

背景差分法の改良とその移動物体追跡への応用

川島 典之, 中村 望, 萩原 里佳, 花泉 弘
法政大学大学院情報科学研究科

本論文では背景差分法を用いた移動物体検出手法について述べる。現在、移動物体検出手法としてはオプティカルフローと背景差分法が多く用いられている。オプティカルフローは移動物体の境界部分でのフローの誤検出が起りやすく、移動物体領域が一回り大きく検出されてしまうが、それに対して背景差分法では移動物体の境界部分も正確に検出できる。ただし、実際の撮影環境下ではカメラのぶれ等による影響でノイズが発生する。本論文では、背景差分法におけるノイズの発生を考慮した移動物体検出を行うために、共分散行列を用いた移動物体検出法を提案する。また、移動物体として検出されてしまった移動物体の影部の除去を行うことで、より検出精度を高める。最後に、移動物体検出の応用として複数のカメラを用いた移動物体追跡、及び動画像からの放置物体検出手法について述べる。

An Improved Method for Background Subtraction and Its Application to Tracking of Moving Objects

Noriyuki Kawashima, Nozomu Nakamura, Rika Hagiwara
and Hiroshi Hanaizumi

Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University

This paper describes a new method for the background subtraction with statistical test for detecting moving objects. There are two methods; optical flow and background subtraction, to detect moving objects. The former has high performance to detect in movement, but gives us blurred edges. In the point of view of accurate edge detection, the latter has better performance than the former does. The background subtraction method, however, gives us noises by the swing of a camera in actual shooting environment. The proposed method introduces the mahalanobis distance for suppressing scene fluctuation effects and density normalization for avoiding the shadow effects. Furthermore we propose two systems application of detection of moving objects; a system for emergent detecting objects and a system for tracing moving objects using plural cameras.

1. はじめに

近年、防犯などを目的とした街頭に設置される監視カメラが増加している。それに伴い、コンピュータを用いた動画像の自動処理技術のニーズが高まっている。特に、動画像内における人物等の移動物体追跡システムの開発が盛んである[1~3]。動画像から移動物体を追跡する処理というのは、画像内から移動物体領域を検出し各フレームにおいて同一対象がどこにいるかを求めることである。移動物体追跡の第一段階である動画

像からの移動物体検出手法には、オプティカルフロー法[4~6]と背景差分法[7~9]が多く使われている。しかし、これら従来手法には正確な移動物体領域の検出が困難となる問題点が多い。オプティカルフローを求めるには勾配法とブロックマッチング法があるが、勾配法は拘束条件以外のことが起きるとフローの精度が落ちる。特に、移動量が不連続な物体の境界における推定精度が低下しやすい[10]。また、ブロックマッチング法は対応点の消失によるフローの誤検出が起る。

ブロックマッチング法も勾配法と同じように移動物体の境界での誤検出が多く、実際の移動物体よりも一回り大きく領域が検出されることが多い。さらに、この二つの手法は移動物体の移動量（移動速度）に大きく左右される。それに対して、背景差分法は物体の移動に関係なく、移動物体のエッジ部分も含め領域を正確に検出できる。ただし、移動物体の色が背景と似ている場合には検出精度が低下する。また、実際の撮影環境下では風などでカメラが振動し、それによって背景のエッジ部分に誤検出が起こる。本研究の目的は、従来の移動物体検出手法と比較して、より精度の高い移動物体検出を行う手法の開発である。移動物体の検出には背景差分法を採用し、背景差分法におけるノイズの発生を考慮した移動物体検出を行う。また、カラー画像をそのまま使用し、移動物体として検出されてしまった移動物体の影部の除去を行うことで、より正確な移動物体領域の抽出を行う。

実験では頭上から撮影された歩行者の映像を用い、従来手法との比較によって性能評価を行う。また、提案手法による移動物体抽出の応用として、複数台のカメラを用いた移動物体追跡手法、動画像からの放置物体検出手法についても述べる。

2. 移動物体検出手法

本研究では移動物体検出手法として背景差分法を用いた。背景差分法とは入力画像とあらかじめ用意した背景画像(モデル)との差分を求めることにより物体を検出する手法である。オプティカルフローでは人物等が静止している場合は検出できないが、背景差分法ならば検出可能である。

