

プライバシーの完全保護を実現する匿名カメラの提案と異常行動検出実験

○高木 修平 長原 一 岩下 友美 辻 徳生 諸岡 健一 倉爪 亮(九州大学)

1. はじめに

現代社会では、分散カメラを用いた監視システムは、安心安全な社会の実現に欠くことのできない基本的な社会インフラとして定着しつつある。一方、カメラによる監視システムが高精度になればなるほど、常に個人のプライバシーの侵害との兼ね合いが問題となる。例えば、Google street view など用いられているプライバシー保護手法は、普通のカメラで撮影した画像に対して、その顔部分などプライバシー性の高い箇所を自動（もしくは手動）で検出し、ぼかし処理などにより隠蔽している。また、馬場口らは、監視カメラに映る人物に対して隠蔽・透明化・抽象化・アノテーション処理を施す手法を提案している [1]。しかしこれらの手法では、プライバシー保護の対象も一旦は完全に画像化されており、心理的抵抗や情報流出の危険性など、完全なプライバシー保護とはなっていない。

これに対し、我々は現在、この問題を抜本的に解決する新たなカメラシステム「匿名カメラ」を開発している。これは、顔のような特定対象のみを光学的に排除する（すなわち正しく結像しない）極めてユニークなカメラである。このカメラの特徴は、反射型液晶素子（LCoS, Liquid crystal on silicon）を用いて、特定画素だけを光学的に遮蔽できる能動絞りカメラと赤外線カメラを組み合わせて、温度分布から推定した顔領域のみを能動的に排除するものである。本カメラシステムは、プライバシー保護対象は一度も光学的に画像化していないことから、完全なプライバシー保護システムであり、特に病院などの監視システム（図 1）として有用であると考えられる。

本論文では、この匿名カメラの基本原理を示すとともに、試作一号機を用い、病院内での異常行動の検出 [2] を想定した実験を行ったので報告する。

2. 匿名カメラシステム

本研究に用いる匿名カメラシステムの概要を図 2 に、実際に試作したプロトタイプカメラを図 3 に示す。図 2 および図 3-b に示す様に、匿名カメラは赤外線カメラと LCoS カメラ、コールドミラーにより構成される。ゲルマニウム製のコールドミラーは赤外線を透過し可視光を反射する。これにより匿名カメラでは、赤外線カメラと LCoS カメラによって、同一視野の赤外線画像と可視光画像を同時に撮影できる。プロトタイプカメラでは、赤外線カメラとして ARTCAM-320-THERMO QVGA カメラ (320×240 pixels at 60fps) を用いた。LCoS カメラは、図 3-a に示す様に、対物レンズやリレーレンズ、ビームスプリッタ、LCoS(800×600 pixels at 60fps、島津製 HMD Data Glass 3/A から取り出した)、CCD カメラ (Point Grey, Flea3, 1280×1024 pixels at 60fps)

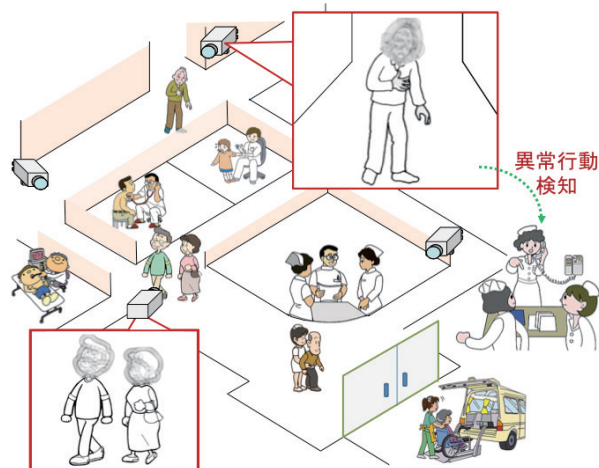


図 1 匿名カメラを用いた見守り

によって構成される。シーンより LCoS カメラに入射してきた光は対物レンズおよびリレーレンズを通ったあと、ビームスプリッタにより LCoS の方向に反射され、リレーレンズにより LCoS 上に結像する。LCoS は電気信号により、反射輝度を制御することができる。その後、LCoS により反射された光が、リレーレンズとビームスプリッタを通過し、再度 CCD カメラのセンサ上に再結像する。つまり、LCoS により一部が光学的にマスクされ、反射された光のみが CCD に到達し電子データとして記録される。

