

複数の不可視光源による歩行者の影を用いた個人識別

見えの変化に対する頑強性の向上

内野 康司[†] 岩下 友美^{†,††} 倉爪 亮[†] AdrianStoica^{††}

[†] 九州大学大学院 システム情報科学研究院 〒 819-0395 福岡市西区元岡 744

^{††} Jet Propulsion Laboratory 4800 Oak Grove Drive, Pasadena, CA 91109, USA

E-mail: tuchino@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp, {yumi,kurazume}@ait.kyushu-u.ac.jp

あらまし 本論文では、赤外線ライトにより地面に投影された歩行者の影を用い、着衣や持ち物の変化などの見えの変化に対して頑強な歩容による個人識別システムを提案する。我々はこれまでに、複数台の赤外線ライトと単一カメラを天井に配置し、赤外線ライトにより複数方向へ投影された歩行者の影を単一カメラで撮影することで、高精度に個人識別を実現するシステムを提案した。一般に地面に投影された歩行者の影は、光源を視点とした仮想カメラから撮影された画像と見なせるため、単一カメラを用いた場合でも複数台のカメラを用いた場合と同等の高い識別率での個人識別が可能となる。しかし、このシステムには、対象人物がデータベース構築時と異なる服装をしている場合、見えが変化するため識別率が低下する問題があった。一方、我々はこれまでに通常の歩行画像を用い、着衣の変化や鞆などの持ち物により対象人物の見えが変化する場合でも、頑強な個人識別を実現する手法を提案している。この手法は、歩行画像中の対象人物領域を複数領域に分割し、特徴量の距離に応じて各領域の識別性能を推定することで、部分的な見えの変化に頑健な個人識別を実現するものである。そこで本論文では、この手法を影画像による個人識別に適用し、見えの変化に頑健な影画像を用いた個人識別システムを提案する。対象人物の見えの変化を含む影画像データベースを構築し、影画像データベースに対して提案システムを適用した結果、見えの変化に頑強な影を用いた個人識別が可能であることを確認した。

キーワード 歩容, 個人識別, 影生体情報, 赤外線ライト, アフィンモーメント不変量, 局所特徴量

Gait identification from invisible shadows

Koji UCHINO[†], Yumi IWASHITA^{†,††}, Ryo KURAZUME[†], and Adrian STOICA^{††}

[†] Electrical Engineering and Computer Science, Kyushu University

Motooka 744, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395 Japan

^{††} Jet Propulsion Laboratory

4800 Oak Grove Drive, Pasadena, CA 91109, USA

E-mail: tuchino@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp, {yumi,kurazume}@ait.kyushu-u.ac.jp

Abstract This paper presents a shadow-based person identification technique robust to appearance change caused by variations of clothes and carrying conditions. The person identification technique using invisible lights and shadows has many advantages as invisible and undetected sensing. In addition, shadows on the ground casted by multiple lights can be considered as silhouettes captured by virtual cameras at light positions. Therefore, multiple silhouettes are virtually acquired by taking a shadow image with a ceiling camera. However, if the person wears clothes or carries bags which were not appeared in the dataset, the identification performance is aggravated. To deal with this problem, we introduce a new shadow-based identification technique robust to appearance changes. Firstly, we divide a shadow image into several parts, and estimate the discrimination capability for each part based on gait features between gallery datasets and probe dataset. Next, according to the estimated capability, the priorities of these parts for the person identification are controlled adaptively. We constructed a new shadow database with a variety of clothes and bags, and carried out experiments to verify the effectiveness of the proposed technique.

