

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^{††} AdrianStoica^{†††}

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

^{††}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: [†]uchino@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp, ^{††}{yumi,kurazume}@ait.kyushu-u.ac.jp

あらまし 本論文では、複数台の赤外線ライト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。一般的に歩容による個人識別手法では、単一視点からの歩行画像を用いた場合よりも、複数視点からの歩行画像を用いた場合により高い識別率が得られる。しかし、複数視点分の画像の取得には、複数台のカメラが必要となり、同期の手間や計算コストが高くなってしまふ。そこで提案手法では、複数台の赤外線ライトと単一カメラを上方に配置し、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。従って、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 2 次元アフィンモーメント不変量に基づいて、歩行特徴を抽出する。識別時には、nearest neighbor 法と投票を組み合わせた手法を用いて個人識別を行う。2 台の赤外線ライトとカメラを用いて 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、100%の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, 影生体情報, 赤外線ライト, 2 次元アフィンモーメント不変量

1. はじめに

生体情報による個人識別は、建物へのアクセス認証や特定人物の識別・発見を目的とした広域監視システムなどの分野で多くの需要が見込まれている。特に歩容による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して識別が可能であり、注目を集めている [1] [2]。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基づいて得られる特徴を用いる。この手法では、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) [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。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、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。

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領域を影生体情報として提案し、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、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撮影された、対象人物の体領域と影領域を含む歩行画像

を用いて個人識別を行った。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。

一方、上述の研究の拡張として、地面に対して斜めに配置された複数台の照明によって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を得ることが可能であると考えられる。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、2 次元アフィンモーメント不変量に基づき歩行特徴を抽出し、個人識別を行う。従来の 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 [5] 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た。しかし、ライトにより作り出し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が大きく変化する。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。そこで本論文では、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章では対象人物の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。実際に構築した実験スタジオを図3に示す。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であり、また被験者は28名、それぞれ5回の直線歩行を撮影した。図4に撮影画像の一例を示す。

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、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について述べる。まず撮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と、それらの歩行特徴から1歩行周期分を切り

