

# 廻り背景ブロック探索とその結合による背景画像生成

尾原 秀登<sup>†</sup> 満上 育久<sup>†</sup> 美濃 導彦<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 京都大学 学術情報メディアセンター  
〒 606-8501 京都市左京区吉田二本松町

E-mail: †{obara.h,mitsugami}@mm.media.kyoto-u.ac.jp, ††minoh@media.kyoto-u.ac.jp

あらまし 本稿では、固定設置されたカメラによって得られる前景を含んだ画像系列から、各時刻の画像に対して正確に背景差分を行うための背景画像生成手法を提案する。本手法では、画像全体を格子領域に分割し、各格子領域に対して、その領域中に前景を含んでいないと推定され、なおかつ時間的に最も新しい過去画像を探索し、その対応格子領域を獲得して、それらの格子領域から画像全体を再構成する。このような処理によって、既存研究でよく行われている画素値ごとの処理や注目画素の周辺テクスチャ情報を利用した処理と比較して、ノイズが少なく正確に背景差分結果を得ることができることを、複数箇所に設置された固定設置カメラの映像を用いた実験によって示す。

キーワード 背景差分, 照明変化, 長時間観測

## Background Image Generation by Searching and Correcting Recent Partial Images

Hideto OBARA<sup>†</sup>, Ikuhisa MITSUGAMI<sup>†</sup>, and Michihiko MINOH<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University Yoshida Nihonmatsu-cho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501, Japan

E-mail: †{obara.h,mitsugami}@mm.media.kyoto-u.ac.jp, ††minoh@media.kyoto-u.ac.jp

**Abstract** This paper proposes a novel method to generate a background image from sequential images captured by a fixed surveillance camera, which is effective also for the background subtraction method. In this method, the whole image region is divided into multiple lattice regions, for each of these regions a frame is selected from the recent images so as not to include any foregrounds in that region. It is experimentally confirmed that this method works well; it gives less noises and more precise foreground extraction than other existing methods for the background subtraction.

**Key words** Background subtraction, change of illumination, long-term observation,

### 1. はじめに

我々は、カメラによって獲得された情報をウェブを通じて公開することで実世界の情報を共有・蓄積し誰もが利用できるようにすることを目指し、このような枠組みをセンシングウェブ[1]として提案している。カメラから得られた情報をウェブ上に公開し共有することで、自宅にいながら遠隔地の様子を確認したり、ある場所の交通量の計測結果をもとに連絡する道路の信号を制御するなど、管理者以外の人間もカメラネットワークの画像を利用することができる。ただし、このセンシングウェブを実現する際、カメラの撮影画像中には一般に人物や車などの前景物体が映っており、そのような画像をそのまま公開することは、プライバシーの観点から問題があると考えられる。この問題に対する解決法として、撮影画像が

ら前景物体が映っていない背景画像を生成し、その背景画像のみを公開し、そこに本来映っている前景物体については、画像の形ではなく、位置・速度などプライバシー問題が起こらない属性に関する値のみを獲得し数値データとして公開することを提案している。このような出力をすることで、その場所の建物・道路など静的な情報および天気や日照状況などといった動的な情報が背景画像から分かり、その場所にいる人数や混み具合、人流などといった前景に関する動的情報も数値データから知ることができる。

このような枠組みを実現するためには、カメラの撮影画像から背景画像を正しく生成する処理が非常に重要となる。それは、この背景画像が、1) 公開用の背景画像になるとともに、2) 前景物体領域を抽出するための背景差分処理にも利用できる、という2つの利用目的を持つか

らである．そして，この2つの目的を考慮すると，その背景画像には前景が映り込んでいないこととともに，原画像に対して画素値レベルで十分に近い背景画像を生成することが必要となる．

