

背景差分を応用した車両抽出

魯 曉鋒 堀江 忠裕* 泉 隆 藤 琳 (日本大学)

A Novel Background Subtraction for Moving Vehicle Detection
Xiaofeng Lu, Tadahiro Horie*, Takashi Izumi, Lin Teng (Nihon University)

Background subtraction is a method typically used to segment moving vehicles in image sequences taken from a static camera by comparing each new frame to a model of the scene background. This paper presents a robust background subtraction algorithm, which reduces the influence of illumination changes and shadow, and adapts to the rapid changes in traffic scene. A statistical background modeling method is proposed, which bases on histogram at pixel level and produces a color model from a series of frames. We use the Choquet integral to fuse three color components and uniform local binary pattern texture similar measures for foreground detection. Finally, we propose an adaptive background maintenance method. The experimental results of several dataset videos show that the proposed method is more efficient, robust and accurate than classical approaches.

キーワード：背景差分，車両抽出，背景更新，シヨケ積分

(Background Subtraction, Vehicle Detection, Background Maintenance, Choquet Integral)

1. はじめに

近年，自動車保有台数の増加に伴い，渋滞・環境汚染などの様々な道路交通に関する問題が深刻化している．これらの問題に対し自動車交通を情報化することでドライバに対し道路交通情報などを提供するシステムが実用化されており，ITS(Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム)においても重要な研究分野の一つとなっている．道路交通情報収集のために利用される道路交通情報センサは超音波式車両感知器や光ビーコン，画像式車両感知器などが挙げられる．これらのうち画像式車両感知器は，複数の車線の交通流をカメラ 1 台で計測可能であることや小型で設置が容易であり多くの情報量が得られるなどの特徴・利点である．このことから本研究では画像式車両感知器を用いた交通流計測を検討している．画像処理による交通流計測の要件として，正確な車両抽出が可能で，照明変動，交通渋滞に強いことが求められる．また，できるだけアルゴリズムの計算コストは低いことが好ましい．これらを踏まえ本研究での車両抽出には，正確な動物体抽出が可能で低計算コストである背景差分法に着目している．この背景差分法のアルゴリズムは，初期背景画像取得，動物体抽出，背景画像更新の 3 つの処理に大別される．本報告では，これまで提案されてきた背景差分法の種々の手法を組み合わせ，一部を改良することで従来の背景差分による車両抽出よりも正確な車両抽出手法を提案し，その有用性を示す．

本稿では，まず第 2 章で関連研究について述べ，第 3 章

で初期背景画像取得手法について述べる．第 4 章では動物体抽出手法を述べ，第 5 章で背景画像更新手法を提案する．そして，第 6 章の実験により提案手法の有用性を明らかにする．

2. 関連研究

背景差分法による車両などの動物体抽出手法はこれまで多くの研究が行われてきた．一般的な背景差分法では，初期背景画像取得処理のみを考慮している．これは，初期背景画像取得後に現フレームと初期背景画像との単純な差分により動物体抽出を行うものである．初期画像精製手法として，動物体を含まない背景画像を予め取得しておく手法，数フレーム間の画素の平均値を用いる手法，画素の中央値を用いる手法などがある．これらの手法は，背景が常に変化する実道路環境では適用できない．実道路環境に対応するため，背景の特徴に着目した統計的な初期背景画像取得手法が提案され，成果を上げている⁽¹⁾．次に動物体抽出処理においては，現フレーム画像と背景画像との色特徴量類似度をシヨケ積分により統合する手法がある⁽²⁾．この手法では色特徴量のみの類似度を考慮するため，車両と路面で色が似ている場合に対応できないという問題がある．最後に背景画像更新処理においては，現フレーム画像と現在の背景画像を組み合わせる次の背景画像を作成する選択的背景更新手法が提案されている⁽³⁾．この手法は予め固定の重みを設定する必要があり，照明変動に弱いという欠点がある．

