

全方位カメラを用いた歩容認証における センサ配置に関する検討

赤江直樹^{†1} 榎原靖^{†1} 八木康史^{†1}

本論文では、全方位カメラを用いた多方向照合による歩容認証のためのセンサ最適配置に関する検討を行う。対象とする環境は、歩行者の動線がある程度規定される廊下のようなシーンを想定し、設置コストを考慮して配置する全方位カメラは1台とする。実験では、17人の被験者の直線歩行シーケンスを用いて、周波数領域特徴による個人認証を行い、他人受入率と本人拒否誤り率の等誤り率（EER）をセンサの配置毎に評価する。次に、認証性能に影響を及ぼす要因として、解像度・局所的及び大域的な観測角変化を考慮して、実験結果に対してそれらの要因による回帰分析を行い、認証性能モデルを構築する。また、それを実空間にマッピングしたモデルを用いることで、センサの最適配置を示す。

The Optimal Sensor Arrangement for Gait Identification using an Omnidirectional Camera

NAOKI AKAE,^{†1} YASUSHI MAKIHARA^{†1}
and YASUSHI YAGI^{†1}

We propose a method of the optimal sensor layout for multi-view gait identification using an omnidirectional camera. This paper deals with an environment where target persons walk almost straight such as a corridor and focuses on a case of only one omnidirectional camera layout considering cost. First, we conduct recognition experiments with frequency-domain features for straight walk sequences of 17 subjects and evaluate the change of Equal Error Rate (EER) for each camera layout. Then, a regression analysis is applied to the obtained results in order to construct an optimal sensor layout model based on the local and global change of observation view and image resolution. Finally, the optimal sensor layout model is mapped into that in the real space to show the optimal omnidirectional camera layout.

1. はじめに

近年、監視システムやアクセスコントロールのための個人認証の必要性が高まっており、人間の生体情報（バイオメトリクス）を利用した個人認証技術が注目されている。バイオメトリクスには、指紋、静脈、虹彩、顔などがあるが、最近、人の歩き方の個性を表す歩容を利用した個人認証方法として歩容認証が関心を集めている。歩容認証は、カメラから離れた人物を認証すること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。

現在、歩容認証の手法として、モデルベースの手法¹⁾²⁾ やアピランスベースの手法³⁾⁴⁾ などが提案されている。これらの手法の問題の一つとして、観測方向の変化による見えの変化が挙げられる。実際に、Yuら⁵⁾ は、観測方向の異なる歩行シーケンス同士の照合では、認証性能が低下することを示している。このことは、異なる観測方向の歩容には異なる特徴が含まれていることを意味する。

この報告を基にして、複数方向の特徴を用いて認証性能の向上を目指した研究が進められている。Wangら⁶⁾ は、Dempster-Shafer (D-S) 理論を基にした複数の歩容シーケンスの統合により認証率の向上を実現している。また、Sugiuraら⁷⁾ は、全方位カメラを用いることで、1歩容シーケンスから複数方向の周波数領域特徴を抽出し、これらの特徴を統合することで、照合率の向上を実現している。

全方位カメラを用いた歩容認証を実用化する際には、認証性能の高さが重要となるため、その性能を決定付けるカメラの配置を適切に行うことが望ましい⁸⁾。しかしながら、従来研究⁷⁾ においては、カメラと歩行者間の距離や観測角に関する解析はされておらず、実環境において全方位カメラの配置を適切に行わなければ認証性能が低下してしまう可能性がある。例えば、歩行者から離れた位置にカメラを配置すると、解像度が低くなり、シーケンス全体で観測できる方向の変化が小さくなる一方で、1歩行周期を単位として抽出する周波数領域特徴内の方向変化が小さく安定化する。逆に歩行者に近い位置にカメラを配置すると、解像度が高くなり、シーケンス全体で観測できる方向の変化も大きくなるが、周波数領域特徴抽出時の方向変化も大きくなり特徴が不安定になる。このように、距離や観測角などの様々な要因が認証性能に影響を与えると考えられるので、これらの要因を考慮した最適なセンサ配置を行う必要がある。