Key words Gait, person identification, shadow biometrics, infrared light, affine moment invariants, local features

1. はじめに

著者らはこれまでに、屋内向けの監視システムの一つとして、天井に設置されたカメラから得られる、歩行中の対象人物の影を用いた個人識別手法を提案している [1]. 本論文では着衣や鞆の把持などの見えの変化に対しても、影を用いて頑健に個人識別を行う手法を提案する. 歩容を用いた個人識別システムは、対象人物に特別な動作を行わせることなく、かつ非接触に生体情報を取得できる利点があり、注目を集めている [2] [3]. 歩容による個人識別手法では、カメラにより撮影された対象人物の歩行画像列から、その歩き方および全身形状に対する特徴を求め、個人識別を行う. 従来手法では、まず背景差分法により撮影画像列から対象人物のシルエット領域を抽出して、次に例えば Gait Energy Image (GEI) [3], フーリエ変換 [4] [5] やアフィンモーメント不変量 [6] に基づき歩行特徴を抽出する. また歩容を用いた個人識別では、単一視点よりも、複数視点からの歩行画像を用いた場合の方が、高い識別率での個人識別が可能であることが知られている. 一方で複数台のカメラを用いた場合、同期の手間や計算コストが高くなるため、多くの従来手法では単一カメラが用いられてきた.

そこで著者は、これまでに図 1 のような天井に設置された複数台の照明と単一カメラを用いた、影生体情報 [7] による個人識別システム、および影画像データベースの提案を行った [1]. この手法では、複数台の照明を地面に対して斜めに配置し、照明により複数方向へ投影された対象人物の影を単一カメラで撮影することで、複数視点から撮影された歩行画像と同等の影画像が取得できる. また従来、歩行特徴として 2 次元アフィンモーメント不変量を用いた個人識別手法 [6] では、歩行画像列から抽出したシルエットを重心位置で重ね合わせた平均画像を用いていた. しかしライトにより作り出された影画像を用いる場合には、歩行者の歩行の位相やライトに対する歩行者の相対位置の変化により、シルエット領域の重心位置の大きな変化が生じた. そのため、例えば歩行者のライトに対する位置がデータベースのそれと異なる場合、重心位置が変化するため、安定した平均画像の合成が困難となり、識別率が低下してしまう問題があった. そこで平均画像からではなく、各画像から抽出された歩行特徴を用いた新たな個人識別手法も提案した [1]. しかし、認識対象の歩行者がデータベース作成時と異なる衣服を着用していたり、持ち物が異なる場合、対象人物の見えが変化するため、正確な個人識別は困難となる.

一方、著者らはこれまでに、通常のカメラ画像に対して、見えの変化に頑強な個人識別手法 [8] を提案している. この手法では、歩行領域を複数の領域に分割し、識別時に特徴量の比較から各領域の識別性能を推定することで、対象人物の着衣や持ち物がデータベース構築時と異なる場合でも頑健に個人識別を行う手法である. そこで本論文ではこれらの手法を組み合わせ、着衣や鞆の把持などの見えの変化に対しても、影を用いて頑健に個人識別を行う手法を提案する. 本論文の構成は以下の通りである.

まず第 2 章では見えの変化を含む赤外線ライトによる影画

像データベースの構築について述べ、第 3 章ではこれまでに提案した、複数の赤外線ライトによる影画像を用いた個人識別手法 [1] について述べる. 第 4 章では、第 3 章で述べる従来手法 [1] を見えの変化に対しても頑強な手法へ拡張する方法について述べる. 第 5 章では、影画像データベースに対して提案手法を適用して実験を行い、本手法の有効性を示す. 第 6 章はまとめと今後の予定である.

