

画像処理による車両抽出法の開発について

古池 弘隆 宇都宮大学工学部
○本橋 稔 宇都宮大学工学部

1. はじめに

ビデオを用いた交通現象の解析は、交通流の挙動を詳細に把握することができるため、広く用いられている^{1) 2)}。本研究は、現地で撮影したビデオカメラの画像データから、オフラインで、できる限り人手に依ることなく自動的に交通流の諸量を計測するシステムの開発を目的としている。画像データを用いた交通流計測は、既に次のような幾つかの報告がある^{3) 4) 5)}。

- 1) 2枚の連続した処理対象画像の各画素の差をとることによって差分画像を作り、輝度差として移動している車両を抽出する³⁾。
- 2) 車両が存在しないときの画像を背景画像として、処理対象画像と背景画像との間で差分画像を作り車両を抽出する⁷⁾。
- 3) 処理対象画像の路面の最頻値の輝度を背景輝度とし、処理対象画像上の輝度が背景輝度と異なった値を持つ領域に車両有りとする⁸⁾。
- 4) 測定位置を特定し、その位置に於ける画像信号だけを取り出して、予め決められたスレッシュホールドレベル以上の輝度変化があったとき、車両が通過したとみなす⁹⁾。

我々はこれまで、1)の手法で車両を抽出することを試みてきた。この手法で差分画像を作ると、移動している車両の一部が分断された形で残る。車両の位置を得るため、この残差の重心を求め、さらにクラスター処理をして車両の重心の座標を算出した。これらの処理を連続して行うことにより軌跡、速度等を得た。

しかし、この手法にはいくつかの問題があった。例えば、算出された重心が必ずしも車両の重心である保証はない、影の影響によって重心がずれる、フレームにかかる車から算出された重心は車両の重心と大きく異なる、車両密度が高くなるとクラスター処理が正常に働かない等である。さらに、これまで報告のあった車両抽出法は、主に高速道路や単路におけるものがほとんどであり、交差点

のような車両が複雑な挙動を示す場所における報告例は見あたらなかった。

そこで我々は、交差点においても車両を正確に抽出できる手法と、人手を介さずに計測のできるシステムの開発を行ってきた。今回開発したシステムは、まだ多くの検討課題が残されているが、従来の車両抽出法に比べかなり正確に車両の形を抽出でき、さらに、比較的簡単な方法でコンピュータに車両の位置を認識させることができる。このシステムの特徴は、現地において計測位置を特定することなく、画像内の任意の位置の情報を取得できる点にある。

2. システム構成

図1にシステム構成図を示す。画像処理装置は、横512×縦480画素で、RGB各256階調の輝度レベルである。VTRは、RS-232C端子を持ちコンピュータにより制御可能である。ビデオカメラで撮影してきた画像は、VTR、デコーダを通して画像処理装置に入力される。磁気ディスクは画像データ及び処理結果を蓄える。プリンターは画像処理装置の画面のハードコピー用である。

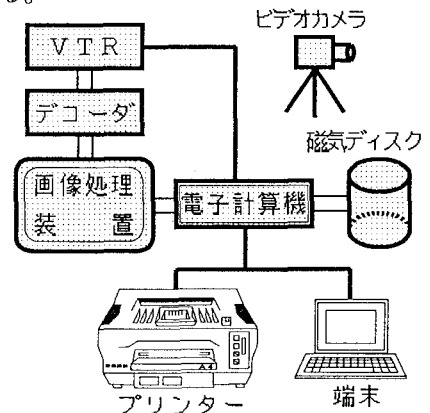


図1 システム構成図

図2に計測手順の概略を示す。画像データの入力には2通りある。1つは、VTRをコンピュー

タで制御しながら1フレームずつ画像処理装置に
 入力し、処理結果を磁気ディスクに蓄える。2つ
 めは、VTRからの画像データを画像処理装置で
 編集しながら、磁気ディスクに一時蓄え、蓄えら
 れた画像データを逐次画像処理装置にロードして
 処理を行う。ビデオ画像は毎秒30枚のフレーム単
 位により構成されているため、車両抽出は、1/30
 秒離れた2枚のフレームから、今回新しく開発し
 た手法を用いて車両を抽出し、その重心を求めて
 得られたデータをコンピュータに蓄える。このデー
 タは、各フレーム毎に、移動している車両が何
 台どの地点（座標）に存在しているかを示してい
 る。このデータファイルからは、各車両の挙動を
 知ることができないため、車両認識処理を施し、
 各車両毎に時間と座標を表す形にファイル様
 式を変換する。この変換されたファイルから
 データを算出する。