背景画像生成の基本的な手法としては，対象となる原画像に対して，その手前のある期間（サンプル期間）に撮影した時系列画像を蓄積し，各画素について時間方向の平均値や中央値を求めて画像を復元する方法が挙げられる．このような処理によって，移動する前景物体については除去できるが，サンプル期間に対して半分以上の時間静止するような前景が存在した場合には，その前景は背景とみなされてしまい，結果的にそのような前景が背景画像中に映り込んでしまう．したがって，間違いなく前景が映り込まないようにするためには，サンプル期間を十分に長くとる必要がある．しかし，一方で，サンプル期間の画素値変化を平均化することで背景画像を生成しているため，日照変化など背景部の画素値変化が起こった場合には，背景画像が原画像に十分追従できなくなってしまう．

そこで，本稿では，上述のトレードオフを克服して適切な背景画像を生成する手法を提案した．本提案手法でも，上述のサンプル期間の中央値によって画像を生成するが，これを直ちに背景画像とするのではなく，参照用背景画像とする．そして，画像を格子領域に分割し，各格子領域について，原画像と参照用背景画像の類似度が高ければその原画像の格子領域を採用する．格子領域の類似度が低い場合は，原画像のその格子領域に前景が含まれていると判断し，そこから過去の画像を順に辿り，その格子領域の類似度が高い画像の格子領域を採用する．最後に，以上の処理を各格子領域について行い，画像全体を復元したものを背景画像とする．この手法によって生成された背景画像は，サンプル期間を長くとることで前景が映り込まないようにすることができる一方で，画像自体は原画像あるいはそれに時間的に近い画像によって生成されているため，日照変化などの動的な背景変化にも追従できるものになっている．

## 2. 背景差分に関する既存研究と背景画像生成

### 2.1 画素単位のモデル化による背景差分法

背景差分法は，あらかじめ用意した背景画像と観測画像の差分を計算することにより，物体に関する事前知識を必要とせずに物体領域を抽出することができるため，頻繁に利用される．最も単純な背景差分は，カメラの時系列画像中から，前景の映っていない画像を1つ選択してそれを背景画像とする方法であるが，この方法で前景領域を獲得することができるのは，照明などの背景変動が一切起こらないシーンのみであり，一般的なシーンでは適用できない．そのため通常は，原画像よりも過去にある長さのサンプル期間を設け，各画素についてその期間内の平均値や中央値をとることで，前景を含まない背

景画像を逐次生成する方法をとる．実際には，屋外シーンなどで照明変動などが頻繁に発生するようなシーンに対応できるようにするために，背景の情報を単一の画素値ではなく混合ガウス分布でモデル化したり [2], [3], Parzen 推定を用いる方法 [4], [5] などが一般的だが，これらは実質的には前景・背景の閾値を適切に選択しているに過ぎない．これらのモデルから背景画像を生成しようとするとき，その分布の平均やピークを使うことになり，結局何らかのサンプル期間の平均化処理を行っていると言えることができる．これらの平均化処理は，前景を除去するとともに，背景の照明変動なども平均化するため，徐々に明るさが変化するようなシーンなどでは，その変化がサンプル期間に渡って平均化されたものが背景画像になるため，原画像の照明環境を十分に反映したものにならず，結果的に正確な背景差分を行うことができなくなる．また，以上の処理はいずれも画素単位の処理である．すなわち，1画素値の時間変動のみを見て，急激な変化は前景によるもので緩やかな変化は照明灯の変動によるものという仮説を置いて，確率的な判断を下しているに過ぎない．しかし，その仮説は必ず成り立つものではなく，これらのアプローチでは，本質的には安定な結果は得られない．

