

高信頼動き推定と背景差分に基づいた照明変動に頑健な侵入検知

猪野 裕司 野辺 昌史 青木 恭太

宇都宮大学工学部情報工学科 〒321-8585 宇都宮陽東7-1-2

E-mail: kyota@is.utsunomiya-u.ac.jp

あらまし 屋外環境では、天候に左右される日光や夜間でも通過する車のヘッドライトなどにより高速かつ大きな照明変動が起こる。このような環境で、単に背景差分や動き差分を用いて侵入検知システムを構築しても誤検知を抑制することは困難である。本報告は、高信頼動き推定法を利用し、上記の環境でも誤検知を抑制できる侵入検知方式を提案する。提案する侵入検知方式は、高信頼動き推定により動きなしと推定された動きブロックの輝度から画像全体の照明変動を推定し、照明変動を補正した対象画像と基準画像の画像差分により侵入検知を行うことで高速な照明変動の存在する場合にも誤検出を抑制する。本報告では、提案侵入検知方式を示し、実画像による実験によりその有効性を確認する。

キーワード 動き推定, 背景差分, 侵入検知, 照明補正

Invasion Detection under Varying Illumination based on Trusted Motion Estimation and Background Subtraction

Yuji INO Masashi NOBE and Kyota AOKI

Faculty of Engineering, Utsunomiya University 7-1-2 yoto, Utsunomiya, 321-8585 Japan

E-mail: kyota@is.utsunomiya-u.ac.jp

Abstract This paper proposes an invasion detection method using trusted motion estimations. The trust motion estimation method uses block-matching, improved luminance projection method and etc. We compare a motion estimation result of each method and use an agreed result. As a result, we get blocks there are no motion. A brightness change by the blocks becomes a illumination change. We estimate a total illumination change for the cause by the illumination change and correct an object image. We make a difference of a revision image and a background image. A certain provided area means an invasion. By this paper, we show an above invasion detection method and confirm the effectiveness by an experiment.

Keyword motion estimation, background subtraction, invasion detection, illumination compensation.

1. はじめに

画像による侵入検知は、監視カメラの設置数の増加に伴い、監視カメラ画像監視員の補助として重要となってきた。監視カメラの性能が向上し、安価になったことから、多くの場所に監視カメラが設置されるようになった。多数の監視カメラが存在すると照明環境の良好でない場所に設置されるカメラも増加する。現在、背景差分をもとに侵入オブジェクトを認識する方式は、照明及び背景が良好に制御できる屋内では良好に侵入オブジェクトを推定している[3,4]。動き差分を用いた方式は、固定監視カメラにおいて良好に移動進入オブジェクトを検出する。ブロックマッチングなどの動き推定法を用いて、屋外環境でも安定した侵入検知を行う方式も実用化されている[2]。屋外で動き推定を元に侵入監視と侵入物体を追跡する方式も実用化されている。監視範囲が比較的限定されている屋内と異なり、屋外を監視する際には1台のパン・チルト・

ズームカメラで比較的広い範囲を走査することになる。1台のカメラで監視区域を順次走査して監視する場合には、同一監視場所を撮影する間隔は大きくなる。このとき、動き差分や動き推定に基づく方式では、撮影間に新たに出現した静止侵入物を検出できない。不審侵入物は、各種テロの防止のために検出することが必要である。一方、画像差分方式では、撮影間隔が大きくなると照明変動が問題となる。撮影間隔が小さいときには、基準画像を順次更新することにより照明変動などへの対処も容易であるが、撮影間隔が大きくなると照明変動の影響が無視できない。照明変動に影響の受けにくい特徴を用いて背景差分を行う方式も提案されている[3]。また、自動車のライトのような高速かつ大きな照明変動がおこる場合には撮影間隔が小さい場合でも基準画像の更新が照明変動に追従できないので、背景差分法では誤検出が増加する。現在、監視カメラ自体の価格は安価になってきているが、広域に多数の

カメラを設置することは、その設置費用が大きくなる。一方、高機能のパン・チルト・ズームカメラは、平坦な場所であれば1台で極めて広い範囲を監視することが可能であり、設置コストを含めて考えると、低価格カメラを多数設置する場合と比較して安価となる。広域を少数のカメラで監視する場合には、必然的に撮影間隔が大きくなる。