本研究では，初期背景画像取得処理には文献(1)の手法を

用いる。動物体抽出では文献(2)の手法に加えテクスチャ特徴量を加味し、さらにシヨケ積分により特徴量を組み合わせる。背景画像更新処理では、文献(3)の手法を改良し、動的に背景画像更新を行う手法を提案する。

それぞれの手法を以降の章で述べる。

3. 初期背景画像取得処理

画像に対して、鉛直方向に y 軸を取り、水平方向に x 軸を取る直交座標系を定義する。以降、本稿では画像の座標をこの直交座標系で考えるものとする。

本章では、照明変動に強い初期背景画像取得手法について述べる。この処理は文献(1)の手法を用いる。以降にこの手法について述べる。

画像センサから得られる画像の表色系は RGB 表色系である。この RGB 表色系は照明変動が生じた際に R,G,B 全ての要素が変動するため扱い難い。そこで、照明変動の影響を小さく抑えることができる YCbCr 表色系を用いる。次に、初期背景画像の取得法について述べる。本研究で対象とする動画像では、ある画素 (x,y) に着目したとき、大半のフレームは背景画素が占める。このことから、初期背景画像を構成する画素 $B(x,y)$ を式(1)により求め、初期背景画像とする。

$$B_{(x,y)} = \left(\begin{array}{c} \operatorname{argmax} [f_{(x,y)}^{(Y)}(Y)], \\ \operatorname{argmax} [f_{(x,y)}^{(Cb)}(Cb)], \operatorname{argmax} [f_{(x,y)}^{(Cr)}(Cr)] \end{array} \right) \quad (1)$$

ここで、式(1)中の $f_{(x,y)}^{(A)}(A)$ とは、ある T フレーム間における座標 (x,y) の画素の画素値 (A) の分布を表し、 $\operatorname{argmax}[B]$ は、 B の最大値を求める関数である。つまり、 T フレーム間において、YCbCr それぞれ最も出現頻度が高いものを初期背景の画素とする。

4. 動物体抽出処理

動物体抽出処理は文献(2)の手法を改良して用いる。以下に、動物体抽出手法について述べる。

現フレーム画像のうち、背景にあたる画素は背景画像の画素とほぼ一致する。これに対し、動物体にあたる画素は背景画像の画素とほとんど一致しない。このことから現フレーム画像と背景画像との 2 画素間で類似度を算出することで現フレーム画像中から背景画素と動物体画素の判断を行うことができる。2 画素間の類似度を比較するうえで、特徴量が必要となるが、文献(2)では色特徴量を用いている。文献(2)の特徴量に加え、本研究ではテクスチャ特徴量の類似度を組み合わせる。これは、色特徴量類似度だけでは、背景画像と動物体の色が類似する可能性があるためである。このテクスチャ特徴量は注目画素の周辺との画素値の差異、つまり画素値の凹凸を定量的に表すものである。このためテクスチャ特徴量を用いることで、注目画素が路面と色が似た車両部分画素の場合でも、路面と異なったテクスチャ特徴量が得られる。これは車両自体に画素値の差異が存在するためである。

取得した色特徴量類似度 3 つとテクスチャ特徴量類似度 1 つ、計 4 つの類似度の組み合わせを線形和ではなく、文献(2)同様、シヨケ積分を用いる。以降の節でそれぞれ述べる。

〈4・1〉 色特徴量類似度 初期背景画像取得処理と同様、表色系は YCbCr 表色系を用いる。現フレームにおける画像の画素 (x,y) における色特徴量類似度 $S_k(x,y)$ は式(2)より求める。

$$S_k(x,y) = \begin{cases} \frac{C_k^I(x,y)}{C_k^B(x,y)} & \text{if } C_k^I(x,y) < C_k^B(x,y) \\ 1 & \text{if } C_k^I(x,y) = C_k^B(x,y) \\ \frac{C_k^B(x,y)}{C_k^I(x,y)} & \text{if } C_k^I(x,y) > C_k^B(x,y) \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中の $k \in \{1,2,3\}$ は色成分 Y,Cb,Cr($k=1:Y, k=2:Cb, k=3:Cr$)それぞれに対応し、 $C_k^I(x,y)$ と $C_k^B(x,y)$ は時刻 t での現フレーム画像と背景画像のそれぞれの画素値を表す。

