

複数の外乱に対するロバスト性を考慮した静止物体検出方法

A Robust Method for Still Object Detection against Various Disturbances

山下 勝也[†] 磯 和之[§] 秦泉寺 久美[§] 新井 啓之[§] 小島 明[‡] 仲澤 斉[§]Katsuya YAMASHITA[†] Kazuyuki ISO[§] Kumi JINZENJI[§] Hiroyuki ARAI[§] Akira KOJIMA[‡]
Hitoshi NAKAZAWA[§]

1. まえがき

映像モニタリングの分野において、膨大な映像データを自動的に処理して、意味のある情報を付加したり不審な出来事の発生を通報したりすることで監視業務を効率化するようなシステムに対するニーズが高まっている[1][2]。防犯カメラ等で撮影された映像内の変化事象の抽出要望にはさまざまなものがあるが、その一つとして不審物の置きりや、展示物の盗難などの検知があり、これは映像上で背景とは異なる長時間変化のない静止領域を静止物体として検出する機能に相当する。

実環境で誤検出や検出対象の見逃しなく機能させるためには、環境中や撮像機器から発生する外乱に対処する必要がある。外乱には、日照変動など照明環境の変化、通行人などの静止物体ではない移動物体の影、一時的な遮り、背景領域にある木の葉の揺れといった環境中に存在するものや、カメラのAGC: Auto Gain Control, AWB: Auto White Balance, 撮像素子のノイズなど撮像系によって発生するものなどがある。本稿では、静止物体の検出という観点からこれらをその特徴に応じて次の3つに分類して考える。

- 1) 恒常的な変化: 静止物体を観測する周期内(数十秒~数分)において、照度の単調増加あるいは減少のように一度発生するとともに戻らない変化を恒常的な変化とする。これには、日照の変動による光量の変化や影の発生、カメラパラメータの変化(AGC, AWBを含む)、カメラの位置ずれなどがある。
- 2) 定常的ゆらぎ: 平均すると0に近い値になるような変化を定常的ゆらぎとする。照明によるフリッカー、風による樹木の枝葉の揺れや水面に発生するさざ波などがある。
- 3) 一時的な外乱: 時間軸上で極短い時間のみ影響を与える変化を一時的な外乱とする。通行人の遮りや、撮像素子のランダムノイズなどがこれに相当する。

以上のような外乱は実環境においては、複合的に作用することから同時にすべての外乱に対処することが望ましい。近年、適応的な背景差分処理により定常的な揺らぎに対応する方法[5]も数多く研究されてきており、文献[6]では指数加重移動平均と、単一の正規分布モデルを用いた背景差分方法により背景を逐次更新する方法が紹介されている。しかし、背景差分を適応的に行ったと

しても一様な明るさ変化は差分として検出されてしまうため、照明環境が安定していない場所では誤検出が発生しやすい。一方、恒常的な変化のうち、一様な明るさ変化に対応する方法には対数微分や相互相関を用いる方法[3][4]があるが、これらの方法は画像上においてテクスチャの多く存在する領域においては有効に働くが、濃淡の変化が少ない、変化が一様な領域については、変化を検出できなかったりノイズに大きく影響されたりする。また、差分領域をきれいに切り出すようなシルエットが得られないため、静止領域を新たな背景として背景画像を更新することが困難である。

そこで本稿では、単一正規分布モデルを用いた背景更新を基準に、対数微分を用いる方法、相互相関を用いる方法を組み合わせることで、双方の外乱に対するメリットを活かして前述の3種類の外乱に対してロバストな静止物体検出方法を提案する。また、合成画像を用いたシミュレーションにより検出可能な物体の特性、及びそれぞれの外乱に対する限界性能を評価するとともに、実画像を用いて文献[6]の方法のみを用いた場合と、提案手法を用いた場合の実験結果を比較し提案手法の有効性を示す。

2. 提案手法

静止物体を検出するまでの過程として、背景作成、前景抽出、静止判定の3段階を考え、それぞれのステップにおいて外乱に強い方法を用いることで処理全体の総合的なロバスト化を図る。

