

## 背景差分を用いた照明変化にロバストな侵入物体検出法

野田 友輝<sup>†</sup> 成瀬 正<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 愛知県立大学大学院 情報科学研究科 〒480-1198 愛知県愛知郡長久手町大字熊張字茨ヶ廻間 1522-3

あらまし 本稿では、照度変化が起きる環境下で侵入物体を検出する手法について述べる。本手法は、混合ガウス分布を使用して動的に背景を更新する手法を基に、変化の起きたピクセル数や変化の方向を利用することで、画像の変化が物体の侵入によるものか照度の変化によるものかを判定する手法を提案する。実験により、事前知識を使用せず、カメラからの画像のみにより、照度変化と侵入物体を区別できること、侵入物体が静止してもそれを検出できること、およびノイズに対して安定して動作することを示した。

キーワード 背景差分, 照度変化, 侵入物体検出, 混合ガウス分布

## A Robust Method to Detect the Intruded Objects Under the Varying Illumination Based on the Background Subtraction

Yuki NODA<sup>†</sup> and Tadashi NARUSE<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University, 1522-3 Ibaragabasama, Kumabari, Nagakute-cho, Aichi-gun, Aichi, 480-1198, JAPAN

**Abstract** We discuss a method to detect intruding objects under the varying illuminance environment. The method uses the background subtraction but not uses a priori knowledge given by discriminator. We use, as a base method, the method that dynamically updates the background which is described by the mixed Gaussian distribution, and modify it by adding two features, which are the number of changed pixels and the changed direction. Experimental study shows that the modified method can discriminate whether the change is caused by the illuminance change or by the intruding objects, detect the intruding objects even if they stop, and work stably under the noisy environment.

**Key words** Background subtraction, Varying illumination, Detection of intruded objects, Mixed Gaussian distribution.

### 1. はじめに

近年、防犯意識の高まりにより、カメラで侵入者を検知することがよく行われている。しかし、防犯カメラは基本的にある地点の映像を録画することしかしない。実際に侵入者を検知する実用化されたシステムが存在するが、それは、カメラだけではなく、赤外線センサーなどの装置をさらに使用することで侵入者の検知を行っているため、装置が多くなってしまふ。そこで、本稿では、カメラからの動画のみで侵入物体を検出することを目標とする。ここでは、ただ単に検出するだけでなく、照度変化も考慮した検出を行うことを目指す。さらに、コス

トの観点から、産業用、業務用カメラではなく、一般的に普及している Web カメラを対象とする。このようなカメラは、ノイズが多い画像になりやすく、システムには安定した処理が求められる。

そこで、本稿は以下の事項を達成することを目標とする。

- カメラからの動画のみで侵入物体を検出すること
  - 環境や物体に対して事前知識を持たずに検出を行うこと
  - 侵入物体は静止しても検出し続けること
  - ノイズに対して安定して検出を行えること
- 動画からの移動物体検出としてよく用いられるもの

の例として背景差分やフレーム間差分などが挙げられる。背景差分, フレーム間差分とともに, 移動物体の検出に関する研究は以前からよく行われている [1]~[5]. 背景差分では, あらかじめ求められた背景画像と観測画像の差分を計算することにより, 変化を検出し, 移動物体を抽出することができる。しかし, 単純な背景差分では, 環境が変化しないという前提が必要となる。そのため, 照明などの環境光が変化した場合, そのまま差分を行うと正しい領域を抽出することが難しくなる。フレーム間差分を用いればこのような場合にも抽出することは可能だが, カメラの解像度に対して移動速度が遅い, あるいは物体が静止しているといった場合は検出することができないという問題があり, 前述の目的を達成することは困難になる。一方, 画像の変化に不変な SIFT(Scale Invariant Feature Transform) 特徴量を用いた物体検出法 [1] は, 物体に関する事前知識を必要とするため, ここで設定した環境(前提条件)に適用することは難しい。そのため, 本稿では, 背景差分をベースとし, 動的に背景を更新する手法を検討する。前提条件から, 侵入物体に対する事前知識は持たないので, 動的に背景を更新する過程において, 画像からの入力のみで, 環境光の変化と侵入物体を判別しなければならない。実際, このような研究は既にたくさん行われている。文献 [2] では, 背景差分と 6 次元空間による色検出を統合することにより, ロバスト性を向上させている。しかしながら, この手法では, 事前に想定される変化を撮影しておく必要があるため, 本稿の目的である不特定の侵入者検出に適用することは難しい。文献 [3] では, Radial Reach Correlation を使用することにより, 照明変化が起きた場合でもその影響を最小限に抑えている。この手法では, 背景の更新を行わず, 差分に対する符号を基準として検出を行うため, ノイズの影響を大きく受けてしまう。また, 文献 [4] では, 照明の影響を受けない特徴量を用いて背景画像と観測画像の比較を行なう手法と観測画像の照明条件を推定し, 照度の正規化を行なう手法を組み合わせている。この手法は, 照明変化に対しては有効であるが, ノイズの影響を受けやすいという問題と, 物体は光を全て拡散しているという前提条件がある。本稿では, 混合ガウス分布 [5] を使用して背景を構築することを基本とし, その欠点を補うことにより, 事前知識を必要とせず, 環境光の変化と侵入物体を判別する手法を提案する。