^{†1} 大阪大学 産業科学研究所

Insutitute of Scientific and Industrial Research Osaka University

最適なセンサ配置を求める単純な方法としては、実環境においてセンサの配置する位置を様々に変えながら認証を行い、最も高い認証性能を示した位置を選択すればよい。しかしながら、実環境においてセンサを配置することが可能な位置は膨大であり、全ての配置可能な位置に実際にセンサを配置して歩容データを収集し、認証性能を比較することは現実的に難しい。

また、アクセスコントロールなどの屋内の環境での応用を目的とした歩容認証においては、歩行者の動線がある程度決まっている場合が多い。例えば、廊下のようなシーンでは、歩行者は廊下の中央の直線コースを歩行すると仮定することができる。

そこで本論文では、距離や観測角などの要因に対する認証性能を認証実験から解析することで、歩行者の動線に基づくセンサ最適配置手法を提案する。対象とする環境は、歩行者の動線がある程度規定される廊下のようなシーンを想定し、設置コストを考慮して配置する全方位カメラは1台とする。また、プローブ（入力データ）とギャラリー（登録データ）のシーケンスは同一経路を歩行した時のデータとする。まず、17人の被験者に対する個人認証実験によって、他人受入誤り率と本人拒否誤り率の等誤り率（EER）をセンサの配置位置毎に評価する。次に、認証性能に影響を及ぼす要因として、解像度・局所的及び大局的な観測角変化を考慮して、実験結果に対してそれらの要因による回帰分析を行い、認証性能モデルを構築する。そして、それを実空間にマッピングしたモデルを用いることで、センサの最適配置を示す。

本論文の構成を以下に示す。2章では多方向の歩容特徴を用いた歩容認証について述べ、3章ではセンサ配置による歩容特徴への影響及び認証性能への影響について考察を行い、センサ最適配置モデルの構築の方針を示す。4章では認証実験について述べ、さらに認証性能モデルを与える。最後に5章で結論と今後の課題について述べる。

2. 多方向照合による歩容認証

本研究で用いる全方位カメラは、図1に示すように、上部に配置された双曲面ミラーと下部に配置された円錐面ミラー、鉛直下向きに取り付けられたビデオカメラから構成されており、周囲360度の映像を撮影することができる。これより、1度の直線歩行シーケンスから複数方向の歩容特徴を抽出することが可能となる。本章では入力された全方位画像系列から多方向の歩容特徴を抽出し、個人認証を行う方法について述べる。

2.1 歩容シルエットボリュームの作成

まず、入力された全方位画像系列に対して、背景差分及び影除去を行いシルエットを抽

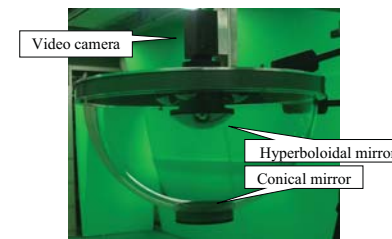


図1 全方位カメラ



(a) 斜め前方向



(b) 横方向



(c) 斜め後ろ方向

図2 GSV

出する。次に、パノラマ展開⁹⁾を適用し、アスペクト比を保ったままシルエットの高さ正規化及び中心の位置合わせを行う。この結果、 $W_g \times H_g$ のシルエット画像列が得られ、これらを時間軸上に積み重ねたものを歩容シルエットボリューム（Gait Silhouette Volume: GSV）と呼ぶ。

一例として図2に複数方向から撮影された時に抽出されたGSVを示す。観測方向によって得られるGSVが異なることが同図から分かる。

2.2 歩容特徴の抽出

本研究では、歩容の周期性を利用した周波数領域特徴¹⁰⁾を用いる。本節ではその概要を述べるが、詳細については¹⁰⁾を参照されたい。まず、歩行周期 N_{gait} をGSVの時間軸方向の正規化自己相関を最大にする周期として算出する。次に、 N_{gait} 分のフレームから成るサブシーケンスに対して歩行周期 N_{gait} を基本周期とした時間方向の1次元離散フーリエ変換を行い、歩行周期 N_{gait} で正規化した振幅スペクトルを算出する。本論文では、0~2倍周波数の振幅スペクトルを並べたものを歩容特徴ベクトル α として定義する。