2.1 背景作成

文献[6]の指数加重移動平均と、正規分布モデルを用いた背景差分方法を用いて背景の逐次作成を行う。この手法は少ない計算コストで毎フレーム背景を更新することができ、定常的なゆらぎと、一時的な外乱を吸収することが可能である。

指数加重移動平均は、式(1)で計算できる。

$$E_t(x, y) = (1 - \kappa)E_{t-1}(x, y) + \kappa G_t(x, y) \quad (1)$$

ここで $E_t(x, y)$ 、及び $E_{t-1}(x, y)$ はそれぞれある時刻 t 、 $t-1$ における指数加重移動平均である。また、 $G_t(x, y)$ は、ある時刻 t における入力画像の画素値であり、 κ は、混合比率を示す係数である。

また、2.2節で述べる前景抽出の結果を用いて、前景以外の画素、すなわち背景領域の画素のみに対して指数加重移動平均を計算するとともに、2.3節で静止判定された領域を一定時間経過後背景画像として置き換えるようにすることで、質の良い背景を逐次作成することができる。

[†]東日本電信電話(株) IT イノベーション部,
IT Innovation Department, NTT East Corp.

[§]日本電信電話(株) サイバースペース研究所,
Cyber Space Lab., NTT Corp.

[‡]日本電信電話(株) サイバーソリューション研究所,
Cyber Solutions Lab., NTT Corp.

2.2 前景抽出

前景は、前節で述べた背景画像と入力画像について、背景差分を計算することで求められる。文献 [6] で紹介されている単一正規分布モデルに基づく閾値画像を用いた背景差分は、式 (2) で計算される。

$$D_g = |H_n - G_n| - \omega \sigma_n^H \quad (2)$$

$$F_g = \begin{cases} D_g > 0 & : 1 \quad (\text{前景}) \\ \text{else} & : 0 \quad (\text{背景}) \end{cases}$$

ここで、 H_n は背景画像、 G_n は入力画像であり、任意の画素 n についての計算を示している。 ω は任意の定数、 σ_n^H は背景画像の標準偏差である。 F_g は前景を示し、差分値 D_g が正の場合に前景、それ以外の場合を背景とする。

しかし、この手法のみでは物体の影や、カメラの AGC、AWB による変化も差分として検出してしまうため、誤検出が多く発生する。そこで提案手法では、これに加えて次の 2 手法のいずれかを組み合わせて用いる。

2.2.1 対数微分を用いる方法

対数微分を用いた差分は、式 (3) で計算できる。

$$D_l = \frac{|\nabla \ln(H(x, y) + 1) - \nabla \ln(G(x, y) + 1)|}{\nabla \ln(H(x, y) + 1)} \quad (3)$$

$$F_l = \begin{cases} D_l > Th & : 1 \quad (\text{前景}) \\ \text{else} & : 0 \quad (\text{背景}) \end{cases}$$

ここで、 $H(x, y)$ は背景画像、 $G(x, y)$ は入力画像であり、 ∇ は空間微分を示している。なお、ここでは空間微分は Sobel フィルタで代用する。対数微分を用いた差分における前景 F_l は、 D_l が閾値 Th より大きい場合を前景とし、それ以外を背景とする。

2.2.2 相互相関と二乗差を用いる方法

相互相関と二乗差を用いた差分は、式 (4) ~ (6) によって計算できる。ここで、 H_n は背景画像、 G_n は入力画像であり、注目画素近傍の画素数 N の領域について計算をする。式 (4) は、相互相関の計算であるが、ここでは正規化を行った正規化相互相関を用いる。

$$A = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} (H_n - \bar{H})(G_n - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} (H_n - \bar{H})^2 + 1} \sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} (G_n - \bar{G})^2 + 1}} \quad (4)$$

式 (5) は、二乗差を示しており、相互相関と同様に正規化を行った正規化二乗差を計算する。

$$B = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} (H_n - G_n)^2}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} (H_n + 1)^2} \sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} (G_n + 1)^2}} \quad (5)$$

