

対面通行トンネルにおける停止車両検出 －高輝度領域抽出に基づく停止車両検出－

鈴木 美彦[†] 木下 晴喜[‡] 馬場 賢二[†]

[†] 株式会社東芝 電力・社会システム技術開発センター 〒191-8555 東京都日野市旭が丘 3-1-1

[‡] 株式会社東芝 社会システム事業部 〒105-8001 東京都港区芝浦 1-1-1

E-mail: [†] {yoshihiko2.suzuki, kenji2.baba}@toshiba.co.jp, [‡] haruki.kinoshita@toshiba.co.jp

あらまし 高速道路及び一般道路のトンネルへの交通流監視用画像処理システムの導入が進んでいる。対面通行トンネル向け画像処理システムでは、監視カメラに向かって来る車両のヘッドライトの影響で、監視映像の輝度が飽和し易く、事象の検出が困難になるという問題がある。そこで本稿では、対面通行トンネル内を走行する車両のヘッドライトの影響を受けずに停止車両を検出する画像処理手法を提案する。

キーワード 対面通行トンネル, ハレーション, 高輝度領域, フレーム間差分, 光源推定, 車両の流れ検出

Accidental Car Detection on Two way Traffic Tunnel － Accidental Car Detection Based on High-Brightness Region Extraction －

Yoshihiko SUZUKI[†] Haruki KINOSHITA[‡] and Kenji BABA[†]

[†] Power & Industrial Systems Research & Development Center, TOSHIBA Corporation 3-1-1 Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo, 191-8555 Japan

[‡] Infrastructure Systems Div., TOSHIBA Corporation 1-1-1 Shibaura, Minato-ku, Tokyo, 105-8001 Japan

E-mail: [†] {yoshihiko2.suzuki, kenji2.baba}@toshiba.co.jp, [‡] haruki.kinoshita@toshiba.co.jp

Abstract The adoption of traffic surveillance systems by which sudden events occurring on the road can be detected is increasing in number for the safety in general road tunnels as well as expressway ones. As contours of cars in images are blurred by halation caused by oncoming car's headlight on two-way traffic tunnels, it tends to be more difficult to detect accidental cars. The image processing technique that can stably detect accidental cars on two-way traffic tunnels free of influence from oncoming car's headlight is proposed.

Keyword Two way Traffic Tunnel, Halation, High-Brightness Region, Frame Difference, Light Source Estimation, Traffic Flow Detection

1. まえがき

ITS(高度道路交通システム)の一環として、道路の交通流監視を目的とした画像処理システムの導入が進められている。

事故発生時に迅速な対応を求められる長大トンネルでは、監視員による監視カメラ映像の24時間監視に加え、画像処理システムによる監視も行われ、突発事象の早期発見を実現している。

従来は、主として一方通行の高速道路のトンネルに画像処理システムが導入されてきたが、近年は、対面通行の高速道路及び一般道路のトンネルにも画像処理システムが導入されるケースが増えてきている。

高速道路等の一方通行道路では、一般的に、1台のカメラで監視エリア内の車両を後方から撮像する単眼監視の形態をとる。後方撮像の場合、走行する車両の

ヘッドライトの影響は比較的小さく、車両の輪郭抽出を基本とする画像処理アルゴリズムを適用し易い。単眼監視では、フレーム間差分法、背景差分法、エッジ検出法、高輝度領域抽出法(ブレーキランプ検出他)等の代表的な画像処理アルゴリズム^{[1]~[8]}により画像中の車両を検出する。

一方、対面通行道路の場合、カメラに向かって走行する車両のヘッドライトの影響で、車両の輪郭を正常に検出できない場合があり、前述の従来手法の適用が困難となる。

トンネル内で停止した車両は、危険を回避する為にハザードランプを点滅させることから、画像中で輝度の高い領域(高輝度領域)を抽出することで停止車両を検出する方式が有効であると判断した。