2.3 歩行者の位置の推定

全方位画像座標と世界座標を図3に示すように定義する。全方位画像上での歩行者の足元の点の座標 $p_f(x, y)$ から、世界座標系での歩行者の位置、すなわち足元の点 $P_F(X, Y)$ を求める。なお p_f 及び P_F の極座標表現を、それぞれ (r_f, ρ) 、 (R_f, ρ) と表す。

双曲面ミラーの全方位カメラを用いる場合、 R_f は以下のように算出される⁹⁾。なお H_r はミラー焦点と床面の距離である。

$$R_f = \frac{-(b^2 - c^2)H_r r_f}{(b^2 + c^2)f - 2bc\sqrt{r_f^2 + f^2}} \quad (1)$$

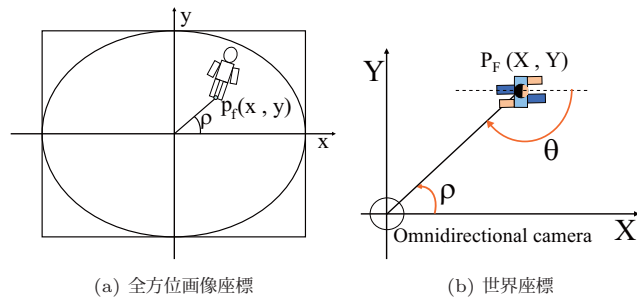


図3 座標系の定義

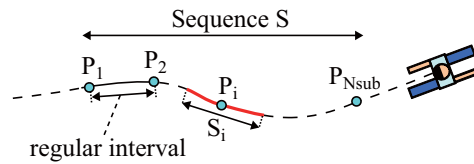


図4 基準点の算出

これより方位角 ρ と合わせて点 P_F の座標が求まるので、それらを時系列に並べることで歩行軌跡が得られる。

2.4 複数地点の歩容特徴の抽出

世界座標系での歩行者の位置 P_F を基にして、全体シーケンス S に対する周波数領域特徴の抽出する。まず、歩行軌跡上に一定間隔で基準点 $P_i (i = 1, 2, \dots, N_{sub})$ を定める (図4)。次に、全体シーケンス S から基準点 P_i に相当する基準フレーム n_i を算出し、基準フレーム n_i を中心としてその前後から半歩行周期 $N_{gait}/2$ 分のサブシーケンス S_i を取り出して、周波数領域特徴を計算する。

2.5 歩容特徴の照合

基準点 P_i に対するプローブとギャラリの特徴ベクトルを $a_{P_i}^P, a_{P_i}^G$ と定義し、距離尺度として特徴ベクトル間のユークリッド距離 d を用いる。次に、基準点間での距離スケールの違いを考慮して、基準点毎に標準化距離 $d_z = (d - \bar{d})/\sigma$ を算出する。ここで、 \bar{d}, σ は、対象とするプローブと全ギャラリとの距離の平均と標準偏差である。最終的な評価値は、全基準点の標準化距離 d_z の平均値とする。

表1 各要因による認証性能への影響

要因	性能	
	大	小
シーケンス内の観測角の変化	良	悪
サブシーケンス内の観測角の変化	悪	良
シルエットの解像度	良	悪

3. 最適配置に関する検討

3.1 認証性能に影響を与える要因の検討

本節では、認証性能モデルを構築するために、認証性能に影響を与える要因について検討を行う。ここでは認証性能に影響を与える要因として以下の三つの要因を挙げる。また、各要因の値の大小による定性的な認証性能の変化を表1に示す。