図 2 に示す様に、赤外線カメラにより撮影された赤外線画像から体温をしきい値として PC 上で二値化画像を生成することにより、顔領域のマスク画像を作成する。一方で、シーンからの可視光線は、コールドミラーで反射され、LCoS カメラに入射される。PC で作成された顔領域マスクは、LCoS に入力されシーン中の光線の顔領域を光学的にブロックする。図 2 に示す様に、最終的に RGB カメラにより撮影される画像には顔からの光線が届かないため、顔のアピランス情報を欠落させたプライバシー保護撮影を行うことができる。

3. 匿名カメラを用いた異常行動検出

本章ではまず病院内での異常行動検出のため構築したデータベースについて述べ、次に本研究で提案する特徴量と動作識別手法について述べる。最後に、提案手法を用いた実験とその結果について述べる。

3.1 行動データベースの構築

提案システムは病院内での使用を想定しているため、通常歩行と病院内で起こりうる異常行動のうち 5 種類（胸を押さえる、頭を抱える、転倒する、壁に寄りかか

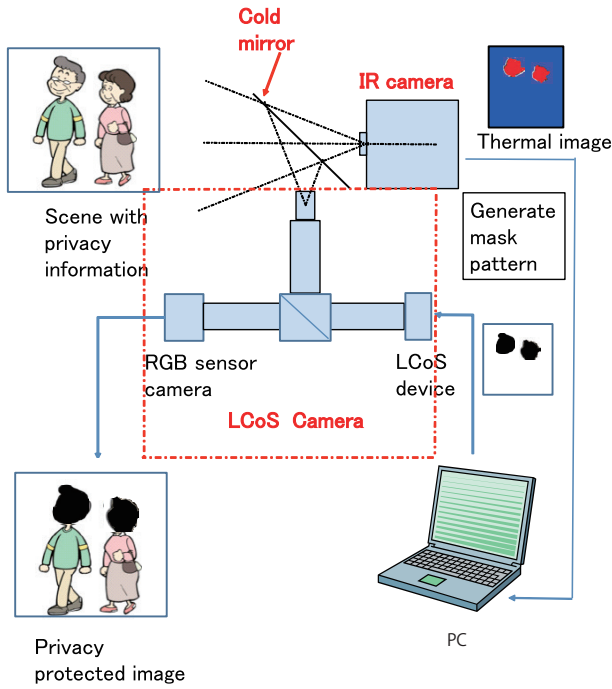


図2 匿名カメラシステムの概要

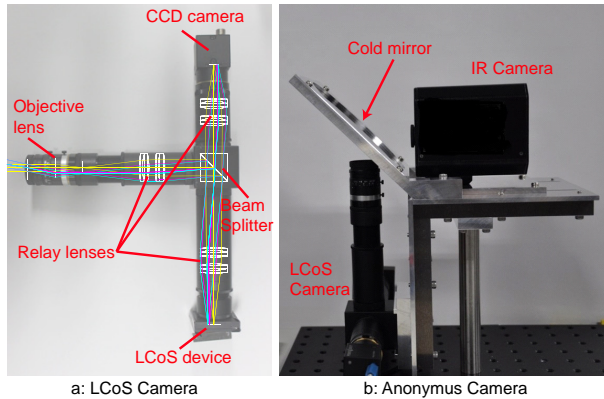


図3 プロトタイプカメラ

る、倒れこむ) からのデータベースを構築した。図4に各異常行動の例を示す。これらより、人物の顔のアップランス情報は隠蔽されていることがわかる。構築した行動データベースの詳細を表1に示す。行動データベースは被験者5名を対象とし、各被験者に対して通常歩行2シーケンス、4種類の異常行動各1シーケンスずつの計30個(5×2+5×4×1=30)の動画画像シーケンスより構成される。なお、“壁に寄りかかる”と“倒れこむ”の動作は、各被験者に対してどちらか一方のみを撮影した。データベースに含まれる画像の合計枚数は529枚であり、そのうち190枚は通常歩行である。

3.2 2次元アフィンモーメント不変量に基づく特徴抽出

まず撮影画像から対象人物領域を抽出したシルエット画像を作成し、次に特徴として2次元アフィンモーメント不変量[3]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