$0 \leq S_k(x,y) \leq 1$ であり、 $S_k(x,y)$ は $C_k^I(x,y)$ と $C_k^B(x,y)$ が類似しているほど 1 に近い値をとる。求めた類似度 $S_k(x,y)$ は S_1 が色成分 Y の類似度、 S_2 が色成分 Cb の類似度、 S_3 が色成分 Cr の類似度を表す。

〈4・2〉 テクスチャ特徴量類似度 テクスチャ特徴量は計算コストが低く、照明変動に頑健で回転不変性を持つという利点から、ULBP(Uniform Local Binary Pattern)特徴量⁽⁴⁾を用いる。ULBP 特徴量は注目画素に対し、半径 R の円とその円上の K 個の近隣画素値を定義しておく。 K 個の画素値と円の中心である注目画素との差をとり、ほかの円上の画素との差を比較することで ULBP 特徴量を算出する。なお、注目画素である円の中心の画素が ULBP 特徴量となる。画素値そのものを扱わず、 K 個の近隣画素値を考慮するため、照明変動に対して頑健であり円上で回転があった場合でも不変である特性を持つ。ULBP 特徴量によるテクスチャ特徴量類似度は式(3)のように定義する。

$$S_4(x,y) = \begin{cases} \frac{I_T(x,y)}{B_T(x,y)} & \text{if } I_T(x,y) < B_T(x,y) \\ 1 & \text{if } I_T(x,y) = B_T(x,y) \\ \frac{B_T(x,y)}{I_T(x,y)} & \text{if } I_T(x,y) > B_T(x,y) \end{cases} \quad (3)$$

$I_T(x,y)$ と $B_T(x,y)$ は現フレーム画像と背景画像における画素 (x,y) における ULBP 特徴量をそれぞれ表す。

$0 \leq S_4(x,y) \leq 1$ であり、 $S_4(x,y)$ は $I_T(x,y)$ と $B_T(x,y)$ が類似しているほど 1 に近づく。

〈4・3〉 シヨケ積分による類似度の統合 前述した 4 つの類似度から現フレーム画像に写る動物体と背景の判別を行うことで車両抽出を行う。ここで、4 つ全ての類似度が高いものは背景であるといえる。一方で 1 つでも類似度が低いものは動物体であると考えられる。このことから全ての類似度が高いものは背景画素として重視、1 つでも低い値がある場合は背景画素として軽視してよいと考える。そこで、これらを満たすシヨケ積分(ファジィ積分)を類似度の統合に用いる。シヨケ積分について以降に述べる。

まず、各要素(本稿では類似度にあたる)をファジィ測度によって重み付けし、評価値を算出する。そして、この評価値を要素数だけ足し合わせて総合評価値を算出する。

シヨケ積分は、式(4)より求められる。

$$Ch = \sum_{i=1}^N g_i \cdot (f_i(x, y) - f_{i-1}(x, y)) \quad (4)$$

ここで、(4)式中の N とは、統合したい要素数を表す。本研究では類似度の数が4つであるから、 $N=4$ である。また、 g_i とはファジィ測度を表し、 $0 \leq g_i \leq 1$ の範囲をとる。本研究では試験的に $g_i = [0.6 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.1]$ とする。また、 $f_i(x, y)$ は式(2),(3)にて求めた画素 (x, y) における各類似度 $S_k (k \in \{1, 2, 3, 4\})$ から求める。 $S_k (k \in \{1, 2, 3, 4\})$ の値により、予め $S_k (k \in \{1, 2, 3, 4\})$ を昇順に並び替えたものを順に $f_1 \sim f_4$ まで代入する。