少数のパン・チルト・ズームカメラで屋外広域を監視する際には、撮影間隔が大きくなり、照明変動の影響が無視できない状況でも照明変動に頑健で誤検出が少なく静止侵入物も検出可能な画像監視方式が必要となる。そこで、本報告はブロックマッチングと比較して格段に信頼できる動き量を推定している高信頼動き推定法[1]と従来の背景差分法をもとに、高速に変動する照明環境でも誤検出の少ない、静止進入物も検出可能な侵入検知方式を提案・実現する。

2. 既存方式の問題点

背景差分法は侵入検知を行う際の基本方式として確立されている。この方式は、照明及び背景変動があることも考慮し、背景画像の更新と検出閾値の更新により実用レベルの機能が実現されている。しかし、照明変動速度が大きいつき、背景画像の更新方式では、誤検出を避けることはできない。

多数の観測画像から背景画像を推定する方式や照明変動を推定する方式も提案されているが、撮影間隔が大きくなる場合には、背景自体の変動も重畳するために、変動の大きい屋外などでは適用が困難である。

高信頼動き推定法では、画像内における動き推定ブロックの対応画像動きブロックの存在の有無、および対応ブロックが存在する場合にはその動き量が得られる。この方式で動きがないと推定された画像ブロックでは侵入なしと推定でき、画像間の輝度変動は照明変動に依存する。対応ブロックが存在しない場合は、背景変動、侵入オブジェクトの出現および動き推定不能領域である。この方式のみを用いて侵入検知を行うと、良好に侵入オブジェクトを検出することが可能であるが、現時点の計算機の処理速度では動き推定を画像全領域に対して行った場合、処理時間がかかりすぎることから実用的な時間で侵入検知を実現することはできない。また、動き推定ブロックの大きさより小さい侵入物体を検知することは、困難である。

3. 提案方式

以上の問題点を考慮した提案方式の流れを図1に示す。提案方式は、1組の基準画像と対象画像から高信頼動き推定により得られる動きなしブロックの輝度変動により対象画像における照明変動を推定し、照明変動

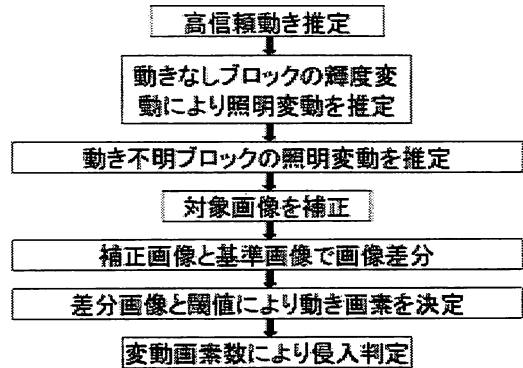


図1. 提案方式の流れ

を補正した対象画像と基準画像の画像差分により侵入検知を行う。提案方式は、多数の画像を撮影・準備する必要なく動作する。同一観測を多数行った以降は、多数画像から背景画像を推定する方式などを併用して用いれば良い。

3.1. 高信頼動き推定法

提案方式で用いられている高信頼動き推定方式では、ブロックマッチング、改良輝度投影相関及び45度方向輝度投影相関を用いて、同一の動きブロックに対して動き推定を多重に行い、推定動き量を比較することにより、信頼できる推定動き量か否かを推定する。この方式は、単一の推定結果より格段に信頼できる動き推定量を得、隠蔽などによる動き推定不能領域を検出することも可能である。

3.2. 高信頼動き推定に基づく侵入検知

高信頼動き推定方式では、各動き推定ブロックに対して、動き推定の可否と動き推定可能な場合には動きベクトルが得られる。提案方式では、基準画像と対象画像を用いる。高信頼動き推定により動き推定可能であり、動き量が0と推定されたブロックでは、対象画像のブロックに動きが見られないとして侵入無しと判定する。動き推定ブロックより微小な侵入まで検出しようとする際には、高信頼動き推定により侵入検知は行わない。