- シーケンス内の観測角の変化
- サブシーケンス内の観測角の変化
- シルエットの解像度

シーケンス内の観測角の変化とは、大域的な観測角変化のことを意味する。シーケンス内の観測角の変化が大きいく程、より多くの方向の周波数領域特徴が抽出可能であるため、認証性能は向上する。一方シーケンス内の観測角変化が小さいと、単一方向の歩容特徴しか抽出できないので認証性能は低下すると考えられる。

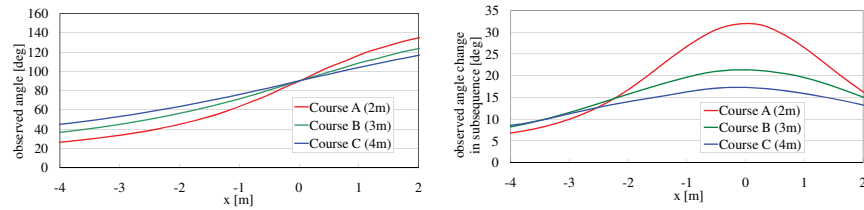
サブシーケンス内の観測角の変化は、局所的な観測角変化のことを意味する。周波数領域特徴はサブシーケンスから抽出され、サブシーケンス内で観測角が一定であれば安定した周波数領域特徴を抽出することができ、認証性能は向上する。一方、サブシーケンス内の観測角変化が大きくなればなる程、特徴抽出の対象となるフレーム間で見えの変化が大きくなり、抽出される周波数領域特徴は不安定になってしまい、認証性能は低下する。

シルエットの解像度は、カメラと歩行者間の距離が大きい程小さくなる。シルエットの解像度が大きい程、より精度の高いGSVを作成可能であるため、認証性能は向上すると考えられる。一方、シルエットの解像度が低くなると、認証性能は低下すると考えられる。

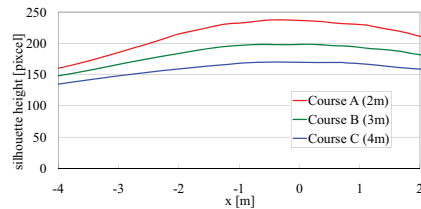
3.2 センサ配置による要因の変化

本節では、全方位カメラの配置によって、上で述べた認証性能へ影響を与える要因がどのように変化するか検討するために、次のような実験を行う。

実験は図5(a)に示す環境で行い、実際に撮影した画像系列を解析することでこれらの要



(a) 観測角の変化 (b) サブシーケンスの観測角の変化の大きさの変化



(c) シルエットの解像度の変化

図 6 各要因の変化

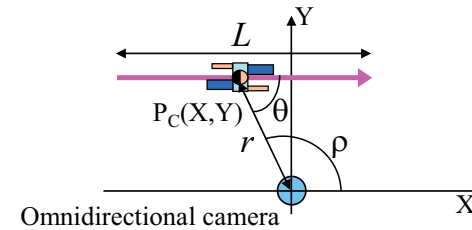


図 7 各要因の関係

$$\theta_{seq} = \left| \tan^{-1} \frac{Y}{X - L/2} - \tan^{-1} \frac{Y}{X + L/2} \right| \quad (2)$$

サブシーケンス内の観測角の変化 θ_{sub} は、局所的な観測角変化であることから、観測角 θ の X の偏微分で表し以下のように定義する。

$$\theta_{sub} = \left| \frac{\partial \theta}{\partial X} \right| = \left| \frac{\sin \theta}{r} \right| \quad (3)$$

シルエットの解像度は、一般的なカメラの場合は距離に反比例することから、全方位カメラと歩行者間の距離 r を用いて $1/r$ と定義する。

したがって、認証性能モデルは以下のような関数 F で表される。

$$EER = F(\theta_{seq}, \theta_{sub}, 1/r) \quad (4)$$

この認証性能モデルを構築するためには、二つの要因を固定した条件下で、残り一つの要因を変化させながら認証性能を評価する実験を各々の要因について行うことが望ましい。しかしながら、三つの要因は互いに関係性を持っているため、一つの要因による性能変化を測定するために他の二つの要因を固定して実験を行うことは難しい。そこで本論文では、各要因を固定せずに認証性能を実験的に評価し、さまざまな関数を用いて実験結果に対して回帰分析を行うことで、認証性能モデルを構築する。