求めた Ch があるしきい値未満ならば動物体（車両）として抽出する。

5. 背景画像更新処理

実道路環境では、照明変動が必ず起こり得る。背景差分法は照明変動の影響により動物体抽出が正しく行われなため背景を更新することで対応を図る。以下では、従来の背景更新手法を整理し、提案手法を述べる。

〈5・1〉 従来の背景画像更新手法 従来用いられてきた背景画像更新手法は固定的背景更新手法と選択的背景更新手法に大別できる⁽³⁾。まず固定的背景更新手法は更新後の背景画像上に車両のゴーストが発生する問題がある。車両のゴーストが発生する要因は現フレームの画像全体を背景画像と組み合わせるためである。このゴーストを抑制するため、現フレームの画像に重みを付けて背景画像と統合する選択的背景更新手法が提案されている。選択的背景更新手法は式(5)のように定義される。

$$CB_{n+1} = a_n \cdot IB_n + (1 - a_n) \cdot CB_n \quad (5)$$

ここで、 CB_n は現フレームの背景画像、 IB_n は現フレームで作出す画像、 a_n は予め決めておいた固定の重みを表す。 IB_n は式(6)により求める。

$$IB_n(x, y) = \begin{cases} F_n(x, y) & \text{if } MP(x, y) = 0 \\ CB_n(x, y) & \text{if } MP(x, y) = 1 \end{cases} \quad (6)$$

$MP(x, y)$ は、4章の動物体抽出処理にて抽出した動物体領域の画素を1、それ以外を0とするものである。 $F_n(x, y)$ は現在使用している背景画像 F_n の座標 (x, y) における画素値を表す。

この選択的背景更新手法は固定の重みを用いるため、照明変動に弱いという欠点がある。そこで、選択的背景更新手法の重み a_n を動的に求める式を定義し、これを適応的背景更新手法として提案する。

〈5・2〉 適応的背景更新手法 a_n は現フレームで照明変動が大きいとき、現フレーム画像を背景に大きく適用させるのが好ましい。また、照明変動が小さいときは、これまで用いてきた背景が理想的なものとして扱うため、現フレームの画像を大きく考慮しないのが好ましい。このことから、式(5)より、照明変動が大きいときは a_n を大きく、照明変動が小さいときは a_n を小さくすればよい。以上より a_n は式(7)のように定義する。

$$a_n = 0.9 \times a_{n-1} + 0.1 \times a_{inst_n} \quad (7)$$

式(7)中の a_{n-1} は1フレーム前の a_n である。 a_{inst_n} の求め方について記す。まず、現フレームと前フレームで動物体として抽出された領域以外の面積、つまり Fig.1 中の白画素以外の画素数を A とする。次に先ほどの白画素以外の輝度値の差分値を輝度値の最大値で正規化し、合計値を算出したものを B とする。そして a_{inst_n} を B/A として求める。こうすることで、照明変動が大きければ B が大きくなるため、 a_{inst_n} も大きくなることになる。なお $0 \leq a_{inst_n} \leq 1$ である。なお、背景画像更新処理は初期背景画像取得後に毎フレーム行う。



Fig.1 Moving object region of the current frame and previous frame

6. 実験

本研究で提案した手法の有効性を検証するために初期背景画像取得、動物体抽出、背景画像更新の3つの処理に分けて実験結果を示す。実験は4つのテストセットにより行う。シーン I とシーン II は歩道橋上でカメラを固定して撮影した実道路の動画である。シーン III は PETS2001 データセット⁽⁵⁾を用いたもので、シーン IV は ATON プロジェクトのテストデータ⁽⁶⁾である。

〈6・1〉 初期背景画像取得実験 実験結果を Fig.2 に示す。実験結果より、歩行者や停止車両を含んでいるようなシーンにおいても歩行者は動物体、停止車両は背景として初期背景を取得できていることがわかる。

