

動画像からの背景画像生成を用いた移動物体抽出方法に関する一検討

早坂 光晴[†] 富永 英義^{††}

[†] 早稲田大学 大学院 理工学研究科
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

hayasaka@tom.comm.waseda.ac.jp

^{††} 早稲田大学 国際情報通信研究センター
〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-21-1 早大西早稲田ビル 5 階

あらまし

動画像から移動物体を抽出する方法の一つに背景差分法がある。この方法では、移動物体の存在しない背景画像を取得するのが困難な状況や背景自体が変化する状況においては背景画像を逐次生成・更新していく必要がある。本稿では、従来の輝度ヒストグラム処理を改良することで背景変化に追従し、かつ移動物体の影響を除去する背景画像生成法を提案する。最後に、本手法と背景差分法を組み合わせた移動物体抽出を実動画像に適用することで本提案手法の有効性を明らかにする。

キーワード 背景画像生成, ヒストグラム, 背景差分, 移動物体抽出

Moving Object Extraction from Motion Image Sequence Using Background Image Generation

Mitsuharu HAYASAKA[†] Hideyoshi TOMINAGA^{††}

[†] Graduate School of Science and Engineering, WASEDA University
3-4-1 Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 JAPAN

hayasaka@tom.comm.waseda.ac.jp

^{††} Global Information and Telecommunication Institute, WASEDA University
Nishi-Waseda Bldg. 5th floor 1-21-1 Nishi-Waseda, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 JAPAN

abstract

Background difference is used to extract moving objects from motion image sequences. When it is difficult to acquire the background image including no moving objects, or when the background image itself changes, it is necessary to generate and renew the background image. In this paper, a method for background image generation is proposed. This method enables to follow changes in background and remove moving objects by improving conventional intensity histogram processing. Finally, we combine this method with background difference, and an experiment using real image sequences show a good result.

keyword Background Image Generation, Histogram, Background Difference, Moving Object Extraction

1. はじめに

近年、コンピュータの演算速度の向上や記憶媒体の容量増加などが急速に進み、画像処理ハードウェアの性能が飛躍的に向上している。これに伴い、これまでは困難であった動画画像処理も容易に行なえるようになり、これを用いた動画画像認識技術への期待が急速に高まっている。このような流れの中、3次元空間上を移動する物体を動画画像中において抽出する技術は動画画像認識における基礎的な課題として現在までさまざまな研究が行なわれている。動画画像中の移動物体を抽出する従来手法としては、主に次の2つが挙げられる。

1. 背景差分などの差分処理を用いる方法^(1, 2, 3)
2. 物体の移動方向を示すオプティカルフローを用いる方法^(4, 5)

まず、1.の方法では、一般に背景画像が比較的容易に得られる場合には背景差分法が用いられ、背景が安定して得られる状況にない場合にはフレーム間差分法が用いられる。しかし、フレーム間差分法のみでは物体が一時的に静止している場合などには対応できない。

一方、2.の方法は剛体の動きを求めるのには有用であり、オプティカルフロー自体を求める手法についてもさまざまな方法が提案されている。しかし、その計算量は膨大であり、リアルタイム処理には向いていない。

以上のことにより、背景差分法が最も簡単かつ実用的な方法であると考えられるので、本検討ではこの方法を採用する。背景差分法を用いる場合、移動物体の存在しない背景画像を容易に得られない状況や、日照の変化等により背景が頻繁に変化する状況においては、背景画像を画像処理によって逐次生成・更新していく必要がある。そこで、本稿では背景画像を背景変化に追従して生成・更新する手法を提案し、これを用いた背景差分法により安定した移動物体抽出を行なう方法について述べる。また、この方法を実際に撮影した動画画像に適用し、シミュレーション実験した結果について報告する。

2. 背景差分法

背景差分法とは、あらかじめ移動物体の存在しない背景画像を取得しておき、入力画像と背景画像との差分処理結果に応じた2値化を行なうことによって移動物体領域を抽出する手法である。個々の物体全体をかたまりとして抽出することができるので物体抽出性は高い。しかしその反面、物体の中で背景濃度に近い部分が欠落する等の問題がある。また、1.でも述べたように、移動物体の存在しない背景画像を取得するのが難しい状況や背景自体が変化する状況においては背景画像を画像処理によって生成する必要がある。この背景画像を精度良く生成できれば背景差分の精度も向上すると考えられる。