4. 実験

4.1 データセット

17人の被験者に対してデータセット作成のための実験を行った。シルエットの抽出を容易にするため、クロマキーバックを設置した図8に示す環境で実験を行った。各被験者には、同図の3コースをそれぞれ2回ずつ歩いてもらい計6シーケンスを撮影した。これを3日間に渡って行い、1被験者あたり18シーケンスを撮影した。したがって、

ついて論じる。

まず、認証性能を定義する。認証性能を表す指標として受信者操作特性曲線 (ROC 曲線)¹¹⁾ における一般的な評価基準として用いられている EER (Equal Error Rate) を用いる。ROC 曲線とは本人照合において、受入れ基準の閾値を操作した場合の他人受入れ誤り率 (False Acceptance Rate) P_{FA} に対する本人拒否誤り率 (False Rejection Rate) P_{FR} の関係を表したものである。EER とは ROC 曲線において他人受入れ率 P_{FA} と本人拒否率 P_{FR} が等しいときの誤り率のことであり、値が小さいほど高い認証性能であることを意味する。

次に、三つの要因を定義するために、図7に示すような世界座標系を設定する。世界座標系の原点は全方位カメラの中心であり、歩行者は X 軸に平行な直線に沿って歩行する。また同図に示すように、シーケンスの中心点を $P_C(X, Y)$ 、極座標系で $P_C(r, \rho)$ 、シーケンス長を L と定義する。これらを用いて、シーケンス内の観測角の変化 θ_{seq} を以下のように定義する。

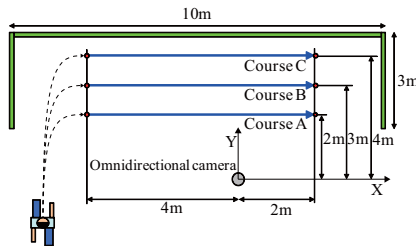


図 8 歩行コースと全方位カメラの配置

18シーケンス×17人＝306シーケンスより、全シーケンス数は306となった。各コースに対して、102シーケンスの歩容データを取得したことになる。そして、コース毎に、17シーケンスをギャラリ、残り85シーケンスをプローブとして認証性能の評価を行った。使用したカメラは、Point Grey Research社のGRAS-50S5C-Cであり、フレームレートは15(fps)、シャッタースピードは20.3(ms)、解像度は1600×1200(pixel)で撮影した。また、GSVの解像度は30×30(pixel)と設定した。これより特徴ベクトルの次元は30×30×3＝2700となる。

4.2 評価方法

コース毎に $-3m \leq X \leq 1.2m$ の範囲の0.1m間隔の各地点を中心とするサブシーケンスを取り出し、地点毎に周波数領域特徴を抽出する。そして、各地点の歩容特徴を用いて照合を行った際の認証性能を地点毎に評価する。この時、照合に用いる歩容特徴を一つに限定するのではなく、複数用いた場合の認証性能も評価する。つまり、シーケンスの長さを変化させながら性能を評価する。今回の実験では、複数の歩容特徴を用いて照合を行う場合は、各特徴抽出点間の距離を0.5m間隔とし、用いる歩容特徴の数を1から7に変化させて評価を行った。なお1歩行周期で進む平均的な距離は1.5(m)であることから、シーケンス長は1.5mから4.5mに0.5m刻みで変化することになる。

4.3 実験結果

図9(a)から図9(c)に各地点を中心としたシーケンスを用いて認証を行ったときのEERをコース毎に示す。また各図は、照合に用いた歩容特徴の数毎に認証性能をそれぞれ示している。

