

日照条件に頑健な交通流動画像からの 四輪車の自動抽出手法の開発

須崎 純一¹

¹正会員 京都大学准教授 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-1-206)

E-mail: susaki.junichi.3r@kyoto-u.ac.jp

本論文では、車両や建物の影といった局所的な日照変化にも頑健で、昼夜間を問わず適用可能な交通流からの四輪車の位置と軌跡の自動抽出手法を提案する。提案手法は時間差分画像を一定時間内で累積した累積時間差分画像と呼ぶ画像を作成し、閾値以上の輝度値の変化回数を計数して影領域の大半を除去する。この際に車両の一部が欠損するが、累積時間差分画像を更に重ね合わせて車両領域の欠損を補い車両軌跡を決定する。この影を含まない軌跡領域とある時刻における影を含む車両領域との積を取ることで、影なしの車両領域を決定する。最後に上方から見下ろす鳥瞰画像に変換し、車両領域の位置の差分を計算することで車両速度を推定する。歩道橋で撮影した交通流画像に提案手法を適用した結果、昼夜間を問わず高精度かつ安定的に機能することが判明した。

Key Words : video images, automatic extraction of vehicle's position, track and velocity, robustness against sunlight change, application to nighttime images

1. はじめに

交通渋滞や交通事故発生状況を素早く把握し、対策を講じるため、我が国の国道事務所や高速道路会社では幹線道路にビデオカメラを設定し、動画像を取得している。例えば、桃澤ら¹⁾は高速道路上の2地点に設置した7台のカメラを活用して、車両の検出・追跡・速度算出の処理を行い、事故車両や渋滞を自動検出する大規模なシステムを開発した。また道路行政の実務では、道路政策の実施に伴う車両の停止位置や軌跡、速度の変化を動画像から自動的に把握することが望まれている。

動画像からの交通流解析では、大別すると背景差分法と時間差分法が広く用いられてきた。時間差分（またはフレーム間差分）法は単純に異なるフレーム画像の輝度値の差を採用する方法である。背景差分法は、一定時間内の画像輝度値の平均値や中央値を採用して背景を作成し、当該フレーム画像との差分である背景差分画像（または前景画像）を生成する方法である。より高度な背景差分法として、学習を通じて更新頻度を決定する方法²⁾、過去に作成された背景画像との差分を取る方法³⁾等が提案されてきた。一方、抽出したい移動体のテンプレートを予め用意し、逐次テンプレートを更新しながら物体を追跡する手法⁴⁾もあるが、移動体の向きや大きさへの柔軟な対応が課題である。それに関連して三次元コンピュ

ータグラフィックスモデルから作成した教師画像を作成して車両を抽出し、車両クラスを推定する方法⁵⁾も報告されている。更に時空間的特徴量の変化をパターン化した上で、移動体を検出する方法^{6,7,8)}も検討されてきた。

屋外環境を移動する物体の抽出においては、年間だけでなく一日を通じて日照条件は一定ではなく、日照条件の影響の緩和が大きな課題といえる。背景差分法においては、日照変化の影響を受けずに安定的に背景画像を作成する手法が提案されてきた^{9, 10)}。例えば、川西ら¹¹⁾は屋外環境で長時間撮影された画像から背景画像を生成する手法を提案した。日照変化に起因する変動と構造の変化に起因する変動の2種類を想定し、日照成分、構造成分と前景成分に対し画像モデルを設け、前景成分を含まない背景画像を抽出している。しかしながら、移動物体である人物の少ないシーンを想定して画像の平均化を行って構造成分を推定するため、移動物体が増えるシーンでは適用に限界が生じる。

また弓場ら¹²⁾は、小領域における濃度勾配の統計量から計算される時空間テクスチャ特徴量を用いて背景モデルを動的に変化させ、移動物体を抽出する方法を開発した。指定された検知エリアでは動体の存在を検知できるものの、動体の位置や大きさ等に関する情報は抽出できないという欠点を有する。岩田ら¹³⁾は、画像群中の明度の大小関係に着目し、外乱が生じて安定的に大小関係

が保持される特徴量を統計的リーチ特徴と呼んで、背景差分画像の生成に活用している。但し、外乱発生時にも画像群中の明度の大小関係が保持されているという制約が課されている。交通流画像では太陽光により建物や車両の影が発生することで局所的に日照条件が大きく変化するために、そのような制約が満足される保証はない。

交通流動画画像からの車両抽出においては、大局的に変動する日照変化も重要であるが、それ以上に太陽光により生じる局所的に発生する影に対しても十分に配慮しなくてはならない。例えば、昼間の動画画像において太陽光による建物や車両の影が発生する場合、画像空間上で車両領域を抽出しようとする影が混入してしまう。また急激な日照変化に対しては背景差分法では背景画像が安定せず、車両が欠損されたり、あるいは車両や建物の影が除去されない状態で抽出されたりする。いずれも車両の正確な位置が推定できなくなるだけでなく、領域が小さすぎて車両領域と認識されなくなったり、あるいは反対に過剰な領域抽出のために複数の車両が誤って一体して抽出されたりする。そのため動画画像からの車両抽出のために影領域を抽出する研究が多数行われてきた。

例えば、長谷川・小沢¹⁴⁾は、移動物体モデルと太陽光モデルから計算される影付きの移動領域を想定し、テンプレートマッチングによって各モデルのパラメータを決定する方法を提唱した。布施ら¹⁵⁾はHSV(色相, 彩度, 明度)空間における背景画像と入力画像の輝度値の差に閾値を適用して、影を除去している。しかし日照条件が変化する環境下では影の輝度値が変化するため、予め影の輝度値を指定する方法では頑健に車両を抽出することが困難になると予想される。それに対し吉村ら¹⁶⁾は、太陽光の明るさが変化していることを前提に、明るさ可変背景モデルを構築し、天空光成分と太陽直射光成分を分離して推定し、明るさ可変背景によって影領域を除去している。色情報に空間情報を加味することで安定性を図ってはいるが、影領域のエッジ部分を移動物体として誤検出する等の課題が残っている。このように、影の混入や日照変化に頑健な手法は存在しないといえる。

また夜間は車両のヘッドライトやテールライトだけでなく、街灯や建物からの光等、車両抽出においてノイズとなる要素が多数存在する。実務上問題であるのが、昼夜間安定的に運用可能な手法がほとんど存在しない点である。例えばHsieh & Chen¹⁷⁾は、車載搭載カメラで撮影された動画画像から昼夜間の撮影時間帯を推定する手法を開発した。道路の消失点を決定した後に抽出した空の領域の特徴量から撮影時間帯を判定するが、昼夜間の判定に留まり、車両抽出は別処理としている。

そこで本研究では、単カメラの動画画像処理という簡便な手法を念頭に置き、背景差分画像と時間差分画像を組み合わせて日照条件の変化にも頑健で、昼夜間を問わず

適用可能な車両領域及び車両軌跡自動抽出手法の開発を試みた。

2. 使用データ

京都市南区西九条油小路交差点の歩道橋上にてビデオカメラ(SONY HDR-CX560V)で、渋滞のない交通流を撮影した画像を用いた。撮影日を表-1に示す。29.97 フレーム/秒で撮影された動画画像から29.97 フレーム/秒の枚数で出力した画像を使用した。取得画像は1920×1080画素の大きさであったが、そのままの大きさの画像を取り扱うと領域へのラベリング等の処理で時間を要した。そのため、480×270画素に縮小して処理を進めた。

3. 車両位置・軌跡・速度の自動抽出

(1) 手法の方針

本研究で使用する画像は、太陽光を受けて建物や車両の影が発生しており、また数秒間で急激に照度が変化する様子も記録されている。背景差分画像には影領域が含まれてしまう。一方、時間差分画像は車両の欠損が大きく全体を把握するのは困難であるが、短時間における時間差分画像では日照変化の影響を受けにくい。

このような特性を鑑み、本研究では下記の方針で車両領域・軌跡の自動抽出手法を開発した(図-1)。(1) 時間差分画像を基本に考え、時間差分画像を累積して「累積時間差分画像」と呼ぶ画像を生成し、累積時間差分画像における影領域の特性を利用して影領域を除去し、車両領域を特定する(但しこの時点では車両の欠損領域有)。(2) 累積時間差分画像を更に重ね合わせることで、車両の軌跡を決定する(軌跡にはほぼ欠損領域が含まれない)。(3) 影領域が含まれない車両軌跡と、影領域を含む背景差分画像との積を計算することで車両領域を決定する。背景差分画像が異常値を示す場合には、代わりに累積時間差分画像を用いて車両領域を決定する。また、抽出した車両の位置や速度を定量的に把握するために(4)鳥瞰画像に変換し、車両領域の移動量を求めることで車両速度を決定する(図-2)。本提案手法の眼目は、欠損がある車両領域を連結することで車両軌跡を先に決定し、そこから遡って車両位置を決定することである。この発想の転換によって、日照変化にも頑健にまた昼夜間を問わず車両位置、軌跡及び速度を推定可能になる。

(2) 累積時間差分画像を用いた軌跡の推定

a) 昼間画像

時間差分画像の特徴を考えるために、特定の画素において時刻 t では車両であったが微小時間 Δt 秒後の時刻 $t+\Delta t$ に道路に変化する場合、あるいはその逆である場合を想定する。一部の例外を除いては（車両の端と道路の画像輝度値が極めて類似している場合等）、輝度値の変化の絶対値を計算することでそのような変化領域を確実に把握できる。また時刻 t , $t+\Delta t$ 共に車両であっても、走行中であれば両時刻における車両の位置は異なり、画像輝度値も異なる可能性が高まる。その場合にも時間差分画像に表れる可能性が高い。その一方で日照変化に対しては、1/30秒程度の極短い時間間隔で作成される場合には、日照変化の影響は大きく緩和できると考えられる。よって、日照変化の影響にも頑健な車両抽出手法の開発という観点から、時間差分画像の活用が有効であると考えられる。