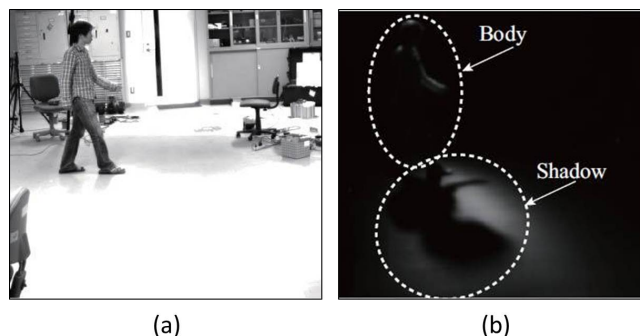


図1 赤外線ライトにより投影された影領域の例。(a) 可視光線透過フィルタを付けた場合、(b) 赤外線透過フィルタを付けた場合

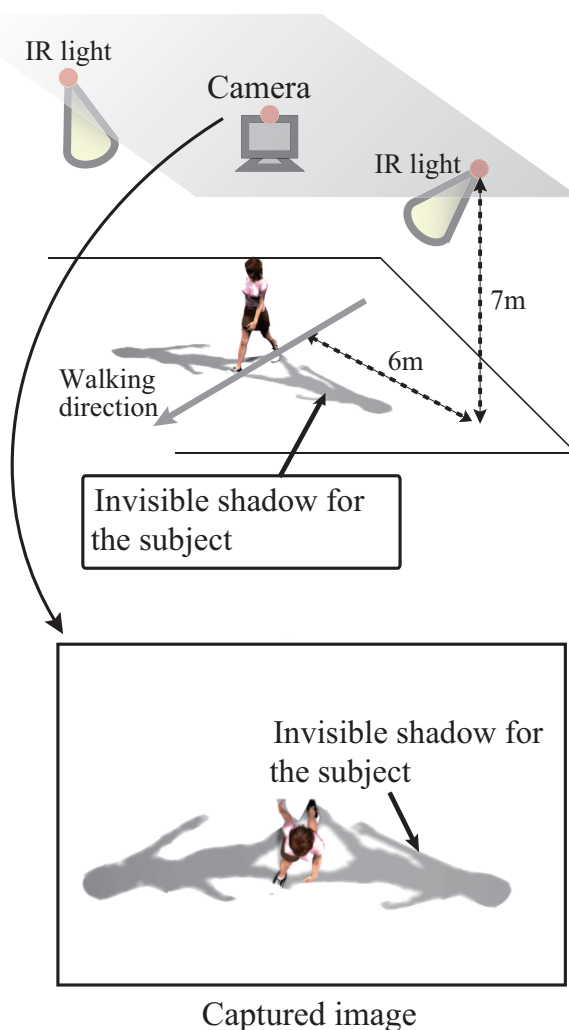


図2 実験環境

出す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 影領域の抽出と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

本節では、撮影画像列から影領域を抽出する方法と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に

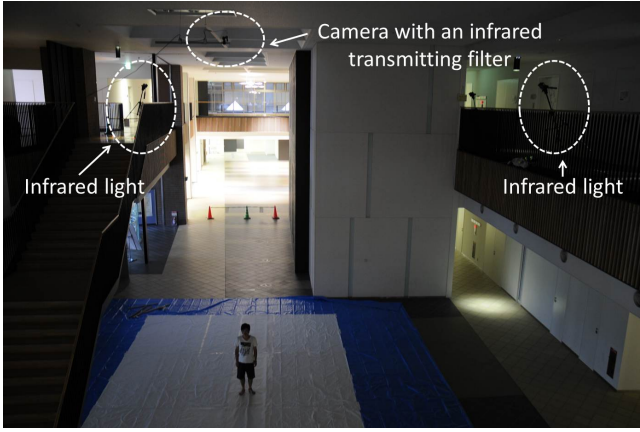


図3 構築した実験スタジオ

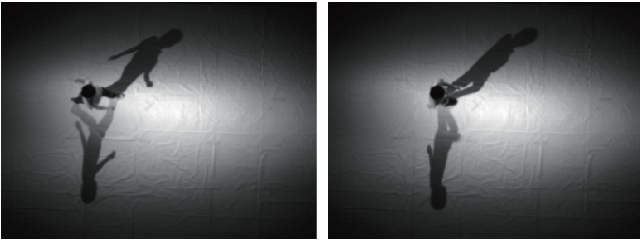


図4 撮影された画像の例

ついて述べる．

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5(a)に実際の画像，図5(b)に背景差分結果を示す．

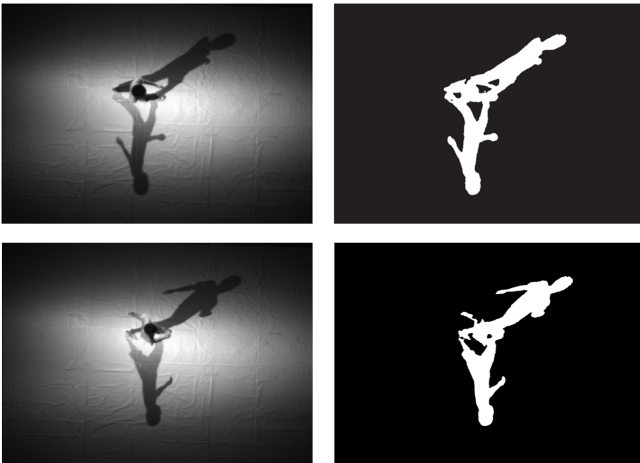


図5 (a) データベースにおける歩行画像の例，(b) 抽出された対象人物領域

次に抽出した影領域より，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．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，

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

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22個の2次元アフィンモーメント不変量 $\mathbf{I} = \{I_1, I_2, \dots, I_{22}\}$ のうちの6個を示す[9][10]．