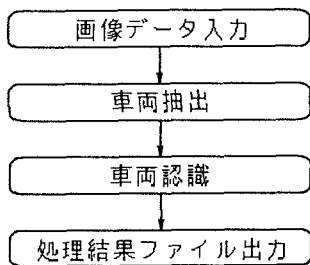


図2 計測手順の概略

3. 車両抽出の概要

画像内に移動している車両があるとき、画像デ
 ータの輝度レベルの差を取ると移動している車両
 の一部が残る。これを元の車両の形に成長させて
 いく。これが今回開発した車両抽出法（微分成長
 法）の考え方である。

図3に車両抽出の概要を示す。短時間（1/30秒）
 離れた、連続した画像間で輝度レベルの差の絶対
 値をとる。この絶対値差分画像からマスクパター
 ンを作成し、原画像にマスクを掛ける。これによ
 って移動している車両及びその周辺の背景を取り
 出し、以下マスク内の画像を処理する。一方、絶
 対値差分画像をあるしきい値で二値化し、移動し
 ている車両の残差を作る。この残差を微分成長法
 を用いて成長させる。次に、抽出しても意味のな
 い、フレームにかかった車両を取り除くため、外
 縁補正を行う。最終的に成長した残差を移動し
 ている車両と仮定し、より車両の形に近付けるた
 めに後処理を行い、最後にラベリングして車両を抽

出する。

3.1 マスクパターンの作成

車両抽出
 の対象とな
 る領域を画
 像から切り
 出すために、
 マスクパタ
 ーンを作成
 する。通常
 のマスクパ
 ターンは、
 処理の対象
 とならない
 道路沿いの
 家や歩道を
 削除するた
 めに、路面
 全体を残す
 ような形で
 人手により

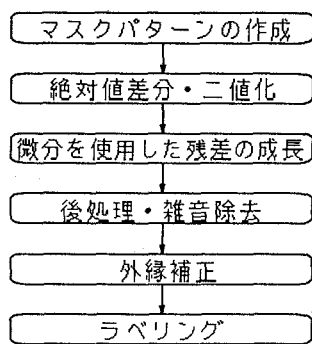


図3 車両抽出の概要

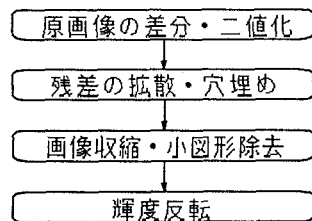


図4 マスクパターンの作成手順

作成されるが、ここでは自動的に、できる限り処
 理対象領域だけを残すような形でマスクパターン
 を作成した。図4はマスクパターン作成の手順で
 ある。

1) 原画像の差分・二値化

ここではフレーム間の絶対値差分を行う。絶対
 値差分とは、各画素間の輝度の差をとり、その絶
 対値を画素の輝度の値とする。これにより輝度変
 化のある部分、すなわち移動している車両のある
 一部分の輝度差を取り出す。

さらに、照度の僅かな変化に起因する輝度差に
 による雑音を減少するため、差分画像を二値化する。

2) 残差の拡散・穴埋め

二値化された差分画像には車、二輪車、歩行者
 等移動している物体の一部分が残差として残され
 ている。これら移動している物体の全体を処理対
 象とするマスクパターンを作るため、8近傍（上
 下左右及び斜め方向に隣接する画素）について拡
 散を行い、穴埋め処理をする。

3) 画像収縮・小図形除去

拡散によって切り出したい処理対象領域が、か
 なり大きくなっているため8近傍について収縮を

行う。拡散及び収縮は、大型車両が完全にマスクパターン内に残るように、拡散・収縮の回数を決定する。次に歩行者、二輪車等を処理対象領域から除き、さらに雑音の影響を軽減するため、小図形除去を行う。

4) 輝度反転

最後に輝度反転を行ってマスクパターンを作る。

3. 2 微分を用いた差分画像の成長

マスクによって切り出された画像の領域内に、抽出したい車両が存在する。以下、この切り出された領域内を処理していく。マスクパターン作成時に得られた、フレーム間の絶対値差分二値画像には、移動する車両の一部分が残差として残っている。この残差を新しく開発した、微分を用いた差分画像の成長処理（微分成長法）を行い、残差を元の車両の形に成長させ、車両抽出を行う。次に微分成長法について述べる。