これらの図から分かるように、全体の傾向として照合に用いる歩容特徴の数が多くなるほど、つまりシーケンスの長さが長くなるほど認証性能が向上していることがわかる。また、

コースAに着目すると、照合に用いた歩容特徴の数に関わらず $X = 0$ 付近で認証性能が悪くなっている。一方、コースB、Cに着目すると、 $X = 0$ 付近で認証性能が少し悪くなる傾向にあるが、コースAほど性能の低下が顕著でない。したがって、サブシーケンス内の観測角の変化が認証性能に大きな影響を与えていることが分かる。

4.4 認証性能モデルの構築

実験結果に対して回帰分析を行うことで、認証性能モデルの構築を行う。認証性能モデルの関数形として、分子に値が大きくなると認証性能が低下する要因を、分母に値が大きくなると認証性能が向上する要因を配置した関数とする。つまり、三つの要因のうち、サブシーケンス内の観測角の変化が分子に、解像度とシーケンス内の観測角の変化が分母になる。本論文では、各要因の自然数乗を分母分子とした以下の式を認証性能モデルとして提案する。

$$EER = F(\theta_{seq}, \theta_{sub}, 1/r) \quad (5)$$

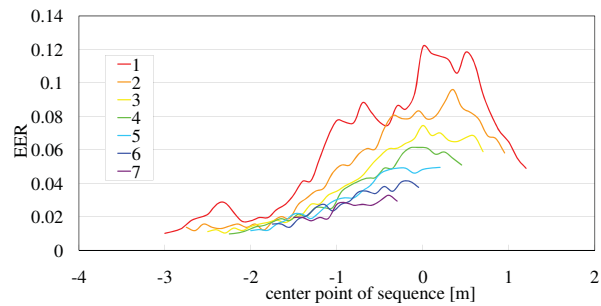
$$= \frac{a(b + \theta_{sub})^l}{(c + \frac{1}{r})^m (d + \theta_{seq})^n} \quad (6)$$

各自然数乗 l, m, n に対する最適なパラメータ a, b, c, d は、準ニュートン法を用いて測定値と推定値の二乗誤差を最小化することで求める。各要因の指数の各組み合わせに対して回帰分析を行い、誤差が小さくなる指数を選択した。その結果、各要因の指数として、サブシーケンス内の観測角の変化は4、解像度とシーケンス内の観測角の変化は共に2を選択した。したがって、解像度やシーケンス内の観測角変化に比べて、サブシーケンス内の観測角変化が性能により大きい影響を与ええる。なお実際に a, b, c, d 求めた時の、各点の誤差の平均値はEERで0.62(%)であったことから、十分な精度で近似できていると考えられる。

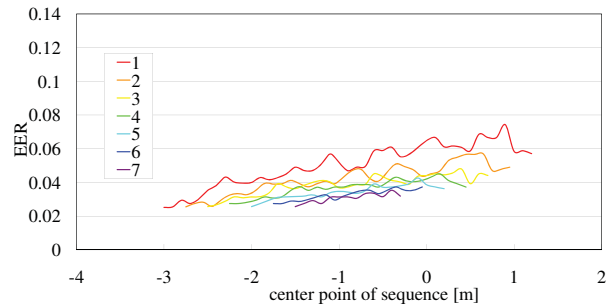
次に、認証性能モデルの実空間へのマッピングを行う。実空間へのマッピングは、 $\theta_{seq}, \theta_{sub}, 1/r$ で表されていたEERをシーケンスの中心点 (X, Y) とシーケンス長 L で表すことで実現される。したがって、式(3)、(2)を式(6)に代入し、極座標系をXY座標系に変換すればよい。図10に $L = 1.5, 3, 4.5$ の実空間へのマッピング結果を示す。同図から、シーケンス長 L が大きくなると認証性能が向上していることが分かる。またセンサと歩行者が近い場合は、横方向から撮影したシーケンスでは認証性能が悪くなっており、正面付近のシーケンスを用いる方が認証に有利であることが分かる。一方、センサから離れると、全体的に少しずつ認証性能が低下しているが、これは解像度の影響と考えられる。