以下, 2 章で混合ガウス分布を使用した動的な背景構築法の概要を示し, 3 章, 4 章で解決策を提示し, 5 章で本手法の実験結果を示す。

## 2. 混合ガウス分布を使用した背景モデルの構築

### 2.1 背景モデル構築アルゴリズム

画素毎にガウス分布を作成するため, 時刻  $t$  における画素  $(x, y)$  の値  $X_{t(x,y)}$  を確率変数と考える。ただし, 以降の記述においては, 誤解の恐れがない限り簡単のために  $X_t$  と表現する。文献 [5] で提案されたアルゴリズムは,  $X_t$  の従うガウス分布を求めるものであり, 次の Step1 から Step9 のように構成される。

#### 前提条件

- 1 時系列の入力  $X_t$  を複数個のガウス分布のどれかに従うとみなしてクラスタリングを行う。
- 2 時刻  $t$  においてそれぞれのガウス分布は背景かそうでないかというモデル推定情報を持っている。
- 3 背景モデルを推定するためにそれぞれのガウス分布に対して重み情報を持たせてある。

**Step1** 観測された  $X_t$  に対して,  $K$  個のガウス分布の中からどのガウス分布に従うかを推定する。 $X_t$  が  $\mu_k \pm n\sigma_k$  の範囲に含まれていれば,  $N(\mu_k, \sigma_k)$  に従うとみなす。

**Step2** 推定されたガウス分布  $N$  のモデル推定情報から,  $X_t$  が背景モデルかそうでないかを判定する。

**Step3**  $K$  個のガウス分布の重みを次式で更新する。 $\alpha$  は学習率 ( $0 < \alpha < 1$ ),  $M_{k,t}$  は, 背景と推定した分布は 1, そうでない分布は 0 とする。そして, 重みの和が 1 になるように正規化する。

$$w_{k,t} = (1 - \alpha)w_{k,t-1} + \alpha M_{k,t} \quad (1)$$

**Step4** 推定された分布の平均値と分散を次式で更新する。

$$\mu_t = (1 - \rho)\mu_{t-1} + \rho X_t \quad (2)$$

$$\sigma_t^2 = (1 - \rho)\sigma_{t-1}^2 + \rho(X_t - \mu_t)^2 \quad (3)$$

なお,  $\rho$  は学習率であり, 以下の式で表す。

$$\rho = \alpha \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (4)$$

さらに,  $\rho > 1$  となる場合は  $\rho = 1$  とする。

**Step5** 推定される分布が 1 つもなかった場合, 新たに  $k + 1$  番目のガウス分布を追加する。初期値は以下のように与える。

$$w_{k+1,t} = W \quad (5)$$

$$\mu_{k+1,t} = \bar{X}_t \quad (6)$$

$$\sigma_{k+1,t} = \sigma_{k,t} \quad (7)$$

$W$  は、新規分布に対してあらかじめ与えられる値 ( $0 < W < 1$ ) である。大きいほど、後述する削減までの時間が延びる。そして、重みが 1 になるように再び正規化する。

**Step6** 最も分散が大きく重みが小さい分布 (照合度  $w/\sigma^2$  というパラメータを使用) が閾値以下である場合、その分布を削除する。そして、重みが 1 になるように正規化する。

**Step7** 任意の 2 つのガウス分布  $N_\alpha$  と  $N_\beta$  の平均値  $\mu_\alpha, \mu_\beta$  の差が閾値以下であれば分布を統合し、新たな分布  $N_\gamma$  を作成する。統合後のパラメータは、以下のようにする。

$$w_\gamma = w_\alpha + w_\beta \quad (8)$$

$$\mu_\gamma = \frac{w_\alpha \mu_\alpha + w_\beta \mu_\beta}{w_\alpha + w_\beta} \quad (9)$$

$$\sigma_\gamma = \frac{w_\alpha \sigma_\alpha + w_\beta \sigma_\beta}{w_\alpha + w_\beta} \quad (10)$$

