩行周期内に数フレームしか無いような場合には、時間超解像を行う意義があることが分かった。

## 6. 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



(a)  $DB_{high}$



(b)  $DB_{low}$

図9 時間解像度に関する評価 (EER)

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。また低フレームレートのシーケンスからより高いフレームレートのシーケンスを作成する時間超解像について述べた。評価実験では時間超解像前後のシーケンスを用いた認証性能評価を行った。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

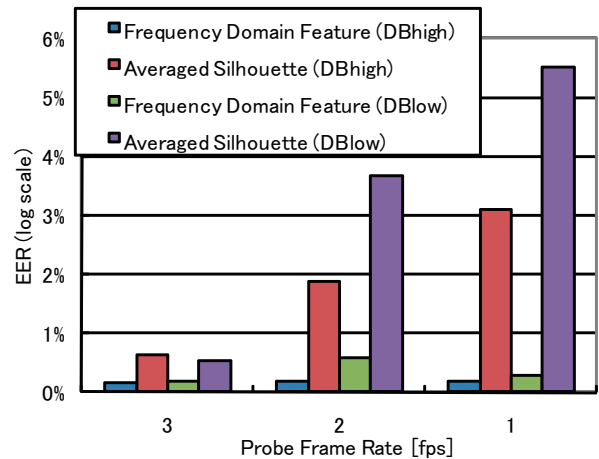


図10 時間超解像可能なシーケンスを用いた平均シルエットと周波数領域特徴の認証実験結果

## 謝 辞

本研究は科研費 21220003 の助成を受けたものである。

## 文 献

- [1] S. Sarkar, J. Phillips, Z. Liu, I. Vega, P. Grother and K. Bowyer: "The humanid gait challenge problem: Data sets, performance, and analysis", *Trans. of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **27**, 2, pp. 162–177 (2005).
- [2] H. Murase and R. Sakai: "Moving object recognition in eigenspace representation: gait analysis and lip reading", Vol. 17, Elsevier Science Inc. (1996).
- [3] Y. Ohara, R. Sagawa, T. Echigo and Y. Yagi: "Gait volume: Spatio-temporal analysis of walking", *Proc. of the 5th Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical cameras*, pp. 79–90 (2004).
- [4] S. Niyogi and E. Adelson: "Analyzing and recognizing walking figures in xyt", *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 469–474 (1994).
- [5] 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 (2006).
- [6] Z. Liu and S. Sarkar: "Simplest representation yet for gait recognition: Averaged silhouette", *Proc. of the 17th Int. Conf. on Pattern Recognition*, Vol. 1, pp. 211–214 (2004).
- [7] J. Han and B. Bhanu: "Individual recognition using gait energy image", *Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **28**, 2, pp. 316–322 (2006).
- [8] Z. Liu and S. Sarkar: "Improved gait recognition by gait dynamics normalization", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **28**, 6, pp. 863–876 (2006).
- [9] S. Mowbray and M. Nixon: "Automatic Gait Recognition via Fourier Descriptors of Deformable Objects", Vol. 2688, Springer Berlin / Heidelberg (2003).
- [10] A. Kale, N. Cuntoor, B. Yegnanarayana, A. Rajagopalan and R. Chellappa: "Gait Analysis for Human Identification", Vol. 2688, Springer Berlin / Heidelberg (2003).