4.5 最適配置

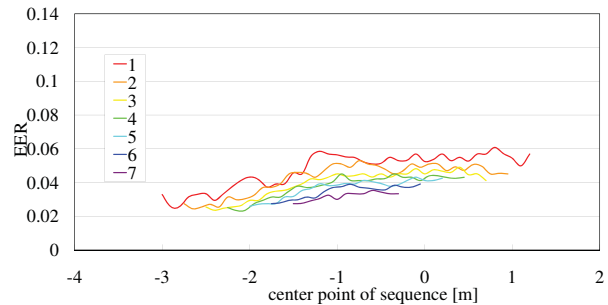
実際のカメラ配置を想定して、カメラと歩行者の動線の距離に対する最適な配置について解析を行う。図11にシーケンス長 $L = 1.5, 3, 4.5$ の場合の全方位カメラと動線間の距離 Y



(a) 実験結果 コース A(2m)

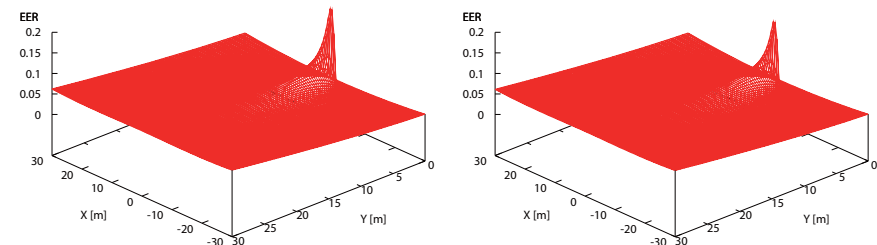


(b) 実験結果 コース B(3m)



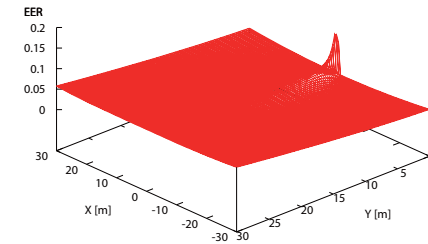
(c) 実験結果 コース C(4m)

図 9 実験結果



(a) L=1.5(m)

(b) L=3(m)



(c) L=4.5(m)

図 10 実空間へのマッピング

に対する最適な X 座標を示す. 同図から, カメラと歩行者の動線間の距離が近い場合は観測角変化が小さくなるようなカメラ配置, つまり斜め前後方向から撮影する配置が最適であることが分かる. また, 距離が離れる程, 観測角変化は小さくなるので, カメラと動線間の距離の増加にしたがってより多くの方向特徴を抽出でき, 且つカメラと歩行者間の距離が近く解像度が大きくなる方が有利なので, X 座標は 0 に近づき, 最終的に $X = 0$ に収束する.

5. 終わりに

本論文では, 全方位カメラを用いた多方向照合による歩容認証のためのセンサ最適配置手法について述べた. まず, 歩容認証において認証性能に影響を与える要因として, 「シーケンス内の観測角の変化」, 「サブシーケンス内の観測角の変化」, 「シルエットの解像度」の三つを挙げ, 各要因が相互作用し認証性能が変化することを示した. 次に, 17 人の被験者に対