背景差分法のアルゴリズムを次に示す。

$$d_i(x, y, t) = f_i(x, y, t) - b_i(x, y, t) \quad (1)$$

$$g_i(x, y, t) = \begin{cases} 1 & \text{if } |d_i(x, y, t)| \geq D \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 x, y は画像座標位置、 t は時刻、 $f_i(x, y, t)$ は入力画像、 $b_i(x, y, t)$ は背景画像、 $g_i(x, y, t)$ は背景

差分画像、 D は閾値である。また、 $i = r, g, b$ は各RGB成分を表し、 x, y とともに以後は省略する。

背景差分の閾値 D は検出漏れを防ぐためには小さいほどよいといえる。しかしながら、閾値を小さくとるとそれだけ検出誤りも増えてくる。したがって、背景画像生成の精度がこの閾値をどれだけ小さくとることができるかに大きく影響を与えると考えられる。

3. 背景画像生成手法

3.1 従来手法

2.で述べたように、背景差分法を用いる場合、差分の基準となる背景画像の生成・更新を考える必要がある。ここでは、その背景画像生成手法に関する従来手法について述べる。

背景画像の生成・更新を行なう従来手法の一つに背景積分法がある^(1, 2)。背景積分法による背景生成式を次に示す。

従来手法 1

$$b(t) = \alpha f(t) + (1 - \alpha)b(t - 1) \quad (3)$$

この手法では、背景画像 $b(t)$ を1つ前のフレームで生成された背景画像 $b(t - 1)$ と現在のフレームの入力画像 $f(t)$ との加重平均によって生成する。 α は背景積分パラメータと呼ばれる定数で、 $0 \leq \alpha \leq 1$ の値をとる。このとき、 $(1 - \alpha)$ は背景画像における過去の情報の減衰量と考えることができるので、この背景積分パラメータ α の値を大きく設定すると背景の変化にロバストであり、小さく設定すると背景の誤生成が生じにくくなるというトレードオフの問題になっている。したがって、双方を満たす α の設定値の決定が問題となる。

しかし、この方法では背景の輝度変化が背景自体の変化ではなく移動物体によるものであった場合も同様に背景が更新されていくので、移動物体領域が大きい場合などは安定した背景生成・更新が行なえないという問題がある。この問題についての対応策として、背景領域の輝度変化に閾値を設定することにより、背景の更新を外界の変化に追従して行なう手法が報告されている⁽⁶⁾。この手法のアルゴリズムを次に示す。

従来手法 2

$$d(t) = f(t) - b(t - 1) \quad (4)$$

$$b(t) = \begin{cases} b(t - 1) + \alpha d(t) & \text{if } |d(t)| \leq H \\ b(t - 1) + \text{sgn}(d(t)) \cdot \text{offset} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

ここに、 H は背景の輝度変化が背景自体の変化によるものかどうかを判定する閾値、 $\text{sgn}(x)$ は符号関数、 offset は閾値条件が満たされない場合に背景に付加するオフセット値である。このオフセットは初期背景画像に移動物体が存在した場合に、この移動物体の影響をフレームの経過にしたがって減衰させていく役割を果たす。しかしながら、この手法では入力画像中で背景の現れる時間的な割合が十分大きいことが前提となっている。

3.2 輝度ヒストグラムを用いた提案手法

ここでは、入力画像中で背景の現れる時間的な割合が十分大きくない場合においても安定した背景生成が行なえ、かつ背景自体の変化にも追従できることを目標とした背景生成手法を提案する。

3.2.1 動画画像中の背景の解析

ここでは、まず、背景成分が動画画像中においてどのように現れるのかを実際に撮影した動画のある同一位置画素の輝度変化を観察して解析する。用意した動画は実際に固定ビデオカメラで撮影した次の2つである。すべて画像サイズは320×240[pixel]、各RGB成分は8bit(256階調)である。これらの撮影環境等詳細については4.でも述べる。

1. 日没時に学内の中庭を撮影したもの (campus) .
2. 日没時に学外の交差点を撮影したもの (crossroad) .