式 (6) は、正規化相互相関 A と、正規化二乗差 B の重み付き和である。 α は注目画素近傍領域の標準偏差に応じた係数であり、標準偏差が大きいために α の値が大きくなるようにする。相互相関と二乗差を用いた差分における前景 F_c は、相関値 D_c が閾値 Th より小さい場合、すなわち相関が低い場合を前景とし、それ以外を背景とする。

$$D_c = \alpha A + (1 - \alpha) B \quad (6)$$

$$F_c = \begin{cases} D_c < Th & : 1 \quad (\text{前景}) \\ \text{else} & : 0 \quad (\text{背景}) \end{cases}$$

2.2.3 前景の統合

正規分布モデルを用いて求めた前景 F_g と、対数微分を用いた前景 F_l あるいは相互相関と二乗差を用いた前景 F_c を統合するために式 (7) のように論理積を計算し、その結果を前景 F_m とする。

$$F_m = F_g \wedge F_l \quad \text{or} \quad F_m = F_g \wedge F_c \quad (7)$$

以上により、前景抽出までの過程において、前述の 3 つの種類の外乱に対してロバストな前景の抽出ができるようになる。

2.3 静止判定

前節で求めた前景には、移動物体と静止物体の 2 種類が含まれているため、静止物体のみを抽出する必要がある。静止物体の抽出は、前景 $F_{g \wedge c}$ の継続フレーム数をカウントし、カウントが一定値以上になった領域を静止領域として検出する。フレーム間差分が発生した領域は、カウントを減算することで移動物体の検出を避ける。また、前景抽出の結果、背景となった領域についてもカウントを減算することでノイズのカウントを避ける。

なお、2.1 節で述べた静止領域を背景に置き換える処理に関しては、 $F_{g \wedge c}$ ではなく、 F_g のカウント値が一定以上になった領域を用いる。これは、影や微小な明るさ変動の影響を背景として組み込むためである。

3. 実験

検出可能な物体の大きさ、テクスチャ粒度、コントラストなどの特性、及び特定の外乱に対する限界性能を調べるために合成画像を用いた評価を行った。また、同時に複数の外乱が存在する実映像を用いて実環境での有効性を確認した。

3.1 合成画像を用いた評価

検出可能な物体の特性を評価するため、図 1 に示すような画像を用いる。図 1(a) は $n \times n$ 画素の正方形を描画した画像の例であり、検出可能サイズの評価に用いる。図 1(b) は、画素値 0 の背景に、 20×20 、 10×10 、 5×5 、 2×2 のタイル模様のテクスチャ (前景) を描画している。タイル模様の画像を用いるのは、提案手法の計算結果がテクスチャの粒度に応じて異なるためである。図 1(c) は、図 1(b) と同様のタイル模様の画像を用いて前景部分のみの輝度を変化させた画像の例である。背景は 0 に固定し、タイル部分の輝度値の異なる画像を用いて、前景と背景を分離できる最小輝度差を評価するのに用いる。図 1(d) は、図 1(b) と同様のタイル模様の画像を用いて画像全体の輝度を変化させた画像の例であり、明るさ変化耐性の評価に用いる。輝度変化の周期は 2 秒とし、全波整流した正弦関数を用いて明るさを変化させた。図 1(d) は、図 1(b) と同様のタイル模様の画像を用いて、画像上に等間隔の縦じまを描画したものの例であり、一時的な遮蔽に対する耐性評価に用いる。縦じまの幅は、 $10[\text{pixel}]$ 、移動速度は $5[\text{pixel}/\text{frame}]$ で水平方向に平行移動させるようにした。

図 1 に示した画像を用いて評価した結果を表 1 に示す。表 1 の結果より、双方の手法とも $2 \times 2[\text{pixel}]$ 四方の物体を検出できることがわかる。これは、通常の防犯カメラ

