

03

画像によるエレベータ内 異常検知技術

鷲見和彦* 関 真規人* 塩崎秀樹**

* 三菱電機(株)

** 三菱電機ビルテクノサービス(株)

エレベータかご内で起こる犯罪はいまだに絶えることがなく、犯罪検出・犯罪防止センサの実現は即時警報や映像記録、センタへの通報のためのトリガとして期待されている。本稿では、こうした犯罪の発生や犯罪に至る前の不審状態を判断するための一手法として、監視カメラの映像から人物の有無や暴れ動作を検知する手法について紹介する。

はじめに

ビル内の安全、安心確保を目的に、ICカードやバイオメトリクスによる個人認証装置、防犯カメラ映像の録画装置などセキュリティシステムが導入されている。ビルの縦の交通機関であるエレベータでも、これらのシステムと連携して、認証されない人の利用制限機能やエレベータかご内を24時間録画する機能を実現し、かご内で発生する強盗やいたずら等の犯罪抑止、さらには犯罪発生後の事件解決に寄与してきた。それにもかかわらず、現在でも犯罪の撲滅には至っていない。

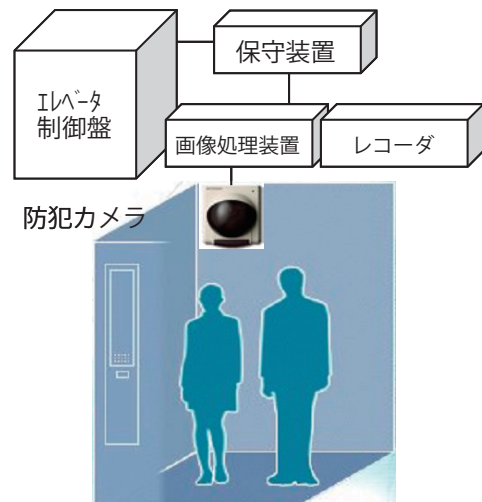
日本エレベータ協会発行の「協会速報」¹⁾に掲載されていたエレベータかご内犯罪事例を独自に分類してみると、過半数の犯罪では加害者の暴力や被害者の抵抗といった動作が伴い、犯罪に至る前には待ち伏せといった不審状態があることが分かった。これらの行動が検知できれば、犯罪抑止の強化や犯罪に遭遇した人の被害軽減に貢献できると考えられる。さらには、昨今の高齢者や子供による単独利用機会の増加を考慮すると、急病で動けなくなったり閉じ込められたりした場合にも対応することで安心確保につながるものと期待される。エレベータの監視においては、機械の故障など犯罪以外の事故への対処も必要であるが、機械的な故障はエレベータ本体の制御装置で検出可能であり、カメラ系の役割は乗客を見守ることが重要である。

本稿では、こうしたエレベータかご内での異常事象に対する検知技術として、筆者らが開発した防犯カメラ映像に対する画像処理技術とその運用形態の一例について紹介する(図-1)。具体的には、犯罪を判断するための一手法として加害者の暴力や被害者の抵抗といっ

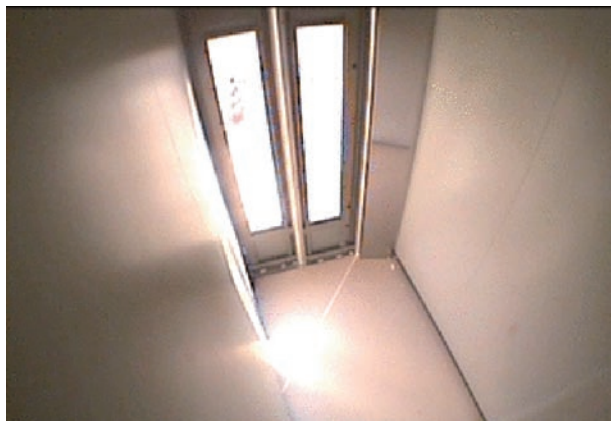
た「暴れ」動作を検知する技術、および、待ち伏せ、急病、閉じ込めに共通する「長時間の有人状態」を判断するための一手法として人物の有無を検知する技術について述べる。