時刻 t における入力画像を I_t 、そのときの背景画像を B_t とすると、背景差分は次式で求められる。

$$\Delta_t = |B_t - I_t| \quad (1)$$

閾値 Th を定め、閾値よりも Δ_t が大きければ移動物体、そうでなければ背景であると判定する。

2. 1 背景モデルの生成

従来の背景差分法は入力画像と背景画像との差分を求めるだけなので、背景画像は1枚作成すれば良いが、本研究の提案手法では背景値の分散を用いるため、数

百フレーム間の背景値を持つ背景モデルを必要とする。背景モデルは次の手順で生成する。

step1 移動物体検出を行う画像の過去数百フレーム前から順次オプティカルフローを求める。

step2 オプティカルフローが閾値以下である場合を背景、そうでなければ移動物体であると判定する。

step3 数フレーム間連続して背景であると判定された場合に、その間の値を背景モデルとする。

オプティカルフローは勾配法[5]を用いて求めた。また、生成した背景モデルから平均値を計算し、画像として表したものを図1に示す。図1の(a)は入力画像、(b)が作成した背景である。

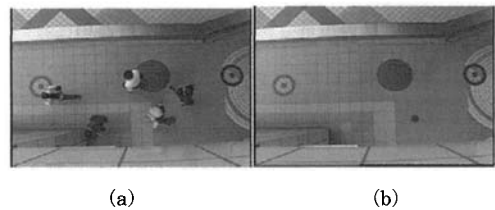


図1：背景モデル

2. 2 分散を用いた背景差分法の改良

実際の撮影環境下では、撮影に用いるカメラが風の影響などによって細かく振動している場合が多い。このため、画像内のエッジ部分では画像のぶれによる濃度値の変化が起こる。この時、従来の背景差分法では閾値を固定しているために、背景物体のエッジ部分も移動物体として誤検出されてしまう(図2参照)。そこで、各画素(座標)において過去数フレーム間の濃度値変化の分散を考慮することで、画像のぶれによる濃度値変化の影響を受けずに移動物体の検出が行える。

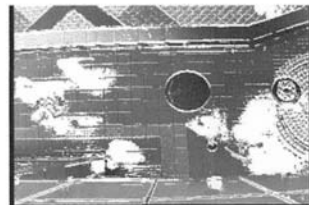


図2：背景差分法におけるノイズの発生

時刻 t における画素 (x, y) の背景モデルの要素数を N 、背景モデルの要素を $B_k(x, y)$ とすると、分散値 $S_t^2(x, y)$ は次式より求められる。

$$\begin{aligned} \mu_t(x, y) &= \frac{1}{N} \sum_k B_k(x, y), \\ S_t^2(x, y) &= \frac{1}{N-1} \sum_k (B_k(x, y) - \mu_t(x, y))^2. \end{aligned} \quad (2)$$

背景モデルから平均値を計算して背景画像を作成し、背景差分によって移動物体の抽出を行う。このとき、次式のように分散値を閾値に反映することで誤検出を減らすことができ、この操作は統計的検定に対応している。

$$Th_t(x, y) = \alpha \cdot S_t(x, y) \quad (3)$$

図3に分散を用いた手法による移動物体領域抽出の結果を示す。図2と比較すると、背景のエッジ部分におけるノイズが減少していることが確認できる。

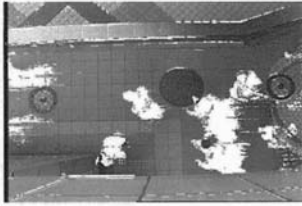


図3：分散を用いた手法によるノイズの減少

2.3 共分散行列の導入

分散を用いた手法では、分散値が大きくなると閾値も大きくなるため、背景のエッジ部分において移動物体を検出できなくなる場合がある。そこで、共分散行列を用いて情報の次元を増やすことで、検出精度を高める。従来、移動物体検出にはオプティカルフローでも背景差分法でも濃淡値画像を用いることが多かったが、ここではカラー画像をそのまま使用する。カラー画像を使用することで、後に述べる移動物体の影の除去も可能となる。

共分散行列は背景モデルを用いて求める。時刻 t における画素 (x, y) の背景モデルを $B_k(x, y)$ とすると、共分散行列 $\Sigma_t(x, y)$ は次式より求める。

$$\begin{aligned} \mu_t(x, y) &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N B_{k-i}(x, y), \\ \Sigma_t(x, y) &= \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (B_{k-i}(x, y) - \mu_t(x, y)) \\ &\quad (B_{k-i}(x, y) - \mu_t(x, y)) \quad (4) \end{aligned}$$