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{\mu_{00}^4} (\mu_{20}\mu_{02} - \mu_{11}^2) \\ I_2 &= \frac{1}{\mu_{00}^{10}} (\mu_{30}^2\mu_{03}^2 - 6\mu_{30}\mu_{21}\mu_{12}\mu_{03} + 4\mu_{30}\mu_{12}^3 + 4\mu_{03}\mu_{21}^3 \\ &\quad - 3\mu_{21}^2\mu_{12}^2) \\ I_3 &= \frac{1}{\mu_{00}^7} (\mu_{20}(\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{12}^2) - \mu_{11}(\mu_{30}\mu_{03} - \mu_{21}\mu_{12}) \\ &\quad + \mu_{02}(\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{21}^2)) \\ I_4 &= \frac{1}{\mu_{00}^{11}} (\mu_{20}^3\mu_{03}^2 - 6\mu_{20}^2\mu_{11}\mu_{12}\mu_{03} - 6\mu_{20}^2\mu_{02}\mu_{21}\mu_{03} \\ &\quad + 9\mu_{20}^2\mu_{02}\mu_{12}^2 + 12\mu_{20}\mu_{11}^2\mu_{21}\mu_{03} \\ &\quad + 6\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{03} - 18\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{21}\mu_{12} \\ &\quad - 8\mu_{11}^3\mu_{30}\mu_{03} - 6\mu_{20}\mu_{02}^2\mu_{30}\mu_{12} + 9\mu_{20}\mu_{02}^2\mu_{21}^2 \\ &\quad + 12\mu_{11}^2\mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} - 6\mu_{11}\mu_{02}^2\mu_{30}\mu_{21} + \mu_{02}^3\mu_{30}^2) \\ I_5 &= \frac{1}{\mu_{00}^6} (\mu_{40}\mu_{04} - 4\mu_{31}\mu_{13} + 3\mu_{22}^2) \\ I_6 &= \frac{1}{\mu_{00}^9} (\mu_{40}\mu_{04}\mu_{22} + 2\mu_{31}\mu_{22}\mu_{13} - \mu_{40}\mu_{13}^2 - \mu_{04}\mu_{31}^2 \\ &\quad - \mu_{22}^3) \end{aligned} \quad (5)$$

3.2 1歩行周期の切り出し

前節で求めた2次元アフィンモーメント不変量の第1次モーメントである I_1 に注目すると，図6に示すように周期性があり，また極大値は両脚支持期であることがわかる．そこで，最初に極大値を示すフレームから3つ目に極大値を示すフレームまでを，一歩行周期と定義して切り出す．

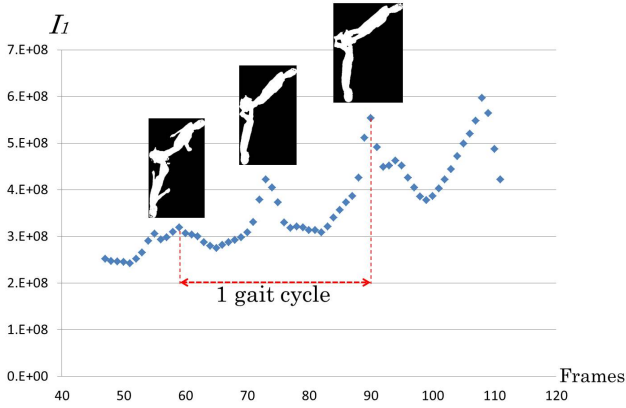


図 6 一歩行周期中のアフィンモーメント不変量 I_1

3.3 個人識別

従来、2次元アフィンモーメント不変量を用いた個人識別では、歩行画像列内の歩行者自身の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きた。しかし、図7のように点光源であるライトと歩行者の相対位置がデータベース構築時と異なる場合、例えば同じ右足接地時の影であっても、影の形状は同一にはならず重心位置も異なる。従って、合成される平均画像から得られる特徴も異なったものになり、識別率が低下してしまう。そこで本手法では、平均画像を用いることなく、各歩行画像から得られる歩行特徴を用いた個人識別手法を提案する。提案手法では、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。

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、(a) 投票を用いた個人識別 (提案手法)、(b) 平均画像を用いた個人識別 (従来手法)[5]の2通りを行い、提案手法と従来手法[5]の比較を行う。また、これらの結果と我々がこれまでに提案している球面調和関数を用いた手法[11]の結果とも比較をする。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28名、それぞれ5回の試行の直線歩行画像データから構成される。なおここでは、Leave-one-out cross validationに基づき識別率を求めた。また、影のシルエット領域をそれぞれ図9のように水平方向に複数領域分割 (実験では分割数1, 2, 4, 8の4通り) して、特徴を抽出した場合の識別実験も行った。