関連研究

エレベータかご内における人物の有無は、人物の出現によって生じる画像上の変化を捉えることによって判断することができる。これを実現する代表的な方法としては背景差分法がよく知られている。背景差分法は背景画像と入力画像との輝度値を比較することで、効率よく変



■ 図-1 防犯カメラシステム



■図-2 窓付きエレベータ

化領域を抽出する方法であるが、窓付きエレベータでは人物の出現以外に外界の日照変化によっても画像が変化するという問題がある(図-2)。

そのような照明条件が変化する環境下で背景差分を実現するために、画像上の輝度の空間的な分布形状(テクスチャ)に着目した方法が提案されている²⁾。この手法はテクスチャの変化とその変化の空間的な一様性を評価する頑健な背景差分(以下ではテクスチャ背景差分と呼ぶ)を実現した。そこで、筆者らは、このテクスチャ背景差分を採用し、エレベータへの適用を図っている。

また、人物の動作解析をエレベータへ搭載するにあたっては、従来の研究でしばしば用いられたような、人体に追跡可能な特徴があるという前提やステレオ視のような装置・計算コストの大きな方法は不適切であり、また、狭い空間のため人体部位を個別に解析する手法なども採りにくい。さらに、解析手法としても、動作解析で多用されるDPマッチング・隠れマルコフモデルなど、認識時と同じ環境で事前の網羅的学習が必要なアルゴリズムも実用的でない。最近の研究では、入力画像系列から定常的な動作を自動的にモデル化し、その上で異常な動作を認識する手法が提案されている。たとえば、定常的な動作パターンをHMMでクラスタリングしてモデル化する手法³⁾や部分空間として構成するもの⁴⁾、EM(Expectation-Maximization)アルゴリズムを用いて確率分布モデルとして生成するもの⁵⁾、SVMを用いるもの⁶⁾などがある。

本稿で紹介する暴れ動作検知技術は、画像上のオプティカルフローにより動き特徴を利用するとともに、平常時に得られる定常的なレベルを自動的に学習し、そこから大きく外れる動作を暴れとしてみなす枠組みを採用している。

以下では、人物有無検知、暴れ検知の順に、筆者らが開発した画像処理技術とその運用形態について述べる。

人物有無の検知

◆テクスチャ背景差分法

テクスチャ背景差分²⁾では、基準となる背景画像をあらかじめ生成しておき、処理の対象となる入力画像と比較することで変化領域を抽出する。ただし、テクスチャの変化を捉えるため、入力画像と背景画像をそれぞれ $N \times N$ 画素のブロックに分割し、ブロック単位で画像間の比較を行う。ここで、入力画像と背景画像の同一位置 (u,v) におけるブロックのベクトル表現を $i_{(u,v)}$ 、 $b_{(u,v)}$ とすると、テクスチャ背景差分では、下式で表される正規化距離 $ND_{(u,v)}$ と空間的構造特徴 $VND_{(u,v)}$ が比較の指標として用いられる。なお、ベクトルの要素はブロック中の画素の輝度値に対応している。

$$ND_{(u,v)} = \left| \frac{i_{(u,v)}}{|i_{(u,v)}|} - \frac{b_{(u,v)}}{|b_{(u,v)}|} \right|$$

$$VND_{(u,v)} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (C_{(u,v)}^j - \mu_{C(u,v)})^2$$

ここで、 $|\cdot|$ はベクトルの大きさを表す。また、 $C_{(u,v)}^j$ は、ブロック内を m 個の小ブロックに分割したときの、入力画像と背景画像における小ブロック間の正規化距離であり、 $\mu_{C(u,v)}$ はブロック内におけるその平均値である。

正規化距離 $ND_{(u,v)}$ はベクトルの大きさの変化には不変量であり、輝度値の様な変化に対しては影響を受けない。したがって、照明条件の変化が輝度値の様な変化を引き起こすと仮定できるならば、正規化距離を用いて照明変化以外の画像変化を検出することができる。一方、空間的構造特徴 $VND_{(u,v)}$ はブロック内変化の不均一性を表しており、ほぼ一様に分布しているノイズでは小さな値を、複雑なテクスチャを持つ人物に対しては大きな値をとる。したがって、空間的構造特徴を組み合わせることによって、さらに、ノイズによる変化と人物による変化とを識別することができるようになる。