3.3. 高信頼動き推定に基づく照明変動推定

3.2において動きなしと推定された動きなしブロックにおいては、画像間の輝度変動は照明変動に基づくと仮定する。(仮定1)このとき、ブロックの輝度平均及び標準偏差を用いて、対象画像を補正する。ここで動きなしブロック以外の動き不明ブロックの平均輝度及び標準偏差を使用すると、実際の照明変動を補正することは可能であるが、侵入オブジェクトによる画像変動も照明変動とみなされて補正され、侵入オブジェ

クトの検出漏れを引き起こす。よって動き不明ブロックの平均輝度は近傍動きなしブロックの輝度平均及び標準偏差を用いて求める。単一点光源による照明では、照度は光源からの距離の2乗に反比例するが、光源と物体表面の傾きにより物体表面の輝度は変動する。多数の観測画像を利用すれば、より複雑なモデル推定も可能であるが[3]、1組の基準画像と対象画像からは複雑なモデルを推定することは困難である。

本報告では、近傍照明変動率の平均により照明変動率不明ブロックの照明変動率を推定する。侵入オブジェクトが画像中で小領域であるとき十分多数の動きなしオブジェクトが得られれば、近傍照明変動率の平均で動き不明ブロックの照明変動率が得られる。少数の動きなしブロックしか得られない場合には、輝度補正画像を用いた動きなしブロック推定を繰り返すことにより、より多数の動きなしブロックを発見し、より詳細な照明変動率推定が可能となる。

3.3.1. 照明変動推定方式

本報告では、近傍既知照明変動率の平均により未知照明変動率を推定する。

輝度変動率推定手続き

基準座標 (x,y) のブロックの輝度変動率を $I(x,y)$ とする。輝度変動率は動きなしブロックの基準画像輝度平均値/対象画像輝度平均値である。ここで、輝度値が上限あるいは下限近傍であるときには、真の輝度が観測されていないので、 $I(x,y)$ は不定とする。 (x,y) が動きなしブロックでない場合、 $I(x,y)$ は不定である。

(1)任意の基準座標 (x,y) の輝度変動率不定ブロックにおいて、下記(1-1)と(1-2)を行う。

(1-1)4隣接近傍ブロックの輝度変動率 $I(x-1,y)$ 、 $I(x+1,y)$ 、 $I(x,y-1)$ 、 $I(x,y+1)$ の平均が存在する場合、それを推定輝度変動率 $I'(x,y)$ とする。

(1-2)任意の基準座標 (x,y) の輝度変動率不明ブロックにおいて、4隣接近傍ブロックから推定輝度変動率が得られない場合、8隣接近傍ブロックの輝度変動率 $I(x-1,y-1)$ 、 $I(x+1,y-1)$ 、 $I(x-1,y+1)$ 、 $I(x+1,y+1)$ の平均が存在する場合、それを推定輝度変動率 $I'(x,y)$ とする。

(2)推定輝度変動率をブロックの輝度変動率とする。

(3)輝度変動率不定ブロックがあるとき(1)から繰り返す。

この輝度変動率推定手続きでは、侵入オブジェクトによる輝度変動を除外して輝度変動率を推定するので、(仮定1)より輝度変動率がそのまま照明変動率となる。

3.3.2. 照明変動推定方式の特徴

提案方式で使用する照明変動推定方式(3.3.1)は最も単純なアルゴリズムの1つであり、近傍照明変動率の平均を推定照明変動率としている。この方式は、動きなしブロックの検出を基礎としている。高信頼動き推

定は、照明変動による観測輝度変動の影響を受ける。

画像全体で大域的に照明が変動している場合には、動き推定ブロック内の照明変動による輝度変化勾配は小さいので、輝度変動にかかわらず正しく動きなしブロックが検出される。

画像のある部分で大きな照明変動が起きる場合は、高信頼動き推定により大きな照明変動が起きている部分では、正しく動きなしブロックを検出することは期待できない。一方、照明変動の大きくない部分では正しく動きなしブロックが検出される。照明変動に関わらず、正しく検出された動きなしブロックでは、その情報をもとに照明変動補正が行われる。これにより、照明変動補正を行わない場合に比較して、より小さい部分のみが照明変動の影響を受ける。必要に応じて、本方式を繰り返し適用することにより動きなしブロックの輝度変動を用いて、広範囲に照明補正率が得られる。

