

複数の赤外線ライトによる影を用いた歩容による個人識別

岩下 友美^{†,††} 内野 康司[†] 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: [†]yumi@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た、歩容による個人識別システムと、影画像データベースを提案する。歩容による個人識別手法では、一般に複数視点からの歩行画像を用いた場合、単一視点からの歩行画像を用いた場合と比較して、より高い識別率で個人識別が可能である。しかし複数台のカメラを用いた場合、カメラ設置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。これに対して提案手法では、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。ここで、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高い識別率での個人識別が可能となる。提案手法では、まず背景差分法により対象人物の複数の影領域を抽出する。次に一歩行周期分の影領域の長さを球面調和関数により解析し、歩行特徴を抽出する。識別時には、nearest neighbor 法を用いて個人識別を行う。提案システムを用いて 28 名からなる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手法を適用した結果、高い識別率で個人識別が可能であることが確認された。

キーワード 個人識別, 歩容, 影生体乗法, 赤外線ライト, 球面調和関数

Gait identification based on shadows from infrared lights

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

[†] Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

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

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

E-mail: [†]yumi@ait.kyushu-u.ac.jp

Abstract This paper introduces a novel system for person identification from shadow images of walking person projected by invisible lights, and a shadow database of walking people. In general the correct classification rate of person identification is better when multiple cameras from different viewpoints are used, but most of conventional methods have used one camera, because of (i) easy installation in real environments, since there is no need to synchronize cameras, (ii) reduction of calculation costs. In the proposed system, we obtain the advantages of multiple viewpoints but with a single camera. More specific, we install multiple infrared lights to project shadows of a subject on the ground and a camera with an infrared transmitting filter to the ceiling inside of a building. Shadow areas, which are projections of one's body on the ground by multiple lights, can be considered as body areas captured from different viewpoints, so the proposed system enables to capture multiple body areas from only one camera. We collect a shadow database consisting of 28 people with this system, and we extract features from shadow areas by spherical harmonics, followed by identification of the subject. Experiments using the gait database show the effectiveness of the proposed method.

Key words Person identification, gait, shadow biometrics, infrared light, spherical harmonics

1. はじめに

特定人物の識別・発見を目的とした広域監視システムは、安心安全な社会の実現のみならず、個人適応型サービスロボットの実現においても重要な技術である。特に対象人物に特別な動作を行わせることなく、かつ非接触に取得できる生体情報として、歩容による個人識別システムが注目されている [1] ~ [2]。歩容による個人識別では、カメラにより得られた対象人物の歩行画像列から、対象人物に特有の歩行特徴を抽出し、個人識別を行う。この手法では一般的に、まず撮影画像列から背景差分法により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) [2]、フーリエ変換 [3] [4] やアフィンモーメント不変量 [5] に基づき歩行特徴を抽出する。これらの手法は高い識別率で個人識別可能である。また一般に、複数視点からの歩行画像を用いた場合、単一視点からの歩行画像を用いた場合と比較して、より高い識別率での個人識別が可能である。しかし複数台のカメラを用いた場合、設置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。

我々はこれまでに、日中であれば太陽、また夜間であれば照明により地面に投影された対象人物の影に基づく、影生体情報を提案し、また影生体情報を用いた個人識別手法を提案した [6] [7]。この研究ではまず、建造物の上階において、地面に対して斜めに設置されたカメラにより、対象人物の体領域と影領域を含む歩行画像を撮影した。次に背景差分法により対象人物のシルエット領域を抽出し、一歩行周期分のシルエット画像列から合成された平均画像に基づき、対象人物の実際の全身領域と影領域を分離した。最後に、球面調和関数により解析された、一歩行周期分の影領域の長さの周期性に基づき、個人識別を行った。ここで、実際の全身領域はカメラから撮影された領域であるのに対して、影領域は他の視点に置かれた仮想カメラから撮影された領域と見なせる。そのため、地面に対してカメラが斜めに設置される場合、カメラ 1 台を用いた場合でも、2 つの視点からの歩行画像を撮影することが可能となる。実験では、全身領域と影領域の 2 つを用いた場合、影領域のみを用いた場合と比較して、より高い識別率で個人識別可能であることを示した。