◆エレベータ映像への適用

筆者らは、このテクスチャ背景差分をエレベータかご内映像に適用し、人物の有無を判定することにした。具体的には、テクスチャ背景差分によって抽出された変化領域の面積が所定の閾値以上である場合に人物が存在しているとみなす。なお、窓から見える外界の変化も抽出されてしまうが、今回はマスク処理するものとし扱わないことにした。

テクスチャ背景差分の適用に際しては、実環境に応じ

た指標の評価を行うため、実際に観測されている背景画像系列から背景ノイズの変動量をブロックごとにモデル化し、その背景変動モデルに応じて正規化距離 $ND_{(u,v)}$ と空間的構造特徴 $VND_{(u,v)}$ を評価する。まず、実際に観測された背景画像系列から基準となる背景画像を生成する。そして、背景画像系列の各背景画像と基準背景画像の間でブロックごとに正規化距離を算出し、その平均値 $\mu_{ND(u,v)}$ と標準偏差 $\sigma_{ND(u,v)}$ を背景変動モデルとして保持する。処理対象となる入力画像が得られたときには、下式によって入力画像と基準背景画像との正規化距離 $ND_{(u,v)}$ を評価する。

$$PND_{(u,v)} = \frac{(ND_{(u,v)} - \mu_{ND(u,v)})}{\sigma_{ND(u,v)}}$$

空間的構造特徴についても同様であり、背景画像系列の各背景画像と基準背景画像の間でブロックごとに空間的構造特徴を算出し、その平均値 $\mu_{VND(u,v)}$ と標準偏差 $\sigma_{VND(u,v)}$ を背景変動モデルとして保持する。処理対象となる入力画像が得られたときには、下式によって入力画像と基準背景画像との空間的構造特徴 $VND_{(u,v)}$ を評価する。

$$PVND_{(u,v)} = \frac{(VND_{(u,v)} - \mu_{VND(u,v)})}{\sigma_{VND(u,v)}}$$

最終的に、本研究では、下式が一定値以上のブロックにおいて、変化があったとみなす。

$$BG_{(u,v)} = \min(PND_{(u,v)}, PVND_{(u,v)})$$

◆性能検証

本手法の有効性を確認するため、意匠の異なる複数のエレベータかご内映像を用いて実験を行っている。映像は一般的なマンションで撮影された日常のシーンである。結果として、扉閉時では検知率 99% (誤検知 1% 以下) を確認することができた。

図-3 に人物有無の検知例を示す。図の上段に入力画像を、下段にテクスチャ背景差分によって抽出された変化領域を赤くオーバーレイ表示している。図を見て分かるように、人物領域が変化領域としてほぼ正しく抽出できており、人物が存在していることを正しく捉えている。

◆運用形態例

不審者の待ち伏せ、高齢者などの急病、子供の閉じ込



■図-3 人物有無検知例

めといった異常事象に共通するのは、長時間の有人状態である。そのため、運用形態の一例としては、画像処理により人物の存在が確認され、かつ、一定時間以上呼びボタンが押されない場合に異常状態とみなし、エレベータを指定階へ移動させ、扉を開いて周囲へアナウンスを行うという方法を採用している。この方法では第三者に発見していただくことになるが、もちろん警備会社へ直接発報することも考えられる。

暴れ動作の検知

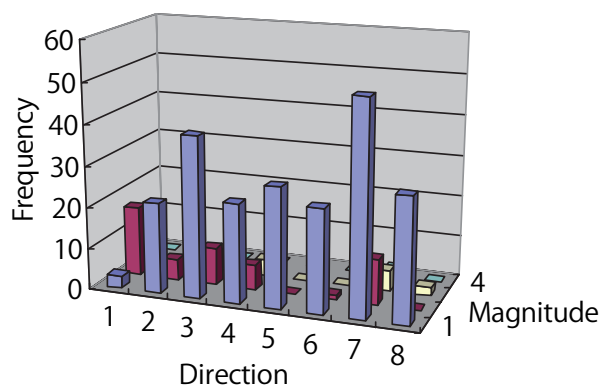
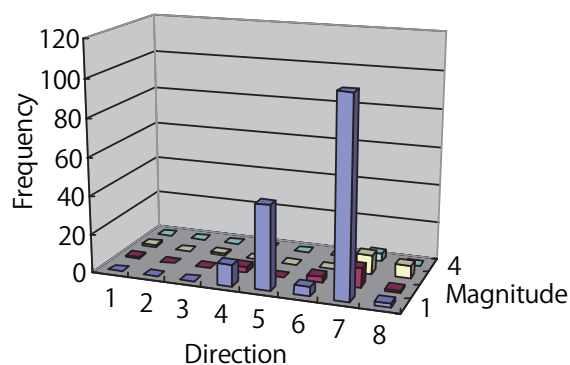
暴れ動作は平常時の人物動作や背景の動きよりも複雑である。筆者らはそのことに着目し、画像から求めたオプティカルフローの向きと大きさのばらつき、および個数というマクロな統計量を評価することで、暴れ動作か否かの2クラス識別問題を解くことにした。このような簡便な方式で暴れを検知することができるのは、適用先のエレベータにおいて、人物の移動範囲が狭く、出現者数が少ないといった好条件が整っているためである。