一方で、例えば屋根やボンネットが同一色で、画像上で同様の輝度値を示す場合には、時間差分画像上では欠損してしまう。しかし、時間差分画像を一定時間内で順次重ね合わせると（以下、「累積時間差分画像」と呼ぶ）、欠損した領域の大半は埋め合わされる。よって累積差分画像を作成することで、時間差分画像における領域欠損の問題は大きく解消される。

ここで、時間差分画像における影領域の特徴を考えていく。車両や建物の影領域は、短時間内ではその影を生成する元となる物体の輝度値に関係なく、同一の輝度値を有する。そのため、影の時間差分画像は影の輪郭部分だけが残ることになる。他方、車両領域では上述のように、車両を構成する各部位の輝度値が異なるために、時間差分画像上では車両の輪郭以外の領域も多数含まれる結果になる。仮に車両本体やタイヤを含めて全てが同一輝度値で構成されている場合でも、太陽光の反射成分のために画像上では同一輝度値とならないことが多い。

この特性を踏まえて、影領域を除去する方法を述べていく。輝度値に対する一定の閾値を設けた上で、時間差分画像を2値化する。輝度値の変化が大きな画素は白色、そうでない場合には黒色が便宜上割り当てられる。一定時間内の2値化時間差分画像を重ねて累積時間差分画像を作成する際に、白色である回数を計数する。影領域では大半が1回、多くても2回であるのに対し、車両領域は大半が2回以上となる。そこで計数回数が2回以下の場合にその画素を車両領域ではないと判定して、ラベリング処理を適用し、連結された領域にラベルを付与する。この結果、影領域の大半を除去できる。その反面、車両の一部を欠損してしまう（図-3）。しかし欠損した車両領域が含まれる累積時間差分画像を、更に時間方向に重ね合わせることで車両領域の欠損がなくなり車両軌跡が決定される。

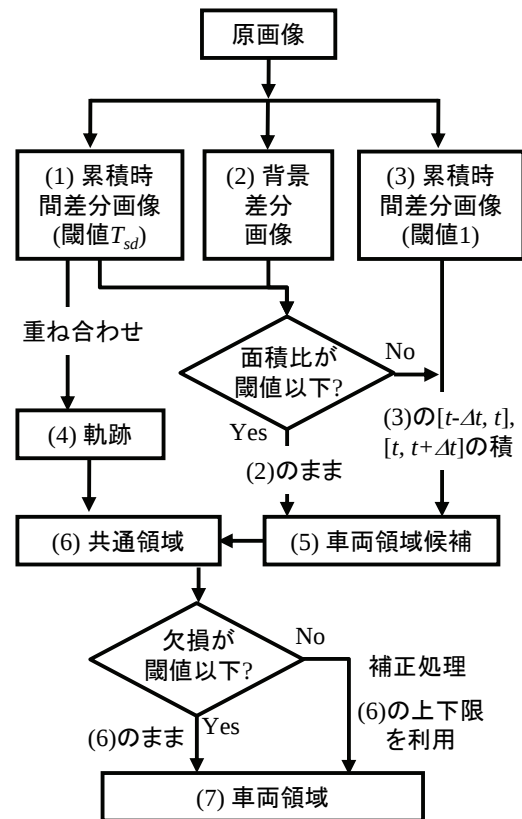


図-1 提案手法のフローチャート

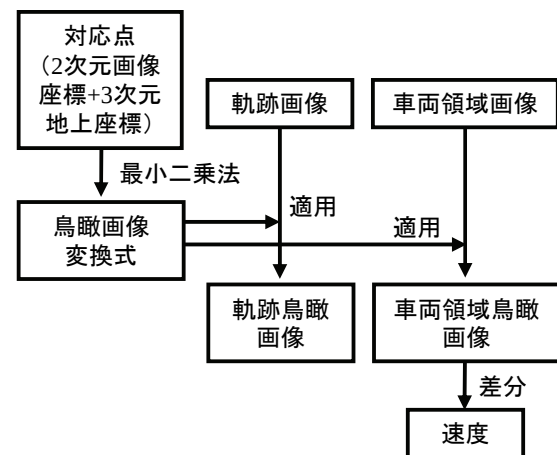


図-2 速度を求めるフローチャート

表-1 撮影データ

時間帯名：撮影日時	備考
A: 2013/03/23 09:10から65秒間	昼間、短時間での日照変化が発生
B: 2013/03/23 09:07から65秒間	
C: 2013/01/13 19:27から70秒間	夜間
D: 2013/01/13 19:31から70秒間	

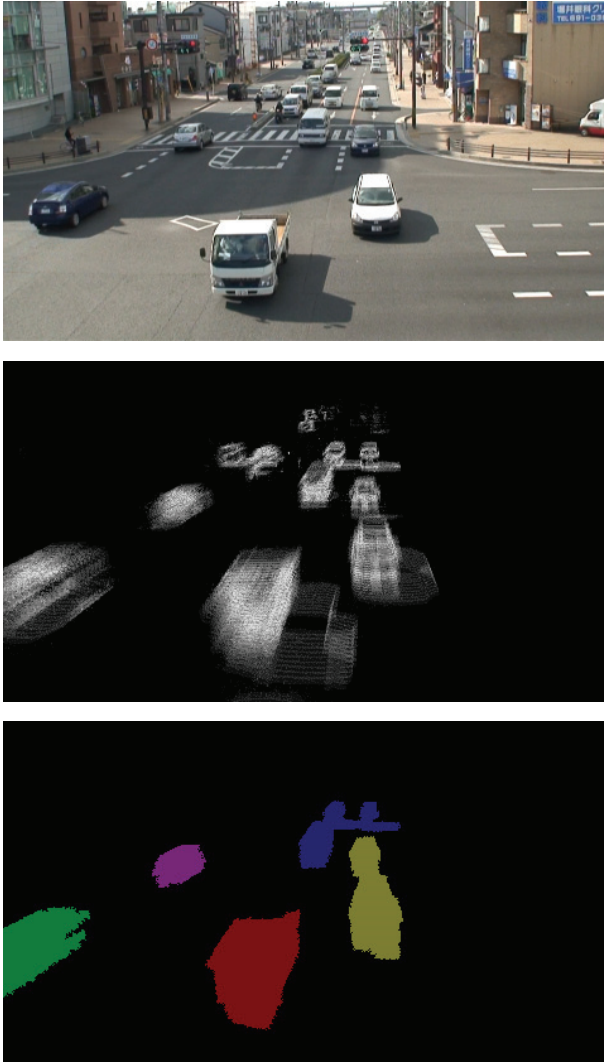


図-3 累積時間差分画像からの影領域の除去：(上) ある時刻の原画像，(中) 累積時間差分画像（計数回数が3回以上，2回，1回で輝度値を変えている），(下) 計数回数が3回以上の画素に対しラベリングした結果。

以上定性的に述べたことを数式を用いて記述していく。使用する動画のフレームレートを N フレーム/秒とすると，本研究では N フレーム/秒の静止画像を利用する。以下の式で“ $t+1$ ”は時刻 $t+1/N$ 秒を意味する。また，画素を単位とする任意の2次元画像座標を (x, y) と仮定する。

まず時間差分画像の生成を考える。時刻 t における時間差分画像 $\Delta I_m(x, y, t)$ は式(1)で与えられる。

$$\Delta I_m(x, y, t) = \begin{cases} 1: & |I(x, y, t+1) - I(x, y, t)| \geq T_m \\ 0: & |I(x, y, t+1) - I(x, y, t)| < T_m \end{cases} \quad (1)$$

ここで， T_m は時間差分画像生成における輝度値の閾値とする。

次に N_m 枚の時間差分画像を用いて，累積時間差分画像を生成することを考える。累積時間差分画像 $I'_m(x, y, t | N_m)$

は式(2)で与えられる。

$$I'_m(x, y, t | N_m) = \begin{cases} \sum_{t'=t-N_m/2}^{t+N_m/2} \Delta I_m(x, y, t'): & N_m \text{ は奇数} \\ \sum_{t'=t-N_m/2-1}^{t+N_m/2-1} \Delta I_m(x, y, t'): & N_m \text{ は偶数} \end{cases} \quad (2)$$

この $I'_m(x, y, t | N_m)$ に対し，通過回数で2値化することを考える。2値化後の画像を $I_{sd}(x, y, t | N_m)$ と表現すると，式(3)と表せる。

$$I_{sd}(x, y, t | N_m) = \begin{cases} 1: & I'_m(x, y, t | N_m) \geq T_{sd} \\ 0: & I'_m(x, y, t | N_m) < T_{sd} \end{cases} \quad (3)$$

ここで， T_{sd} は影領域の特性を考慮した影領域除去のための閾値（単位は回数）とする。昼間画像の場合， $T_{sd} = 3$ とする。

この2値化した累積時間差分画像の各領域に対してラベリングを実施する。本研究では，8方向の隣接画素のラベルを参照するラベリングを実施する。 f はラベリングを表す写像とし，ラベリングの結果，

$$f: I_{sd}(x, y, t | N_m) \rightarrow S_{sd}(t, l(t)) \quad (4)$$

という写像が行われたと考える。ここで， $l(t)$ は時刻 t の2値化した累積時間差分画像において生成されたラベルID， $S_{sd}(t, l(t))$ はラベル付けされた領域を表すとする。生成される領域数は時刻 t に依存する。