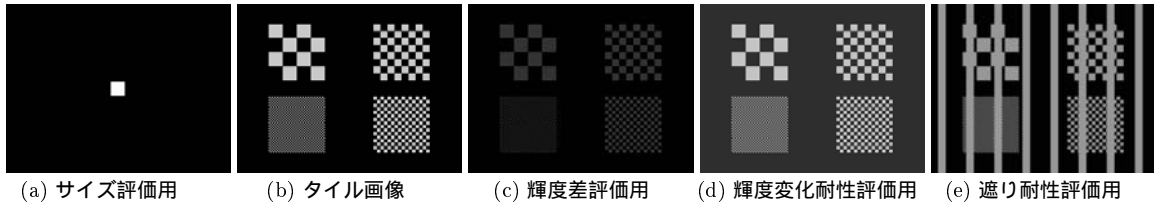


図 1: 評価用画像

表 1: 合成画像による評価結果

評価項目	手法	
	対数微分	相互相関と二乗差
検出可能サイズ	2 ~ 10pixel 以内	2 × 2pixel 以上
検出可能輝度差 [0 ~ 255]	2 × 2 : 15 以上 5 × 5 : 22 以上 10 × 10 : 22 以上 20 × 20 : 22 以上	2 × 2 : 9 以上 5 × 5 : 8 以上 10 × 10 : 6 以上 20 × 20 : 6 以上
明るさ変化耐性 [0 ~ 255]	18 以下	2 × 2 : 46 以下 5 × 5 : 60 以下 10 × 10 : 60 以下 20 × 20 : 60 以下
一時的な遮蔽に対する耐性	画面遮蔽率 50 % 以下	画面遮蔽率 67 % 以下
処理速度	18msec	18msec ~ 80msec

間引き処理時

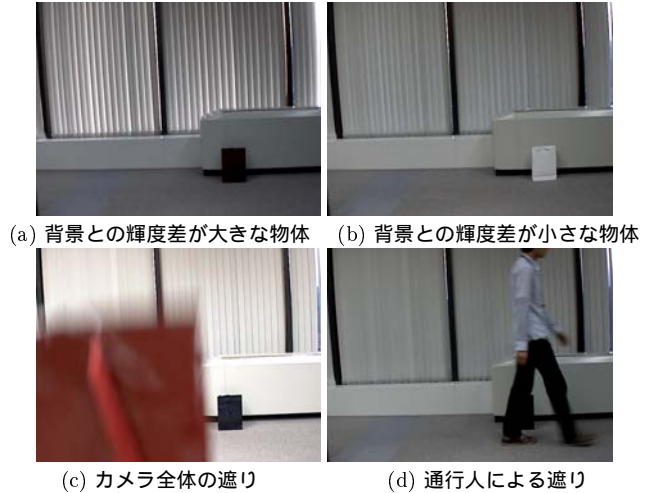


図 2: 評価用実画像

ラの設定基準において男女の区別がつく程度の画角である画角 A[7] において、床面に落ちた数 cm 程度の物体が検出できるレベルに相当する。但し、対数微分を用いた場合は、濃淡変化のない大きなパターンは 10[pixel] 四方を越えると検出領域に欠けが生じる。

検出可能な前景/背景の輝度差は、対数微分を用いた場合は粒度の細かいパターンの方が検出しやすく、相互相関と二乗差を用いた場合は、逆に粒度の粗いパターンの方が検出しやすい傾向があることがわかる。双方とも、背景と比べて濃淡差の少ない背景と同系色の物体も見逃さずに検出可能であることが伺える。

明るさ変化に対する耐性は、対数微分を用いた場合は輝度振幅で 18 程度まで、相互相関と二乗差を用いた場合は、60 程度まで、検出結果に影響を与えることなく許容できることがわかる。特に、相互相関と二乗差を用いた場合は移動物体などの遮りによる一時的なカメラのゲイン、ホワイトバランスの変化による急激な輝度変化があっても誤検出せずに静止物体の検出が可能であることが示唆される。

一時的な遮蔽に対する耐性は、それぞれ遮蔽率 50 % 程度までは許容できることが示された。これは、人通りの多い通路など間断なく人の通行があるような環境においても、静止物体の検出が可能であることを示唆している。