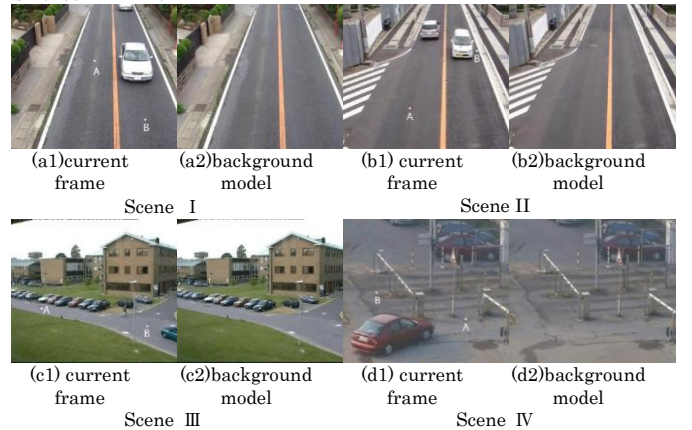


Fig.2. Experimental results by the four initial background scene image acquisitions

〈6・2〉 動物体抽出実験 動物体（車両）抽出実験では、3つの異なる手法を用いて同じ動画で比較実験を行う。実験結果を Table.1 と Fig.3 に示す。真の動物体領域との一致率 $S(A, B)$ は式(8)のように定義する。ここで、 A は抽出した動物体領域で、 B は真の動物体領域を表す。Table.1 より提案手法が最も正確に抽出できていることがわかる。

$$S(A, B) = \frac{A \cap B}{A \cup B} \quad (8)$$

〈6・3〉 背景画像更新実験 背景画像更新実験では、固定的背景更新手法、選択的背景更新手法、適応的背景更新手法の比較を行う。動物体抽出には提案手法を用いた。Table.2 および Fig.4 に実験結果を示す。Table.2 中の真の動物体領域との一致率 $S(A, B)$ は式(8)より算出する。Table.2 より従来用いられてきた固定的背景更新手法、選択的背景更新手法に比べて、提案手法が最も正確に抽出できていることがわかる。以上のことから、提案手法は有用であるといえる。

Method comparison	$S(A, B)$ [%]
classic background subtraction	66.00
Mixture of Gaussians	50.72
proposed method	81.20

Maintenance method	$S(A, B)$ [%]
Blind Maintenance	76.65
Selective Maintenance	77.74
Adaptive Maintenance	81.20

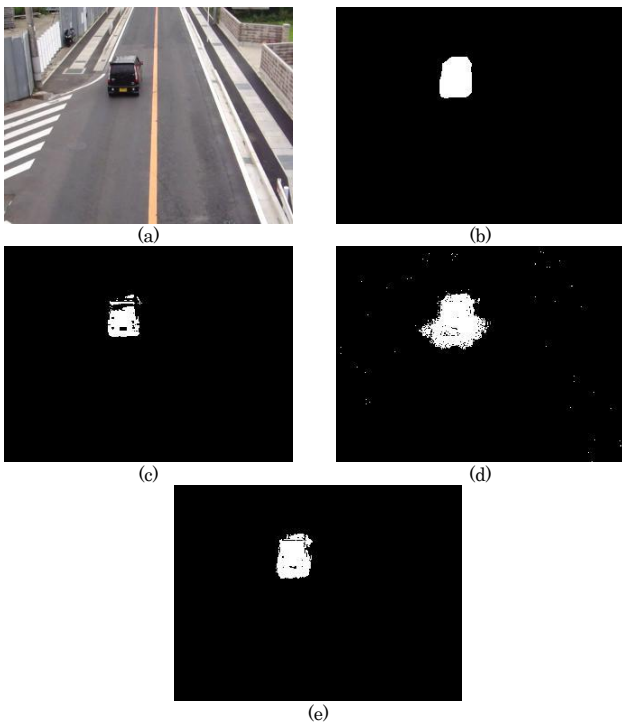


Fig.3 Result of vehicle detection.