図5のa画像とb画像は短時間離れた2枚の原画像から処理対象領域を切り出したものである。ここで格子の各々は1画素を示す。この図では輝度が反転しているが、より暗い部分が輝度レベルの高い部分を示す。a, b画像ではより暗い部分は、移動している車両を表し、周辺の明るい部分は路面を表している。まず、a, b画像間の絶対値差分を取り二値化することにより、残差であるc画像を作る。c画像は路面と車の輝度差を検出したものである。車のボンネットとフロントガラスの間の輝度差も残差として残るが、説明を簡単にするため、ここでは省略してある。

d画像はb画像を画像強調し微分して二値化したものである。画像強調とは横軸が輝度レベルで、縦軸が画素数のヒストグラムを平坦化し、コントラストを強調する処理である。微分は図6の微分オペレータを8近傍の方向に処理し、その最大値をとった。つまり、 $T_{11} \sim T_{33}$ の重みを各対応する画素の輝度値 $K_{11} \sim K_{33}$ に乘算し、その総和をとる。次に微分オペレータを、 T_{22} を中心に回転して $T_{21} \sim T_{23}$ を $K_{11} \sim K_{33}$ に乘算し総和をとる。更に回転して $T_{31} \sim T_{13}$ を $K_{11} \sim K_{33}$ に乘算し・・・と8回繰り返し、総和の最大値を K_{22} の輝度とする。従って、輝度差のある境界で、最大その輝度差の3倍の輝度レベルが取り出される。

e画像はb画像を強調した画像からc画像を引

いたものである。引算をしてマイナスの値になった画素は輝度レベルを0として処理している。f画像はe画像を微分して二値化した画像である。g画像はf画像からd画像を引いた画像で、車の成長部分を取り出した画像である。この場合も、引算をしてマイナスの値になった画素は輝度レベ

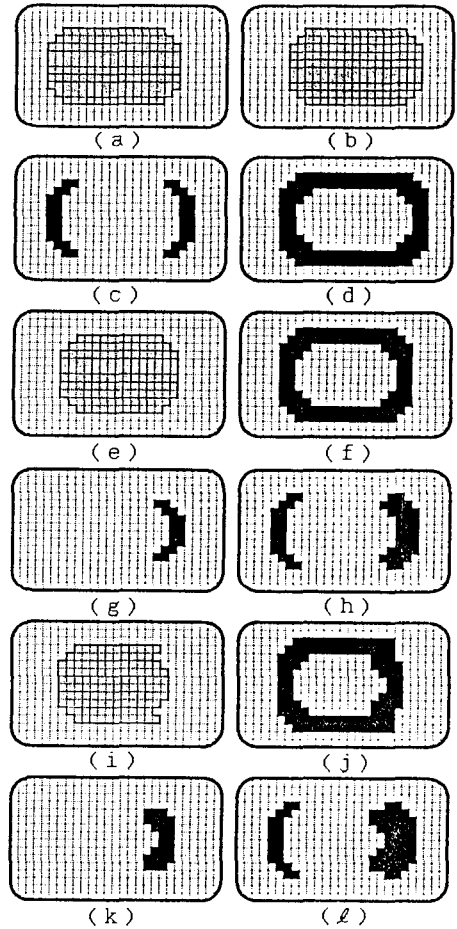


図5 微分成長の過程

微分オペレータ			画素の輝度レベル			
T_{11}	T_{12}	T_{13}	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}
-1	0	1	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}
T_{21}	T_{22}	T_{23}	K_{31}	K_{32}	K_{33}	K_{34}
-1	0	1	K_{41}	K_{42}	K_{43}	K_{44}
T_{31}	T_{32}	T_{33}				
-1	0	1				

図6 微分

ルを0として処理している。このg画像を残差であるc画像に加えることによって一回り成長したh画像を得る。足し算によって最大輝度レベルを越えた画素には最大輝度レベルを入れる。i画像はb画像を強調した画像からh画像を引いた画像で、これを微分、二値化した画像がj画像である。k画像はj画像からd画像を引いた成長部分であり、これをh画像に加えることによって、更に成長した画像がl画像である。以下同様に微分、成長部分取り出し、成長を繰り返すことによって、残差は次第に成長し元の車の形に近付いていく。