本稿ではトンネル内の多様な事象の中で重要度の高い車両の停止状況を検出対象とし、車両の輪郭抽出に

基づく従来手法ではなく、画像中の高輝度領域に着目することで、対面通行トンネル内を走行する車両のヘッドライトの影響を受けずに停止車両を検出する手法を提案する。

2. 対面通行トンネル監視の特徴

トンネルには、一方通行道路と対面通行道路の2つの種類がある。一方通行道路では、道路を走行する車両を後方から撮像する為、走行する車両のヘッドライトによる影響は小さく、画像の輝度は比較的安定している。その為、ヘッドライトが車両の検出性能を低下させる要因となることは少ない。一方、対面通行道路では、第二車線を走行する車両のヘッドライトの光が監視カメラの方向を向く為、ハレーションが発生し、画像の輝度が大きく変動する場合がある。その結果、車両の輪郭が不明瞭になる、輪郭が全く見えないという状況が起こり、画像中の車両の検出が困難になる。ここで、対面通行道路の車線を下記のように定義する(図1参照)。

第一車線：監視カメラから遠ざかる方向に車両が走行する車線

第二車線：カメラに向かって車両が走行する車線

道路監視を目的としたシステムでは、逆光でも物体を適切に撮像できる特殊なワイドダイナミックレンジカメラが使われることは殆どなく、一般的なITV(Industrial Television)カメラが使用される。特に、機種が古い既設カメラへの展開を図る場合、ダイナミックレンジが狭く、ハレーションが発生し易い為、車両の検出が難しい。

以下に、対面通行トンネルの停止車両検出を困難にする要因を整理する。

- (1) 第二車線を走行する車両のヘッドライトに起因するハレーションが発生し、車両の輪郭検出が困難になる。特に、第二車線上を複数台の車両が連なって走行する場合、ヘッドライト光の影響でハレーションが発生し易く、複数台の車両が1つの大きな光の塊になる。その結果、車両が走行しているか停止しているか判別が困難になる(図2参照)。
- (2) 第二車線を車両が走行すると、それらのヘッドライトがセンターラインを超えて第一車線の路面を照射し、第一車線の路面上に小さな高輝度領域が出現する。本稿は、車両のブレーキランプ他の高輝度領域を抽出することで停止車両を検出する方式である為、停止車両を精度良く検出するには、

第二車線を走行する車両のヘッドライトに起因して出現する第一車線上の高輝度領域と、第一車線に停止した車両のブレーキランプ等の判別が必要になる(図3参照)。

- (3) ハザードランプを点滅した車両が停止する場合、画像の輝度が大きく変化する。同様に、車両が走行する場合も輝度が大きく変化する。ハザードランプを点滅した停止車両を精度良く検出する為には、画像の明るさが大きく変化する上記2つのシーンの判別が必要になる。

上記(1)～(3)の判別が困難な為、停止車両の誤検出、未検出が発生し易い。

参考の為に、図4に対面通行トンネル内の停止車両が発生したシーンを示す。

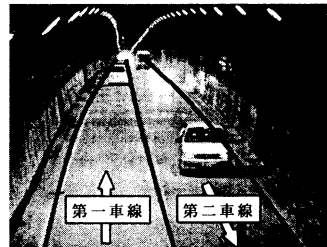


図1 対面通行道路の車線

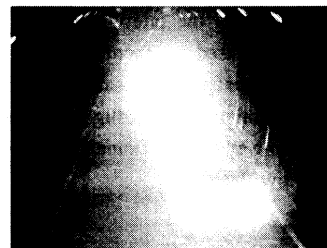


図2 ハレーションの発生

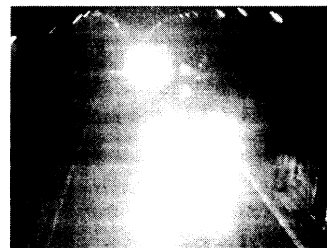


図3 第二車線のヘッドライト光の第一車線への照射



図4 第一車線停止車両

3. 対面通行トンネルにおける停止車両検出

3.1 停止車両検出処理概要

2. で述べた様に、対面通行トンネルでは走行する車両のヘッドライトの影響で車両の輪郭を安定的に検出することができない。

そこで、本手法では、車両の輪郭を抽出するのではなく、画像中で輝度の高い領域、ヘッドライト、ブレーキランプ、車両本体のトンネル内照明の反射等を抽出することで、停止車両を検出する。

本手法の全体的な処理の流れを図5に示す。定周期で時間平均画像を作成し、本画像中の高輝度領域を停止車両候補領域として抽出する。一方、フレーム間差分処理に基づく車線単位の車両の動き検出を行う。