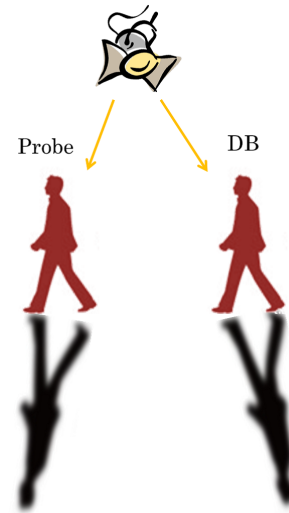


図 7 ライトと歩行者の相対位置による影形状の変化

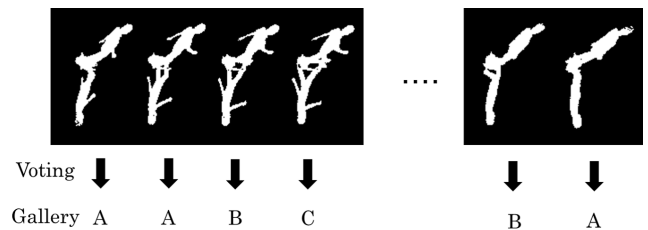


図 8 最近傍の特徴を持つ人物への投票

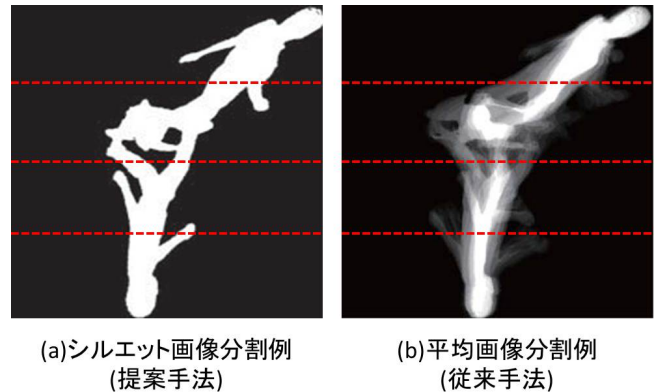


図 9 シルエット画像の領域分割例 (4 分割)

まず、提案手法である投票を用いた個人識別を行った。その結果を表1に示す。表1は、領域分割数毎の識別率 (CCR) を示している。

表 1 投票を用いた個人識別手法による識別実験結果 [%]

The division number	1	2	4	8
CCR[%]	95.1	97.9	99.3	100.0

次に、平均画像から得られる歩行特徴を利用する従来手法による個人識別実験を行う。平均画像の生成には、影画像データベース構築に用いた1歩行周期分の画像列を利用する。識別結果を表2に示す。

以上の結果から提案手法は従来手法[5]よりも高い識

表 2 平均画像を用いた従来手法 [5] による識別実験結果 [%]

The division number	1	2	4	8
CCR[%]	87.1	94.3	86.4	87.1

別率を示している．また球面調和関数を用いた手法 [11] が示した識別率は 95 % であり，提案手法が最も高い識別率を示すことが確認できた．

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．新たに構築した影画像データベースに対して，提案手法を適用し，複数の影領域を用いることで，高い識別率で個人識別可能であることを示した．また，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る場合は，平均画像を用いる手法よりも，提案手法の方が高い識別率を実現できることも示した．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．

謝 辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B) (課題番号 23360115) の支援を受けた

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.
- [9] J. Flusser, and T. Suk, “Pattern recognition by affine moment invariants,” *Pattern Recognition*, vol.26,

no.1, pp.167–174, 1993.

- [10] J. Flusser, T. Suk, and B. Zitova, “Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition,” *Wiley & Sons Ltd.*, 2009.
- [11] 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, Adrian Stoica, *信学技報*, vol. 111, no. 430, PRMU2011-198, pp. 71-75, 2012.