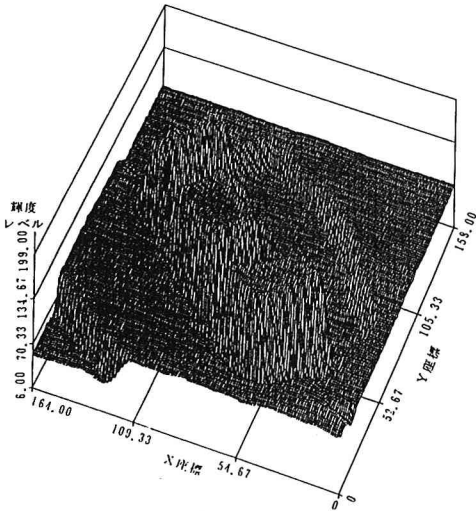
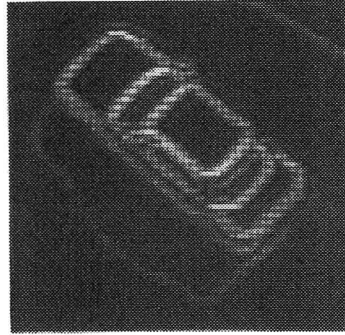
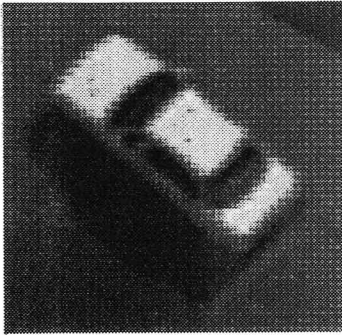
最後に、最終的に成長した画像から、a画像を強調して微分し二値化した画像を引き、1ピクセル拡散して、穴埋めを行うことにより元の形の車両となる。実際の画像では残差は、フロントガラス等の輝度差のあるところにも現れ、車の内部か

らも成長して行く。

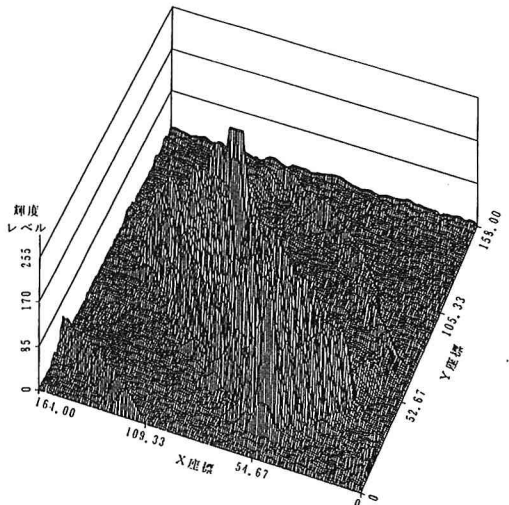
3.3 二値化時のしきい値

簡潔に表現すると微分成長法とは、微分によって得られた車の輪郭内を、原画の差分によって得られた車の一部分を基に塗りつぶして、元の車の形を得ようとする手法である。図7は、原画とその輝度分布及び微分画像とその輝度分布の一例である。

図5のc画像において二値化時の輝度レベルであるしきい値(S1)は、車と路面、車と路面上のペイント、ボンネットとフロントガラス等の輝度差が、残差として残る大きさに影響する。しきい値を大きくすると残差は小さくなり、しきい値を小さくすると残差は大きくなる。しきい値を一定とすると、天候、時間に起因する照度の変化に対して、残差の大きさが増減する。これは微分成長過



原画の輝度分布



微分画像の輝度分布

図7

程における繰り返し数を多めにとることにより対処し、しきい値の更新は行わない。図5のf画像は、成長部分g画像を取り出すための画像であり、e画像を微分したものであるから、このしきい値(S3)は、S1の3倍の値とする。図5のd画像は、車の成長の境界を決めるものである。この境界を越えて車が成長しないように、しきい値(S2)はS3よりも幾分小さくする。これらのしきい値は、車とその周辺の輝度差が大きい場合には、より大きくとることができ、雑音も減少する。しかし、輝度レベルの低い車(暗い色の車、汚れたトラック等)の抽出が不安定となる。我々のシステムでは、できる限り輝度差の小さい場合も車を抽出できるように、S1=15, S2=35, S3=45とした。