時刻 t での領域 $l(t)$ が追跡対象の初期条件を満たす（本研究では縦の交通流を想定し，画像の下端あるいは右端に領域が接しているという条件を利用している）として，過去に遡って追跡していくことを考える。時刻 t での領域 $l(t)$ と同一の可能性が最も高い時刻 $t-\Delta t$ での領域のラベルID $l(t-\Delta t)$ は式(5)に従い決定される。

$$l(t-\Delta t) = \arg \max_{l'(t-\Delta t)} \frac{S_{sd}(t, l(t)) \cap S_{sd}(t-\Delta t, l'(t-\Delta t))}{S_{sd}(t, l(t))} \quad (5)$$

但し，式(6)が満たされなければ追跡は終了するものとする。

$$\frac{S_{sd}(t, l(t)) \cap S_{sd}(t-\Delta t, l(t-\Delta t))}{S_{sd}(t, l(t))} \geq T_r \quad (6)$$

ここで， T_r は領域間の重なりを表す割合を表す閾値とする。

時刻 t のラベルID $l(t)$ に対する領域を初期値として追跡した結果，式(7)のように n_b 個のラベルIDの集合が得られたとする。

$$\mathbf{I}\{l(t)\} = \{l(t), l(t - \Delta t), \dots, l(t - (n_{lb} - 1)\Delta t)\} \quad (7)$$

これを用いて同一領域の和集合を取ること、 $l(t)$ を初期値とする車両軌跡を表す領域 $S_r(l(t))$ が、式(8)を用いて得られる。

$$S_r(l(t)) = \bigcup_{n=0}^{n=n_{lb}-1} S(t - n\Delta t, l(t - n\Delta t)) \quad (8)$$

b) 夜間画像

a)では昼間の日照変化にも頑健な車両軌跡抽出に焦点を当てて説明した。一方、夜間画像ではそもそも車両領域が背景の暗闇に紛れることが多く、車両自体が上述の影と同様に通過回数が1~2回に留まってしまう。昼間と同様に2回以下を除去すると車両の大半が除去されることになるため、夜間画像ではこの通過回数による除去判定を行わないものとする。つまり、式(3)において、 $T_{qd} = 1$ と設定して処理を行う。その他の処理は昼間画像と同じである。

c) 生成画像の時間間隔

影領域の除去においては日照変化の影響を極力抑えるために、時間差分画像生成での時間間隔は最小限に設定した方がいいと考えられる。そのため時間差分画像の生成では、29.97 フレーム/秒の静止画像全てを用いることを前提とする。一方で車両位置や軌跡は1秒間に数地点把握できれば十分と考えられる。例えば5フレーム間隔で生成する場合には、時速60 km/hの車両は約2.8 m移動することになり、1画像あたり0.1 mの解像度に設定した画像では約28画素の移動量に過ぎない。そのため累積時間差分画像や後に説明する背景差分画像は、全フレームに対して処理するのではなく、一定のフレーム間隔 Δf で行う。

d) 軌跡抽出の対象とする初期領域

本研究では縦方向の交通流を想定していることから、累積時間差分画像へのラベリングでラベル付けされた領域が、画像下端(直進車)あるいは右端(左折車)に接している場合に軌跡抽出対象の初期値として利用する。その初期値から時間を遡って同一領域の可能性が高い領域を逐次検出していく。

累積時間差分画像で得られる領域は、影領域の除去を優先しているために車両の一部も欠損されている。そのため、単純にフレーム間隔 Δt で同一領域の検出を行う際に、 Δt 枚の時間差分画像を用いて生成された累積時間差分画像を利用すると、追跡能力が低下する。本研究では渋滞のない自由流の画像を対象にしており、安定した車両領域の追跡のために、累積時間差分画像の生成において、 $N_m \div 2\Delta t$ 程度の時間差分画像を用いることとする。例えば $\Delta t = 5$ で時間差分画像を $N_m = 11$ と仮定する。累積

時間差分画像における対象時間の設定の仕方は様々であるが、例えば $[t-5, t+5]$, $[t, t+10]$, $[t+5, t+15]$ という対象時間を設定できる。このように時間的に互いに重なり合うように累積時間差分画像を生成することで軌跡の抽出、その結果、車両領域や速度の推定も安定してくる。

(3) 軌跡を用いた車両位置の推定

a) 背景差分画像の利用

背景差分画像から得られる影を含む車両領域と影を含まない軌跡領域の積を取ることで、影なしの車両領域が決定される。日照変化の激しい昼間への応用も念頭に置いて、一定間隔で背景画像を更新し、背景差分画像を作成する。以下、数式を用いて説明する。

まず、時刻 t における背景差分画像を生成する。画像座標 (x, y) において、 N_{bk} (奇数とする)枚の輝度値から構成される集合を $\mathbf{I}(t|N_{bk})$ を式(9)のように表す。

$$\mathbf{I}(t|N_{bk}) = \left\{ I\left(t - \frac{N_{bk}-1}{2}\right), \dots, I(t), \dots, I\left(t + \frac{N_{bk}-1}{2}\right) \right\} \quad (9)$$

$\mathbf{I}(t|N_{bk})$ は本来は (x, y) を引数に持ち、 $\mathbf{I}(x, y, t|N_{bk})$ と表現すべきだが、スペースの都合で割愛している。

背景画像 $I_{bk}(x, y, t|N_{bk})$ は単純に $\mathbf{I}(x, y, t|N_{bk})$ の中央値を採用して生成する。

$$I_{bk}(x, y, t|N_{bk}) = \text{med } \mathbf{I}(x, y, t|N_{bk}) \quad (10)$$

背景差分画像 $\Delta I_{bk}(x, y, t|N_{bk})$ は背景画像 $I_{bk}(x, y, t|N_{bk})$ を利用して、式(11)で得られるとする。

$$\Delta I_{bk}(x, y, t|N_{bk}) = \begin{cases} 1: & |I(x, y, t) - I_{bk}(x, y, t|N_{bk})| \geq T_{bk} \\ 0: & |I(x, y, t) - I_{bk}(x, y, t|N_{bk})| < T_{bk} \end{cases} \quad (11)$$

ここで、 T_{bk} は背景差分画像生成における輝度値の閾値とする。

累積時間差分画像と同様に、2値化した背景差分画像の各領域に対してもラベリングを実施する。 f はラベリングを表す写像とし、ラベリングの結果、

$$f: \Delta I_{bk}(x, y, t|N_{bk}) \rightarrow S_{bk}(t, b(t)) \quad (12)$$

という写像が行われたと考える。ここで、 $b(t)$ は時刻 t の2値化した背景差分画像において生成されたラベルID、 $S_{bk}(t, b(t))$ はラベル付けされた領域を表すとする。生成される領域数は時刻 t に依存する。

生成された領域の中で、累積時間差分画像で注目している領域 $l(t)$ と合致する可能性が最も高い領域IDは式(13)

で与えられる。最終的に、時刻 t における車両領域 $v_h(t, l(t))$ は式(14)を用いて決定される。

$$b(t) = \arg \max_{b'(t)} \frac{S_{sd}(t, l(t)) \cap S_{bk}(t, b'(t))}{S_{sd}(t, l(t))} \quad (13)$$

$$S_{vh}(t, l(t)) = S_{tr}(l(t)) \cap S_{ibk}(t, b(t)) \quad (14)$$

b) 累積時間差分画像の利用

a)では背景差分画像を利用した車両領域の推定を説明したが、昼間の短時間で日照変化が生じる場合には背景画像が安定せず、その結果として背景差分画像での影付き車両領域が過大あるいは過小に推定されることがある。また夜間画像でも車両のヘッドライトで背景画像が安定しただけでなく、背景画像が安定していても照度不足のために背景差分画像上では車両が欠損した状態で現れることが多い。そのため、背景差分画像が使えない時の代替手段を考える必要がある。

そこで本研究では、累積時間差分画像を活用することを提案する。例えば、 $[t-10, t]$ と $[t, t+10]$ の時間帯で、通過回数1回以上の画素を残して作成した2つの累積時間差分画像が存在すると仮定する。通過回数1回以上を対象にしているため、その累積時間差分画像には昼間撮影時の場合には影が含まれることもあるが、車両の欠損は生じない。その両者の積を取れば、時刻 t における車両領域の候補が生成される。

背景差分画像を用いて車両領域を確定する際に信頼性が低いと判定する方法を述べる。式(3)に示すように、昼間画像に対しては通過回数 $T_{sd} = 3$ として累積時間差分画像を生成する。この画像上の車両に相当する領域面積と、当該領域に対応する背景差分画像上の領域面積を比較する。背景差分画像が安定的に生成されていれば、背景差分画像から得られる領域には影領域が含まれる程度の大きさで済む。累積時間差分画像から得られる領域は一部の車両の欠損があるものの、積分していることで本来の車両の大きさと同程度かやや上回る程度に留まる(図-3下のトラックを参照)。よって、両者の比率(背景差分画像由来の領域面積/累積時間差分画像由来の領域面積)はせいぜい2倍以下に収まることが確認できている。この比率を閾値 T_{ratio} と比較することで背景差分画像の信頼性を自動的に判定できる。