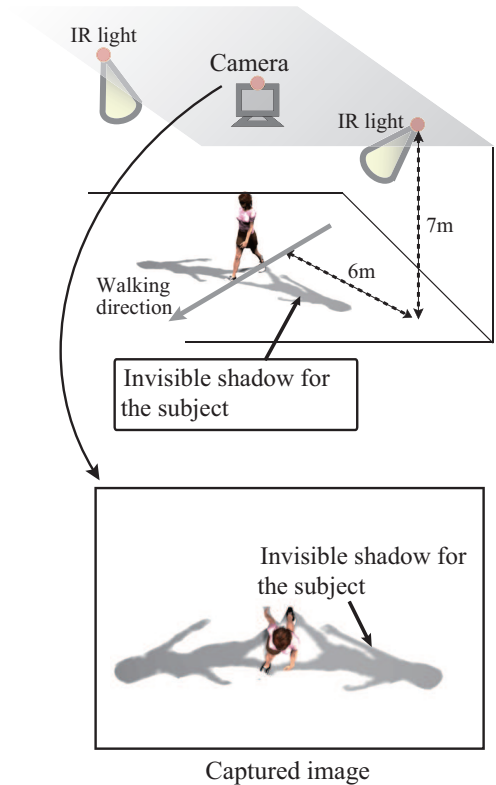


図 1 2 台の赤外線ライトによる影を用いた個人識別システム
Fig. 1 Conventional shadow-based system [1].

2. 赤外線ライトによる影画像データベース

まず赤外線ライトによる影画像の例として、人物の斜め上の位置に赤外線ライトを設置して、床面上に投影された影を撮影した画像を図 2 に示す. 図 2(a) の画像はカメラに可視光線透過フィルタを付けた場合であり、これは人間が見る映像と同じである. 図 2(b) の画像はカメラに赤外線透過フィルタを付けた場合の画像であり、これは人間にとって不可視な領域の画像である. これから、人間には不可視である赤外線によって影が生成されていることがわかる.

次に、赤外線ライトによる影画像データベースの構築について述べる. まず、図 3 に示すように 2 台の赤外線ライト (Bosch, IR Illuminator 850 nm, UFLED30-8BD) を、それぞれ地面に対して同じ仰角となるように設置する. ただし、従来研究において、歩行者の正面方向からの画像が識別性能が高いことが示されている [9] ため、一台は歩行者の正面方向に設置し、またもう一台は、正面画像と比較して最も大きく見えが変化すると予想される真横に設置した. また、1 台のカメラ (PointGrey Research Inc., Grasshopper2 M/C) をカメラの光軸が床面に

対して垂直となるように設置した。ここで、被験者は撮影区間の前後に加速区間と減速区間を設けており、また十分に加速した後に、撮影区間の指定された位置に右足が接地するようにした。画像解像度は 1600×1200 、フレームレートは 30Hz である。被験者は 54 名、それぞれ 6 回の直線歩行を撮影した。歩行者の見える種類の内訳は、図 4 に示す標準歩行 (IRSD-ST) とする同じ衣服での歩行を 4 回、鞆を持って歩行する場合 (IRSD-BG) が 1 回、そして標準歩行の際とは異なる衣服での歩行 (IRSD-CL) を 1 回とした。また、鞆の種類は図 5 に示す通りバックパック、ハンドバッグ、ポストンバッグの 3 種類であり、それぞれ 18 人分のデータを取得した。異なる衣服の種類は、図 6 に示す通りダウンジャケット、白衣、ロングコート の 3 種類であり、それぞれ 18 人分のデータを取得した。

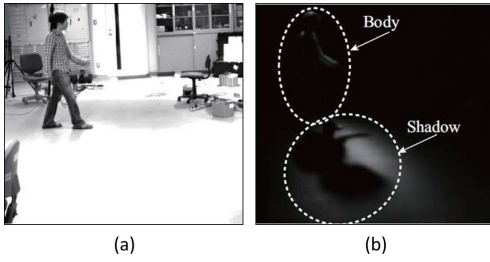


図 2 (a) 可視光線透過フィルタを付けた場合、(b) 赤外線透過フィルタを付けた場合

Fig. 2 (a) With visible light transmission filter (b) With infrared light transmission filter.