### 2.2 空間方向の情報を利用した背景差分法

これに対して，画素値ごとの処理ではなく，空間方向の関連性を利用した方法も多く提案されている．Radial Reach Filter（以下，RRF） [6] は，各画素値の特徴量を，その画素値ではなく，その画素から放射状の探索を行い各方向についてどのくらいの距離に大きな画素値変化が起こる（エッジが存在する）かで表現している．この特徴量は，画像全体の照明変化や部分的に起こるなだらかな照明変化等には影響を受けにくいいため，原画像の照明変化を十分に反映した背景画像を用意しなくても背景差分による前景抽出を行うことができる．しかし，この RRF は，局所的な変化が他の多くの画素に影響を及ぼすため，一般にノイズが多く，閾値の選択が難しい．別の方法として，画像を格子領域に分割し，各格子領域のテクスチャの類似度で前景・背景を判定する背景差分方法も提案されている [7] [8]．この方法も，照明変動に強いが，格子領域単位の差分計算を行うため，差分画像の解像度が低くなる．これらの処理は解像度・ノイズなどの点で欠点を有するが，画素単位の処理ではなく空間的な関係性を利用した処理を行っているため，背景差分処理が安定に動作する傾向がある．しかし逆に言うと，これらの処理の利点は，原画像に対して照明変化などの背景変動を十分に再現した背景画像を用意する必要がないことであり，正確な背景画像を生成するために直接利用できる手法ではない．

### 3. 廻り背景ブロック探索による背景画像生成手法

#### 3.1 既存背景画像生成法の問題点とその解決策

2. 章で述べたように、一般に背景画像を生成するためには、あるサンプル期間を設け、その期間の画像に対して何らかの平均化処理をすることで前景を含まない画像を生成している。その際、背景の照明変動についても平均化されるため、原画像の照明状態を再現した背景画像が得られないことが問題であった。

もし原画像の直前に前景を全く含んでいない画像が存在すれば、それは理想的な背景画像と考えることができるが、一般に前景が含まれている画像に対してその直前に全く前景が含まれない画像が存在することは考えにくい。しかし、画像中の一部領域のみに着目すれば、近い過去にその領域内に前景が含まれていなかった瞬間がある可能性は比較的高い。あるいは、原画像においてその領域に前景が含まれていないこともある。つまり、画像全体に渡って同時に前景が映っていないことは少ないが、その局所領域ごとに異なるタイミングで前景が存在していなかった瞬間が存在する可能性は高いと考えられる。したがって、現在の画像に近い過去の画像群を用意し、各部分領域ごとに、その領域中に前景が映っていない時刻の部分画像を取り出し、それらを画像全体につなぎ合わせれば、原画像に時間的に近く、なおかつ全景を含んでいない画像を生成することが可能であると考えられる。

ただし、このような処理を行う際には、注目している格子領域内に前景が含まれていない時刻の画像を選び出す必要がある。そこで本稿では、この前景の含まれない部分画像を選択するために、2. 章で述べた領域のテクスチャによる類似度評価手法 [8] を利用する。すなわち、比較的長いサンプル期間を使って平均化処理をして獲得することで、照明条件に関する再現性が低いものの前景が含まれていないことが保障される画像を生成し、これを参照用の背景画像として用いる。そして、この参照用背景画像と各画像における部分領域のテクスチャの類似度を評価することで、その画像の部分領域中に前景が含まれているかどうかを判断する。

#### 3.2 提案手法の詳細

以下では、図 1 に示す提案手法の概要について述べる。

まず、参照用背景画像の獲得を行う。参照用背景画像は、現在の画像における照明環境を再現している必要はなく、しかし、そこに前景が間違いなく映り込んでいない必要がある。そのため、そのシーンにおいて人が静止しうる時間と比較して十分に長い期間  $T$  を設定し、時刻  $t-T$  から  $t$  の間に撮影された画像  $P(t-T), \dots, P(t)$  の各画素の画素値変化の中央値を求めることで参照用背景画像  $R(t)$  を獲得する。