**Step8** ガウス分布を照合度の大きい順に並べかえる。

**Step9** 以下の式で表すことができる  $B$  個の分布を新たな背景モデルとして登録する。なお、 $T$  は閾値である。

$$B = \arg \min_b \left( \sum_{k=1}^b w_k > T \right) \quad (11)$$

以上のアルゴリズムにより、画素ごとに背景か対象かを推定する。そして、照合度が最も大きい分布の平均値を画素値とした背景画像を作成し、現在の入力に対して背景差分を行う。

## 2.2 従来手法の利点・欠点

前節の手法を侵入物体検出に適用する場合の利点、欠点は以下ようになる。

**利点:** 適切なパラメータを設定しておけば、わずかな照明変化でも適切に背景を更新することができる。これは背景差分を行うにあたって最も重要なことの一つである。背景画像として、多くのフレームの平均値を用いるため、ノイズが極めて少ない背景画像が生成される。実際にカメラを使用して運用するにあたってはこのことは大きな利点となる。

**欠点:** 学習率  $\alpha$  の値次第で急激な照明変化への対応力は向上するが、移動物体が侵入してきた際、誤って背景の更新と認識してしまう可能性が増大する。さらに、このアルゴリズムは画素間の関連性を考慮して

いない。

本稿では、上記欠点の解決を目指して、照明変化と移動物体の侵入を区別することに焦点を当てて検討を進める。次章では、この課題を解決するための 2 つの手法を提案する。

## 3. 提案手法

前章で挙げた問題を解決するために、以下に述べる 2 つの手法を提案する。これらの手法を組み合わせることにより、ノイズの多い環境下でもノイズの少ない背景画像を生成することができ、不特定の侵入物体を検出することが可能となる。

### 3.1 概要

第 1 の手法は、画素値の変化が起こっているピクセルの割合を計測する手法である。以降、この手法を変化割合計測法と呼ぶ。一般的に侵入物体は画面全体に侵入してくるわけではなく、画面の部分領域を通過するように侵入する。そのため、理想環境下では、差分値は侵入物体の領域以外では 0 になる。その性質を利用して、全体に対してどれだけの割合が画素値の変化を起こしているか、具体的には、差分値が一定値以上であるピクセルがどれだけあるか、を求めることにより、環境光の変化か、侵入物体かを判断することができると考えられる。

第 2 の手法は、差分値の符号を考慮する手法である。以降、この手法を符号変化計測法と呼ぶ。具体的には、理想環境下において、環境光の変化であれば、差分値はすべてのピクセルにおいて同符号であると考えられ、侵入物体であれば、背景が一様な明るさでない場合、差分値の符号はピクセルごとに異なることが多い、と考えられる。従って、差分値が正になるピクセル数と負になるピクセル数の割合を考えると、これらを区別することができる。

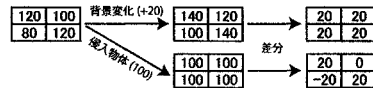


図 1 検出例

背景として図 1 左のような画素値を持った領域があったとする。この画像に対し、環境光の変化であれば、どの差分値も同じ符号を持つであろう。逆に、侵入物体であれば差分値の符号は正負に分かれる可能性が高い。例として、図 1 のような背景に対して明るさ 100 の一様な物体が侵入したとすれば、ピクセルごとに差分値の符号が異なるため、侵入物体を正しく判別できる。しかし、この手法では背景が一様な場合は効果的ではない。

これら 2 種類の手法の長所、短所を表 1 にまとめる。

表1 提案手法の長所, 短所  
変化割合計測法

長所	閾値処理するだけなので実装が容易
短所	侵入領域が大きいと誤認識する可能性がある
符号変化計測法	
長所	複雑な背景であるほど よい結果が得られる可能性が高い
短所	均一な背景であると 全て同符号になってしまう可能性がある

#### 4. アルゴリズム

前章で提案したそれぞれの手法のアルゴリズムを以下に示す.