このうち、campusの画素(160,230)を背景自体は継続的に変化するが移動物体がまったく現れない画素の例、crossroadの画素(160,20)を移動物体が頻繁に現れるが背景輝度値が確認できる画素の例として、この各位置画素の輝度変化を図1に示す。ただし、簡単のため、RGB成分のうちR成分のみを抽出した。

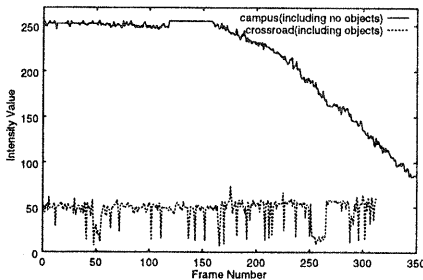


図 1: 動画画像の同一位置画素における輝度変化

campusの例では、日照の変化による背景輝度値の継続的な変化が認められる。この輝度値の継続的な変化を線形とみなし、その変化の割合を最小自乗法により求めたところ、およそ0.95/frameであった。また、crossroadの例からは、移動物体の影響はパルス状の急激な輝度変化として現れることもわかる。共通する小さな鋸歯状の輝度変化は画像取得時の雑音と考えられる。

以上から、本検討ではターゲットとする動画画像中の背景を次の条件を満たすモデルとして仮定する。

- 背景輝度値に急激な変化が起こる頻度は十分少ない。
- 背景輝度値の継続的な変化は起こり得るが、その変化の割合は十分小さい。

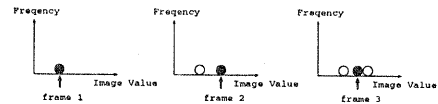
3.2.2 提案手法の詳細

ここでは、提案する背景生成アルゴリズムの詳細について述べる。

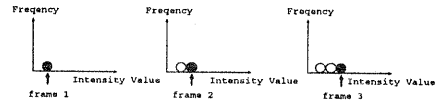
□ 動画画像からの背景画像生成を用いた移動物体抽出方法に関する一検討

3.2.1の仮定に基づき、各画素位置毎の輝度ヒストグラムを作成し、その最頻輝度値を推定された背景画像輝度値とする。ただし、単純なヒストグラム処理では次のような問題が考えられる。

- 背景輝度値がほぼ一定であったとしても、画像取得時の雑音により十分なフレームが経過するまでヒストグラムに正しいピークが現れない (図2(a)) .
- 背景輝度値が時間の経過とともに一定の割合で変化し続けた場合、ヒストグラムにピークが現れない (図2(b)) .



(a) 画像取得時に雑音がある場合



(b) 背景輝度値がある一定の割合で変化し続けた場合

図 2: 単純なヒストグラム処理での問題

この問題に対して、次のようなヒストグラム処理を行うことを提案する。はじめに、 $h(t, I)$ を時刻 t 、輝度値 I におけるヒストグラムとする。

Step.1

まず、一つ前のフレームにおいて作成されたヒストグラム $h(t-1, I)$ に、ある重み付け関数 $W(I)$ を乗じる。その結果 $T(t, I)$ をここでは重み付けテーブルと呼ぶことにする。

$$T(t, I) = h(t-1, I)W(I) \quad (6)$$

Step.2

次に、重み付けテーブル $T(t, I)$ の最大値 $T_{\max}(t)$ を求め、現在投票しようとしている輝度値 I_0 のヒストグラムのみを $T_{\max}(t) + 1$ に置き換えるという投票を行なう。すなわち、

$$h(t, I_0) = T_{\max}(t) + 1 \quad (7)$$

なお、 I_0 以外におけるヒストグラム $h(t, I)$ ($I \neq I_0$) には $h(t-1, I)$ の値が保存される。

Step.3

最後に、Step.1 で導入した重み付け関数を決定する。現在のところ、この重み付け関数の決定に際してその理論的根拠はまだ明らかにできていないが、次のような解釈に基づいて決定する。すなわち、移動物体が背景を覆うことによる輝度値の急激な変動では過去の輝度値と現

□ 動画画像からの背景画像生成を用いた移動物体抽出方法に関する一検討

在の輝度値に相関はないが、日照の変化などによる背景自体の変化や撮像系での雑音による輝度値の比較的緩やかな変動では過去の輝度値と現在の輝度値に相関があると考えられる。そこで、現在の投票輝度値は相関が高いと考えられる周辺輝度値のヒストグラムの値を引き継ぐものとする。そのとき、輝度値に近いほど引き継ぐ割合が大きく、輝度値が離れるほど引き継ぐ割合が少ないものとし、ここではその重みが現在の投票輝度値 I_v を平均値としたガウス関数にしたがうものと仮定する。すなわち、

$$W(I) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(I - I_v)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (8)$$