上記2つの処理結果に基づき、車両の流れの無い車線で抽出された高輝度領域が一定時間以上継続して同一位置に検出された場合、停止車両が存在すると判定する(図6参照)。

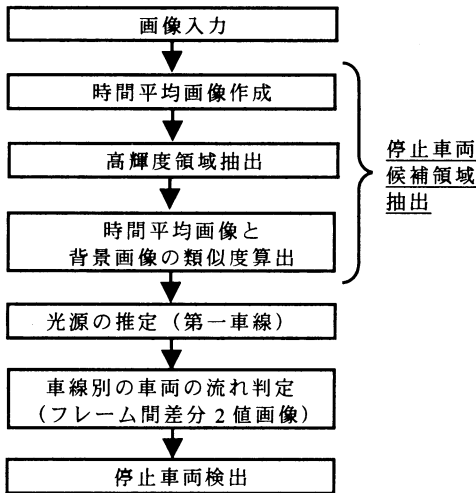


図5 停止車両検出処理フロー

3.2 停止車両候補領域抽出

画像中の走行車両と停止車両を区別する為、入力画像を一定時間蓄積し、それらの平均をとった時間平均画像を作成する。本手法は、ブレーキランプ、ヘッドライト他の照明(輝度が大きい領域)を点灯した状態で停止した車両を検出対象とすることから、時間平均画像中で輝度が大きい領域を抽出する。

抽出した領域において、正規化相関演算に基づき、時間平均画像と背景画像の類似度を算出する。類似度の値が閾値以上の領域は、背景画像と類似していると判断し、停止車両候補領域から除外する。それ以外の領域を停止車両候補領域とする。

本処理では、車両のヘッドライトが路面反射することで検出された高輝度領域を停止車両候補領域ではないと判断し除去している。具体的な除去方法については後述する。

第二車線を複数台の車両が走行する場合、それらのヘッドライトがセンターラインを超えて第一車線の路面を照射する場合が多い。そのようなシーンでは、時間平均画像において、第一車線上にブレーキランプと大きさが類似した、幅、高さが数画素の高輝度領域が出現する。その為、第一車線の停止車両のブレーキランプと第二車線を走行する車両のヘッドライトによる第一車線の路面照射を判別する必要がある。第二車線を走行する車両のヘッドライトが第一車線の路面を照射した領域を、第一車線の停止車両と誤判定することを抑制する為、3.3で述べる光源の推定を行う。

なお、トンネル内の照明等は停止車両検出において外乱となる為、それらの高輝度領域を予め検出対象エリアから除いておく。

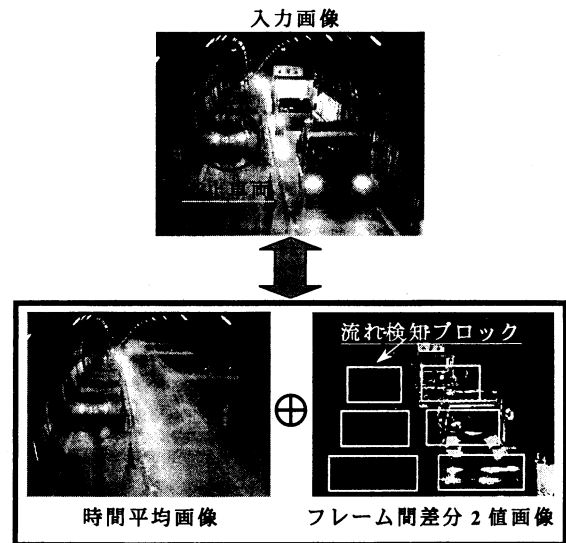


図6 停止車両検出処理

3. 3 光源の推定

時間平均画像から抽出した第一車線の高輝度領域である停止車両候補領域を第二車線側に広げた拡大領域を考える(図7参照)。拡大領域は、高輝度領域の光源が第二車線を走行する車両のヘッドライトなのか、第一車線上の停止車両のブレーキランプなのか判別する為の領域である。停止車両候補領域が、第二車線の走行車両のヘッドライトに起因する場合、停止車両候補領域よりも拡大領域の方が光源に近い分だけ明るいと考えられる。一方、停止車両候補領域が第一車線の停止車両のブレーキランプである場合、停止車両候補領域の方が拡大領域よりも光源に近く、明るいと考えられる。以下に、本処理の詳細を述べる。