◆かご内映像におけるオプティカルフロー

オプティカルフローは、画像上の各点における見掛けの移動量と方向を表したもので、時間的に連続した画像間の対応点を探索することで求められる。



■図-4 かが内映像(左：平常時、右：暴れ動作時)



■図-5 フローのヒストグラム(左：平常時、右：暴れ動作時)

まず、図-4に示すような、エレベータのかが内映像を用いて、暴れ動作時のフローにばらつきが見られることを説明する。そのため、典型的な手法の1つであるSAD (Sum of Absolute Difference) ブロックマッチングによりフローを算出し、フローベクトルの向き(8方向)と大きさ(4段階)のヒストグラムを求めた。ここでは、カメラの設置俯角が大きく、人物の3次元位置に対する不定性が小さいため、フローの観測値から3次元実空間における物理量への変換は行っていない。

平常時と暴れ動作時のある瞬間におけるヒストグラム例をそれぞれ図-5に示す。これらの図を比較すると、平常時のフローには偏りがあり、逆に、暴れ動作時のフローにはばらつきがあることが分かる。

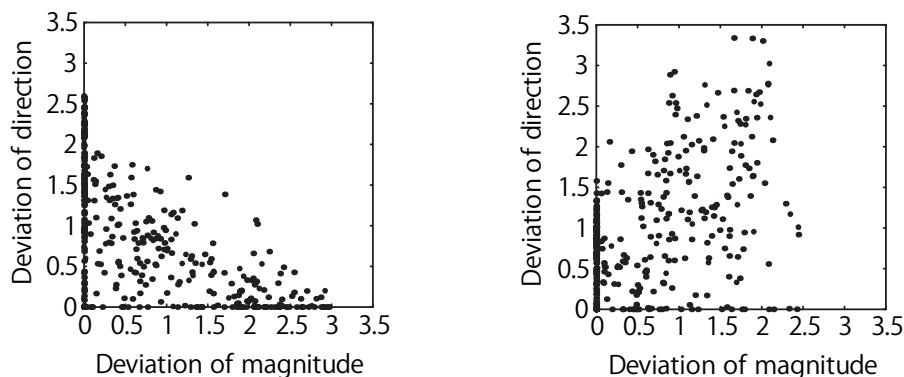
また、これらフローのばらつき度合を標準偏差値として求め、(平均的なばらつきで正規化した後)所定時間区間においてプロットしたものを図-6に示す。縦軸がフローの向きのばらつき度合、横軸がフローの大きさのばらつき度合を表している。図を見ると、暴れ動作時には、

平常時に比べ、向きのばらつきと大きさのばらつきが共に大きい場合がある。暴れ動作中のすべての時間において、この大きなばらつきが観測されるわけではないが、ばらつき度合を評価していれば、少なくともばらつきが大きな瞬間に暴れを発見することができると考えられる。

◆アルゴリズム

前節で示した検証結果から、筆者らはフローの「向きのばらつき D 」と「大きさのばらつき M 」を暴れ検知の評価尺度とすることにした。また、絶対的な動きの量に制限を設けるために、「フローの個数 Q 」を尺度に加え、3つの統計量の積 ST により暴れを判定する。ここで、「フローの個数 Q 」は、かが内に存在する人物の数や荷物の大きさを考慮するために、テクスチャ背景差分によって抽出された変化領域中の単位面積あたりの個数として

$$ST = D \times M \times Q$$



■図-6 フローのばらつき(左：平常時、右：暴れ動作時)