ここに、 A は定数である。

以上の処理のイメージを図3に示す。

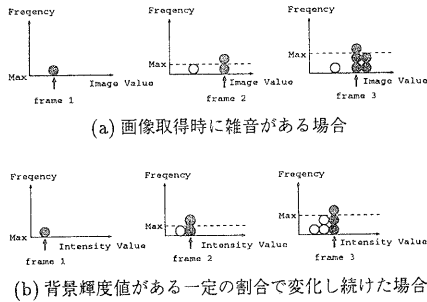


図 3: 提案するヒストグラム処理

4. シミュレーション実験

ここでは、これまで述べてきた提案する背景画像生成手法の有効性を従来手法と比較した評価を行なうことにより検証する。

4.1 輝度変動モデルによる実験

ここでは、独自に作成した輝度変動モデルを用いて提案する背景画像生成手法の有効性を検証する。まず、3.2.1で述べたことを考慮して、次のような条件の下に入力画像の輝度値変動モデルを作成した。

- 背景自体の輝度変動は最大で 1.0/frame である。
- ごくまれに背景自体の輝度値も不連続に変化しうる。
- 画像取得時の雑音は ± 5 以内のランダム雑音である。
- 移動物体が出現する時間的割合は平均して 50 % 以上である。
- 移動物体の輝度値は 0 ~ 255 の間でランダムである。

作成した入力画像の輝度値変動モデルを図4に示す。また、ここでの実験に用いた各従来手法と提案手法の各パラメータ値は定性的に次のように決定した。

従来手法 1: $\alpha = 0.1$

従来手法 2: $\alpha = 0.1, H = 20, offset = 1$

提案手法: $\sigma = 5, A = 20$

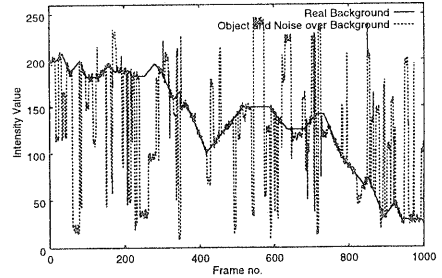


図 4: 入力画像の輝度値変動モデル

図4に示した入力動画画像の輝度変動モデルに対して、背景画像輝度値の生成を行なった結果を図5に、また、生成された背景画像輝度値と真の背景輝度値との誤差を図6に示す。

4.2 実動画画像による実験

実際に固定カメラにより撮影した動画画像は 3.2.1でも述べた campus と crossroad の 2 つである。それぞれの撮影環境を表1に示す。

表 1: 実動画画像撮影環境

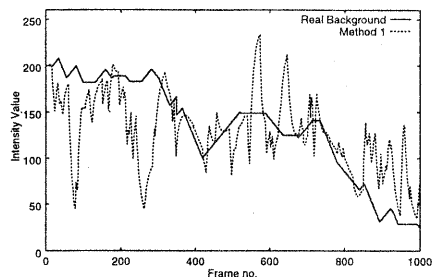
	campus	crossroad
画像フォーマット	320x240 [pixel], RGB(8bit)	
フレームレート [frame/sec]		0.5
総フレーム数 [frame]	350	315
カメラ	固定 (Sony CCD-TR3000)	

これらの実動画画像に対して背景画像生成のそれぞれ従来手法、提案手法を適用し、背景差分法により移動物体抽出を行なった結果を図7、図8に示す。ただし、比較する従来手法は従来手法2のみとした。また、背景差分法の閾値 D は campus では $D = 20$, crossroad では $D = 25$ とした。これらの閾値はそれぞれの動画画像の特性を見て定性的に決定した。