時間平均画像における停止車両候補領域と拡大領域の各々について、時間平均画像の各画素の輝度情報を用いて領域の平均輝度を算出する。

ここで、停止車両候補領域の平均輝度を $Br1$ 、拡大領域の平均輝度を $Br2$ と定義した時、(1)式に示す輝度比 $Ratio$ を算出する。

$$Ratio = Br2 / Br1 \quad (1)$$

if ($Ratio >$ 閾値) ヘッドライトの路面照射
else 第一車線の停止車両 (2)

$Ratio$ が閾値以上ならば、停止車両候補領域は、第二車線の車両のヘッドライトにより路面照射されたものであると判断する。そうでない場合は、第一車線の停止車両候補領域と判断する。

第二車線は、第一車線を走行する車両のヘッドライトによる路面照射の影響をほとんど受けないので光源推定処理は行わない。

3. 4 車両の流れ判定

3. 2, 3. 3の処理により、停止車両候補領域を抽出するが、ヘッドライト等による路面照射を停止車両候補領域と誤判定する可能性がある。

そこで、フレーム間差分処理の結果を基に車線別に車両の流れの有無を判定し、時間平均画像から停止車両候補領域が抽出されても、車両の流れありと判定した場合、停止車両は存在しないと判断する。

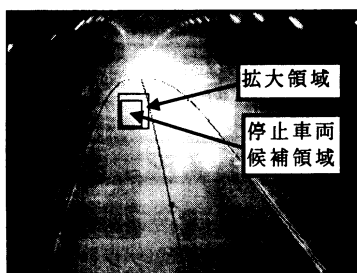


図7 停止車両候補領域と拡大領域

<車両の流れの有無判定>

- ①フレーム間差分処理の2値画像を算出する。
- ②①の2値画像に対し、車両の流れの有無を判定する為の流れ検知ブロックを車線別に複数設定する。流れ検知ブロックは、車線毎の車両の流れを判定する為に、フレーム間差分処理の2値画像上に設定した小エリアである(図6参照)。
- ③②で述べた個々の流れ検知ブロックにおいて、フレーム間差分処理の2値画像に含まれる白画素の割合を算出する。
白画素の割合 = 白画素数/検知ブロック総画素数
- ④③の白画素の割合が閾値より大きければ車両の流れ有りとして判定し、そうでなければ車両の流れ無しとして判定する。
- ⑤流れ検知ブロックの判定結果に基づき、車線単位で車両の流れの有無を判定する。

3. 5 停止車両検出

3. 2, 3. 3の処理で検出された停止車両候補領域について、3. 4の処理により該当車線に車両の流れが無いと判定した場合、停止車両ありと判断する。

なお、ハザードランプを点滅した停止車両は、下記の理由で検出が難しくなる。

周期的に画像の明るさが変化するハザードランプと、ヘッドライトを点灯して走行する車両は、画像の明るさが大きく変化する。3. 4の処理では、画像の明るさの変化が生じると車両の流れ有りとして判定されてしまい、上記2つのシーンを区別することができない。その為、3. 2の処理で停止車両を検出しても、3. 4の処理で停止車両無しとして判定され、停止車両が未検出となる。

そこで、ハザードランプが点滅すると画像の明るさが周期的に変化し、明るさの変化に伴いフレーム間差分の2値化画像中の白画素数も周期的に増減することに着目し、下記の2つのシーンを判別する。

- シーン1: ハザードランプを点滅させた停止車両
- シーン2: ヘッドライトを点灯して走行する車両

フレーム間差分処理の2値画像に着目し、図6に示す車両の流れ検知ブロックにおける白画素の割合を時系列的データとして管理し、上記の2つのシーンを判別する。

- (1) シーン1: ハザードランプ点滅の停止車両
ある一定時間内で、検知ブロックに占める白画素の割合が閾値以上となる回数が多く、その状態が継続する。
- (2) シーン2: ヘッドライト点灯の走行車両
渋滞時以外では、車両の流れは不均一である。