処理時間は、双方 18[msec] 程度であった。静止物体の検出において、処理対象の映像のフレームは、1 秒間に数フレーム取得できればよいため、実時間で十分処理可能な計算コストとなっている。なお、相互相関と二乗差を用いた場合において、全画素について計算するのは冗長であるため隣接格子同士で重複する領域を含まないように画像を格子状に分割して間引き計算することで計算コストを削減している。

3.2 実画像を用いた評価

実環境での有効性を評価するため、図 2 に示すような画像を用いる。

図 2(a) ~ (d) とともに、窓際のブラインド越しに日照が差し込む環境において、ブラインドが空調や人の通行による風でわずかに揺れている環境で撮影している。図 2(a) は、静止物体として背景との輝度差が大きな紙袋を撮影したものであり、図 2(b) は、背景との輝度差が小さな紙袋を撮影した映像のあるフレームを示している。図 2(c) は、図 2(a) と同様の物体を用いて、静止物体の置去りの後にカメラ前面を物体で遮った映像のあるフレームを示している。物体の遮りによる静止物体の遮蔽と、AGC, AWB による画像全体の大幅な輝度変化が生じている。図 2(d) は、静止物体の置去りの後に物体の前を人通行して何度も遮るような映像のあるフレームを示している。カメラ全体を遮った場合と異なり、AGC などによる輝度変化は少ない。

また、日照変動による誤検出の有無を評価するため、窓際で日差しが差し込む環境下において午前 0 時から 24 時までの 24 時間の映像を撮影した画像を用いた評価も行った。図 3 に各時刻における代表的な画像の例を示す。

表 2 は、正規分布を用いた差分方法(濃淡差分)のみを用いた場合と提案手法の場合、それぞれにおいて図 2(a) ~ (d)、及び図 3 に示した実画像を用いて静止物体検出の評価実験を行った結果である。静止物体として検出した画素のうち、正解エリアとしてあらかじめ設定した領域内に検出した画素数を正、正解エリア外に検出した画素数を誤として、その最大値を示している。ただし、日照変動による誤検出の評価については、正解エリアはなし



図 3: 窓際における 1 日の日照変化

表 2: 実画像を用いた評価結果

評価項目	手法		
	濃淡差分のみ	対数微分	相互相関と二乗差
背景と輝度差の大きな物体	正: 1647 誤: 232	正: 1315 誤: 30	正: 1270 誤: 30
背景と輝度差の小さな物体	正: 1638 誤: 2139	正: 759 誤: 1	正: 1270 誤: 30
カメラ全面の遮り	正: 1171 誤: 609	正: 1179 誤: 171	正: 1670 誤: 30
通行人による遮り	正: 1520 誤: 502	正: 1403 誤: 1	正: 1700 誤: 0
日照変動による誤検出	誤: 1851	誤: 136	誤: 300

とし全ての検出画素を誤検出としている。表 2 からわかるように双方とも静止物体を検出できていることがわかるが、濃淡差分のみの場合は、誤検出された画素数が多くなっているのがわかる。これに対し、提案手法では影や微小な明るさ変化は検出しないが、背景との輝度差が小さな物体は見逃さず検出できていることが特徴である。

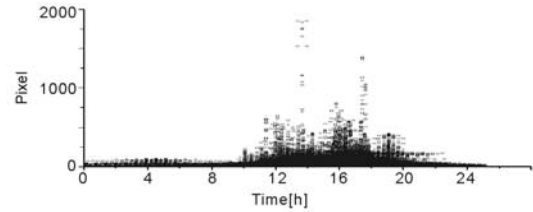
一日 24 時間の日照変動による誤検出に関しては、表 2 の結果に加え、図 4 に時刻毎の誤検出画素数の変化をプロットしたものを示す。図 4(a) は、濃淡差分のみを用いて図 3 に示した一日 24 時間の映像を処理した結果であり、図 4(b), (c) は提案手法を用いた場合の結果である。ここで、縦軸は画面全体における誤検出した画素の総数、横軸は時刻を示している。