なお、防犯カメラなどのように数週間・数ヶ月以上固

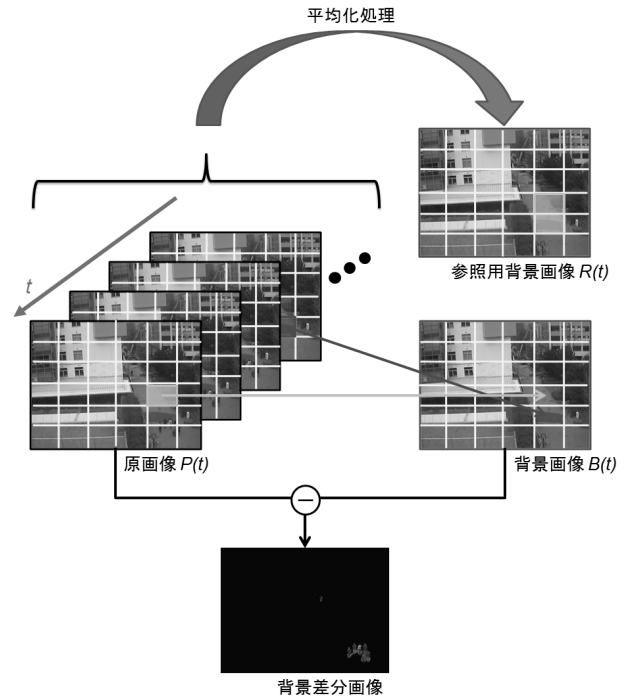


図 1 本稿で提案する背景画像生成と背景差分

定設置され続けるようなカメラの場合であれば [9] で行われているように、長期間の画像を主成分分析しその主要な成分のみから原画像を復元する処理を行うなどすることによって、実質的に非常に長いサンプル期間を用いることができるため、比較的長時間に渡って静止するような前景であっても映り込まないような参照用背景画像を獲得することが可能である。

次に、画像を  $M \times N$  の格子領域に分割し、原画像  $P(t)$  の各格子領域領域  $p_{i,j}(t)$  (ただし、 $i = 0, \dots, M, j = 0, \dots, N$ ) および、それに時間的に近い過去の対応部分画像  $p_{i,j}(t-1), \dots, p_{i,j}(t-\tau_{\max})$  の中から、前景を含んでいないものを選択する。ここで選択した部分画像によって最終的な背景画像を生成するため、その背景画像の日照条件の再現性が高くなるよう、選択する時刻はできるだけ  $t$  に近い方が望ましい。そこで、この探索は時刻  $t$  から始めて、過去に遡る方向に行い、前景を含んでいない尤もらしさが後述の閾値  $\alpha_t$  以上になった時点で探索を終了するような実装を行う。

注目領域の部分画像が前景を含んでいない尤もらしさは、その部分画像  $p_{i,j}(t-\tau)$  (ただし、 $\tau = 0, 1, \dots, \tau_{\max}$ ) と上述の参照用背景画像  $R(t)$  の対応領域の部分画像  $r_{i,j}(t)$  との正規化相互相関によって評価する。ただし、この際、注目領域の端に前景の一部が映っている場合に、この評価方法では適切にその映り込みを検出できない可能性がある。そこで、注目領域に対しての類似度評価を行う際には、図 2 に示すように、その領域よりも大きな窓領域を設定し、その窓領域内の部分画像  $\hat{p}_{i,j}$  と  $\hat{r}_{i,j}$  の間の正規化相互相関を評価することとする。

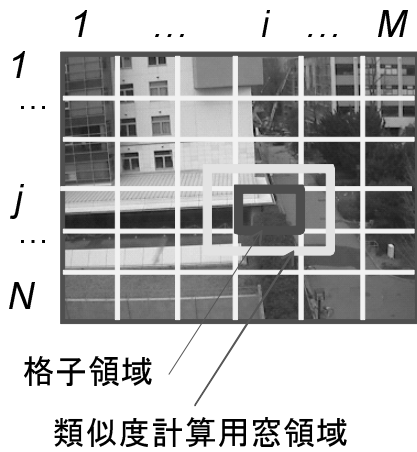


図2 注目領域と類似度計算用窓領域

$$s_{i,j}(t, \tau) = 1 - \frac{\hat{p}_{i,j}(t - \tau) \cdot \hat{r}_{i,j}(t)}{|\hat{p}_{i,j}(t - \tau)| \cdot |\hat{r}_{i,j}(t)|} \quad (1)$$