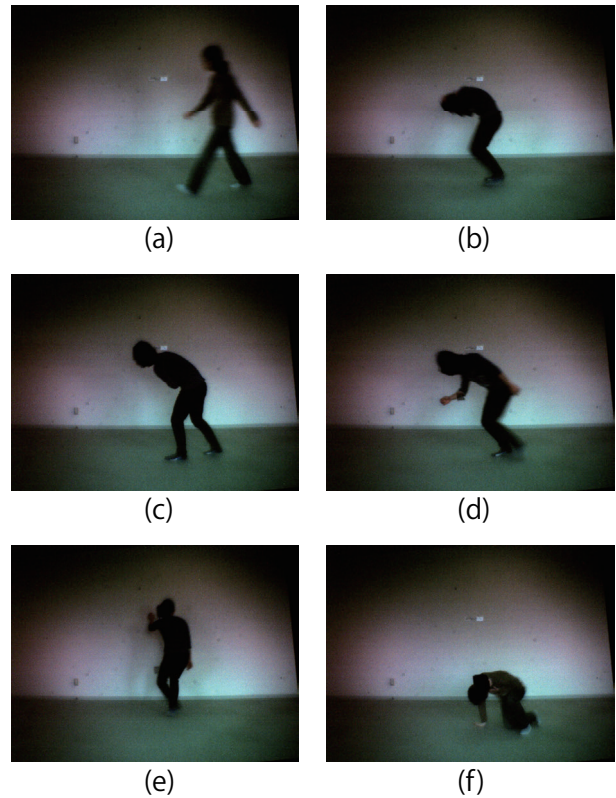


図4 (a) 通常歩行, (b) 頭を抱える (c) 胸を押さえる, (d) 転倒する, (e) 壁に寄りかかる, (f) 倒れこむ

フィン変換に対して不変である。画像平面上における $(p+q)$ 次のモーメントは次式で表される。

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

ただし、 p, q は非負の整数とする。また、 $I(x,y)$ は、画素 (x,y) における輝度値である。式(1)より、重心の位置は次式で表される。

$$x_g = \frac{\mu_{10}}{\mu_{00}}, y_g = \frac{\mu_{01}}{\mu_{00}} \quad (2)$$

式(1)と式(2)より、重心周りのモーメントは次式で表される。

$$\mu'_{pq} = \sum_{(x,y) \in O} (x - x_g)^p (y - y_g)^q I(x,y) \quad (3)$$

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。2次元アフィンモーメント不変量はこれら重心周りのモーメントを組み合わせたものであり、本研究で用いる計45個の2次元アフィンモーメント不変量 $I = \{I_1, I_2, \dots, I_{45}\}$ のうち、1つを次式で示す。

$$I_1 = \frac{1}{\mu_{00}'} (\mu_{20}' \mu_{02}' - \mu_{11}'^2) \quad (4)$$

表 1 行動データベースの構成

被験者	行動	画像シーケンス数
5名	通常歩行	2回撮影
	頭を抱える	1回ずつ撮影
	胸を押さえる	
	転倒する	
	倒れこむ	
	壁に寄りかかる	どちらか一方を撮影

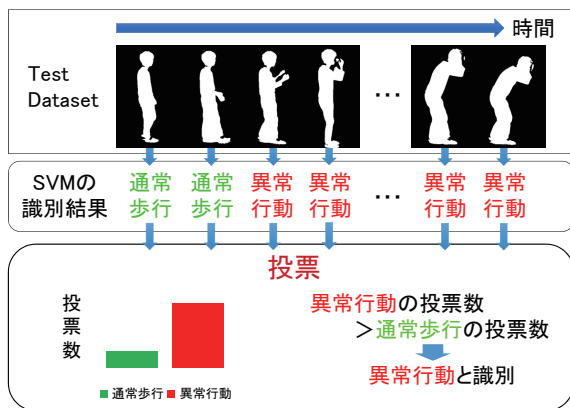


図 5 投票による動作識別

3.3 動作識別

抽出されたアフィンモーメント不変量を用いて、SVM(Support Vector Machine)と投票を組み合わせた方法 [4] (図 5) により、動作識別を行う。ここで、異常とは“通常とはちがっていること、並外れたところにあるさま” (広辞苑 第六版) とあるように、異常行動は限りなく無限に存在し、これらを全て学習させることは困難である。そこで、1クラスSVMを用いて通常歩行動作のみを学習データとし、識別対象となる行動が通常歩行か異常行動かの判定を行う。1クラスSVMはデータの高密度領域を推定する領域判別問題に基づく学習アルゴリズムであり、外れ値検出などで用いられる。