表 2 と図 4 より、濃淡差分のみの場合に比べ、提案手法では誤検出が有意に減少していることがわかる、また濃淡差分のみの場合、誤検出が一日のうち日照のある時間全体にわたって分布しているが、提案手法の場合は日の出、日の入り時刻に若干の誤検出があったのみで、一日の時刻に関係なく安定していることがわかる。

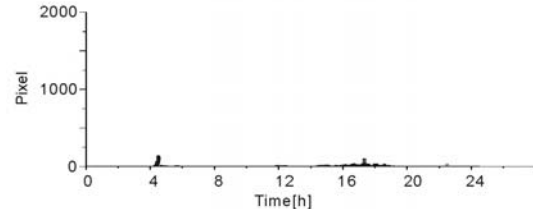
4. むすび

本稿では、静止物体検出方法として、従来よりある正規分布を用いた背景差分方法に加え、対数微分、あるいは相互相関と二乗差を組み合わせた手法を提案した。

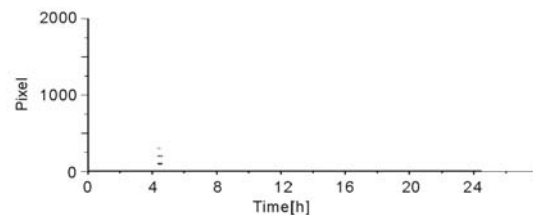
合成画像を用いた評価実験によりアルゴリズムの特性を明確に示すとともに、実画像を用いた評価実験により、従来法と提案手法を比較し、その有効性を確認した。さまざまな条件下で評価した結果、提案手法では外乱による誤検出を有意に抑制していることが示された。また、提案手法では誤検出を抑制しても静止物体を見逃さず検出できていることも示した。



(a) 濃淡差分のみ



(b) 対数微分



(c) 相互相関と二乗差

図 4: 日照変動に対する誤検出画素数

提案手法を用いることにより、日照変動の影響を受けやすい窓際や屋外、木の葉などの定常的なゆらぎのある環境下や、ノイズや AGC・AWB などの問題がある安価なカメラを用いたシステム構成においても安定して静止物体の検出が行える可能性が高いことが示唆された。

アルゴリズムの汎用性については、より多様な撮影対象や、カメラ設置環境やカメラの種類を変えての評価実験を行うこと、画像サイズや画角に応じた適切なパラメータ設定方法を検討することが今後の課題である。

参考文献

- [1] 新井啓之, 磯和之, 小島明, 仲澤斉, 小池秀樹: “インテリジェントな映像モニタリングを目指して”, NTT 技術ジャーナル, Vol.19, No.8, pp.8-12, Aug 2007.
- [2] 磯和之, 山下 勝也, 数藤 恭子, 秦泉寺 久美, 小島 明, 仲澤 斉: “遠隔映像モニタリングシステムを用いたオフィス状況監視”, OIS 研究会, 2007.
- [3] 高橋 裕子, 田中 久子, 鈴木 章, 塩 昭夫, 大塚 作一: “LDM 法におけるパラメータ設定法の理論的解析と最適化: ナンバープレート認識を対象として”, 信学論, Vol.J89-D, No.3, pp.469-481, 2006.
- [4] 佐藤 雄隆, 金子 俊一, 五十嵐 悟: “選択的正規化相関法によるロバスト画像照合”, PRMU2000-31, 2000.
- [5] P. Kaew Tra Kul Pong, R. Bowden: “An improved adaptive background mixture model for real-time tracking with shadow detection.”, In Proc. 2nd European Workshop Advanced Video Based Surveillance System, 2001.
- [6] 奈良先端科学技術大学院大学 OpenCV プログラミングブック制作チーム: “OpenCV プログラミングブック”, 毎日コミュニケーションズ, 2007.
- [7] 日本防犯設備協会: “防犯設備士テキスト 第 9 版”, 日本防犯設備協会, 2007.