また、探索終了を判定するための閾値  $\alpha_t$  について述べる。この値は、部分画像のテクスチャの類似度に関する閾値であり、画像中のノイズ等の影響を受ける。例えば、ノイズの少ない画像ではこの閾値を高く設定してもよいのに対して、夜間等暗いシーンで画像のノイズが多い場合は、ノイズによる類似度低下のために本来選択されるべき部分画像が選択されなくなるため、閾値を小さくしなければならない。すなわち、この閾値は撮影しているシーンに依存し、また動的に変化するため、それに対応できるように動的に決定する必要がある。本稿では、時刻  $t - \tau$  から  $t$  までの画像の全格子領域と、それぞれに対応する参照用背景画像の格子領域の部分画像間の類似度  $s_{i,j}(t, \tau)$  をすべて算出し、その平均値  $\bar{s}(t)$  と標準偏差  $d_s(t)$  を用いて、以下のように定めた。

$$\alpha_t = \bar{s}(t) - \beta d_s(t) \quad (2)$$

ただし、 $\beta$  は類似度分布からどれだけずれると背景でないとするかに関する閾値である。

## 4. 実験

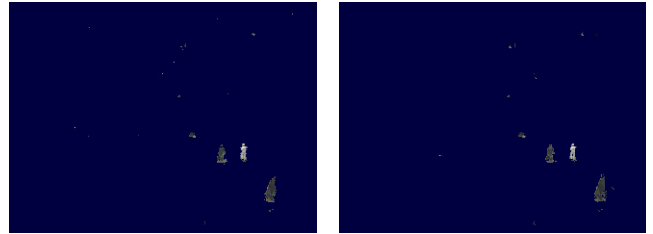
### 4.1 背景画像生成手法としての評価

本手法の有効性を確かめるために、固定設置された監視カメラの映像を用いて実験を行った。なお、生成された背景画像をそのまま表示しても、肉眼ではその再現性について判断できないため、生成された背景画像と原画像との差分画像を提示することで、その評価を行うこととする。なお、撮影画像の大きさ  $(W, H) = (320, 240)$ 、格子領域の一辺を  $8(\text{pixel})$  (すなわち  $(M, N) = (40, 30)$ )、尤もらしさ計算に用いるウィンドウの一辺を  $16(\text{pixel})$  とした。また、 $T = 20, \tau = 20, \beta = 1.0$  とした。

実験結果を図3, 4に示す。比較対象として、サンプル



(a) 原画像

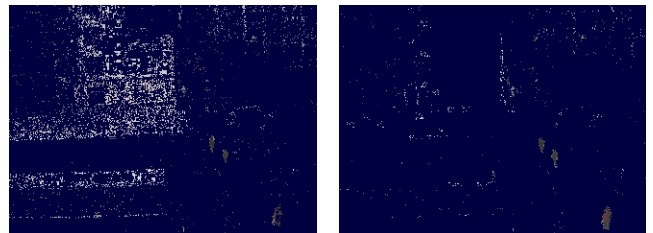


(b) 中央値による背景画像を用いた差分画像 (c) 提案手法による背景画像を用いた差分画像

図3 監視カメラ画像の背景画像生成結果



(a) 原画像



(b) 中央値による背景画像を用いた差分画像 (c) 提案手法による背景画像を用いた差分画像

図4 照明変化が激しい場合の背景画像生成結果

期間の中央値による背景画像との比較を行った。図3より、照明変動が起こっていない場合は、単純な中央値による背景画像と提案手法による背景画像に大きな差はない。しかし、図4に示すように、照明変動が起こった際には、中央値による方法ではその変化に追従できていないのに対して、提案手法では比較的正確な背景を生成していることが確認できる。