この累積時間差分画像を用いれば、a)の背景差分画像を使用する必要があるようにも思える。しかしながら、実画像に適用して確認した結果、特に昼間画像では隣接する車線を並走する2台の車両が影を通じて1台として抽出されることがあった。影なしの軌跡との積を計算しても、他の車両の一部が当該車両の領域とご認識される事例が複数確認された。したがって、昼間画像においては

累積時間差分画像を用いて車両領域を確定する方法は、背景差分画像を用いて確定する方法を補完するものとする。夜間画像においては、背景差分画像自体の信頼性が低いことから、最初から累積時間差分画像を用いて車両領域を確定する方法を適用する。

c) 車両領域の補正

b)で累積時間差分画像を用いた車両領域推定方法について述べた。しかしながら、この場合でも車両領域が安定しないことがある。そのため、暫定的に車両領域を推定する際に領域の上下限を記録しておく。この上下限に限定された軌跡領域面積と暫定的な車両領域面積との比を計算する。この比が閾値 T_{ratio} を下回れば車両領域には欠損が生じていると判断して、車両の輪郭を精確に推定することはあきらめて、推定された上下限で囲まれた軌跡領域を車両領域として利用する。

(4) 鳥瞰画像への変換による3次元空間上での軌跡、位置の推定

画像空間上で車両領域や軌跡を抽出しても、例えば実空間に対応した車両間距離を知ることはできない。本研究では鳥瞰画像を活用して、実空間の3次元座標系に変換する。鳥瞰画像とは本来は任意の天頂角から見た斜め画像を意味するが、画像処理の分野では天頂角 0° の真上から見下ろす角度で生成された画像を指すことが多い。そのため、本研究でも鳥瞰画像を真下を見下ろす画像と位置付けて話を進めていく。

画像上の識別可能な点を一定数以上選び、画像での二次元座標と、地上測量で得られた地上の3次元空間上の3次元座標との組合せを用意する(以下、既知点と呼ぶ)。3次元座標空間の座標系として地上座標系 (X, Y, Z) とカメラ座標系 (x, y, z) を想定し、また (x_0, y_0) を二次元の画像座標とする(例えば、 x_0 を水平方向、 y_0 を鉛直方向の軸の座標)。座標系が右手系でも左手系でも、また画像座標の原点に関わらず本質的には変わらない。既知点 P_i の地上座標 (X_i, Y_i, Z_i) と画像座標 (x_i, y_i) との間に、式(15)の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{b_{11}X_i + b_{12}Y_i + b_{13}Z_i + b_{14}}{b_{31}X_i + b_{32}Y_i + b_{33}Z_i + 1} \\ y_i &= \frac{b_{21}X_i + b_{22}Y_i + b_{23}Z_i + b_{24}}{b_{31}X_i + b_{32}Y_i + b_{33}Z_i + 1} \end{aligned} \quad (15)$$

式(15)は道路面上の既知点が同一平面に存在しなくても、画像平面上に射影される式を表現している。式(15)には未知のパラメータ $(b_{11}, \dots, b_{33})$ が11個存在する一方、各既知点につき式(15)に示す2式が得られる。既知点の地上3次元座標の計測誤差や画像二次元座標の読み取り誤差を考慮すると、6点以上の既知点を用意し、残差の2乗和を

最小にする最小二乗法が求められる。目的関数を式(16)のように設定し、計測点の画像座標と地上座標から推定された画像座標との残差の2乗和が最小となるように、非線形最適化手法を用いて各パラメータの推定値を決定する。

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$\hat{x}_i = \frac{b_{11}X_i + b_{12}Y_i + b_{13}Z_i + b_{14}}{b_{31}X_i + b_{32}Y_i + b_{33}Z_i + 1}$$

$$\hat{y}_i = \frac{b_{21}X_i + b_{22}Y_i + b_{23}Z_i + b_{24}}{b_{31}X_i + b_{32}Y_i + b_{33}Z_i + 1} \quad (16)$$

式(15)は平面から平面への投影を表すことから、本研究では道路面が勾配を持つ場合を含めて平面であることを仮定しており、道路面上の細かい起伏は無視できるものとする。画像座標のある点 (x_i, y_i) から地上座標 (X_i, Y_i, Z_i) を推定するには、道路面の高さ Z を既知として与え、式(15)を解くことで求められる。本研究における鳥瞰画像上の二次元座標は、実空間に対応した、実空間の特定の高さにおける座標系といえる。但し、座標原点や軸の設定といった実空間の三次元座標の設定の仕方は任意であり、あくまでも画像座標から得られる距離が実空間における距離に容易に変換できるように利用している。

(5) 車両位置の移動量を利用した速度の推定

(4)で述べたように、斜めに撮影された二次元画像と測量データを用いて鳥瞰画像に変換でき、実空間に対応した三次元空間上で評価が可能となる。この画像上に写る車両領域に含まれる同一地点の位置の差分を計算することで、車両速度を推定できる。また同一地点の検出が困難な場合には、例えば進行方向に対する車両領域の先端位置の変化量を算出することで、厳密な方向は分からないものの速さを求めることができる。

4. 結果

鳥瞰画像への変換に必要な測量作業を2012年11月2日に実施した。写真に写っている位置を特定しやすい地物(道路上の白線の隅等)に対し、SOKKIA社製ノンプリズム対応型トータルステーション(TS) CX107Fを用いて、TSを原点とする座標系における三次元座標を計測した。ノンプリズム型TSを用いると反射ターゲットは不要であるものの、大きな誤差が含まれることがあるため、反射ターゲットも追加して計測した。動画撮影時には反射ターゲットは写っておらず、そのため実際に計測した反射ターゲットの中心の座標とその近辺の目標物の座標

との間には約3 cmのずれがあった。今回はそのずれは許容できるとして、処理を進めた。画像座標は最適と思われる画素を目視で定めた。

次に、各地物の三次元座標と画像上の二次元座標との対応関係、並びに準ニュートン法を用いて式(16)の最適化問題を解き、式(15)のパラメータ $(b_{11}, \dots, b_{33})$ を決定した。14点を計測したがそのうち2点に対しては、異常値と判断できる残差を確認できた。その2点を除外した12点のデータを用いて射影変換した結果、RMSE (root mean square of errors) は0.43画素であった。鳥瞰画像作成時には、簡便のために道路面を平面と仮定し、道路面の平均高さ $Z = -7.800$ mを採用した。鳥瞰画像の解像度は0.1 mとした。

時間差分画像の生成では29.97 フレーム/秒の静止画像全てを用いた。各閾値の値は表-2に示す値に設定した。またラベリングの際にノイズによって生じる車両以外の領域を除去するために、最低領域面積 T_{area} と最低長さ T_{len} の閾値も設定した。時間差分画像作成用輝度値の閾値 T_m に対しては昼間画像と夜間画像とで異なる値を設定した。背景差分画像は5フレーム置きに生成し、背景画像は日照変化が激しい点を考慮して比較的短時間の15フレーム置きに生成した。今回は渋滞のない自由流の画像を対象にしたが、遅い速度の交通流の場合にはフレーム間隔を長めに設定する必要があると考えられる。

本研究では、縦方向の交通流が撮影された表-1に示した昼間及び夜間の2つずつの時間帯を選定した。3.(2)a)で述べたように本研究では縦の交通流を想定し、画像の下端あるいは右端に接している領域を初期値として、過去に遡って追跡していく。夜間の時間帯C・Dにおいては、左折車両は画像右端に達する時にはヘッドライトが隠れるため、車両領域の抽出が困難であった。そのため、左折車に対しては初期領域を画像右端から80画素の位置まで許容するように条件を緩めた。

図-4に時間帯Aで抽出した車両領域を、図-5には時間帯Aに通過した車両の軌跡を示す。同様に図-6に時間帯Cで抽出した車両領域を、図-7には時間帯Cに通過した車両の軌跡を示す。図-5、図-7で示される車両軌跡は、最初に車両領域を検出した画像上に示されている。特に時間帯A・Bでは撮影中に雲が太陽にかかり、撮影していた道路空間全体の太陽照度が変化した。

車両台数、軌跡、速度の推定精度を検証した。以下の各項で、各々の検証内容と結果を示す。

(1) 台数

3.(2)d)で述べたように、本研究では縦方向の交通流を想定していることから、直進車と左折車を対象に車両並びに軌跡の抽出を試みた。提案手法の有効性を比較して検証する為、既存手法として二種類の背景差分法を選定