3.4. 対象画像輝度補正

3.3により得られた照明変動率に基づいて、対象画像の輝度に照明変動率をかけることにより対象画像を補正する。

3.5. 画像差分閾値決定方式

基準画像と補正対象画像の画像差分により画像間の相違を求める。各種の原因により、侵入がない場合にも画像間の相違は生じる。そこで誤った検出を避けるために適切な閾値により侵入判定を行う[2]。また、輝度上限および下限近傍では、輝度値の飽和と輝度値の諧調不足から照明変動率が正しく推定された場合でも補正対象画像において正しく補正輝度値を得ることはできないので、侵入検知領域から除外する。

4. 提案方式の特徴

提案方式は、高信頼動き推定法を動きなしブロックの推定のために用いるので、最大動き量を小さく設定できる。これは3.3で示したとおり照明変動率を推定するためには動きなしブロックの場所さえわかればよいためである。動き推定を行うさいには、可能な最大動きを予想し、最大動きまでの全範囲を探索する必要があるが、本研究ではその必要はない。提案方式は、高信頼動き推定法のみを用いて侵入検知した場合よりは信頼性が低いのだが、実時間に対応可能という点を含めると監視カメラ画像監視員の負担をより助ける目的では提案方式のほうが優れている。

5. 実験と評価

実験は、提案方式の有効性を検証するため、提案方式、提案方式より補正された画像を用いて再度提案方式を用いたもの(以後、提案方式2と記述する)、照明

変動推定なし(単純背景差分法), 全ブロック照明変動推定の4種類の方式を使用する。撮影間隔が大きい場合には, 動き推定方式および動き差分方式では侵入検知は不可能であるので, 動き推定に基づく侵入検知方式は, 対照としない。

提案方式2は, 照明補正された対象画像を用いて, 再度高信頼動き推定をしているので, 格段に精度が向上すると予測される。全ブロック照明変動推定とは, 高信頼動き推定の結果に関わらず全てのブロックで輝度変動により照明変動推定を行う方式である。本報告は, 図1の提案方式の流れで, 差分画像と閾値により動き変動画素を決定する段階までを示す。

すべての実験で共通して, 高信頼動き推定により補正した対象画像と基準画像の差分画像を閾値2値化し, 中央値フィルタで微小雑音を除去し, 結果画像を得ている。異なる部分は照明変動補正部分のみである。

実験は, 高信頼動き推定方式において6×6の動き推定ブロックを用いて, ブロックマッチング, 改良輝度投影相関及び45度方向輝度投影相関を使用し, すべての動き推定結果が動きなしである場合, そのブロックを動きなしブロックと判定する。動き推定ブロックは画像を分割するように配置し, 動きなしを判定することから最大動き量は±1の範囲で探索している。実験画像は広範囲を映したものや照明や日光によって照明変動が起こっている画像対を用いた。画像はネットワークカメラで撮影した640×480のJPEG圧縮カラー画像から得たグレイスケール画像である。提案方式の実行時間は照明推定を1度行った場合で2S(Pentium4 3.4GHz)程度である。

5.1. 実験結果

昼間日光変動画像実験

昼間日光が少し雲に遮られた画像(図2左)と遮られていない画像(図2右)を使用した実験1において, 単純な背景差分法(図4左)の結果では照明変動の影響を大きく受けているためほとんどの領域を侵入領域と推定する。全ブロック照明変動推定法(図4右)は, 照明変動の影響は小さいが, 駐車場の車の侵入を検出はしているが, エッジ部分以外は検出漏れを起こしている。また駐車場の白線を侵入として検出している。さらに, 樹木の陰の変化を侵入として検出している。提案方式(図3左), 提案方式2(図3右)では, ある程度雑音が入っているものの侵入オブジェクトを検出できている。二つの方式を見比べると提案方式2では, 提案方式で補正しきれなかった部分がうまく補正されている(図3左の右端)。また, 図5(図10も同様)は画像を補正するとき用いた補正値を画像化したものである。この図は, 輝度が補正率に比例している。図5は左から提案方式, 提案方式2, 全ブロック補正方式の照明補正率