3. 4 車両抽出

微分成長法で得られた画像の外縁に位置する車両は、後に車の重心を算出しても意味がないので、外縁補正によって消去する。

次に影の影響を軽減するため縮小・拡散を行う。図7のように影の部分は、輝度が低く平坦で、車から遠ざかった部分の影と路面の輝度差は小さい。しきい値を調整することによって、車から遠ざかった部分の影の輪郭は、消滅ないし分断する。この画像を微分成長法によって処理すると、影は図8(a)のように帯状に残る。さらに画像を縮小・拡散処理することによって、(b)のように帯状の影の影響は減少する。画像縮小は8近傍について処理する。縮小する画素数は、撮影時の画像の縮尺により異なるが、処理開始時に設定し、途中で更新する必要はない。拡散は4近傍について処理し、画素数は、縮小時の画素数と同じとする。

最後にラベリングを行い、残差の面積を算出する。ある値以下の面積の残差は、雑音として消去し、残された残差は車と見なして、その台数と各々の重心の座標を得る。

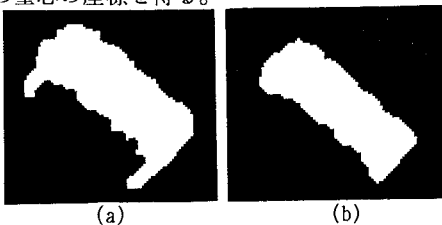


図8 帯状に残る影

4. 車両認識

抽出された車の台数とそれらの重心の座標は、フレーム単位で表1の様式でファイルに蓄えられる。Fはフレーム番号、Nは抽出された車の台数、X、Yは車の重心の座標である。表1はm+1枚の画像、即ちm/30秒間の画像を処理した結果である。フレーム番号F_iはF₀-F_i間で車両抽出し、抽出台数がN_i台で(X₁₁, Y₁₁), (X₁₂, Y₁₂)...とN_i組の座標が並ぶ。この表1からは、車が如何なる速度で如何なる軌跡を経て画像内を通過したのか判らない。そこで簡単な車両認識処理を行い、表2のような様式にファイルを変換する。IDは車の通し番号で1番からの連番、X、Yは重心の座標である。FSは画像内に車が最初に進入したときのフレーム番号で、FS_iは車ID_iが最初に画像内に進入してきたときの重心の座標(X₁₁, Y₁₁)に対応している。FEは車が画像外に出て行くときのフレーム番号で、FE_iはID_iの重心の座標(X_{1e1}, Y_{1e1})に対応している。表2から車の総通過台数、各車の軌跡、速度、加速度等が計算できる。また、表1と共に密度を計算することもできる。

車両認識を行う上で前提となっていることは、画像間の時間が非常に短いために、車は、その幅及び長さよりはるかに短い距離しか移動しないということである(最大移動距離)。図9のように、画像内に進入してくる車か、あるいは出て行く車かを判定するために、枠をプログラム上仮想的に設ける。外枠の大きさは、その地点を通過するであろう最大の抽出車両から計算される重心の位置より、最大移動距離だけ内側に設ける。外枠は、認識処理範囲を決定し、FS、FEを決定するために使う。内枠は雑音軽減のために使う。大きさは、外枠よりもさらに最大移動距離だけ内側に設ける。次に車両認識の手順を示す。図9について、外枠の外側の領域を領域I、内側の領域(点線内を含む)を領域II、内枠の内側の領域を領域IIIとする。

- 1) 最初のフレームで抽出された車の台数、重心の座標を読み込み、領域IIに重心のある車にID番号を付ける。ここで、FSとそれに対応する最初の座標を決定する。
- 2) 次のフレームで抽出された車の台数、座標を読み込む。1)で決定された各IDの車の座標(以下、重心①と言う。)といま読み込んだ車の座

表1 認識前のファイル様式

F_1	N_1		
X_{11} Y_{11}	X_{12} Y_{12}	X_{13} Y_{13}	X_{14} Y_{14}
X_{15} Y_{15}	X_{16} Y_{16}	.....
F_2	N_2		
X_{21} Y_{21}	X_{22} Y_{22}	X_{23} Y_{23}	X_{24} Y_{24}
X_{25} Y_{25}	X_{26} Y_{26}	X_{27} Y_{27}	.....
.....			
.....			
F_n	N_n		
X_{n1} Y_{n1}	X_{n2} Y_{n2}	X_{n3} Y_{n3}	X_{n4} Y_{n4}
X_{n5} Y_{n5}	X_{n6} Y_{n6}	.....