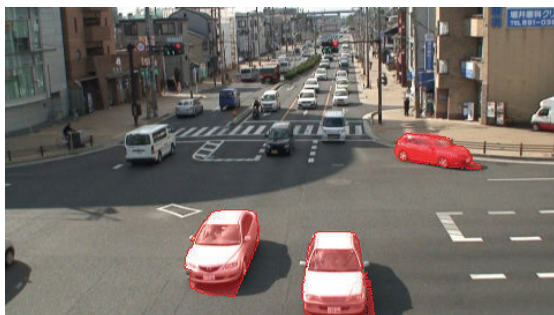
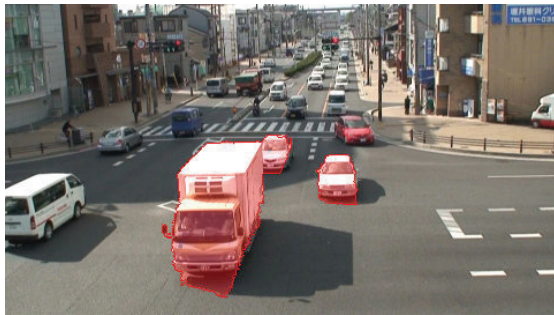
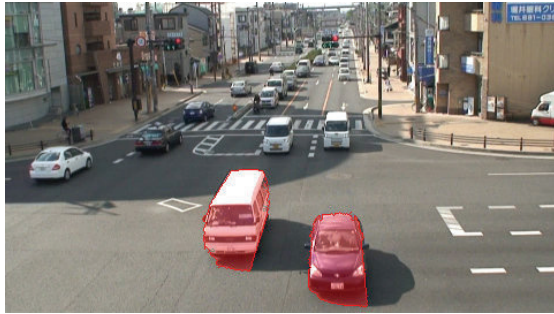
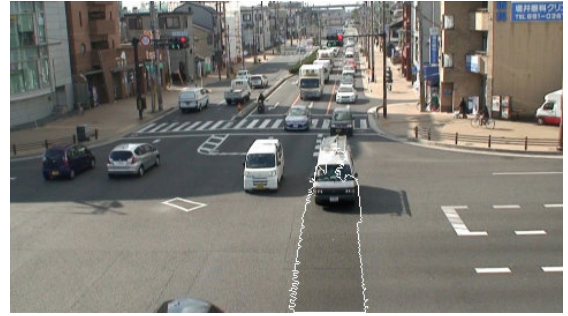
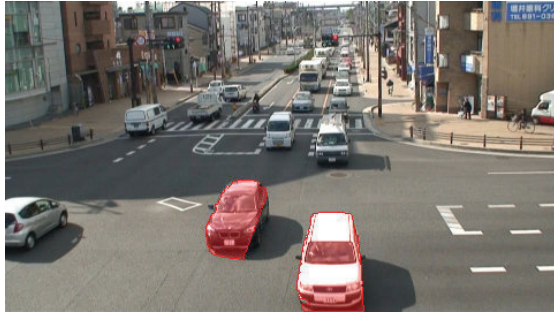
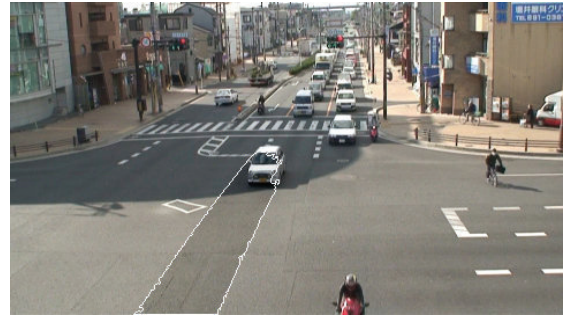
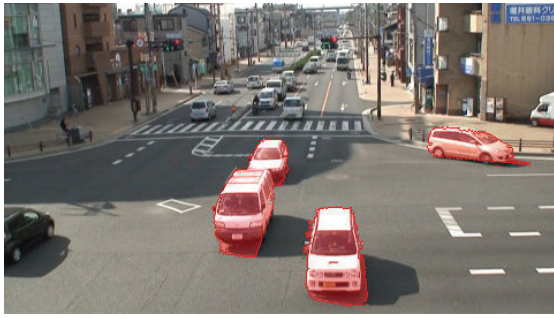


図4 時間帯Aにおける抽出車両領域の例

図5 時間帯Aにおける抽出軌跡の例

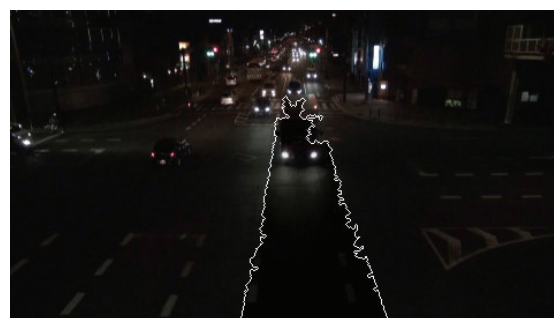
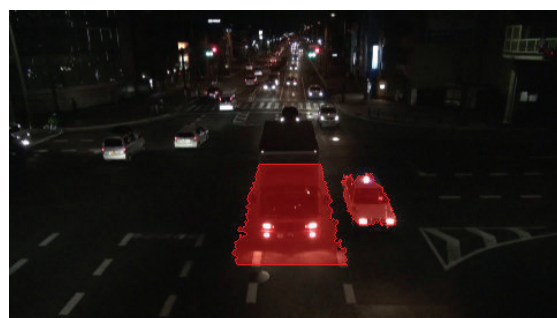
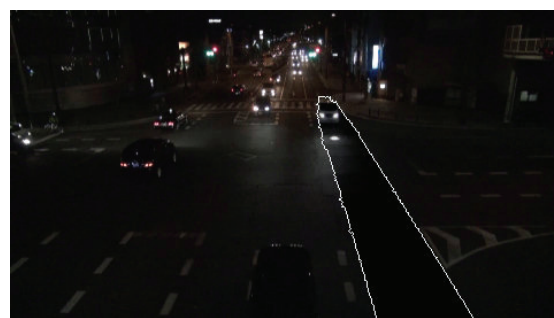
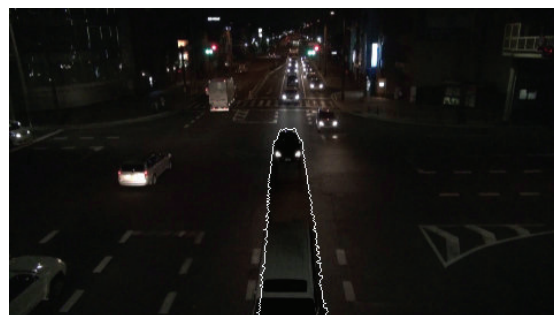
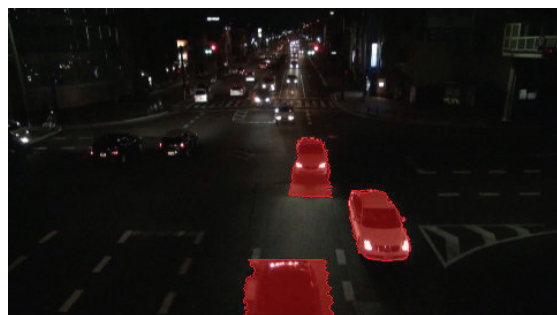
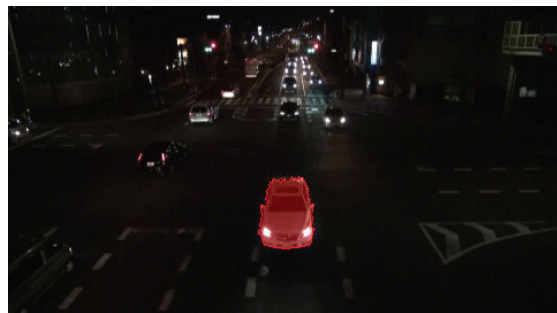
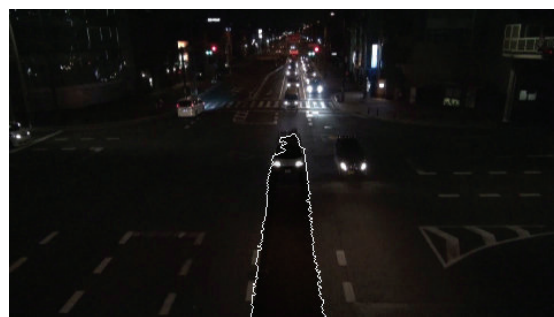
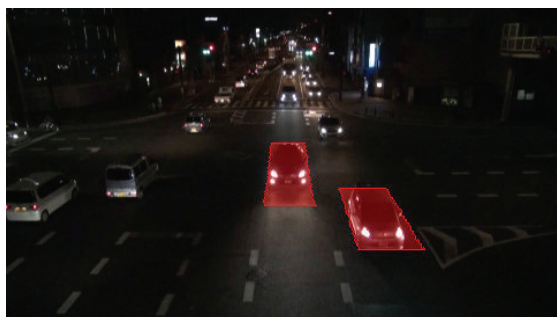


図-6 時間帯Cにおける抽出車両領域の例

図-7 時間帯Cにおける抽出軌跡の例

し適用結果を得た。一つは提案手法でも使用している単純な背景差分法（背景差分法1），もう一つは影領域の輝度情報を目視で与えて影領域を除去する背景差分法（背景差分法2）を選定した。背景差分法2では、100フレーム（約3.3秒）置きに車両の影領域から100画素のサンプルを取得し、それらのRGB輝度値の平均値と標準偏差を取得した。各画像において、画素の輝度値がRGB3バンド全てにおいて平均値+標準偏差以下であれば影領域と判定して除去した。背景差分法2は影領域のサンプルを取得するため、昼間の時間帯A・Bのみに適用した。車両時間帯A～Dにおける抽出台数の検証結果を表-3に示す。

(2) 軌跡

(1)の車両台数の検証結果から、二種類の背景差分法では台数を過少推定するだけでなく、影領域を含む領域を車両として推定したため軌跡領域も過大に推定され、非実用的な結果であることが明らかになった。そのため以下の軌跡、速度の検証では、二種類の背景差分法の結果とは比較せず、提案手法の有効性を検討していく。

軌跡自体の三次元空間上での評価は困難であると考え、本研究では2台の並走する四輪車の車間距離を以って軌跡の推定精度として評価する方針を採った。2台の並走する車両が映る鳥瞰画像において、抽出した車間距離と実際の車間距離との誤差を評価した。時間帯Aの結果（図-4）からの鳥瞰画像のうち、左右にほぼ並走した2台の車両が写り、左側車両の道路との接地面が写っている画像から左右の車間距離を計測した。表-4に左右の車間距離の推定誤差を示す。