ここから移動物体領域を検出するには、入力画像 $I(x, y)$ と共分散行列とのマハラノビス距離を用いる。マハラノビス距離は次式より求める。

$$\begin{aligned} &(I_t(x, y) - \mu_t(x, y))^T \Sigma_t^{-1}(x, y) \\ &(I_t(x, y) - \mu_t(x, y)) \quad (5) \end{aligned}$$

マハラノビス距離が微小であれば背景、それ以外を移動物体として処理を行う。図4に共分散行列を用いた手法の処理結果を示す。図3と比較すると、画像右下の人物に対して、分散のみでは抽出できなかった領域も共分散行列を使うことで精度良く抽出されていることがわかる。

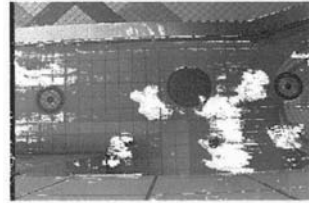


図4：共分散行列を用いた手法

2.4 影部の除去

日照強度が強くなり移動物体の影が濃くなると、影も移動物体領域として検出されてしまい、正確な移動物体領域を検出できなくなる。そこで、カラー画像のRGBの値を要素とした3次元ベクトルを考える。ベクトルの長さは輝度値、ベクトルの方向が色彩を表す。

影領域は、入力画像の輝度が背景画像の輝度に対して暗く、色彩の違いが微小である領域である。そこで、入力画像のベクトルと背景画像のベクトルを比較し、二つのベクトルのなす角度が微小であり、長さが短くなる場合を影として移動物体領域から除去する。座標 (x, y) での入力画像のベクトルを I 、背景画像のベクトルを B とすると、ベクトルの長さはそれぞれ $|I|$ 、 $|B|$

で表され、ベクトルのなす角度 θ は次式で求められる。

$$\cos \theta = \frac{I \cdot B}{|I| \times |B|} \quad (6)$$

図5に影の除去を行う前(a)と除去を行った後(b)の結果を示す。

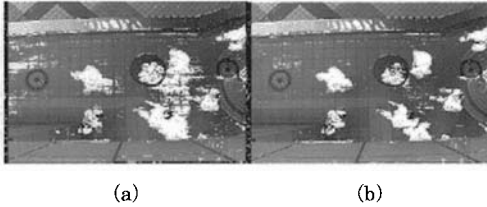


図5：影の除去結果

3. 移動物体追跡手法

移動物体検出の応用として、動画像に対し2.3節で述べた手法で移動物体領域を抽出し、移動物体追跡を行う。本研究では複数台のカメラを用いた移動物体追跡、動画像中の放置物体検出を行った。

3.1 移動物体領域のラベル付け

移動物体の追跡を行うために、抽出された移動物体領域にラベル付けを行う。すでに認識された移動物体領域の位置と現時点の処理で抽出された領域の位置を比較し、重なりがあれば同一の移動物体であると判定する。具体的な処理としては、時刻 t と時刻 $t+1$ で抽出された移動物体領域を比較し、重なりがある領域に同じラベルを付ける。

3.2 連結領域の分割

背景差分法によって抽出された移動物体領域の中には、複数の領域が連結してしまい、それぞれの領域を個別に追跡していくことが困難になる場合がある。この場合、以下の方法で1つの移動物体領域のサイズを定義し、そのサイズに従って領域を強制的に分割する。

背景作成時に用いた数百枚の画像に対してオプティカルフローを求め、フローベクトルの大きさがある閾値以上である画素の連結領域に従ってヒストグラムを作成する(図6参照)。このヒストグラムから1つの移動物体領域と複数の移動物体領域が連結した領域、

またその他のノイズとの境界線を導き出し、1つの移動物体領域とみなされた領域の幅、高さ、輪郭の長さの平均を動画像中の移動物体のサイズと定義する。

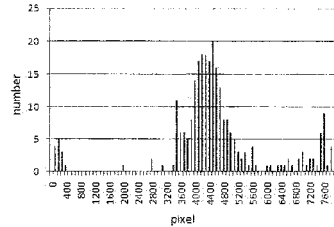


図6：連結画素領域のヒストグラム

3.3 複数台のカメラを用いた移動物体追跡

複数台のカメラを用いて移動物体の追跡を行い、動線解析を行う。カメラの設置条件として、カメラ0からカメラ1へ、カメラ1からカメラ2へとというように順に視野に重なりがあり、視野内には射影変化を行うために必要な4組の対応点が得られるものとする。