表2 認識後のファイル様式

ID_1	FS_1	FE_1	
X_{11} Y_{11}	X_{12} Y_{12}	X_{13} Y_{13}	X_{14} Y_{14}
.....	.....	.....	X_{1e1} Y_{1e1}
ID_2	FS_2	FE_2	
X_{21} Y_{21}	X_{22} Y_{22}	X_{23} Y_{23}	X_{24} Y_{24}
.....	.....	.....	X_{2e2} Y_{2e2}
.....			
.....			
ID_i	FS_i	FE_i	
X_{i1} Y_{i1}	X_{i2} Y_{i2}	X_{i3} Y_{i3}	X_{i4} Y_{i4}
X_{i5} Y_{i5}	X_{i6} Y_{i6}	.....	X_{ie_i} Y_{ie_i}

画面

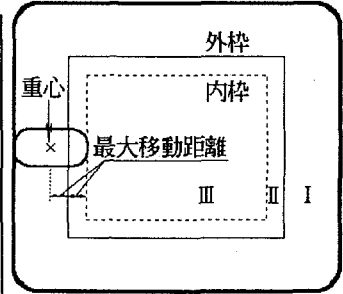


図9

標（以下、重心②と言う。）との距離をそれぞれ算出し、最大移動距離内で、最小距離の位置にある車を探す。

- 3) 重心①→②の対応がとれない場合は、車は停止しているとみなし、この車の重心列（表2で車両ID毎に並ぶ重心の座標列）に重心②を加える。
- 4) 重心①→②の対応がとれた場合は、車がある場所に移動したとみなし、この車の重心列に重心②を加える。さらに、重心②が領域Iにある場合には、FEを決定し、この車の以後の処理を打ち切る。
- 5) 対応のとれない重心②が残っている場合、その重心②が領域IIにあるときは、新しく車が画像内に進入してきたとみなし、この車のID、FSを決定し、最初の重心列として重心②を加える。重心②が領域Iにあるときは、無視する。
- 6) 重心②を、新たに重心①として2)の処理に戻り繰り返す。

正確に車が抽出され、漏れなく重心が計算されている場合は、上述の車両認識処理で十分であるが、重心の欠落があるとき、あるいは、雑音によって重心であると算出されてしまった座標があるときを考え、実際のプログラムには次の処理が追加してある。

3)において、重心欠落のために対応がとれない場合を考え、この車の重心列で1つ前（過去）の重心と現在の重心①から、この車が同速度、同方向に移動していたならば、移動したであろう重心を記憶して置き、次の繰り返し処理のときに、現在の重心①と記憶してある重心で、重心②との対

応を探す。対応がとれなければ停止とみなす。記憶してある重心と対応がとれたときは、この重心列に、記憶してある重心と重心②を加える。

- 5)において、重心②が領域IIIにあるときは、雑音とみなして無視する。

5. 車両抽出精度測定実験

微分成長法により抽出される車から算出される重心座標 (X_a, Y_a) の、手動によって画像から直接観測される重心座標 (X, Y) に対する精度を測定するため実験を行った。精度に影響する要素として、画像に映っている車の大きさ(面積 S)、車の平均輝度(K_a)とその車の周辺の平均輝度(K_d)との間の輝度変化率 ($K = |K_a - K_d| / K_d * 100$ [%])、および、車の画像上の速度 (V [Pixel/s]) を考えた。測定条件が一定で1つのパラメータだけを変化させるような画像を選び出すことが、非常に困難であったため、撮影してきた映像からランダムに画像(車数80台)を選び実験を行った。図10は、 S に対する重心誤差 ($EPS = \sqrt{(X_a - X)^2 + (Y_a - Y)^2}$) [Pixel] である。図11は、 K と V における、重心の面積に対する相対誤差 ($E = EPS / \sqrt{S} * 100$ [%]) である。これらの図から、輝度変化率と車の速度が、微分成長法により算出される重心の座標に及ぼす影響は、ほとんど無いように思われる。