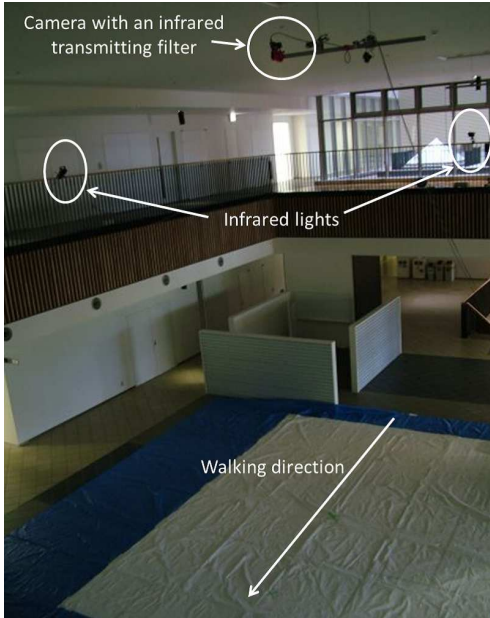


図 3 構築した実験スタジオ

Fig. 3 Experimental setting.

3. 赤外線ライトによる影画像を用いた個人識別

本章では、我々がこれまでに提案した複数の赤外線ライトによる影画像を用いた個人識別手法 [1] について述べる。まず撮



図 4 標準的な服装 (IRSD-ST)

Fig. 4 Standard walking (IRSD-ST).



図 5 鞆を持った歩行 (IRSD-BG)

Fig. 5 Walking with various bags (IRSD-BG).



図 6 衣服が異なる歩行 (IRSD-CL)

Fig. 6 Walking with various clothes (IRSD-CL).

影された複数の影領域を含む画像から、それぞれの影領域を抽出する手法について述べ、次に時系列の影領域から歩行特徴を抽出する手法について述べる。最後に、1 歩行周期分の歩行特徴を用いた個人識別手法について述べる。

3.1 影領域の抽出

まず輝度値の差に基づく背景差分法により、撮影画像から実際の人物領域、及び影領域を抽出する。図 7 に実際の画像と、それに対する背景差分結果を示す。

3.2 2次元アフィンモーメント不変量に基づく歩行特徴抽出

次に抽出した影領域の分割領域毎に、歩行特徴として 2 次元アフィンモーメント不変量を抽出する。領域の分割方法については次章で述べる。アフィンモーメント不変量はモーメントベースの記述子であり、一般的なアフィン変換に対して不変である。二次元平面上における $(p+q)$ 次のモーメントは次の式で表される。

$$\mu_{pq} = \iint_{(x,y) \in O} x^p y^q I(x,y) dx dy. \quad (1)$$

ここで座標 (x,y) は対象人物の領域 O を基準とした座標であり、また $I(x,y)$ は画像の輝度値を示す。式 1 を離散化すると、

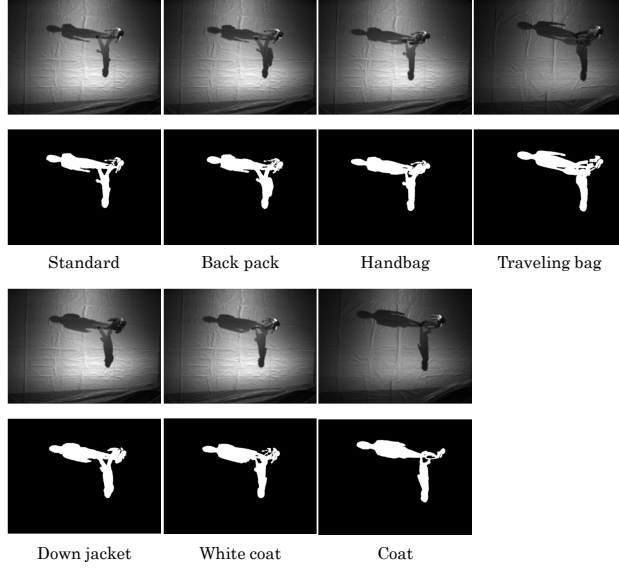


図 7 背景差分例

Fig. 7 Examples of background subtraction.