複数台のカメラに対して移動物体の追跡を行うためには、まず、3.1節で述べた手法でそれぞれのカメラにおいて時刻 t と時刻 $t+1$ で抽出された移動物体領域に対し同じラベルを付ける。次に、注目しているカメラに隣接する(撮影領域に重なりのある)カメラに対し、注目しているカメラに対応するように射影変換を行い、その領域内で重なりのある領域に同じラベルを付加する。

3.4 放置物体検出と放置者追跡

2.1節で述べた手法で背景画像を作成すると、静止した物体、つまり放置された物体も背景の一部となる。ここで、放置物体や静止した移動物体がないと仮定して作成した基準背景を用意し、画像を読み込むごとに動的に更新していく背景との差分をとることで、放置物体を検出することができる。このとき、静止した移動物体領域も検出されてしまうが、移動物体にはラベルが付けてあるためその領域を除外することができる。図7の(b)は放置物体が背景の一部となった画像である。この画像と基準背景(a)との差分をとることにより放置物体を検出することができる。

放置物体が検出された領域に基準背景を当てはめ、

その領域のみに注目する。処理中の画像から時刻をさかのぼって元画像を読み込んでいき、物体が放置される直前のフレームを検出する。次に、この検出されたフレームの 10 フレーム後を物体が放置された時点として検出する。その後、放置物体が検出された領域と放置された時点の画像とを比較し、放置物体領域との重なりが最も多い人物領域を放置者として認識する。

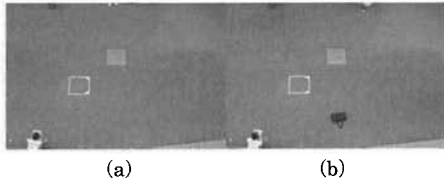


図 7：基準背景と動的背景

4. 実験結果と考察

実験では撮影間隔 1/30 秒のビデオカメラで撮影された画像を用い、処理時間短縮のため画像サイズを 720×480 から 360×240 に縮小して使用した。

4.1 移動物体検出

頭上から歩行者を撮影した画像データを用い、従来手法と提案手法の移動物体領域の抽出性能を比較した。図 8 に従来の背景差分法(a)と共分散行列を用いた提案手法(b)での処理結果を表す。処理結果にはラベリング処理の結果を枠で囲って表してある。ただし、ノイズの発生状況も比較するために、ラベリング処理時にノイズとして除去された領域も表示している。

図 8 の処理結果を見てみると、従来の背景差分法(a)では人物領域は正しく抽出されているが、人物の影も抽出されてしまっている。また、背景のエッジ部分にカメラのぶれによるノイズが発生している。提案手法(b)では人物領域が正しく抽出され、個人個人を正しく検出できている。また、提案手法では人物の影の影響も受けていないことがわかる。この結果から、従来手法に比べて提案手法は移動物体領域の抽出精度が高いことが確認できた。

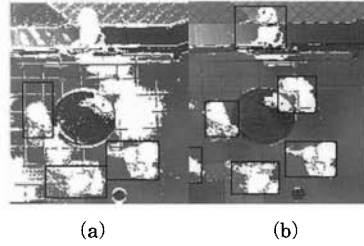


図 8：提案手法による移動物体検出結果

4.2 複数カメラによる移動物体追跡

3.3 節で述べた条件を満たすように設置した 3 台のカメラで撮影した 27 秒間の映像を処理した。各カメラの画像において射影変換を行うための対応点の座標(図 9 の黒丸と白丸)は手入力で与えた。人物の追跡結果として図 10 のような軌跡を得た。