##### 変化割合計測法

**Step1** 背景画像と入力画像が, 次式の条件を満たすピクセル数  $c$  をカウントする.

$$|p_{in} - p_{bg}| > \theta_1 \quad (12)$$

ここで,  $(p_{in}, p_{bg})$  はそれぞれ入力画像, 背景画像における注目画素の画素値を表す.

**Step2** 条件

$$\theta_{noise} < \frac{c}{n} < \theta_{change} \quad (13)$$

を満たす場合, 侵入物体があるとみなし, 混合ガウス分布に対して更新処理を行わない. ここで,  $n$  は入力画像のピクセル数である. 条件

$$\frac{c}{n} \leq \theta_{noise} \quad (14)$$

を満たす場合は, 変化が起きていないとみなし, ノイズに対するロバスト性を向上させ, 安定した背景画像を作成するために背景の更新を行う. 条件

$$\theta_{change} \leq \frac{c}{n} \quad (15)$$

を満たす場合は, 照明変化とみなし, 背景の更新を行う. なお,  $\theta_{noise}, \theta_{change}$  はそれぞれノイズの範囲内とみなす閾値, 照明変化が起きたとみなす閾値であり,  $(0 \leq \theta_{noise} < \theta_{change} \leq 1)$  とする.

ここで, 式(15)に対する処理をそのまま適用すると, 照明変化が起き, 背景を更新していく際, 差分値が閾値以上となるピクセル数が徐々に減っていくため, 侵入物体と判定する条件を満たしてしまう場合があるという問題点がある. そこで, 式(15)を満たす場合は, 一定フレーム間背景の更新を続ける, といった処理を加えることに

より, 正しく更新することができる.

##### 符号変化計測法

**Step1** 背景画像と入力画像が, 以下の条件を満たすピクセル数  $(c_+, c_-)$  をカウントする.

$$p_{in} - p_{bg} > \theta_2 \quad (16)$$

$$p_{bg} - p_{in} > \theta_2 \quad (17)$$

式(16)を満たす時,  $c_+$  をカウントアップし, 式(17)を満たす時,  $c_-$  をカウントアップする.

**Step2** 条件

$$\frac{1}{\theta_{sign}} < \frac{c_-}{c_+} < \theta_{sign} \quad (18)$$

を満たす場合, 侵入物体があるとみなし, 混合ガウス分布に対して更新処理を行わない. 式(18)を満たさず,

$$\frac{c_+ + c_-}{n} \leq \theta_{noise} \quad (19)$$

を満たす場合は, 変化が起きていないとみなし, ノイズに対するロバスト性を向上させ, 安定した背景画像を作成するために背景の更新を行う. 式(18)(19)共に満たさない場合, 照明変化とみなし, 背景の更新を行う. なお,  $\theta_{sign}$  は侵入物体を検出したとみなす閾値  $(0 \leq \theta_{sign} \leq 1)$  を表す.

#### 5. 実験

提案手法の有効性を示すために, 様々な状況を想定して, 照明変化と移動物体の侵入が起きた場合を発生させ, 正しく検出できているかを判断した. 本実験では検出の条件を以下のように定義した.

**侵入物体を検出** 背景画像が更新されず, 差分画像で侵入物体を確認できること.

**照明変化を検出** 背景画像が照明変化に対応して正しく更新され, 差分画像で何も検出されないこと.

なお, 実験環境は以下の通りである.

- Xeon 5160 (3.0GHz/2Core)
- 4GB メモリ
- Windows XP Professional SP2
- Logicool QCam Fusion QVX-13

カメラのパラメータは, 256 階調グレースケール, 解像度は  $320 \times 240$  ピクセル, フレームレートは 15fps である. 閾値は実験により求めるが, 本実験では以下のように設定した.

$$(\theta_1, \theta_{noise}, \theta_{change}) = (15, 0.05, 0.95) \quad (20)$$

$$(\theta_2, \theta_{sign}) = (15, 0.9) \quad (21)$$

本実験では, 照度変化と移動物体の侵入は同時に発生しないものとした.