$$\mu_{pq} = \sum \sum_{(x,y) \in O} x^p y^q I(x,y) \quad (2)$$

と表される．式 2 より重心の位置は次の式で表される．

$$x_g = \frac{\mu_{10}}{\mu_{00}}, y_g = \frac{\mu_{01}}{\mu_{00}} \quad (3)$$

と表される．式 2 と式 3 より重心周りのモーメントは次の式で表される．

$$\mu_{pq} = \sum \sum_{(x,y) \in O} (x - x_g)^p (y - y_g)^q I(x,y) \quad (4)$$

またモーメントは形状の特徴を示しており，0 次モーメントは対象物体領域の面積，2 次モーメントは対象の重心周りの分散，3 次モーメントは対象物体の歪度を示す．以下に本研究で用いる N 個の 2 次元アフィンモーメント不変量 $\mathbf{I} = \{I_1, I_2, \dots, I_N\}$ のうちの 3 個を示す [10]

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{\mu_{00}^4} (\mu_{20}\mu_{02} - \mu_{11}^2) \\ I_2 &= \frac{1}{\mu_{00}^6} (\mu_{30}\mu_{03}^2 - 6\mu_{30}\mu_{21}\mu_{12}\mu_{03} + 4\mu_{30}\mu_{12}^3 + 4\mu_{03}\mu_{21}^3 \\ &\quad - 3\mu_{21}^2\mu_{12}^2) \\ I_3 &= \frac{1}{\mu_{00}^7} (\mu_{20}(\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{12}^2) - \mu_{11}(\mu_{30}\mu_{03} - \mu_{21}\mu_{12}) \\ &\quad + \mu_{02}(\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{21}^2)) \end{aligned} \quad (5)$$

3.3 投票を用いた個人識別

本手法では，識別器として k-nearest neighbour 法 (knn) と投票を組み合わせる．個人識別を行う際には，まず学習用の歩行画像列に属する，それぞれの影画像から 2 次元アフィンモーメント不変量により歩行特徴を求めて，データベースを構築する．次にテスト用の歩行画像列に対しても同様に，影画像毎に特徴を求め，knn を用いて，それぞれの特徴に対して最近傍の特徴を持つデータベース内の人物へ投票を行う．例を図 8 に示す．最後に投票の結果を統合し，最も多くの票を得た人物を被認証者とする．

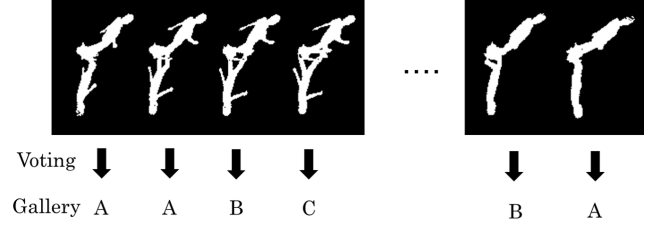


図 8 最近傍の特徴を持つ人物への投票

Fig. 8 Voting based on the distance between the gait features.

4. 見えの変化に頑強な個人識別

本章では，上述した手法に対し，見えの変化に頑強な個人識別手法 [8] を適用する．提案手法は，3.2 節の処理を拡張している．まず，影シルエット画像の領域分割の方法を説明し，次に分割領域毎の識別性能の推定手法について述べる．

4.1 シルエットの領域分割

まず，背景差分により抽出したシルエット領域に対し，画像に対して水平方向と鉛直方向の分割数が同数となるように分割を行う．ただし，分割領域毎の幅は水平方向と鉛直方向でそれぞれ等幅とした．分割数が 4 の時の例を図 9 に示す．

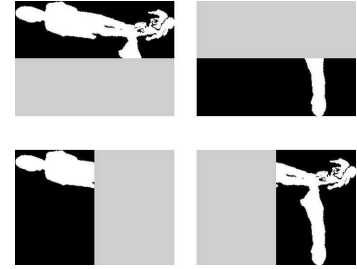


図 9 シルエット分割例

Fig. 9 Example of division of shadow silhouette.