ところで、エレベータかごにはさまざまな意匠がある。壁の色・模様、窓の有無、照明の明るさ、容量の違いなどがある。また、カメラが取り付けられる位置もかごとくに異なっている。前節で示した結果は、これら意匠やカメラ位置が異なってもおおむね同様の結果となるが、図-6における分布の広がり具合は、かごとくに変わる。さらには、扉開閉中と昇降中でも変化する。そこで、これらの違いを考慮するために、 ST をそれらに応じて正規化し、暴れを判定することにした。

そのために、まず、平常時におけるフローの統計量を各かご映像で扉開閉状態別にモデル化する。具体的な学習アルゴリズムは以下ようになる。

- (1) 学習用に用意された画像で、フローベクトルを求め、 ST を計算する。
- (2) 画像を変えて、(1)を繰り返し行い、 ST の平均値 μ_{ST} と標準偏差 σ_{ST} を算出する。そして、平常時における動き特徴のモデルとして保持する。このモデルは、各かご映像で扉開閉状態別に用意されることになる。

一方、未知画像における暴れ検知は、次のようにして行う。

- (1) 未知画像で、学習時と同じようにして ST を求める。
- (2) 扉開閉状態に応じて、学習済みのモデルにより ST を正規化する。

$$PST = \frac{ST - \mu_{ST}}{\sigma_{ST}}$$

- (3) 正規化された特徴量 PST が所定の閾値以上である場合に、暴れとみなす。

◆性能検証

人物有無検知と同様に、本手法の有効性を確認するため、意匠の異なる複数のエレベータかご映像を用いて実験を行った。映像は一般的なマンションで撮影された日常のシーンと、役者によって再現された典型的な犯罪シーンから構成されている。実験では、これら映像に対し、暴れが正しく検知できるか判定した。この結果、暴れ検知は犯罪模擬映像に対し、検知率 80% (誤検知 6%) を達成した。

暴れ検知例を図-7に示す。図の上段は入力画像である。中段には画像中の各点(表示上は荒く間引いた点)から抽出されたオプティカルフローを線分で表示している。また、下段は暴れ度のグラフであり、横軸に時間を、縦軸に暴れ度をとっている。

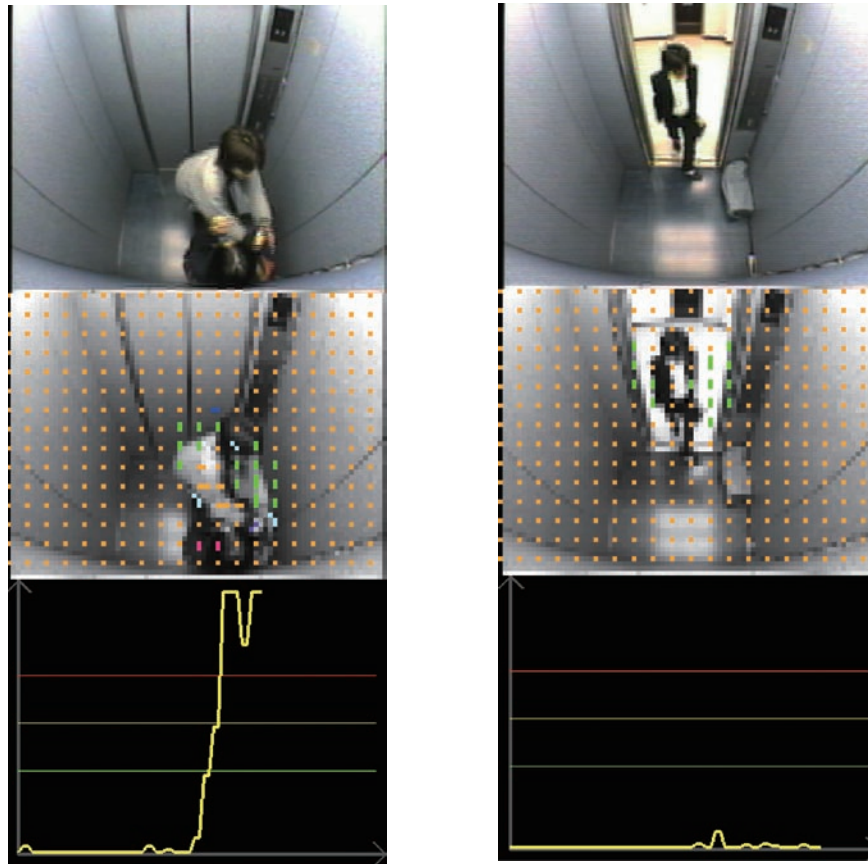
図-7左は鞆を奪い取る犯罪シーンであるが、暴れの発生にともなって暴れ度のグラフが急激に高くなっていることが分かる。一方、同図右のように日常の乗降シーンでは扉の開閉や人物の歩行動作があるにもかかわらず暴れ度は小さい。