上述の研究より、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、単一カメラを用いた場合でも、複数視点から撮影された歩行画像を得ることが可能であるという着想を得た。そこで本論文では、天井に設置された複数台の照明と単一カメラを用いた、影生体情報による個人識別システム、および影画像データベースを提案する。ここで、蛍光灯などを用いた一般的な照明環境下において、歩行者の影を生成するには照度が強い照明を使用する必要があるが、強い照度は対象人物の歩行に影響する可能性がある。そこで、本研究では人間には不可視である赤外線ライトを照明として用い、カメラには赤外線透過フィルタを付けて、赤外線ライトによる対象人物の複数の影領域を撮影する。撮影された影画像から、球面調和関数に基づ

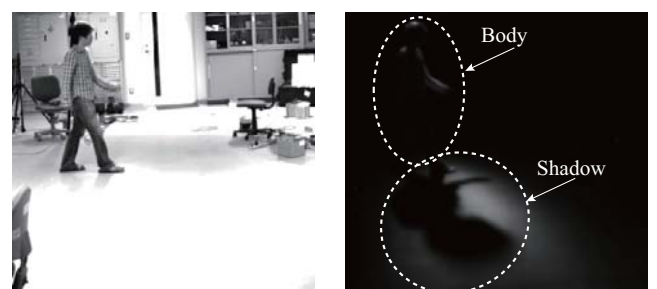
き歩行特徴を抽出し、個人識別を行う。

本論文の構成は以下の通りである。まず第 2 章では赤外線ライトにおける影画像データベースの構築について述べ、第 3 章では撮影画像から対象人物の影領域の分割方法、および影生体情報に基づく個人識別手法について述べる。次に第 4 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 5 章はまとめと今後の予定である。

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 1 に示す。図 1(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 1(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投影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 2 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、また人物を挟んでほぼ反対側となる位置 (高さは約 7[m]、床面上におけるカメラから人物までの距離は約 6[m]) 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設置するようにした。画像解像度は 1600×1200、フレームレートは 30Hz であり、また被験者は 28 名、それぞれ 5 つの歩行画像データを撮影した。図 3 に撮影画像の一例を示す。



(a) An example of captured images with a visible light transmitting filter (b) An example of captured images with an infrared transmitting filter

図 1 赤外線ライトにより投影された影領域の例。(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. 1 An example of captured shadows projected by an infrared light, (a) an image with visible light transmission filter, which is equivalent to the image people see, (b) an image with infrared light transmission filter.

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、これまでに提案した球面調和関数を用いた個人識別手法 [7] について述べる。まず撮影された複数の影領域を含

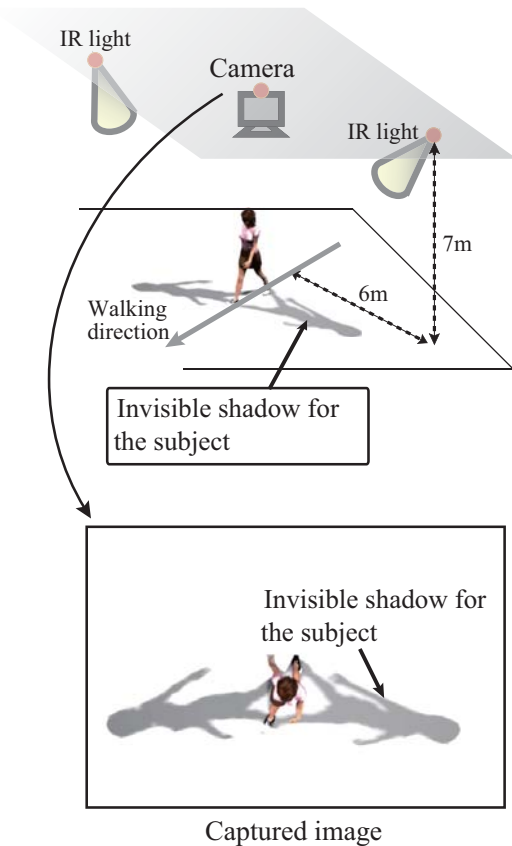


図2 実験環境

Fig. 2 Experimental setting.