(3) 速度

時間帯Aの推定速さのうち、左折する四輪車を除外し、縦方向に走行する四輪車を対象に速さを検証した。速さの推定において、同一車両であっても速さが大きく変動する結果が見られた。そのため、速さを推定した後に、平均速さから大きく乖離している場合には異常値として除去することにした。本研究で使用した画像では、停止状態から動き出した直後は単独の車両として分離していることは稀で、十分に加速した状態の車両が多く確認された。そのため、平均速さとの絶対値の差が10.0 km/h以上である場合には異常値として自動的に除外した。同一車両であっても異なる時刻に推定された速度を別サンプルとして、鳥瞰画像から目視で得た速度と比較した。その結果を表-5に示す。

表-2 実験に用いた各閾値の値

記号	意味	値
T_m	時間差分画像作成用輝度値（昼間）	30
	（夜間）	20
N_m	累積時間差分画像作成用時間差分画像使用枚数	11
T_r	領域間の重なりを表す割合	0.2
N_{bk}	背景差分画像作成用原画像使用枚数	31
T_{bk}	背景差分画像生成用輝度値	20
T_{area}	領域の最低面積（画素）	800
T_{leng}	領域の最低長さ（画素）	10
T_{ratio1}	背景差分画像由来の領域面積と累積時間差分画像由来の領域面積の比	5
T_{ratio2}	暫定的な車両領域面積と上下限に限定された軌跡領域面積との比	0.7

5. 考察

(1) 昼間画像からの車両の抽出

図-4が示すように、車両の抽出は良好であった。特に今回の焦点である影領域を自動的に消去する点において、車両の輪郭を概ね精確に抽出できていることが分かる。また表-2が示すように昼間の動画像に対しては、車両の抽出漏れはほとんどなかった。大型トラックが走行する際にトラックの前後が別々の領域として認識され、同一車両を2回計数する事例が2回あったが、これ以外には誤抽出は生じなかった。

本研究では、特に影領域や日照変化への頑健性に重点を置いて研究を進めてきた。図-9に示すように500フレーム間（約16.7秒間）の画像において、急激に太陽照度が低下し、交差点全体が暗くなり、更に元の太陽照度に回復した。このような状況下でも提案手法は車両領域、軌跡を良好に抽出できている。偶然にも大型トラックが過剰に計数される時間帯と合致している。しかし、上述の通りこの過剰推定は車両の大きさに起因するもので、日照変化に対応できていないためではないことが、他の車両の抽出状況から判断できる。

また図-10には時間帯A、Bにおける車両抽出における影領域の除去の結果を示している。2台の車両が並走しているが、提案手法では車両の影領域を効果的に除去し、2台を個別に認識できている。一方、背景差分法1では、車両の影領域を介して2台の車両が1台として認識されており、結果的に1台の抽出漏れに至った。また背景差分法2では、車両の影領域の一部が除去できているものの、除去できていない影領域を介してやはり2台が1台として認識されている。影領域の輝度値は、同一地点であっても日照条件の変化だけでなく、影領域の中で車両寄りや

縁といった相対的な位置にも影響を受けやすい。そのため予め輝度値を細かい時間間隔で手動で指定しても、従来の手法では影領域を除去するのは極めて困難であることが示されている。

最後に、本提案手法で除去できる影は、建物の影のように移動しない影に加えて、式(1)が意味するように車両の影の中でも複数フレーム画像において観測される影である。今回使用した画像においては、車両が縦方向に流れるのに対し、車両の横方向に影が発生していた。この場合には、図-6が示すように車両の進行方向に発生する影は複数回観測されにくく、有効に除去できていない。但し、観測場所や観測時間帯によっては車両の縦方向に影が発生することも考えられ、その場合には複数回観測される影は除去できる。

(2) 夜間画像からの車両の抽出

夜間に対しては昼間に比べて車両領域の欠損が増えるが、図-6に示すように3.(3)c)で述べた補正処理が行われている。夜間画像における処理では、車両のヘッドライトが示す高い輝度値が手掛かりとなる。ヘッドライトから離れた車両の部位では背景の暗闇とほぼ同化し、人間でも車両の輪郭を精確に抽出するのが困難な状況が容易に発生する。そのため夜間画像において、車両領域全体を抽出できない事例が増えるのは仕方がないと言える。その結果、軌跡や速度の精度も低下する。

特に左折車の場合、左折途中まではヘッドライトの高い輝度値が画像に写るものの、途中からはヘッドライトが写らなくなり、画像右端に移動する頃には時間差分画像には全く何も残らなくなる。左折車に対しては、軌跡抽出の際には画像右端に接している領域を初期値とする条件を、ヘッドライトの輝度値が明瞭に確認できる位置にまで緩めて対応した。しかしながらそれでも抽出できない左折車が3台あった。左折位置における車両領域が小さいことに加えて、ヘッドライトの輝度値が十分に明るくないことが原因であった。今後更なる対応を検討していきたい。

時間帯Dで誤抽出された車両が1台あった。これは昼間の時間帯Bと同様に、大型トラックの前後を2回計上したためであった。夜間画像の処理に置いては昼間画像とは異なる困難が存在するが、昼間と同じように軌跡や速度に対しても抽出精度を要求せず、あくまでも台数に焦点を絞る限りでは、現在の提案手法でも十分に有効である。

このように昼間と夜間の動画画像の処理結果を考察したが、車両領域抽出においてはまだ改善の余地があるものの、影領域の除去を中心に改良されたと言える。

表-3 抽出台数の検証結果。「背景1」は単純な背景差分法、「背景2」は100フレーム単位で影領域の輝度情報を与えて影領域を除去する背景差分法で、時間帯A・Bのみに適用した。

		TP	FP	FN	Pr	Re	F値
A	提案	52	0	1	1.00	0.98	0.99
	背景1	40	4	13	0.91	0.75	0.82
	背景2	27	1	26	0.96	0.51	0.67
B	提案	40	2	0	0.95	1.00	0.98
	背景1	33	4	7	0.89	0.83	0.86
	背景2	23	1	17	0.96	0.58	0.72
C	提案	25	1	2	0.96	0.93	0.94
	背景1	10	0	17	1.00	0.37	0.54
D	提案	35	0	1	1.00	0.97	0.99
	背景1	19	1	17	0.95	0.53	0.68
計	提案	152	3	4	0.98	0.97	0.98
	背景1	102	9	54	0.92	0.65	0.76
	背景2	50	2	43	0.96	0.54	0.69

TP: True Positive, FP: False Positive (誤抽出), FN: False Negative (抽出漏れ),

Pr = Precision = TP / (TP + FP), Re = Recall = TP / (TP + FN),

F値 = 2 * Precision * Recall / (Precision + Recall)

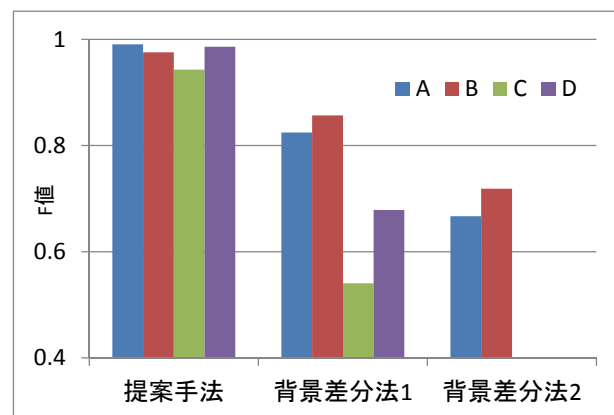


図-8 提案手法と既存手法の車両台数抽出結果の比較

表-4 左右の車間距離のRMSE

サンプル数	絶対誤差(m)	相対誤差(%)
87	0.18	11.6

表-5 速度のRMSE

サンプル数	絶対誤差(km/h)	相対誤差(%)
298	4.4	8.9



図-9 短時間に日照変化が生じた時の車両軌跡の抽出結果. (a)から(j)は時間順に抽出した車両を表し, その間の約16.7秒間に通行した車両は全て抽出しているが, (f)では誤って(e)で抽出したバスを再度抽出している.