4.2 識別性能の推定

本節では，分割領域の識別性能の推定法について説明する．まず各領域において，データベース中の人物のアフィンモーメント不変量および対象人物のアフィンモーメント不変量に対して白色化処理を行う．次に対象人物の歩行特徴とデータベース中の全ての人物の歩行特徴間の距離 $d_{n,s}^j$ を次の式で定義する．

$$d_{n,s}^j = \| \mathbf{w} \mathbf{I}_p^j - \mathbf{w} \mathbf{I}_{g_{n,s}}^j \| \quad (6)$$

ここで， $\mathbf{w} \mathbf{I}_p^j$ と $\mathbf{w} \mathbf{I}_{g_{n,s}}^j$ は対象人物とデータベース中の人物の白色化されたアフィンモーメント不変量を示す．また， n, s, j はそれぞれデータベース中の人物番号 ($1 \leq n \leq N$, N はデータベース中の人物数)，データベース中の人物毎の歩行画像列の番号 ($1 \leq s \leq S_n$, S_n はデータベース中の人物毎の歩行画像列数)，および分割領域の番号 ($1 \leq j \leq J$) である．

領域分割とアフィンモーメント不変量を用いた従来手法 [6] では，各領域の距離の和に基づき個人識別を行う．しかし，例えば図 10 (b) に示すように対象人物が鞆を持つ場合，領域 3 の歩行特徴はデータベース中の歩行特徴と異なるため，領域 3 の識別性能は低下する．これは影画像においても同様である．そこで識別性能が高い領域の歩行特徴を用いて個人識別を行う

ために、以下の手順により各領域の識別性能を推定し、距離値 $d_{n,s}^j$ を修正する。以下に、具体的な処理について述べる。

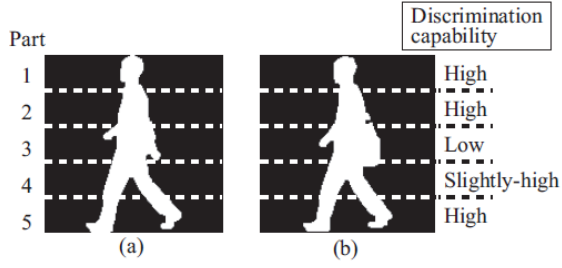


図 10 (a) データベース, (b) テストデータ (鞆を持った歩行).
Fig. 10 (a) gallery datasets, (b) a probe dataset (carrying a bag).

1. 各領域の閾値の決定

各領域において、識別性能が高い領域の歩行特徴の候補を選別するために、閾値となる値を決定する。閾値は、各領域において、対象人物の特徴に最も近い特徴クラスを持つデータベース中の人物の距離値の平均値とする。

2. 歩行特徴の候補の選択

1 の処理で決定した閾値よりも小さい距離値を持つ特徴をデータベースから選択する。ここで、選択された特徴が属する人物の、その他の歩行画像列からの歩行特徴も、識別性能が高いと考えられる。そこで、それらの歩行特徴が選択されていない場合、それらも選択データに追加する。

3. 距離の再定義

2 の処理の後、データベース中で選択されない歩行特徴に対しては、距離値を上限値 d_{max} に修正する。ただし d_{max} はデータベース中の距離値の最大である。

以上の処理を、全ての領域において行う。最後に、各領域における距離値の和を $D_{n,s} = \sum_{j=1}^J d_{n,s}^j$ により求めた後、3.3 節の処理を行う。

4. 3 領域組み合わせによる個人識別

4. 2 節の処理により、識別性能の高い領域のみが識別に貢献する手法となっている。そこで識別時には、図 11 に示すように様々な分割数の領域から得られる特徴を組み合わせることで、適切な分割数が不明であっても、最適な分割を行った場合にほぼ等しい識別率を得ることが可能である。



図 11 領域組み合わせ領域数 $J=18$ の例
Fig. 11 Examples of a combination of divided images.