図3 撮影された画像の例

Fig. 3 Examples of captured images.

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、抽出された歩行特徴を用いた個人識別について述べる。

3.1 影領域の分割

まず背景差分により、撮影画像から実際の人物領域、及び影領域を抽出する。図4(a)に実際の画像、図4(b)に背景差分結果を示す。次に一歩行周期分のシルエット画像において、2つの影領域を大まかに分割する。ここでは、次の2つの仮定を用いる。(i) 前述したように2つの赤外線ライトの仰角と対象人物までの距離はそれぞれほぼ同じであることから、対象人物のそれぞれの影の大きさもほぼ同じとする。(ii) 真上から撮影しているため、データベース中の歩行者間において、実際の人物領域の個人差は小さいとする。上記の仮定から、一歩行周期中の全てのフレームにおける、対象人物の実際の体領域の重心位

置を通る直線により、対象人物の上下2つの影を大まかに分割できると考えられる。そこで、以下の手順により対象人物の影領域を分割する。まず一歩行周期中の各シルエット画像においてシルエット領域の重心位置を求め、次に一歩行周期分の重心位置に対して最小二乗法により直線を当てはめる。この直線により、シルエット領域から対象人物のそれぞれの影領域を分割する。分割結果の例として、図4(b)のシルエット画像を分割した結果を図5に示す。

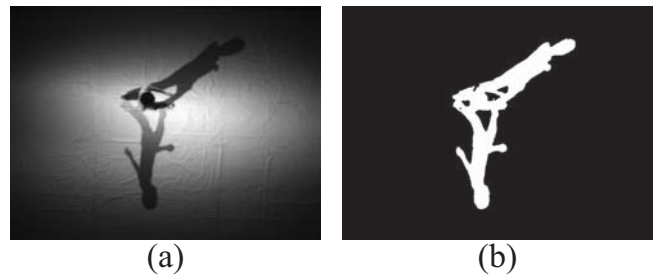


図4 (a) データベースにおける歩行画像の一例, (b) 抽出された対象人物領域

Fig. 4 (a) A sample from the database, (b) its extracted target region.



図5 (a) 下側の影, (b) 上側の影

Fig. 5 (a) Separated lower shadow area, (b) separated upper shadow area.

3.2 歩行特徴の抽出

次に、抽出された対象人物のそれぞれの影領域から歩行特徴を求める。まず、抽出された影領域の高さがある一定の高さになるように、アスペクト比を保ったまま影領域の大きさを変更する。次に歩行特徴の抽出では、図6(a)に示すように画像 $I(x, y)$ において x 軸に沿った影領域の両端間の距離 $H(y, t)$ に基づき歩行特徴を抽出する。ただし、 t はフレーム番号であり、また本論文では距離 $H(y, t)$ を歩行ストライプと呼ぶ。さらに、図6(b)に一歩行周期分の歩行ストライプを輝度値として表示したものを示す。ここで、横軸は時間軸であり、縦軸は画像の高さに関する軸である。また画像上でわかりやすく表示するために、一歩行周期分の歩行ストライプの最大値を用いて、歩行ストライプを正規化したものを示している。

歩行動作は周期性を持つことから、ある y 座標における時間軸方向の歩行ストライプ $H(y, t)$ は周期性を持つ。そこで歩行ストライプの周期性を解析するために、歩行ストライプに対して球面調和関数 [8] を適用する。周期性を解析するには2次元