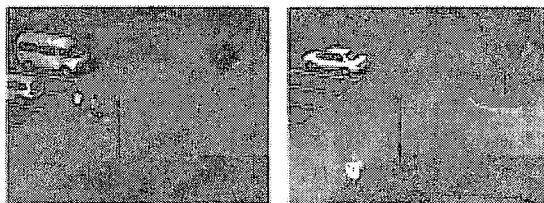


図2. 実験画像1



図3. 実験1 提案方式, 提案方式2

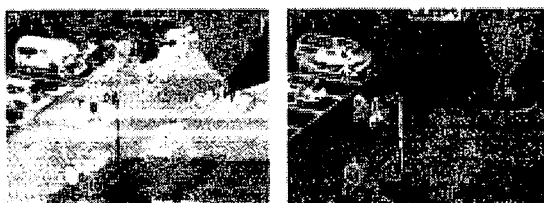


図4. 実験1 補正なし(左), 全補正(右)



図5. 実験1補正画像

提案方式(左), 提案方式2(中), 全補正(右)

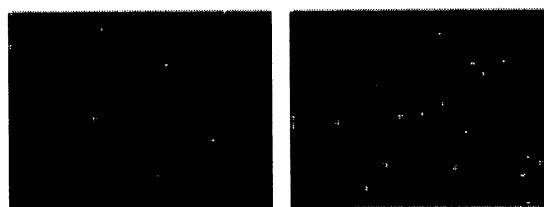


図6. 実験1 動きなしブロックの位置
提案方式(左), 提案方式2(右)

画像である。図5をみると, それぞれの方式で全体的に照明変動がおこっているため, 画像全体で照明変動補正が行われている。また, 全ブロック補正の場合, パス内部など侵入オブジェクト内側で照明補正が行われている。提案方式2は提案方式よりも細かに補正している。最後に, 図6(図11も同様)は, 高信頼動き推定により動きなしブロックと判定したブロックの基準画像

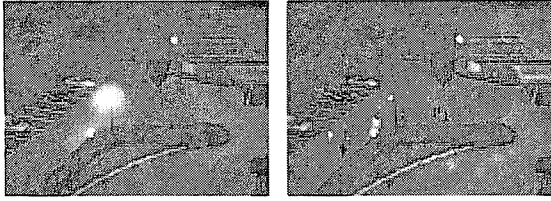


図7. 実験画像2

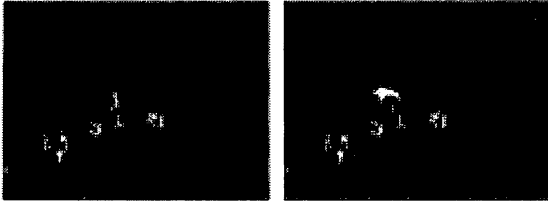


図8. 実験2 提案方式左), 提案方式2(右)

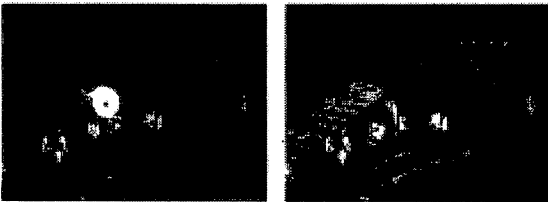


図9. 実験2 補正なし(左), 全補正(右)

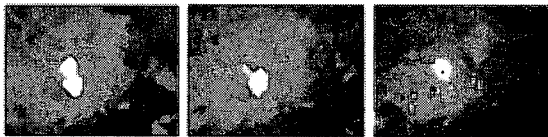


図10. 実験2 補正画像
提案方式(左), 提案方式2(中), 全補正(右)

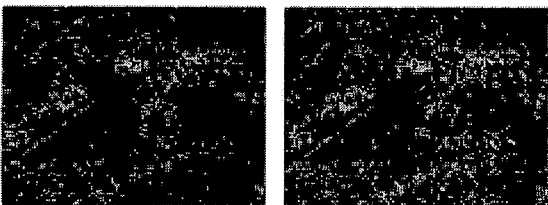


図11. 実験2 動きなしブロックの位置
提案方式(左), 提案方式2(右)