5. 実験

本章では第 2 章で提案した見えの変化を含む影画像データベースを用いた、個人識別実験について述べる。実験では、(a) 従来手法 [1], (b) 提案手法 (従来手法 [1] に対し、見えの変化に頑健な手法を導入したもの) の 2 通りを行い結果を比較する。実験で用いる影画像データベースは、2 章で述べたように被験者は 54 名、それぞれ 6 回の試行の直線歩行画像データから構成される。実験では、まず IRSD-ST の 4 つのシーケンス中から 3 シーケンスを選び、データベースを構築する。従って、4 パターンのデータベースが構築できる。次に、テストデータを IRSD-ST とする場合は、データベースの構築に用いていない残りの 1 シーケンスを用いる。IRSD-BG, IRSD-CL についてはテストデータのみとして用いる。識別率は、それぞれのテストデータに対して 4 回の個人識別実験を行い、その 4 回の施行の識別率の平均の値とする。

表 1 従来手法 [1] による IRSD-ST の個人識別 [%].

Table 1 The correct classification rate with IRSD-ST by the conventional method [1][%].

N	J						
	1	5	11	19	29	41	55
5	93.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
10	99.1	100.0	100.0	100.0	100.0	99.5	99.5
15	99.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
20	99.1	100.0	100.0	100.0	100.0	99.5	99.5
25	99.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
30	99.1	100.0	100.0	99.5	100.0	100.0	99.5

表 2 従来手法 [1] による IRSD-BG の個人識別 [%].

Table 2 The correct classification rate with IRSD-BG by the conventional method [1][%].

N	J						
	1	5	11	19	29	41	55
5	5.1	16.7	24.5	30.6	39.8	45.4	50.5
10	10.2	26.9	31.0	49.1	52.8	54.2	62.5
15	7.9	24.5	34.7	50.0	57.4	60.6	66.7
20	9.7	30.1	36.6	52.8	67.6	66.2	69.4
25	13.9	32.4	39.4	58.8	65.7	66.7	68.1
30	12.0	33.3	40.3	54.6	67.1	68.5	71.8

表 3 従来手法 [1] による IRSD-CL の個人識別 [%].

Table 3 The correct classification rate with IRSD-CL by the conventional method [1][%].

N	J						
	1	5	11	19	29	41	55
5	7.9	13.0	13.9	20.4	27.8	32.4	36.1
10	7.9	12.5	15.7	20.4	28.7	28.7	31.5
15	8.3	13.0	21.3	25.5	26.9	28.2	30.1
20	8.3	16.7	20.4	25.0	28.7	28.2	29.6
25	8.3	15.7	24.1	23.6	28.2	30.6	29.6
30	9.7	17.6	25.5	26.4	27.8	29.6	31.9

表 4 提案手法による IRSD-ST の個人識別 [%].

Table 4 The correct classification rate with IRSD-ST by the proposed method[%].

N	J						
	1	5	11	19	29	41	55
5	93.5	99.1	99.5	99.5	99.5	99.5	100.0
10	99.1	99.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
15	99.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
20	99.1	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
25	99.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
30	99.1	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

表 5 提案手法による IRSD-BG の個人識別 [%].

Table 5 The correct classification rate with IRSD-BG by the proposed method[%].

N	J						
	1	5	11	19	29	41	55
5	5.1	20.8	55.1	78.7	88.0	93.5	94.9
10	10.2	31.9	72.7	88.9	92.1	97.7	100.0
15	7.9	38.9	75.5	92.6	95.4	97.7	99.5
20	9.7	38.4	80.1	94.0	95.4	99.5	99.5
25	13.9	34.3	81.9	94.9	96.8	99.1	100.0
30	12.0	37.5	82.9	97.2	96.8	99.5	100.0

表 6 提案手法による IRSD-CL の個人識別 [%].

Table 6 The correct classification rate with IRSD-CL by the proposed method[%].