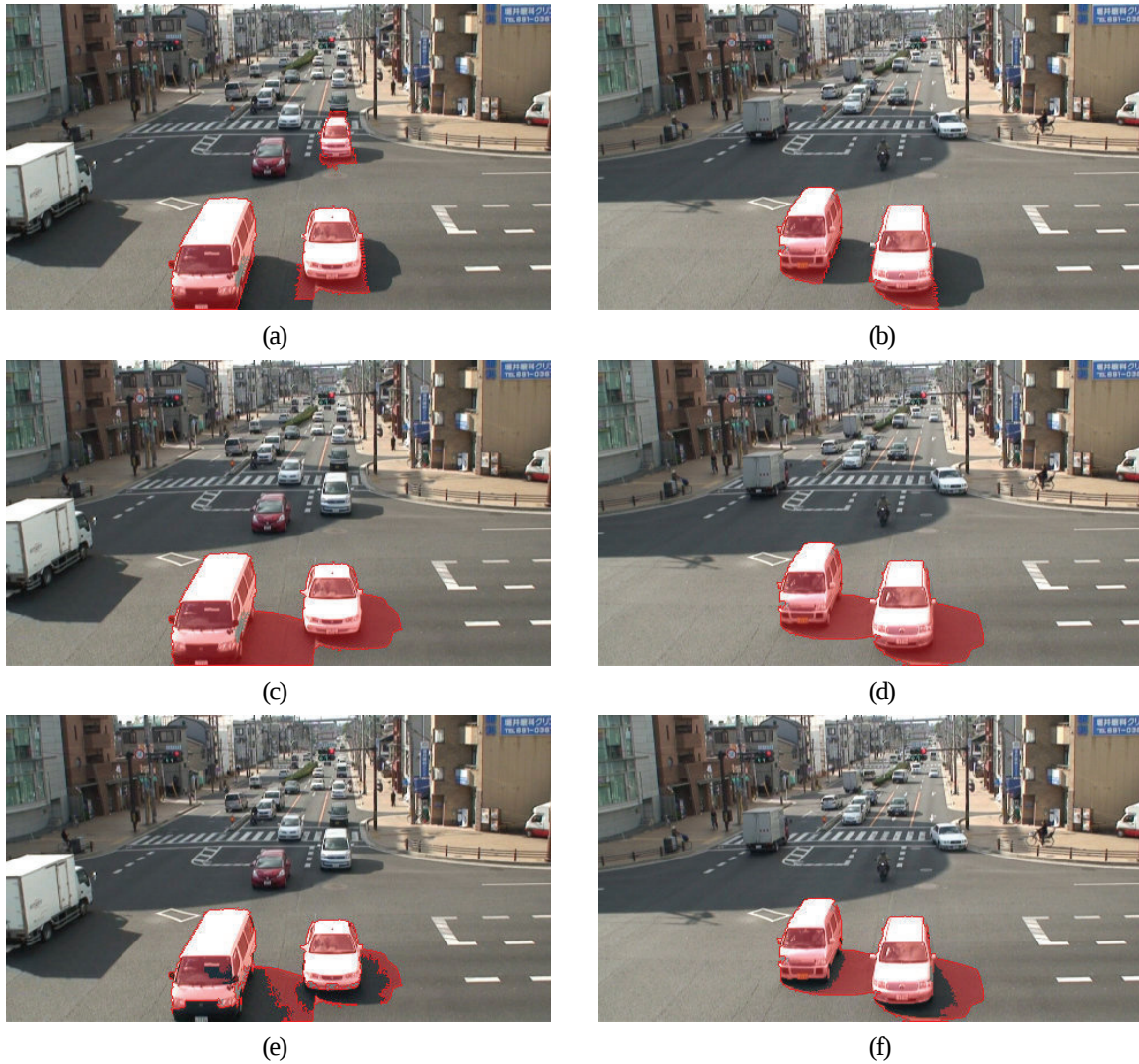


図-10 車両抽出における影領域の除去。(a)(c)(e)は時間帯A, (b)(d)(f)は時間帯Bに撮影された動画の1フレームであり, (a)(b)は提案手法で抽出した結果, (c)(d)は単純な背景差分法(背景差分法1)で抽出した結果, (e)(f)は100フレーム単位で影領域の輝度情報を与えた上で影領域を除去する背景差分法(背景差分法2)で抽出した結果を示す。

(3) 軌跡

本来は軌跡の抽出精度も評価すべきであるが困難であるため, 表-4の通り左右の車線を並走する2台の車両間距離のRMSEを以って軌跡推定の妥当性を評価した。RMSEが0.18 mであり, 1.8画素に相当する。左右の車両間距離を推定するには十分な精度と言える。

提案手法では式(6)に示す条件を満足する限り, 該当領域の追跡を時間を遡って行っている。仮に特定の時刻で十分な大きさの領域が抽出できていないと, その前後には十分な大きさの車両領域が存在していても軌跡の追跡が終了する可能性がある。本研究では, 車両領域の追跡における時間間隔 $\Delta t/N$ 秒は累積時間積分 N_m/N 秒の約半分を想定している。このように領域が約半分程度重なるような状態で同一領域を検出することで, 領域抽出時に欠損があっても頑健に追跡できるように設計されている。

また図-11には, 時間帯A~Dとは異なる別の時間帯Eの動画に対する軌跡抽出結果を示している。縦方向の交通流から横方向の交通流に移行する前に走行する右折車が写っている。画像の右端に接する領域を遡って追跡するという点では, 時間帯A~Dに走行する左折車両と同じ原理で右折車を追跡できた。図-11からは, 右折車両に対しても提案手法は良好に軌跡を抽出できていることが分かる。

最後に停止車両に対する取り扱いについて考察する。本研究で利用した画像では十分に加速した状態の車両が多く確認されたため, 平均速さとの絶対値の差が10.0 km/h以上である場合には異常値として自動的に除外した。しかしながら, 交差点内で右折待ちのために完全に停止する車両の軌跡を追跡したいという, 実務者からの要望は十分に考えられる。本論文で提案する手法は累積時間

差分画像間における領域の重なりを活用するために、現状のままでは停止車両を追跡できない。但し、交差点内で停止した車両に対し、停止状態を示すフラッグを与えて情報を保持することで、停止前後の軌跡を連結することは可能になると考えられる。この場合には領域に対する閾値（例えば、 T_{area} や T_{avg} ）を速さに応じて動的に変化させる等の工夫が必要になる。この停止車両の軌跡推定に関しては別論文で報告する予定である。

(4) 速度

表-5に示すように、絶対誤差が4.4 km/hと提案手法は良好に速さを抽出できていることが分かる。また、図-12に速度の推定例を示している。抽出した車両領域は車両前方の影を含んだままであるが、影を含んだ領域が安定して得られているため、速さの推定精度には大きな影響を与えていないと考えられる。今回は単純に速さの仮の平均値を計算し、その値と大きく異なる速さを異常値として取り除いた。異常値の除去方法や経験的に適用した閾値(10 km/h)に関しては、今後更なる検討が必要である。

(5) 二輪車の抽出

実務への応用を考えると、四輪車以外に二輪車も動画像から自動抽出したい要求が考えられる。提案手法において車両領域抽出に関連する閾値を緩めることで抽出される移動物体の対象が広がり、二輪車を抽出することができた。二輪車の場合、四輪車に比べて除去できる影の割合が小さく、軌跡領域に影が含まれている。この際に四輪車の軌跡を見てみると、四輪車においても除去できない影が多数含まれるようになり、軌跡に影の領域が含まれていることが分かる。二輪車を抽出しようと閾値を緩めることで、四輪車の車両や軌跡の抽出が不精確になってしまう。よって、四輪車と二輪車を同一の閾値で処理するのではなく、四輪車を先行して処理した後に、緩めた閾値を適用して二輪車を処理する段階的な処理が有効である可能性が考えられる。

一方で、閾値の設定次第では、二輪車だけを抽出することも可能であると考えられる。その閾値の設定は撮影角度や画像内での二輪車・四輪車の大きさに大きく依存するが、二輪車を抽出し、四輪車を除外するような範囲の閾値を設定することで二輪車のみを抽出可能になる。最初に閾値の設定に時間を要するが、二輪車だけを抽出して統計量を得たいという要望に対応できる可能性が含まれている。

(6) 遮蔽状態の分離

本研究では、遮蔽状態が比較的少ない縦方向の交通流を対象に研究を進めた。提案手法を今後様々な交通流画

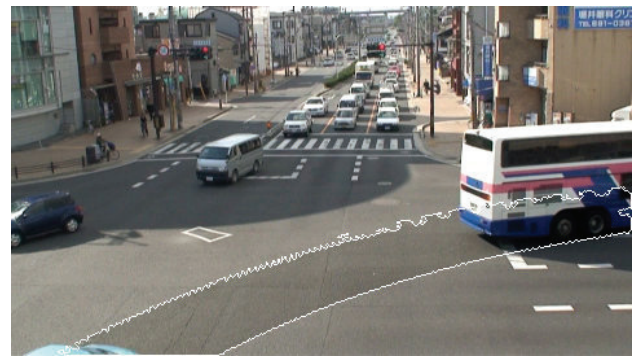


図-11 右折車両の軌跡抽出結果

像に応用していく場合、横方向の交通流も対象に含めることが現実的に考えられる。その場合には、遮蔽状態を推定し、前後のフレームを手掛かりに車両の台数や軌跡を推定することになる。村北ら¹⁹⁾は、パーティクルフィルターを用いて、追跡対象が交差中、遮蔽中等の状態を推定し、移動物体の軌跡推定精度を向上させる手法を提唱している。また、渋滞発生時には縦方向の交通流でも遮蔽状態が発生し、車両を分離して抽出する必要が発生する。その際に車両間の境界線に発生するエッジ等を活用する手法^{19) 20) 21)}が提案されている。今後は、遮蔽状態前後の非遮蔽状態の車両領域の情報を取り込んで個別車両の検知、及び軌跡の追跡を実現したいと考えている。

6. 結論

本研究では、縦方向の交通流動画像を対象に、短時間に日照が変化し、建物や車両の影が発生しても影領域の輝度値を指定することなく車両およびその軌跡を自動抽出する手法を開発した。台数や左右に並走する2台の車両間の距離、ならびに推定速度を検証した結果、既存手法に比べて提案手法からは良好な精度が得られることが判明した。実験結果を見る限りでは、縦方向の交通流また右折する車両の抽出においては大きな問題はなかった。よって提案手法は、大局的だけでなく局所的な日照変化にも頑健に車両位置や軌跡、速度を推定できると言える。

今後、横方向の交通流を対象に加えていくと、遮蔽状態の問題を避けて通れない。今後は複数地点で撮影した交通流に対して汎化能力が十分にあるか検討しながら、横方向の交通流・雨天時の画像の問題に対応していくことが課題として挙げられる。また処理時間の短縮も将来の課題である。今回、約65～70秒間の動画像に対し、静止画像に切り出して以降の処理に約20分要した。今後は背景差分画像の生成や同一領域の追跡過程等の効率化を図ることで、全体の処理時間の短縮を目指す。