### 5.1 基礎実験

変化割合計測法に対して実験を行った。研究室や家庭といった環境下でカメラを固定し、照明を変化させる、手や物を画面内に入れる、といった状況を生じさせた。その結果を表2に示す。進入方向や背景を変えて、それぞれ50パターンで実験を行った。

表2 変化割合計測法の実験結果

照度変化の発生		96% (48/50)
物体の侵入	画面内を通過	76% (19/25)
	画面内で静止	80% (20/25)

その結果、照度変化の発生、物体の侵入共に検出することができた。さらに、物体が侵入した際は、差分対象が、移動物体が侵入する前の背景であるため背景の更新が行われず、画面内で静止したとしても検出が可能であった。検出できない場合は、画面内に対する侵入物体の割合が多く、照明変化と誤認識してしまった場合であった。

変化割合計測法と同様に符号変化計測法も実験を行った。実験は各12パターン、計48パターン行った。結果を表3に示す。ここで、均一な背景は、白一色の壁、複雑な背景は本棚を背景として使用した。

表3 符号変化計測法の実験結果

	均一な背景	複雑な背景
照度変化の発生	91.7% (11/12)	91.7% (11/12)
物体の侵入	16.7% (2/12)	75.0% (9/12)

この結果より、照度変化には非常に強く、ほぼ正確に検出を行うことができたが、侵入物体は、物体そのものの照度値に依存する結果となった。具体的には、均一な物体(照度値が一定に近い物体)が侵入すると、式(18)を満たすことができなくなる、といった問題が発生する。実験では、対象となった背景や侵入物体の均一性に大きく依存する結果となった。

処理速度に関しては、混合ガウス分布によって背景を生成する処理が計算コストの大半を占めており、本実験環境では、背景更新を行ったフレームに関しては10fps程度、行わなかったフレームに関してはカメラのフレームレートに対して十分高速に動作し、15fpsを維持することができた。

### 5.2 考察

この実験より、変化割合計測法が、侵入物体が存在する領域の割合が時刻 $t$ において $\theta_{change}$ を超えない条件の下では十分適用可能な手法であることがわかる。 $\theta_{change}$ の値を増やすことにより、より検出力は上がるが、照明変化によって起こる割合に近づいてしまい、ノイズに対

する安定性が低下する。符号変化計測法は、背景や侵入物体の均一性に大きく依存するが、背景や侵入物体が均一な環境は実際にはあまり多くなく、監視カメラを設置するような環境では複雑な背景であることが多い。そのため、変化割合計測法で検出できない環境下でも検出することができ、相互に補完する関係となると考える。

### 5.3 応用実験

より現実的な応用実験として、監視カメラを想定した実験を行った。図2のような扉を監視している状況を想定した。プログラムを起動したあと、照度変化を起こす



図2 環境画像

ために、蛍光灯を点けたり消したりする、扉から人間が入り出す、といった行動を複数回行った。この実験で使用したカメラは上述のものであり、PCはPentium M 1.6GHz、768MBのメモリを搭載したノートPCである。なお、この環境下では、侵入物体が占める割合が $\theta_{change}$ を超えることはないため、2つの提案手法のうち、変化割合計測法を採用した。図3~図5はそれぞれ、ある時刻における入力画像(図3)、既存手法による結果(図4)、提案手法による結果(図5)である。図4、図5は、左側が得られた背景画像、右側が背景差分によって得られた画像を判別分析法により二値化した画像である。図の上から下に向かって時間が経過している。1段目が初期状態であり、2段目で環境が明るくなり、3段目以降で人間が侵入している。両手法共に環境の変化には対応できている。しかし、既存手法は、人間が侵入したところで背景が更新されてしまって誤検出を起こしているが、提案手法では、人間が入ってきた場合(3段目以降)でも背景は更新されず、正しく背景が検出されている。なお、本実験では照度変化と移動物体の侵入が正しく区別できたので、背景画像が更新されず、侵入物体が画面内で静止したとしても正しく検出しつづけることができた。

### 6. まとめ

本稿では、照度変化が起きる環境下で背景差分によって侵入物体を検出するために必要な動的な背景更新法について検討した。ノイズの多い環境に適應するため、ノイズの極めて少ない背景画像を作成できる混合ガウス分