(a) the current frame, (b) the ground truth, (c) the result of classic background subtraction, (d) the result of Mixture of Gaussians, (e) the result of proposed method.

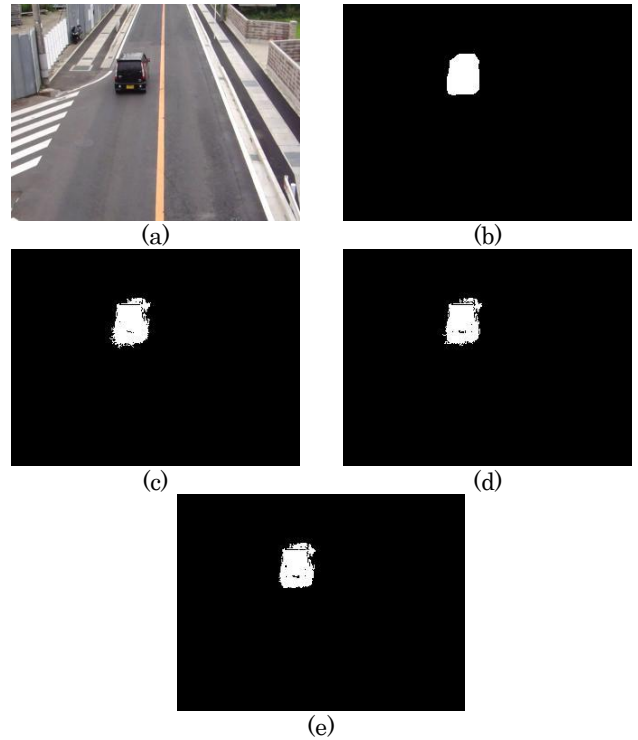


Fig.4 Comparison of maintenance methods.

(a)the current frame, (b)the ground truth, (c)Blind Maintenance, (d) Selective Maintenance,(d) Adaptive Maintenance

7. まとめ

本研究では成果を上げている他の研究アルゴリズムを組み合わせ、かつ一部を改良することで、背景差分を応用した新手法を提案した。初期背景画像取得処理ではフレーム画素の統計から求める手法を用いた。この手法により安定した初期背景画像の取得が行えた。動物体抽出処理では従来用いられてきた色特徴量類似度にテクスチャ特徴量類似度を加え、シヨケ積分による統合を行った。この手法により従来よりも正確に車両領域の抽出が行うことができた。背景更新では車両のゴーストを抑制できる選択的背景更新手法を基に、照明変動に対して適応的な手法を提案した。そして、実験により本提案手法が従来手法に比べて有用であることを示した。

文 献

- (1) Y. Narukawa, T. Murofushi: "Decision Modelling Using the Choquet Integral", Modeling Decisions for Artificial Intelligence 2004, Vol. 3131, pp. 183-193 (2004)
- (2) F. ELBaf, T.Bouwman, and B.Vachon: "A fuzzy approach for background subtraction", In 15th IEEE International Conference on Image Processing, pp.2648-2651 (2008)
- (3) N.A.Mandellos, I.Keramitsoglou, C.T.Kiranoudis: "A background subtraction algorithm for detecting and tracking vehicles", Expert Systems with Applications, Vol.38, pp.1619-1631 (2011)
- (4) T.Ojala, M.Pietikäinen, T.Mäenpää: "Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns", IEEE transaction on pattern analysis and machine intelligence, Vol.24, No.7, pp. 971-987 (2002)
- (5) PETS2001 Dataset: <http://www.cvg.cs.rdg.ac.uk/PETS2001/>
- (6) ATON Project Tested Dataset: <http://cvrr.ucsd.edu/aton/shadow/>