そこでEに影響を及ぼす要因として、 K と V の2つの分類変数を考え、これらの効果が有意であるか否かを検定するため2元配置の分散分析を行った。結果を表3に示す。水準数は K, V 共に2とし、バランスデータとするために K の値は70、 V の値は160で分類した。分散分析表のF値は

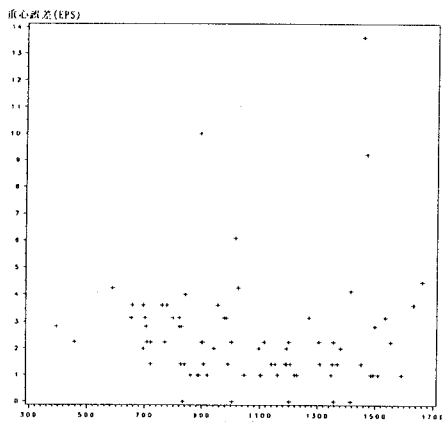


図 10 車の面積に対する重心誤差

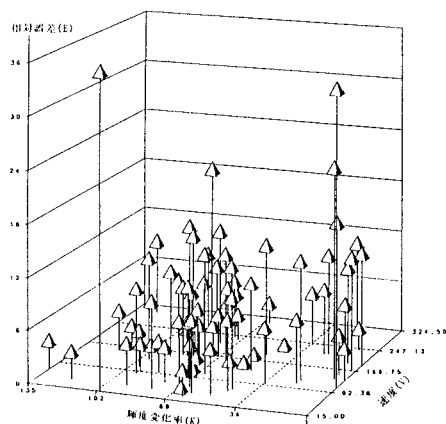


図 11 輝度と速度に対する相対誤差

1.01と非常に小さく、この値以上のF値が出現する確率p値(有意水準)は0.3929と非常に大きい。さらに、各要因毎の効果を見てもKのp値が0.2248、Vのp値が0.2321であり、K要因の効果およびV要因の効果が有意であるとは、共に言い難い。また、K*Vの交互作用に関しては全く影響が無いと考えられる。従って、この車両抽出法

表 3 分散分析表

分散分析	自由度	偏差平方和	平均平方	F値
予測値	3	122, 113	40, 704	1.01 p値 0.3929
残差	76	3061, 322	40, 281	
実験値	79	3183, 435		
要因毎の効果	自由度	偏差平方和	F値	p値
K	1	60, 325	1, 50	0, 2248
V	1	58, 437	1, 45	0, 2321
K*V	1	3, 351	0, 08	0, 7738

は、輝度変化率、車速度に影響されない手法であると考えられる。

しかし、実験からフレーム間で1 [Pixel]以上の車の移動がなければ、抽出することができない。すなわち速度の最小感度は30 [Pixel/s]である。また、輝度変化率の最小感度は3 [%]、重心誤差の平均は8 [%]であった。

6. 速度計測実験

画像データは、JR宇都宮駅西口大通りと県庁前通り沿いにある、高さ約31mのビルの屋上より撮影した交差点の映像(撮影日時:平成4年1月17日午後2:30~3:00)を使用した。図12は、任意に画像を選び本手法により車両を抽出して計測した速度を抽出速度、画像処理装置のモニタ上で手で計測した速度を観測速度とし、両者の比較を行った結果である。フレームを5枚連続して処理し、1、2枚目のフレームと4、5枚目のフレームから得た重心座標を地上座標に変換する。この座標変換は、射影幾何学より導き出され、一般によく利用されている次式を用いた。

$$X = (A_1 * X' + A_2 * Y' + A_3) / (A_7 * X' + A_8 * Y' + 1)$$

$$Y = (A_4 * X' + A_5 * Y' + A_6) / (A_7 * X' + A_8 * Y' + 1)$$

X', Y' : 画像上の座標

X, Y : 地上座標

A₁~A₈ : 係数(基準となる地上座標4点と、これに対応する画像上の座標4点から、予め算出しておく。)

変換された座標間の距離を時間(4/30秒)で割り、速度としている。

図13は、人手で計測することが困難であろうと思われる場面について、本手法を適用した応用実験例の結果で、交差点の中央付近に於ける、車の速度分布を測定した結果である。片側の車線について直進車のみ、交差点の中央付近で仮想的に引いた直線を通過する車の速度を計測した。被測定方向の信号の青現示は50秒である。信号が青になったとき計測を始め、赤になるまでを1回として3回測定を行った。測定台数は、1回目目が21台、2及び3回目は24台であった。縦軸は、3回の合計について集計したものである。測定手順としては、車両抽出の結果得られるフレーム単位の重心列のファイルから、車両認識によって車単位の重心列を得る。車毎に重心列を調べること