従って、ある一定時間内で、検知ブロックに占める白画の割合が閾値以上となる回数は多くても、その状態が継続しない。

上記(1)、(2)の特徴に着目することで、前述のシーン1とシーン2の判別が可能となる。

4. 評価結果

4.1 検証内容

本手法の有効性を確認する為、対面通行トンネルの映像を用いて停止車両の検出性能を検証した。評価に使用した映像は、自由流の映像(トンネル内照明：昼間モード、夜間モード)と表1に示す停止車両の映像(トンネル内照明：夜間モード)2種類である。

停止車両の評価映像として、車線毎に3つの異なる位置(近、中、遠距離)に、照明点灯状態及び車体色の異なる2台の車両(白色、銀色)を停止させた映像を用意した。照明点灯状態は、ヘッドライト点灯、ブレーキランプ点灯、ハザードランプ点滅、及び無灯の4種類である。これらの評価映像を画像処理し、停止車両として検出できるか検証した。また、交通量が多い時間帯を含む自由流映像を処理し、走行している車両や路面を停止車両として誤検出しないか検証した。なお、画像中の検出対象外領域は事前にマスク処理し、誤検出を抑制している。

本手法の有効性を検証する為、上記評価以外に長期間のフィールド評価を実施した。

本検証は、表2に示す汎用PCを用いて実施した。画像処理に要する時間は、平均50msec/frameであった(約20fps)。

表1 停止車両映像種別

評価項目	種別
停止車両本体色	白色/銀色 (共に普通車両)
停止車線	第一車線/第二車線
トンネル内停止位置	カメラ直下からの距離 近距離/中距離/遠距離
停止車両照明点灯状態 (ライト/ランプ)	ブレーキランプ点灯/ ヘッドライト点灯/ ハザードランプ点滅/ 無灯

表2 PCの性能諸元

CPU	Pentium III® 850MHz
メモリー	512MB
OS	Windows® 2000
画像入力ボード	映像信号：NTSC 解像度：320画素×240画素

4.2 結果

4.2.1 停止車両映像を用いた評価

- (1) ブレーキランプ点灯(第一車線停止車両)
第二車線を複数台の車両が走行しても、車両の停止位置、本体色によらずブレーキランプ領域を抽出し、停止車両を検出できた(図8参照)。
- (2) ヘッドライト点灯(第二車線停止車両)
第一車線を複数台の車両が走行しても、車両の停止位置、本体色によらずヘッドライトを検出し、停止車両を検出できた(図9参照)。
- (3) ハザードランプ点滅(第一、二車線停止車両)
隣接車線を複数台の車両が走行しても、車両の停止位置、本体色によらずハザードランプの点滅を検出し、停止車両を検出できた(図10, 11参照)。
- (4) 無灯(第一、二車線停止車両)

トンネル内の照明と車両の停止位置により、ボディーの照明反射具合が変化した。本体色が銀色の車両では、照明が点灯していない位置に停止した時に、車両本体に高輝度領域が存在せず未検出となった。それ以外の停止位置では車両の本体色によらず、ボディーの照明反射を検出でき、隣接車線を複数台の車両が走行しても、停止車両を検出できた(図12, 13参照)。

以上、停止車両評価試験として、48シーンの評価映像を処理し、47シーンで停止車両を正常に検出できた(検出率は98%)。

4.2.2 自由流映像を用いた評価

突発事象を検出する画像処理システムは、事象を高精度に検出できるだけでなく、誤検出が少ないことも重要な性能指標となる。そこで、停止車両のシーンを含まない自由流の映像を処理し、停止車両の誤検出の発生件数を調査した。

8時間の評価映像を処理した結果、トンネルの坑口の明かりがカメラケースの前面ガラスに映りこみ、誤検出した1件を除き、誤検出は発生しなかった。上記の誤検出は、監視カメラの画角調整やフィルターの設置等で改善可能である。

4.2.3 フィールド評価

4.2.1及び4.2.2の評価以外に、3ヶ月間のフィールド評価を実施し、本手法の有効性を検証した。本評価では、停止車両を検出した際に入力映像をログファイルとして保存し、検出結果の妥当性を検証できるようにした。