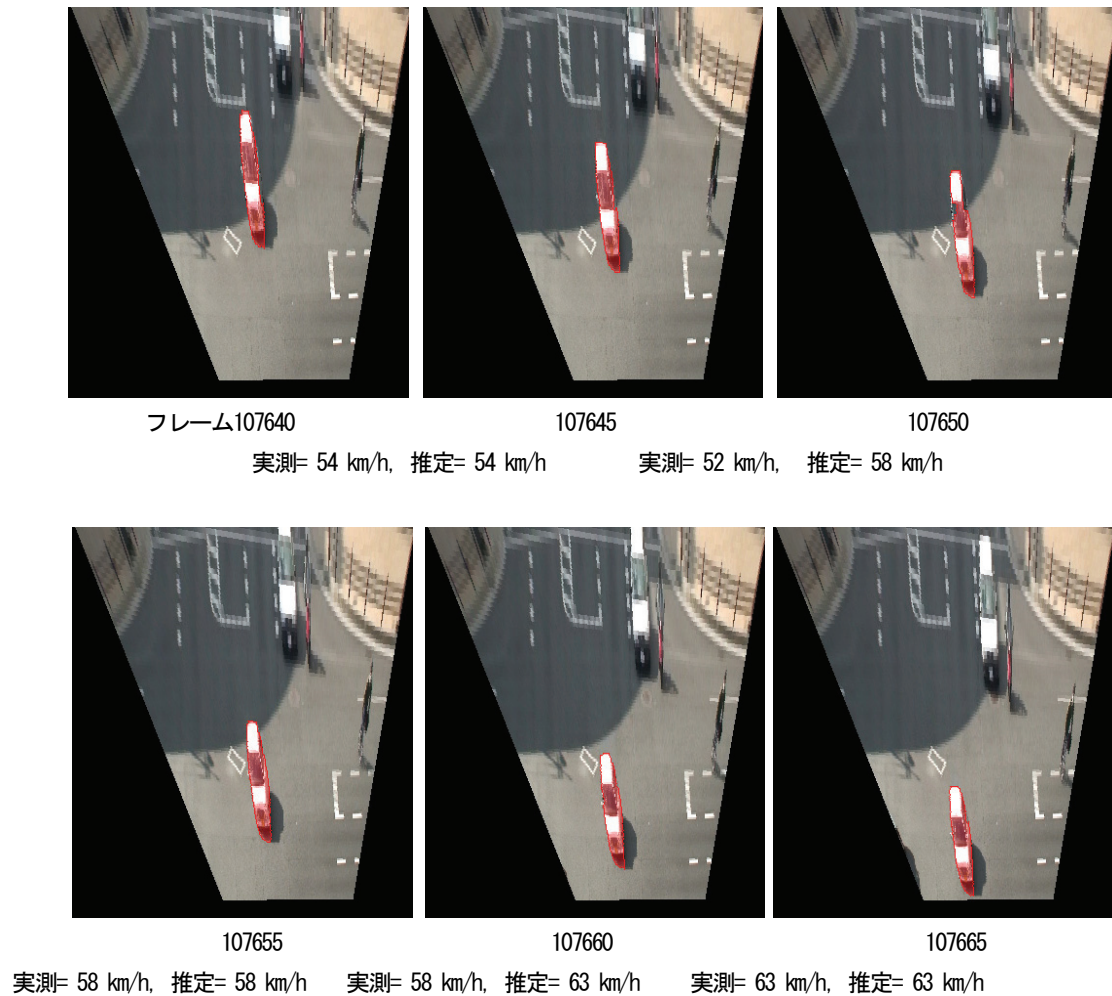


図-12 5フレームごとの車両領域の移動量に基づいて推定した速さ

謝辞: 本研究は、国土交通省 新道路技術会議「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」の助成（混合交通流の自動解析に基づく交通安全性・円滑性評価手法および交通制御・道路運用手法の構築：2010年度～2012年度：研究代表者 須崎純一）を受けて行われた。

参考文献

- 1) 桃澤宗夫, 森崎和裕, 生井達朗: 画像処理技術による事故車両の自動検出システム, システム制御情報学会論文誌, Vol. 9, No. 10, pp. 457-466, 1996.
- 2) 廣田隼, 田口亮, 保黒政大, 梅崎太造: グラウンドを対象とした動体検出システムの開発, 第 18 回画像センシングシンポジウム論文集, IS2-13, 2012.
- 3) 久徳遙矢, 出口大輔, 高橋友和, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋: 過去の車載カメラ映像との時空間差分による不特定障害物検出, 画像の認識・理解シンポジウム論文集(MIRU2012), IS2-70, 2012.
- 4) 金子敏充, 堀修: テンプレートマッチングを用いた物体追跡のためのテンプレート画像更新基準, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J88-D-II, No. 8, pp. 1378-1388, 2005.
- 5) シャミラ モホッタラ, 影沢政孝, 池内克史: 確率的手法を用いた車両の検出とクラス認識, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J89-D, No. 4, pp. 816-825, 2006.
- 6) 上條俊介, 松下康之, 池内克史, 坂内正夫: 時空間 Markov Random Filed モデルによる隠れにロバストな車両トラッキング, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J83-D-II, No. 12, pp. 2597-2609, 2000.
- 7) Kamijo, S., Matsushita, Y., Ikeuchi, K. and Sakauchi, M.: Traffic Monitoring and Accident Detection at Intersections, *IEEE Trans. ITS*, Vol. 1, No. 2, pp. 108-118, 2000.
- 8) Mithun, N. C., Rashid, N. U. and Rahman, S. M. M.: Detection and classification of vehicles from video using multiple time-spatial images, *IEEE Trans. ITS*, Vol. 13, No. 3, pp. 1215-1225, 2012.
- 9) 羽下哲司, 鷺見和彦, 八木康史: 変化領域内の動きの時空間特徴に着目した屋外情景における歩行者の検出, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J87-D2, No. 5, pp. 1104-1111, 2004.
- 10) 島田敏士, 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. J90-D, No. 9, pp. 2606-2614, 2007.
- 11) 川西康友, 満上育久, 美濃導彦: 屋外固定カメラを対象とした長期間画像解析による背景画像生成, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J94-D, No. 8, pp. 1359-

- 1367, 2011.
- 12) 弓場竜, 三好雅則, 藤吉弘亘, 村井泰裕: 時空間テクスチャを用いた背景モデルによる動体検知法, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J94-D, No. 7, pp. 1101-1112, 2011.
- 13) 岩田健司, 佐藤雄隆, 尾崎竜史, 坂上勝彦: 統計的リーチ特徴法に基づくロバスト背景差分, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J92-D, No. 8, pp. 1251-1259, 2009.
- 14) 長谷川為春, 小沢慎治: モデルに基づいた影を伴う移動物体の検出, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J83-D-II, No. 2, pp. 555-564, 2000.
- 15) 布施孝志, 清水英範, 前田亮: 高度撮影時系列画像を用いた車両動態認識手法の構築, 土木学会論文集, No. 737/IV-60, pp. 159-173, 2003.
- 16) 吉村浩典, 岩井儀雄, 谷内田正彦: 屋外環境における明るさ可変背景と MSC を用いた移動物体検出, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J90-D, No. 8, pp. 1987-1997, 2007.
- 17) Hsieh, H. Y. and Chen, N. : Recognising daytime and nighttime driving images using Bayes classifier, *IET Intell. Trans. Syst.*, Vol. 6, No. 4, pp. 482-493, 2012.
- 18) 村北卓也, 石黒浩: Sampled-Volume-based Data Association Filter による遮へいロバストな実時間複数人物追跡, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J90-D, No. 10, pp. 2868-2883, 2007.
- 19) 久保山英生, 小沢慎治: 連続画像からのトンネル内における重交通流計測, 電子情報通信学会論文誌 DII, Vol. J85-D-II, No. 2, pp. 210-218, 2002.
- 20) Kanhere, N. K. and Birchfield, S. T. : Real-time incremental segmentation and tracking of vehicles at low camera angles using stable features, *IEEE Trans. ITS*, Vol. 9, No. 1, pp. 148-160, 2008.
- 21) Li, Y., Li, B., Tian, B. and Yao, Q. : Vehicle detection based on the AND-OR graph for congested traffic conditions, *IEEE Trans. ITS*, Vol. 14, No. 2, pp. 984-993, 2013.

(2013. 11. 13 受付)

DEVELOPMENT OF A ROBUST METHOD TO SUNLIGHT CONDITION CHANGE THAT AUTOMATICALLY EXTRACTS VEHICLES FROM TRAFFIC VIDEO IMAGES

Junichi SUSAKI

This paper presents a novel method that automatically extracts regions and tracks of vehicles from traffic video images observed even when local sunlight condition varies or at nighttime. The proposed method first generates “accumulated temporal subtraction images” by accumulating temporal subtraction images within a certain period, and removes shadows by counting the number of brightness change in the images. This process removes parts of vehicles, but the lacking parts are compensated by accumulating the accumulated temporal subtraction images after removing shadow. As a result, the vehicle’s track is determined. Then, the vehicle region at a certain time is delineated by multiplying the track without shadow and a tentative vehicle region with shadow. Finally, the image is converted into bird-eye view images, and the velocity of a vehicle is estimated by subtracting vehicle’s positions shown in two bird-eye view images. We applied the method to traffic video images observed in Kyoto, and it was found that F-value was 0.98, and accordingly the proposed method performs very accurately.