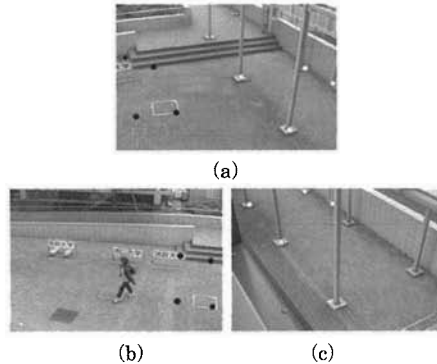


図 9：各カメラにおける対応点

この軌跡は実際に人物が通った軌跡と一致し、本システムで人物の移動が正しく追跡できることが確認できた。

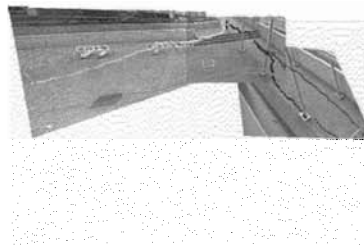


図 10：複数カメラによる移動物体追跡結果

4. 3 放置物体検出と放置者追跡

1 分間 (1800 枚) の画像に対し, 放置物体の検出と放置者, 拾得者の追跡処理を行い, 検出した物体放置者・拾得者のラベル番号, 放置時間, 放置 (拾得) 場所をもとに放置者・拾得者の行動軌跡を描いた画像を図 1 1 に示す. 図の左上方の軌跡は放置者の軌跡で, 実際は放置者は視野外に出ているがこの処理結果では U ターンしているように認識されている. これは視野内に入ってくる別の人物とすれ違った後に視野外に出ってしまったためである.

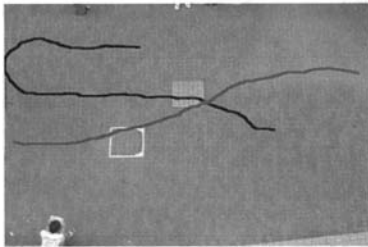


図 1 1 : 放置物体の検出と人物の軌跡

5. むすび

背景差分法を基に, カラー情報を用いた人物の影領域除去を行い, 共分散行列を用いることでノイズに強く抽出精度の高い移動物体検出手法を提案した. 従来の背景差分法との比較実験をした結果, より正確に領域を検出することができた. また, 移動物体検出の応用として, 複数のカメラを用いた移動物体追跡, 及び放置物体検知を行い, 実験結果からシステムの有用性を確認した. 本研究では人物があまり込み合っていない映像を使用した, 人物が込み合っている場合では多人数に対応した人物領域の分割手法や, 背景作成手法の開発が必要になる. また, 斜め上方から撮影した場合には, 人物の重なりが頻繁に発生すると考えられる. このため, 移動物体領域が重なった場合の移動物体認識手法の開発も今後の課題である.

参考文献

- [1]長井 敦, 久野義徳, 白井良明, “複雑変動背景下における移動物体の検出,” 信学論 (D-II), No.5, pp.1086-1095 (1997).
- [2]筒井秀樹, 白井良明, 三浦 純, “オプティカルフ

ローを用いた複数動物体の実時間追跡,” 題 41 回システム制御情報学会研究発表講演会公演論文集.

- [3]天本尚弘, 藤井明弘, “画像処理技術による障害物検出と移動物体追跡方法,” 電子情報通信学会論文誌, No.1, pp.527-535.

- [4]岡田隆三, 谷口恭弘, 小野口一則, “時間評価型オプティカルフローの検出,” 電子情報通信学会論文誌, No.1, pp.52-62.

- [5]Horn, B. K. P. and Schunk, B. G. , “Determining Optical Flow,” Artificial Intelligence, Vol.17, pp.185-203(1981).

- [6]布施孝志, 清水英範, 堤盛 人, “オプティカルフロー推定における光学勾配法の比較分析,” 応用測量論文集, Vol.11.

- [7]関真規人, 和田俊和, 藤原秀人, 鷺見和彦, “背景変化の共起性に基づく背景差分,” MIRU2002 論文集, Vol.2.

- [8]島田竜也, 河口尚宏, 加賀健太, 山田博三, 森晃 徳, “屋内侵入者見地のための動的背景抽出法,” 信学論 (D-II), No.10, pp.2054-2068 (2005).

- [9]境田慎一, 苗村昌秀, 金次保明, “背景差分法と時空間 watershed による領域成長法を併用した動画像オブジェクトの抽出,” 電子情報通信学会論文誌, No.12, pp. 2541-2555 (2001).

- [10]今村弘樹, 剣持雪子, 小谷一孔, “外挿予測を用いた遮へい・発生領域におけるオプティカルフロー推定,” 電子情報通信学会論文誌, No.8.