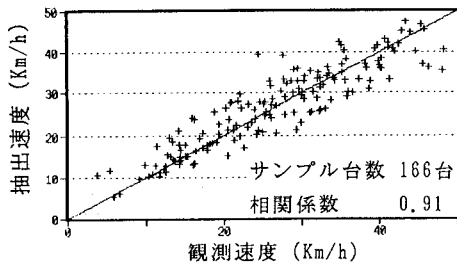


図1.2 速度計測実験

によって直進、右折、左折を区別し、直進車について速度を計算する。速度測定地点を車が通過したか否かの判定、車の進路の判定は、プログラム上の判定ライン（線分）と重心列から得られる線分が、幾何学的に交わるか否かで行う。この方法は、車両抽出時に画像に判定ラインを引き、このライン上の輝度変化を利用する手法に比べ、プログラム上で任意に判定ラインを設定することができるという利点がある。

7. まとめ

本論では、画像処理装置を用いて、新しい車両抽出法である微分成長法を開発した。この手法には、次の特徴がある。

- 1) 従来の手法に比べ、比較的正確に車両の形そのものを抽出することができる。
- 2) ある程度車両密度の高い場合にも抽出が可能であり、車両の移動方向に拘らず抽出可能であるため、交差点に於ける測定が可能である。
- 3) 時刻、天候等照度の変化に起因する、画像データの明るさの変化に対して、しきい値を更新する必要がほとんどない。
- 4) 影の影響をある程度軽減することができる。

車両認識については、比較的簡単な方法で実現することができた。車両毎に、画像への流入から流出までの重心列がファイルとして得られるため、計測時間内の車両の総数、車両毎の速度、加速度、軌跡、進行方向等のデータが計算できる。画像内の任意の地点における、通過台数、地点速度を得ることができる。さらに、車両面積を抽出過程で測定できるため、車種判別を行える可能性がある。

今後の課題としては、路面との輝度差の少ない車両の抽出が不安定である、車両同士が接近し過ぎると、1台の車両として抽出される場合がある、1回の車両抽出処理に約6分かかり、時間短縮が

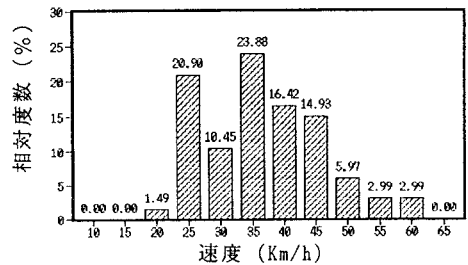


図1.3 地点速度の頻度分布

必要である等があげられる。この時間短縮は、画像内の計測位置の特定化あるいは微分成長処理の並列化により可能であろう。

参考文献

- 1) 中島、古池、阿久津：ビデオカメラとパソコンを利用した歩行者交通の実態調査について、土木学会第43回年次学術講演会講演概要集第4部、昭和63年
- 2) 古池、中島：ビデオを用いた交通現象の解析手法について、第9回交通工学研究発表会論文集 pp. 61-63, 昭和63年11月
- 3) 本橋、古池、高野：画像処理装置を用いた交通流解析システムの研究、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集4部 pp. 242-243, 1991
- 4) 加来、中辻、藤原、萩原：動画像解析システムの開発に関する研究、平成元年度科学研究費補助金（試験研究B）研究成果報告書、1991
- 5) Jean-Marc BLOSSEVILLE: Image processing applied to traffic measurement, The TITAN system, RTS -English issue- N°4, pp.15-24
- 6) Jean-Pierre DEPARIS, Frederic BOUTRY, Jack Gerard POSTAIRE, Christophe VIEREN: Image processing applied to the detection of obstacles at intersections, RTS -English issue- N°4, pp. 25-32
- 7) 吉沢、青木：画像を用いた交差点における交通流計測、電気学会道路交通研究会資料、RTA-90-25, 1990
- 8) 山本、桑原、赤羽、越：ビデオ画像による車両挙動計測システムの開発について、土木計画学研究講演集、No.13, 1990
- 9) Neil HOOSE: Computer Image Processing in Traffic Engineering, Research Studies Press Ltd., 1991