評価期間終了後、ログファイルの内容を調査し、深夜の時間帯にトンネル内で作業を行う工事車両他を正常に検出していることを確認した(図14参照)。



図 8 ブレーキランプ点灯



図 9 ヘッドライト点灯

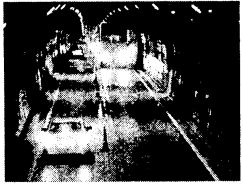


図 10 ハザードランプ点滅

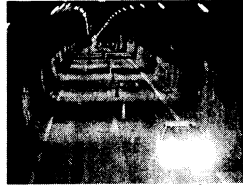


図 11 ハザードランプ点滅

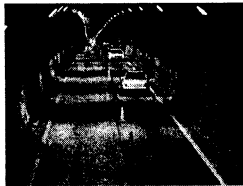


図 12 無灯車両 (検出)

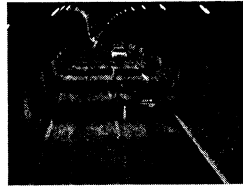


図 13 無灯車両 (未検出)

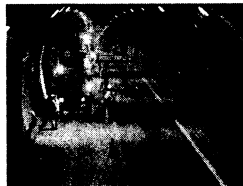


図 14 工事車両

一方、停止車両の誤検出は1件/月以下であり、システム運用上、問題とならないレベルであることを確認した。

5. むすび

本論文では、走行する車両のヘッドライトの影響を受けることなく対面通行トンネルの停止車両を安定して検出することができる手法を提案した。

本手法は下記の考え方に基づいている。

- (1) 走行車両と停止車両を区別するために時間平均画像を作成する。
- (2) 時間平均画像中の高輝度領域を抽出し、停止車両領域とする。
- (3) 時間平均画像と背景画像の類似度を算出し、路面他、背景と考えられる領域を除去する。
- (4) 更に、光源推定処理及び車線毎の車両の流れ判定処理の結果に基づき、停止車両を検出する。

4. 2で述べた評価結果から、本手法は、停止車両の検出性能が高く、誤検出も発生し難いことを確認でき、十分実用に耐えうるものと考ええる。

対面通行トンネルは、第一車線と第二車線を走行する車両のヘッドライトの光が入り混じる為、車両の輪郭が不明瞭又は全く見えない場合が多い。そのような状況では、背景差分処理やエッジ抽出処理他による車両の輪郭抽出は困難である。

一方、今回提案した手法は、車両の本体の一部に高輝度な部分が存在しなければ停止車両を検出できないという課題はあるが、無灯の状態でトンネル内に車両が停止する確率は小さいことを考えると、対面通行トンネルの停止車両検出に有効な手法であると考えられる(火災を伴う事故の場合でも、炎を高輝度領域として抽出することで停止車両として検出できる)。

今後の課題として、無灯の状態で停止した車両を検出する処理を新たに構築し、本処理と組合せることで、停止車両の検出精度向上を図る。

文 献

- [1] 高藤政雄, 北村忠明, 小林芳樹, “空間微分および差分処理を用いた車両抽出法”, 信学論(D-II), Vol.J80-D-II, no. 11, pp. 2976-2985, Nov. 1997.
- [2] 藤村香中里, 小澤真治, “対象物体抽出の為の適応的背景画像の生成”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 33 no. 9, pp963-968, 1997
- [3] M.Momozawa & N.Nomura, “Accidental Vehicle Automatic Recognition Systems by Image Processing Technology”, IEEE International Conference On Image Processing, 556 (1992)
- [4] 阪神高速道路公団, “突発事象検出に関する調査検討業務(平成4年度)報告書”, pp. 60-64, 1994
- [5] 谷口博康, 中村高宏, 古澤春樹, 小澤真治, “時空間画像を用いた車両認識手法”, 信学技法, TECHNICAL REPORT IEICE., ITS2000-27(2000-09), pp31-36, 2000
- [6] 久保山英生, 小澤真治, “連続画像からのトンネル内における重交通流計測”, 信学論(D-II), Vol.J85-D-II, no. 2, pp. 210-218, Feb. 2002.
- [7] 山本, 内藤, 辻, 黒川, “画像処理技術によるトンネル内交通監視流監視支援システム”, 電学, 道路交通研資料, RTA-92-12, 1992
- [8] 酒井, 井藤, “監視用ITVカメラを用いたトンネル内交通流計測装置の開発”, 住友電気, No. 134, 86 (1989)