具体的には、まず学習用の画像列に属する全ての通常歩行のシルエット画像からフレーム毎に2次元アフィンモーメント不変量による特徴を求め、1クラスSVMの学習データを構築する。次にテスト用の画像列に対しても同様に、フレーム毎にシルエット画像から特徴を求め、1クラスSVMを用いて通常歩行であるか異常行動であるかの識別を行う。さらに、テスト用の全フレームの識別結果を基に、投票を行う。ここで、通常歩行に識別されたフレームは通常歩行に、胸を押さえる、頭を抱える、転倒する、壁に寄りかかる、倒れこむに識別されたフレームは全て異常行動として投票する。最後に図5に示すように、投票の結果を統合し、多くの票を得た動作を識別結果とする。

3.4 実験

構築した行動データベースに対して提案手法を用いて実験を行った。ここで、ある人物の動作をテストデータとする際には、その人物以外のデータを用いて学習データを構築し、識別を行った。この処理を被験者5

表 2 SVMと投票を組み合わせた手法の実験結果 [%]

	通常歩行	異常行動
1クラスSVM	100.0 %	95.0 %
2クラスSVM	100.0 %	100.0 %

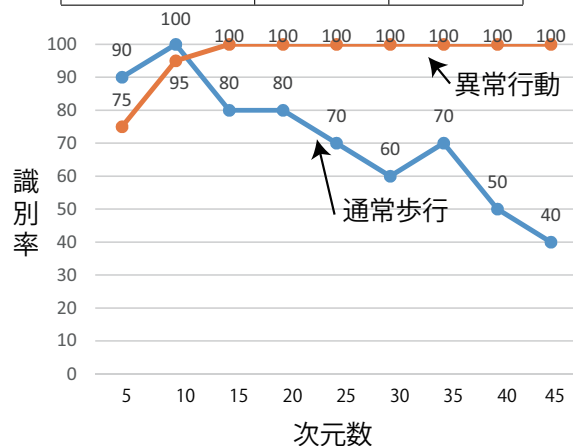


図 6 2次元アフィンモーメント不変量の次元数と識別率の関係 (1クラスSVM)

名に対して行い、平均の識別率を求めた。また、実験では1クラス識別との比較のために、通常歩行と異常行動の両方を学習させる2クラス識別も行った。ここで、本研究では撮影人物の動作から異常行動を検出することが目的であるため、5種類の動作（胸を押さえる、頭を抱える、転倒する、壁に寄りかかる、倒れこむ）のいずれかに識別された動作は、異常行動として識別した。

SVM (1クラス識別, 2クラス識別) と投票を組み合わせた手法を用いた識別実験の結果、得られた識別率を表2に示す。ここで、使用した2次元アフィンモーメント不変量の次元数は10次元である。また、1クラスSVMを用いた識別実験において、2次元アフィンモーメント不変量の次元数と識別率の関係を図6に示す。なお、表2、図6の実験において、SVMはLIBSVMを使用し、カーネル関数は線形カーネルを使用した。これらの結果より、1クラスSVMでは2次元アフィンモーメント不変量の次元数は10程度が適当であること、2クラスSVMのほうが1クラスSVMよりも性能が高いことがわかる。しかし、通常歩行のみを学習させた1クラスSVMでの異常行動の識別率は高く、未知の異常行動に対しても対応できると考えられる。

4. まとめ

本論文では、プライバシーの完全保護を実現する匿名カメラの提案と、匿名カメラを用いた異常行動検出実験を行った。匿名カメラより得られた画像列を用いて行動データベースを構築し、SVMと投票を組み合わせた手法により異常行動を識別した。実験の結果、SVMを用いて通常歩行と異常行動を識別できることを示した。今後は、匿名カメラの赤外線画像より得られる顔領域の位置情報を用いた手法と2次元アフィンモーメント不変量を組み合わせた手法を導入し、識別率の向上を目指す。

謝辞

本研究は、総務省戦略的情報通信研究開発制度 (SCOPE)ICT イノベーション創出型研究開発 (121810005) の助成を受けた。

参考文献

- [1] K. Chinomi, N. Nitta, Y. Ito & N. Babaguchi, "PriSurv: Privacy Protected Video Surveillance System Using Adaptive Visual Abstraction", *Advances in Multimedia Modeling, Lecture Notes in Computer Science*, vol.4903, pp.144-154, 2008.
- [2] 高木 修平, 岩下 友美, 諸岡 健一, 辻 徳生, 倉爪 亮, "プライバシー保護画像からの異常行動検出", 2013 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, AS-6-4, 2013.
- [3] J. Flusser, T. Suk & B. Zitova, "Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition", Wiley & Sons Ltd., 2009.
- [4] Yumi Iwashita, Koichi Ogawara, Ryo Kurazume, Identification of people walking along curved trajectories, *Pattern Recognition Letters*, to appear, 2014.