### 4.2 背景差分手法としての評価

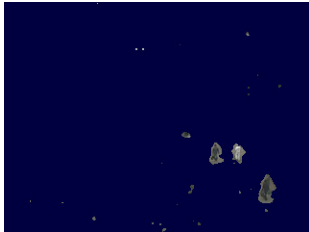
正確な背景画像生成は、背景差分処理に有効である。ここでは、そのような観点から、提案手法による背景画像を用いた背景差分計算と、他の背景差分手法の性能比較を行う。比較対象として、ガウス分布モデルを用いたものと、RRFを用いたものを取り上げる。

図5, 図6に、前節で示したものと同一のシーンにおける実験結果を示す。やはり、照明変動が小さい場合(図



(a) 原画像

(b) ガウシアン



(c) RRF



(d) 提案手法

図 5 他の背景差分手法との性能比較 (i)



(a) 原画像

(b) ガウシアン



(c) RRF



(d) 提案手法

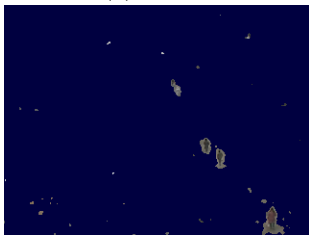
図 7 他の背景差分手法との性能比較 (iii)



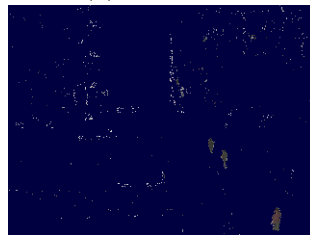
(a) 原画像



(b) ガウシアン



(c) RRF

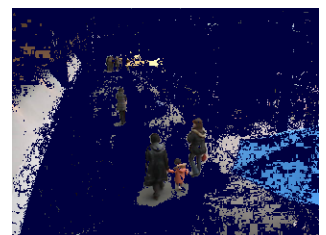


(d) 提案手法

図 6 他の背景差分手法との性能比較 (ii)



(a) 原画像



(b) ガウシアン



(c) RRF



(d) 提案手法

図 8 他の背景差分手法との性能比較 (iv)

5) では、いずれの手法による結果も大差がないことが分かる。ただし、RRF については、各画素の特徴量としてその画素の周辺のテクスチャ情報を用いているため、本質的に前景の境界があいまいになりやすく、図からもその傾向が確認できる。一方、照明変動が起こっている場合（図 6）には、ガウス分布モデルは差分結果が非常に悪い。RRF は、照明変動には比較的強いが、やはり前景の境界があいまいになっている。これらの結果から、提案手法の有効性が確認できる。

他のシーンで同様の実験を行ったものを、図 7, 8 に示す。上述のシーンと比較して前景が大きく映っているものの、構造物が複雑なために、影の出方が複雑になり、差分結果が比較的悪いが、やはり提案手法が最も安定に前景部を獲得できているのが確認できる。

ただし、日照があまりにも急に变化し、過去の画像と現画像との輝度の差が大きすぎた場合には背景差分結果が大きく悪化することがあった。この状況を図 9 に示す。

## 5. ま と め

本稿では、固定設置されたカメラによって得られる前景を含んだ画像系列から、各時刻の画像に対して正確に背景差分を行うための背景画像生成手法を提案した。提案手法では、画像全体を格子領域に分割し、各格子領域に対して、その領域中に前景を含んでいないと推定され、なおかつ時間的に最も新しい過去画像を探索し、その対応格子領域を獲得して、それらの格子領域から画像全体を再構成する。複数の屋外設置固定監視カメラの映像を用いて、背景画像生成に関する既存研究との性能比較実験を行い、提案手法の有効性を確認した。また、提案手法を背景差分手法に適用し、他の背景差分手法との性能比較実験も行った。