N	J						
	1	5	11	19	29	41	55
5	7.9	10.6	12.0	17.1	23.6	32.9	44.4
10	7.9	13.4	20.4	24.5	31.5	41.2	44.4
15	8.3	11.1	20.8	29.6	38.0	46.8	51.9
20	8.3	11.1	24.1	33.8	41.2	49.1	56.0
25	8.3	13.4	27.3	38.0	42.1	54.2	57.4
30	9.7	17.6	28.2	38.9	45.8	50.9	57.4

表 1~ 表 3 は IRSD-ST, IRSD-BG, IRSD-CL に対してそれぞれ従来手法 [1] を適用した結果, 表 4~ 表 6 は IRSD-ST, IRSD-BG, IRSD-CL に対してそれぞれ提案手法を適用した結果である. この時, J は組み合わせに用いた分割領域数, N は識別に用いた 2 次元アフィンモーメント不変量の個数である. 実験結果より, 提案手法が従来手法 [1] よりも高い識別率を実現していることを確認した. しかし, 衣服がデータベース構築時と異なる場合の識別率が低いため, 衣服の種類毎の識別率を調査した. ただし, $J=55$, $N=25$ とした. 表 7 に示す実験結果より, ダウンジャケットの時に高い割合で識別に失敗していることが分かった. この原因として, ダウンジャケットは他の衣服に比べ, 識別性能に大きく影響する上半身の形状変化が大きいことが挙げられる. すなわち, 複数光源による影を用いる個人識別では, 足元領域が複数の影が重なる部分であり, 形状がつぶれてしまい個人差がでないため, 上半身部分の特徴に依存するためであると考えられる.

表 7 衣服の種類毎の識別率 [%]

Table 7 Comparison of correct classification rate with IRSD-CL[%].

Down jacket	White coat	Coat
11.1	77.8	94.4

6. ま と め

本論文では, 著者らがこれまでに提案した, 天井に設置されたカメラから得られる歩行中の対象人物の影を用いた個人識別手法に対し, 着衣や鞆の把持などの見えの変化に対しても頑健に個人識別を行う手法を提案した. また, 見えの変化を含んだ影画像データベースを構築し, 識別実験を行った結果, 提案手法は対象者の見えが変化しても従来手法よりも頑健に個人識別を実現できることを確認した. 今後の予定として, 現在は識別対象者の歩行経路が直線的でほぼ同一という制限があるが, 対象者が任意の歩行経路をとった場合でも対応できるシステムへと拡張を行う予定である.

文 献

- [1] 複数の不可視光源による歩行者の影を用いた個人識別: 内野康司, 岩下友美, 倉爪 亮, Adrian Stoica, 画像の認識理解シンポジウム (MIRU2012), IS3-72, 2012.
- [2] S. Lee, Y. Liu & R. Collins: Shape Variation-based Frieze Pattern for Robust Gait Recognition, Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1-8, 2007.
- [3] J. Han & B. Bhanu: Individual Recognition Using Gait Energy Image, IEEE Trans. PAMI, vol. 28, no. 2, pp. 316-322, 2006.
- [4] J. Acquah, M. Nixon & J. Carter: Automatic gait recognition by symmetry analysis, Pattern Recognition Letters, 24, pp.2175-2183, 2003.
- [5] K. Sugiura, Y. Makihara & Y. Yagi: Gait Identification based on Multi-view Observations using Omnidirectional Camera, Asian Conf. on Computer Vision, Vol.1, pp.452-461, 2007.
- [6] Y. Iwashita & R. Kurazume: Person identification from human walking sequences using affine moment invariants, Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.436-441, 2009.
- [7] Y. Iwashita, A. Stoica & R. Kurazume: Gait identification using shadow biometrics, Pattern Recognition Letters, Vol.33, pp.2148-2155, 2012
- [8] 領域分割に基づく見えの変化に頑強な歩容による個人識別: 内野康司, 岩下友美, 倉爪 亮, 画像の認識理解シンポジウム (MIRU2011), IS2-44, 2011.
- [9] S. Yu, D. Tan & 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. Volume 4., pp.441-444, 2006.
- [10] J. Flusser & T. Suk: Pattern recognition by affine moment invariants, Pattern Recognition, vol.26, no.1, pp.167-174, 1993.

付 録

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (C) (課題番号 23500216) の支援を受けた