◆運用形態例

運用形態としては、暴れ度に応じて、警告アナウンスを行ったり、エレベータを最寄階に移動させ扉を開いたりする方法が考えられる。これにより、加害者に対しては監視されていることを知らしめるとともに、被害者に対して避難する機会を与えることで、被害軽減を狙う。

おわりに

本稿では、エレベータかご内における異常検知技術として、筆者らが開発した人物有無検知と暴れ検知技術について述べた。本技術は、万が一犯罪に遭遇してしま



■ 図-7 暴れ検知例(左：犯罪シーン、右：乗降シーン)

った人の被害軽減に貢献できるものと考えている。また、本技術を用いた防犯機能がエレベータに装備されているということを広く周知いただくことで、そもそもの抑止効果が強化されるものと期待される。

しかし、人が客観的に見ても他人の動きが異常なのか否か判断できない場合があるのと同様に、本技術でもたとえばゴルフスイングや体操などの大きな動きを暴れ動作として検出する場合がある。逆に犯罪行為であってもナイフを使って脅しているような場合には、検出できないこともあるという課題がある。今後、性能改善や新たな技術開発に努め、犯罪のない社会の実現に貢献したいと思う。

参考文献

- 1) (社)日本エレベータ協会, 協会速報, <http://www.n-elekyo.or.jp/>
- 2) 松山隆司, 和田俊和, 波部 齊, 棚橋和也: 照明変化に頑健な背景差分, 信学論 D-II, Vol.J84-D-II, No.10, pp.2201-2211(2001).
- 3) 青木茂樹, 岩井嘉男, 大西正輝, 小島篤博, 福永邦雄: 人物の位置・姿勢に注目した行動パターンの学習・認識と非日常状態検出への応用, 信学論 D-II, Vol.J87-D-II, No.5, pp.1083-1093 (2004).
- 4) 南里卓也, 大津展之: 複数人動画からの異常動作検出, 信学技報 PRMU, Vol.104, No.291, pp.9-16 (2004).

- 5) McKenna, S. J. and Nait-Charif, H. : Learning Spatial Context from Tracking Using Penalised Likelihoods, ICPR2004.
- 6) 数藤恭子, 若林佳織, 荒川賢一, 安野貴之: 長時間の監視映像からの非定常シーケンスの検出, 情処研究報告 CVIM-151, pp.77-82 (2005).
(平成 18 年 12 月 7 日受付)

鷺見和彦(正会員)

Sumi.Kazuhiko@ds.MitsubishiElectric.co.jp

昭和 57 年京都大学工学部電気電子工学科卒業, 昭和 59 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社, 現在先端技術総合研究所にて画像認識・センサ情報処理の研究開発に従事。その間, 平成元年メリーランド大学客員研究員, 平成 15 ~ 17 年京都大学大学院情報学研究科研究員(COE)客員教授。

関 真規人

Seki.Makito@dr.MitsubishiElectric.co.jp

平成 4 年岡山大学工学部情報工学科卒業, 平成 6 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社, 産業システム研究所を経て, 現在先端技術総合研究所にて監視用画像処理システムの研究開発に従事。

塩崎秀樹

shiozaki.hideki@meltec.co.jp

昭和 55 年和歌山工業高等専門学校電機工学科卒業。同年菱電サービス(株)(現三菱電機ビルテクノサービス(株))入社, 昇降機の遠隔点検システム, 故障診断システムなどの研究・開発・企画に従事。