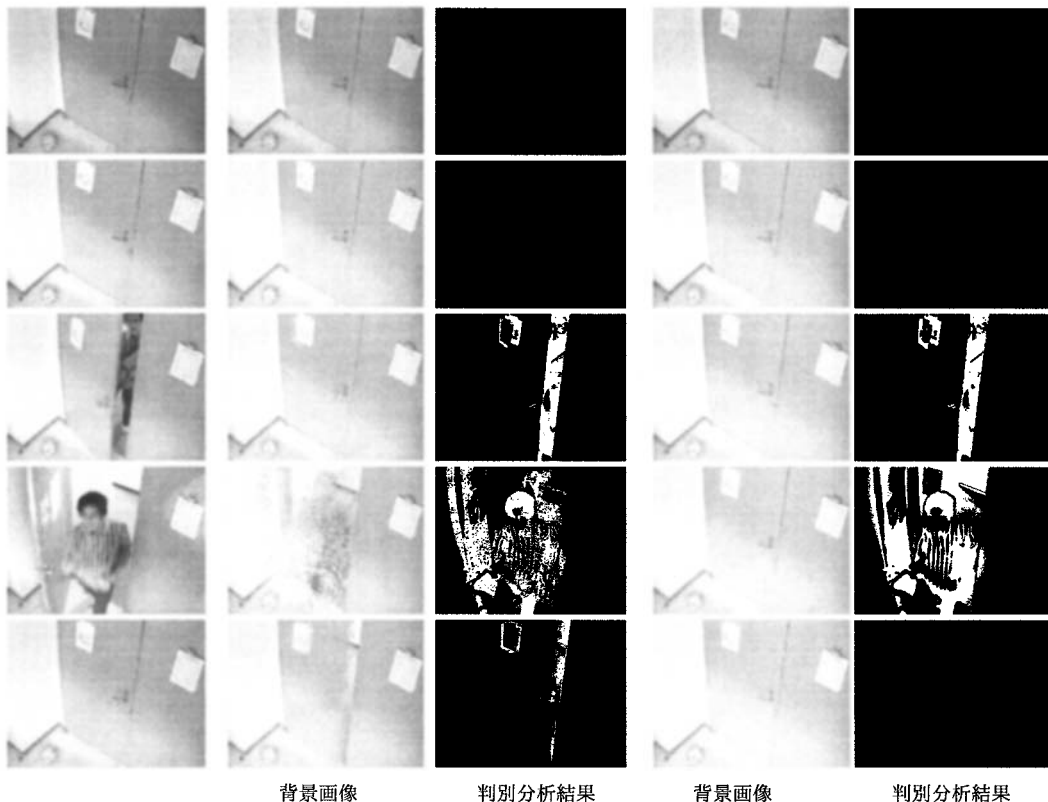


図3 入力画像

図4 既存手法

図5 提案手法

布 [5] を利用して背景作成を行った。動的な背景更新では、照度変化と侵入物体を明確に区別することが非常に重要であるが、監視カメラを想定した環境下では、不特定多数の侵入物体を検出するためには、事前知識を用いることが困難である。そのため、本稿では識別器を用いずにこれらを区別する手法を2つ提案した。この2手法は、ある時刻  $t$  において背景を更新するかしないかを決定する手法である。侵入物体を検知すれば背景を更新せず、侵入前の背景と差分を行うことにより、正しく検出を行える。その結果、事前知識を使用することなく侵入物体を検出することができた。さらに、条件を満たす間は背景を更新しないことにより、侵入物体が画面内で静止した場合でも、画面外に出るまで正確に検出しつづけることができた。本手法は、侵入物体が検出されている間は背景を更新しないため、処理時間が短くなるというメリットもあった。このことは、侵入物体が存在する際に別の処理を行うような応用を考えた場合、非常に有用である。

しかし、提案した2手法には長所、短所があり、さらに信頼性の高い結果を得るには、次の課題を克服しなけ

ればならない。2手法が共に侵入物体を検知した、または検知していないと判断すれば問題ないが、それぞれが違う結果を出力した際、システムとしてどちらの結果を採用するかを判定する評価関数が必要である。本手法には実験的な閾値が多く存在するので、その最適値を検討することも必要である。照度変化と移動物体の侵入が同時に起きた場合でも正しく検出できるように改良を加えていく必要がある。

#### 文 献

- [1] 永橋知行, 藤吉弘巨, 金出武雄. 領域分割に基づく SIFT 特徴を用いた物体識別. 電気学会 システム・制御研究会 SC-07-8, pp. 39-44, January 2007.
- [2] 浮田宗伯, 加藤丈和. 背景差分と色検出の統合によるターゲット色の自動学習と背景変動に頑健な実時間対象検出. 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU), 2004.
- [3] 谷誠一, 伊谷裕介, 渡辺裕, 富永英義. 照明変化のある環境下での移動物体検出の検討. 電子情報通信学会総大会, 2007.
- [4] 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. 電子情報通信学会論文誌 D, 2001.
- [5] 島田敬士, 有田大作, 谷口倫一郎. 混合ガウス分布による動的背景モデルの分布数増減法. 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU), 2006.