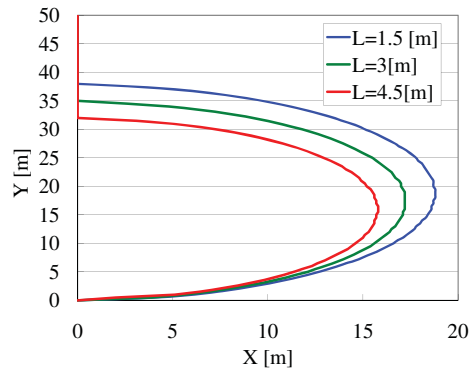


図 11 距離に対する最適配置

して個人認証実験を行い、三つの要因に対する認証性能を測定した。そして、その実験結果に対して回帰分析を行うことで、センサ最適配置モデルを構築した。回帰分析の際には、各要因の影響を考慮した関数を用いてフィッティングすることで、適切な関数を求めた。その結果、各要因の指数の中で「サブシーケンス内の観測角の変化」が他の要因に比べて高い指数であることから、「サブシーケンス内の観測角の変化」が認証性能に最も大きな影響を与えることが明らかになった。さらに実環境への全方位カメラの配置を行うことを考慮して、この最適配置モデルを実空間へマッピングし、カメラと動線の距離に対する最適配置を示した。その結果、動線がカメラに近い場合は観測角変化が小さくなるように前方向や後ろ方向から撮影を行うような配置が良いことが分かった。また、動線がカメラから離れるにつれて観測角変化は小さくなるので、より多くの方向の歩容特徴を抽出でき、解像度が高くなるように横方向から撮影を行うようなセンサ配置が望ましいことが明らかになった。

今後の課題として、カメラと歩行者の距離だけでなく全方位カメラのミラー特性による解像度の影響に関する解析が必要である。全方位ミラーは中心から離れるにしたがって解像度が高くなるという特性を持つため、シルエットの足元の解像度は低くなり頭頂部の解像度が高くなる可能性がある。したがって、ミラーの解像度の歪みに着目した解析が必要である。

謝 辞

本研究は科研費 20700160 の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- 1) R.Urtasun and P.Fua. 3d tracking for gait characterization and recognition. In *Proc. of the 6th IEEE Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 17–22, 2004.
- 2) C.Yam, M.S. Nixon, and J.N. Carter. Automated person recognition by walking and running via model-based approaches. *Pattern Recognition*, Vol.37, No.5, pp. 1057–1072, 2004.
- 3) S.Sarkar, J.P. Phillips, Z.Liu, I.R. Vega, P.Grother, and K.W. Bowyer. The humanoid gait challenge problem: Data sets, performance, and analysis. *Trans. of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.27, No.2, pp. 162–177, 2005.
- 4) J.Han and B.Bhanu. Individual recognition using gait energy image. *Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.28, No.2, pp. 316–322, 2006.
- 5) S. Yu, D. Tan, and T. Tan. Modelling the effect of view angle variation on appearance-based gait recognition. In *Proc. of 7th Asian Conf. on Computer Vision*, Vol.1, pp. 807–816, Jan. 2006.
- 6) Y.Wang, S.Yu, Y.Wang, and T.Tan. Gait recognition based on fusion of multi-view gait sequences. In *Proc. of the IAPR Int. Conf. on Biometrics 2006*, pp. 605–611, Jan. 2006.
- 7) Kazushige Sugiura, Yasushi Makihara, and Yasushi Yagi. Gait identification based on multi-view observations using omnidirectional camera. In *Proc. 8th Asian Conference on Computer Vision*, pp. 452–461, Tokyo, Japan, Nov. 18–22 2007. LNCS 4843.
- 8) 漆畑亮, 森武俊, 下坂正倫, 野口博史, 佐藤知正. 生活行動分類における動線に基づくシミュレーションによるセンサ配置最適化手法. 電子情報通信学会技術報告 PRMU 109-182, pp. 115–120, Aug. 2009.
- 9) 山澤一誠, 八木康史, 谷内田正彦. 移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚系 hyperomni vision の提案. 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol. J79-D-II, No.5, pp. 698–707, 1996.
- 10) 横原靖, 佐川立昌, 向川康博, 越後富夫, 八木康史. 周波数領域における方向変換モデルを用いた歩容認証. 情報処理学会論文誌 コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.48, No. SIG1(CVIM17), pp. 78–87, Feb. 2007.
- 11) P.J. Phillips, H.Moon, S.Rizvi, and P.Rauss. The feret evaluation methodology for face-recognition algorithms. *Trans. of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.22, No.10, pp. 1090–1104, 2000.