今後の課題として、4. 章の末尾で挙げた、急激な照明変動が起こった際の背景画像生成の失敗への対策が挙げられる。本手法では、原画像を格子領域に分割し、それ

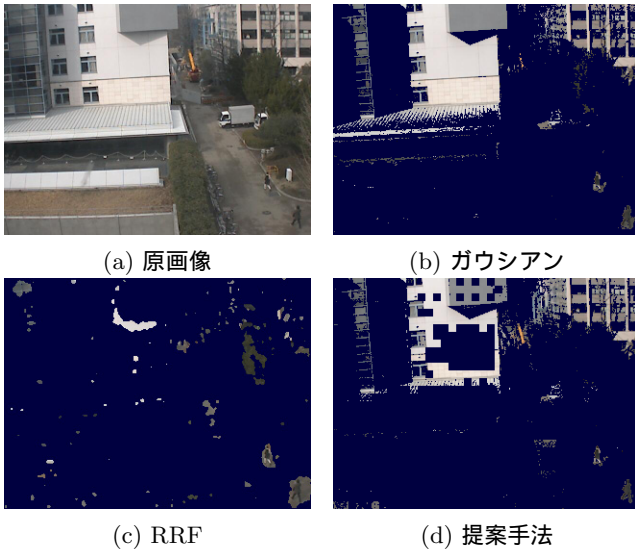


図 9 急激な照明変動のために背景差分に失敗する例

それぞれの領域が背景領域であるかを推定している．したがって，明らかに背景である領域の照明変動を参照して，他の領域の照明変動分を推定し，より良好な背景画像生成および背景差分を行うなどの対策が考えられる．画素レベルでは，同様のアイデアを用いた手法が提案されており [10], [11]，これらを参考にする予定である．また，本手法は，分割された格子領域ごとに独立な処理を行っているため，隣接領域間で明るさにズレが生じ，違和感のある背景画像が生成される可能性がある．この問題に対して，各格子領域の部分画像の尤もらしさのみでなく，隣接格子領域間の明るさ・テクスチャの滑らかさに関する評価値も考慮した最適化処理を行うことで解決できると考えられる．

## 文 献

- [1] 美濃導彦，“センシングウェブ—概念と課題—,” 人工知能学会誌, Vol.24, No.2, 2009 .
- [2] Jian Cheng, Jie Yang, Yue Zhou, “A Novel Adaptive Gaussian Mixture Models for Background Subtraction,” 2nd Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis, pp.587–593, 2005.
- [3] 島田敬士, 有田大作, 谷口倫一郎, “適応的な分布数の増減法を利用した混合ガウス分布による高速な動的背景モデル構築,” 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.90, No.9, pp.2606–2614, 2007.
- [4] Ahmed Elgammal, Ramani Duraiswami, David Harwood, Larry Davis, “Background and Foreground Modeling Using Non-parametric Kernel Density Estimation for Visual Surveillance,” Proceedings of the IEEE, Vol.90, pp.1151–1163, 2002.
- [5] 田中達也, 島田敬士, 有田大作, 谷口倫一郎, “ノンパラメトリックな動的背景・影モデルに基づいた映像からの物体抽出,” 情報処理学会研究報告 (CVIM), Vol.42, pp.105–112, 2007.
- [6] Yutaka Satoh, Shun'ichi Kaneko, Yoshinori Niwa, Kazuhiko Yamamoto, “Robust Object Detection using a Radial Reach Filter(RRF),” Systems and Computers in Japan, Vol.35, No.10, pp.63–73, 2004.
- [7] 長屋茂喜, 宮武孝文, 藤田武洋, 伊藤渡, 上田博唯, “時間相関型背景判定法による移動物体検出,” 電子情報通信

学会論文誌 D, Vol.79, 1996.

- [8] 松山隆司, 和田俊和, 波部齐, 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-II, Vol.84, pp.2201–2211, 2004.
- [9] 川端聡, 日浦慎作, 佐藤宏介, “動的背景の学習による未知物体領域の実時間抽出法,” 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.89, pp.826–835, 2006.
- [10] 福井真二, 石川富康, 岩堀祐之, 伊藤英則, “輝度変化に対する頑健な背景差分法,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004), Vol.II, pp.305–310, 2004.
- [11] 八代武大, 満上育久, 角所考, 美濃導彦, “画素値の時間変化相関に基づく前景領域抽出,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2008), 2008.