を白で示した図である。画像全体に大きな照明変動が起こっているため高信頼動き推定を用いても極めて少数の動きなしブロックを検出することしかできていない。提案方式2は、補正画像を使用したことにより動きなしブロックの数が増えている。図5左と図5中の補正画像と照らし合わせるとどの部分が照明補正の元となるか良くわかる。

夜間照明変動画像実験

夜間の照明により照明変動が発生した画像対(図7)では、単純な背景差分法(図9左)を用いると、中央にあるライトの付近で膨大な誤検出が生じる。ライト付近以外では、カメラが絞りを自動調整しているので侵入オブジェクトを良好に検出している。全ブロック補正を行った場合(図9右)、ライト付近の照明は補正できているが、駐車場の白線の部分で誤検出を起こしている。提案方式(図8左)、提案方式2(図8右)では、ライト付近の照明補正ができていて、単純背景差分より良好な結果を得ている。侵入オブジェクトは単純背景差分と同程度に検出されている。図10の照明補正率画像をみると提案方式、全ブロック照明補正方式ではライト付近の照明変動を良好に補正している。また、全ブロック補正は実験1と同様に侵入オブジェクト内部で侵入オブジェクトによる輝度変動に基づき照明変動を補正している。図11の動きなしブロック位置画像を見ると、提案方式、提案方式2ではライト近傍の大きな照明変動がおこっている部分以外では良好に動きなしブロックを推定している。実験1と同様に提案方式2は、提案方式よりも動きなしブロックを多く検出している。しかし、提案方式2は、図8、図10より、ライトの上付近の照明補正がうまくできていない。また、実験1と比較して動きなしブロックの量が増えているため、図10の補正画像では実験1の補正画像よりも詳細に照明補正率が得られている。

5.2. 評価

実験に用いた画像は、直射日光の場合と日光が遮られた画像の組、ライトによる照明変動が大きい画像の組である。これらの画像組を使用して実験した場合、照明変動部分を良好に推定し侵入オブジェクトを検出していることから、提案方式の有効性を確認した。また、提案方式は検出される動きなしブロックの数により侵入検知の精度が影響されている。提案方式2により、動きなしブロックの検出数が増加しているため、証明変動推定の繰り返しが有効であることが確認できた。本報告では、2回までの照明推定繰り返しのみを行っているが、多数回の照明変動推定繰り返しにより、より精度良い照明推定が可能となると期待される。

6. まとめと今後の課題

本研究では、動き推定の可否情報が得られる高信頼動き推定方式を用いて、照明変動補正を行う侵入検知方式を提案し、実験によりその有効性を示した。提案方式は、画像差分を基本としているので方式全体でも十分高速に動作する。また、高信頼動き推定方式では、対応ブロックが存在するか否かが情報として得られるため提案方式の処理が可能となっている。しかし、対

応ブロックが得られない場合、照明補正することができず従来の背景差分法と同等の結果しか得ることができない。

本研究では、実験により提案方式の有効性を示したが、高信頼動き推定で誤った推定をしているとき、照明補正をしてしまつて侵入オブジェクトを検出できていない場合があるので、単一の動きなしブロックでの処理以外の方法を実装する必要がある。また、提案方式2は全体的に精度が向上しているが、一部提案方式より劣る部分があることから適切な閾値の設定をする必要がある。更に、今回はグレイスケール画像を用いたが、カラー画像に対して提案法を適用した場合の能力を検証する必要がある。

文 献

- [1]小林, 青木, “圧縮動画を対象とする高精度動き推定”, 2004信学総大, 情報システム(2), pp103, 2004
- [2]村上卓也, 菊地仁一, “画像処理を用いた侵入検知装置-MP30”, 信学技法IE95-51, pp1-8, 1995
- [3]島田 竜也, 河口 尚広, その他, “屋内侵入者検知のための動的背景抽出法”, 信学論D- II , Vol.J88-D-II ,No.10,pp2054-2068,2005
- [4] 山隆司 和田俊和 波部 斉 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,pp2201-2211,2001.