フーリエ変換を用いることも考えられる．しかし，論文[7]で構築した影画像データベースを用いた個人識別実験において，2次元フーリエ変換と球面調和関数のそれぞれの基底関数の性質の違いから，球面調和関数は高い識別性能を示しており，ここでは球面調和関数を採用した．詳しくは，論文[7]を参照されたい．

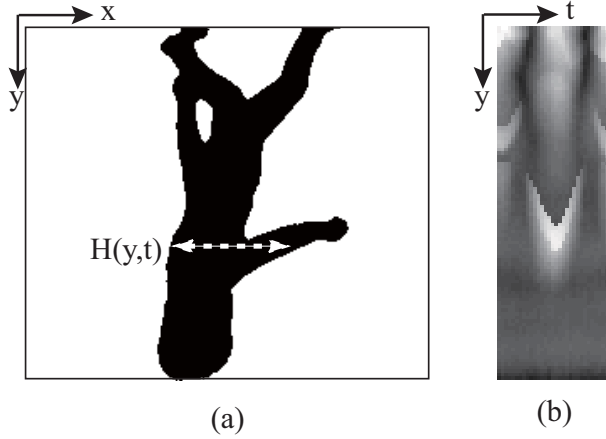


図 6 (a) $H(y,t)$ の定義, (b) 歩行ストライプの一例.

Fig.6 (a) Determination of $H(y,t)$, (b) an example of gait stripes.

3.2.1 球面調和関数に基づく歩行特徴抽出

球面調和関数 $\{Y_l^m(\theta, \phi) : |m| \leq l \in \mathbb{N}\}$ は単位球面上 S^2 で定義された関数であり，以下の様に表わされる．

$$Y_l^m(\theta, \phi) = \begin{cases} \sqrt{2}K_l^m \cos(m\phi) P_l^m(\cos\theta) & m > 0 \\ \sqrt{2}K_l^0 P_l^0(\cos\theta) & m = 0 \\ \sqrt{2}K_l^m \sin(-m\phi) P_l^{-m}(\cos\theta) & m < 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここで， $\theta \in [0, \pi]$ ， $\phi \in [0, 2\pi]$ ， $K_l^m = \sqrt{\frac{(2l+1)}{4\pi} \frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!}}$ であり， P_l^m はルジャンドル陪関数である．3次元球面上で定義された関数 $f(\theta, \phi)$ は球面調和関数によって以下のように展開される．

$$f(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{m=-l}^l c_l^m Y_l^m(\theta, \phi). \quad (2)$$

$$c_l^m = \int_S f(\theta, \phi) Y_l^m(\theta, \phi) ds. \quad (3)$$

ここで， c_l^m は球面調和関数の係数であり，また $0 \leq l < n$ ， $|m| \leq l$ であることから，係数の数は n^2 つとなる．

提案手法では，歩行ストライプ $H(y,t)$ に対して球面調和関数を適用して，得られた球面調和関数の係数を歩行特徴とする．まず，関数 f を $f(\theta, \phi) = H(y,t)$ とし， $\theta = \frac{y}{Y} \times \pi$ ， $\phi = \frac{t}{T} \times 2\pi$ とする．ここで， T は一歩行周期分の画像のフレーム数， Y は画像の高さ ($Y = 100$) である．また，本手法では時系列歩行ストライプの高周波成分の影響を低減するために， n がある定数以下の係数のみを用いることとする．

3.3 個人識別

本手法では，識別器として k-nearest neighbour 法 (knn) を

用いる．個人識別を行う際には，まず学習用の歩行画像列から球面調和関数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球面調和関数により歩行特徴を求めて，識別器により個人識別を行う．

4. 実験

本章では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，大きく分けて次に示す2通り，(i) それぞれの影領域を用いた個人識別，(ii) 2つの影領域を用いた個人識別を行った．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28名，それぞれ5つの歩行画像データから構成される．ここで，撮影画像列から一歩行周期分の画像列は手動で切り出しており，また Leave-one-out cross validation に基づき識別率を求めた．