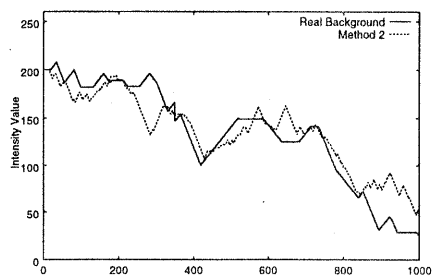
4.3 評価および考察

ここでは 4.1, 4.2 で得られた実験結果について評価、考察する。

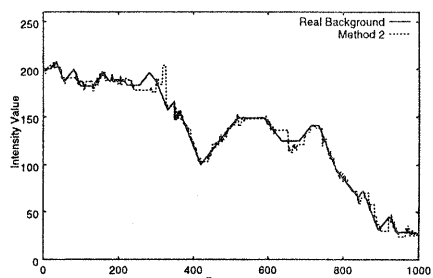
まず、背景輝度変動モデルを用いた実験についてであるが、図5および図6より、従来手法1, 2 ではないずれも真の背景輝度値からの誤差が大きいフレームが多く確認できる。一方、提案手法では誤差の大きいフレームは少なく、十分に真の背景輝度値に追従できていることが確認できる。



(a) 従来手法 1



(b) 従来手法 2



(c) 提案手法

図 5: 各背景画像生成手法により推定された背景画像輝度値

次に、実動画画像を用いた実験についてであるが、図 7 および図 8 より、提案手法ではヒストグラムが安定していない初期のフレームにおいては誤検出が生じているものの、従来手法で除去できていない移動物体を除去できていることが確認できる。また、十分なフレームが経過した後では従来手法と比較して提案手法の方が精度良く移動物体を抽出できていることも確認できる。

以上の実験結果から、本提案手法では移動物体が背景を覆う割合の多い場合でも安定した背景生成が行なえると考えられる。しかしながら、図 7、図 8 については、移動物体抽出という観点からはそれほど良好な結果とはいえず、これについては背景差分法自体に関する検討も必要であると考えられる。

□ 動画画像からの背景画像生成を用いた移動物体抽出方法に関する一検討

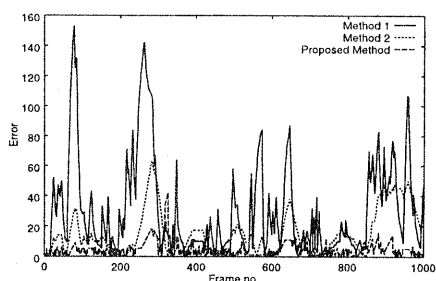


図 6: 推定された背景画像輝度値と真の背景輝度値との誤差

5. まとめ

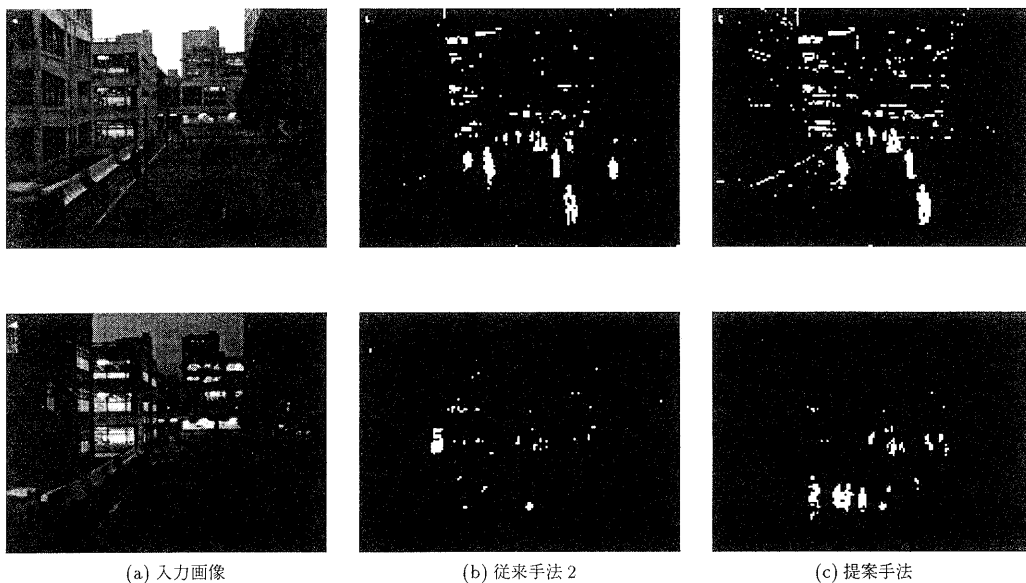
本稿では、輝度ヒストグラム処理を改良することで背景の現れる時間的割合が十分大きくない場合にも安定した背景生成が行なえ、かつ背景自体の変化にも追従できる背景画像生成手法を提案した。背景生成のシミュレーション実験においては、従来手法と比較評価することで本提案手法の有効性を明らかにした。また、移動物体抽出のシミュレーション実験において、本提案手法を用いた場合では従来手法と比較して移動物体抽出精度が向上することを示した。