まず最初の実験では $n = 15$ として，合計225個の球面調和関数の係数を求めた．また図7に，それぞれの影領域において係数の数を変化させた場合の識別率を示す．これから，合計150個以上の係数を用いた場合，表1に示すように上側の影領域では識別率は一定の89.3%，また下側の影領域では識別率は一定の94.3%となることわかる．前述のように，係数の数は n^2 個となることから，以下の実験では $n = 13$ の場合の，合計169個の係数を用いて個人識別を行う．

次の実験では2つの影領域それぞれから抽出された歩行特徴を組み合わせることで，個人識別実験を行った．識別率は95.0%であり，それぞれの領域を用いた場合と比較して，2つの領域を組み合わせることで識別率が向上した．

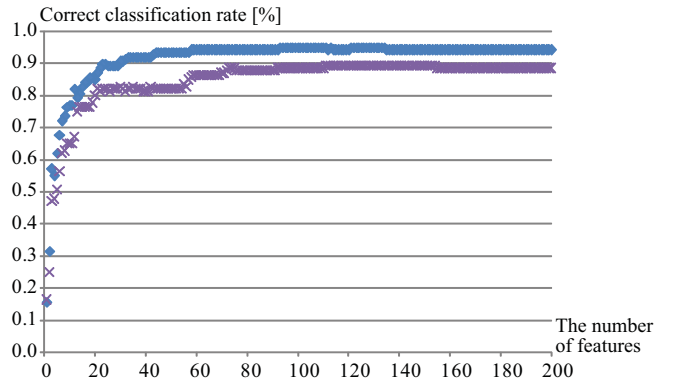


図 7 識別率の比較

Fig.7 Correct classification rates.

表 1 上側の影，下側の影，または両方の影を用いた場合の識別率の比較

Table 1 Comparison of correct classification ratios from upper shadow, lower shadow, and both shadows.

	(a) Upper shadow	(b) Lower shadow	(c) Both shadows
CCR [%]	89.3	94.3	95.0

5. まとめ

本論文では赤外線ライトによる人間に不可視な影を用いた，

歩容による個人識別システムを提案した．提案システムでは複数台の赤外線ライトと単一カメラを用いており，影領域は他の視点に置かれた仮想カメラから撮影された領域であると見なせる．すなわち単一カメラを用いた場合でも複数視点から撮影された歩行画像を得ることができる．影画像データベースに対して個人識別手法を適用して，複数の影領域を用いることで，それぞれの影領域を用いる場合と比較して，より高い識別率で個人識別可能であることを示した．今後は，衣服の変化により対象人物の見えが変化する場合でも，個人識別を可能とするシステムを開発する．

文 献

- [1] S. Lee, Y. Liu & R. Collins: Shape Variation-based Frieze Pattern for Robust Gait Recognition, *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1–8, 2007.
- [2] J. Han & B. Bhanu: Individual Recognition Using Gait Energy Image, *IEEE Trans. PAMI*, vol. 28, no. 2, pp. 316-322, 2006.
- [3] J. Acquah, M. Nixon & J. Carter: Automatic gait recognition by symmetry analysis, *Pattern Recognition Letters*, 24, pp.2175–2183, 2003.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] A. Stoica: Towards Recognition of Humans and their behaviors from Space and Airborne Platforms: Extracting the Information in the Dynamics of Human Shadows, *Bio-inspired, Learning and Intelligent Systems for Security*, 2008.
- [7] Y. Iwashita, A. Stoica & R. Kurazume: Person Identification using Shadow Analysis, *British Machine Vision Conference*, pp.35.1–10, 2010.
- [8] R. Green, *Spherical Harmonic Lighting: The Gritty Details*, SCEA Research and Development, 2003.