今後の検討課題としては次のようなことが挙げられる。

- 背景画像生成の提案手法に関する理論的裏付け、および関連するパラメータの定量的最適化
- 背景差分法自体に関する検討

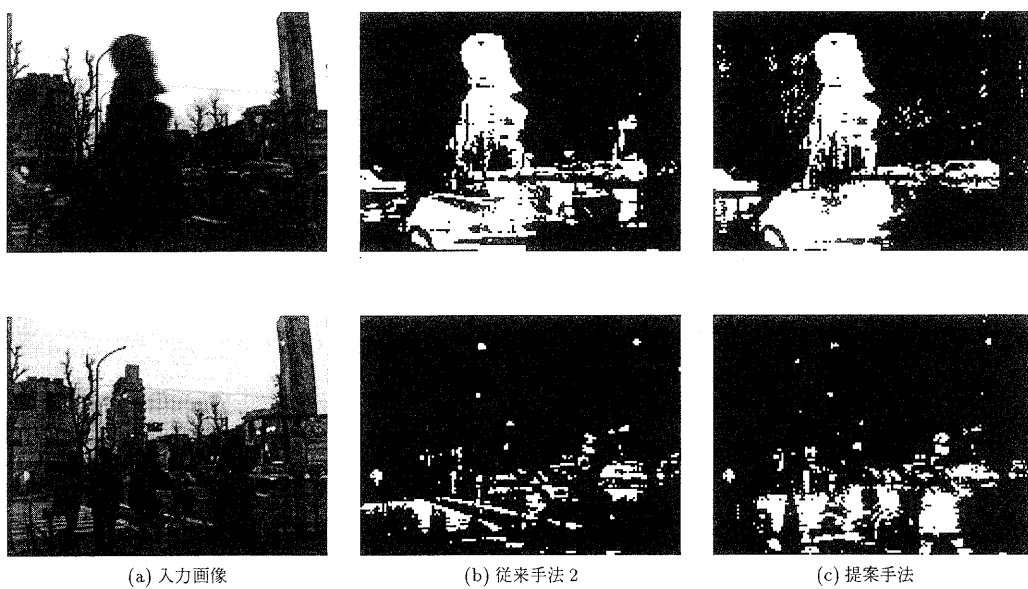
参考文献

- (1) 篠原 利章, 都築 健吾, 西澤 真人, 林 敏彦, 井上 弘昭: "背景差分法における移動物体の検出精度の向上とカメラの揺れによる誤検出の低減手法の検討", 第 2 回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp.249-254, (1996)
- (2) 川端 敦, 谷藤 真也, 諸岡 康男: "移動物体像の抽出技術", 情報処理 Vol.28 No.4, pp.395-402, (1987.4)
- (3) 佐久間 喜郎, 伊東 潔, 増田 功: "フレーム間差分を用いた侵入物体検出法", テレビジョン学会技術報告 IPCV '90-27, AIPS '90-50, pp.1-6, (1990.9)
- (4) 太田 直哉: "信頼性情報をもったオブティカルフローからの形状復元とその移動物体検出への応用", 信学論 D-II Vol.J76-D-II No.8, pp.1562-1571, (1993.8)
- (5) 岡田 隆三, 白井 良明, 三浦 純, 久野 義徳: "オブティカルフローと距離情報に基づく動物体追跡", 信学論 D-II Vol.J80-D-II No.6, pp.1530-1538, (1997.6)
- (6) 谷崎 徹也, 上田 浩次, 池谷 和夫, 堀場 勇夫: "背景画像更新処理を用いた路面湿潤状況の検出", 信学論 D-II Vol.J80-D-II No.9, pp.2270-2277, (1997.9)



(上段：frame012, 下段：frame313)

図 7: campus の移動物体抽出結果



(上段：frame040, 下段：frame145)

図 8: crossroad の移動物体抽出結果