

## 模擬ループセンサによる交通流のビデオ画像計測

曹麗<sup>†</sup>、尹朝征<sup>†</sup> (清華大学)、小泉寿男<sup>‡</sup> (東京電機大学) <sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 清華大学 自動化学科  
〒100084 中国北京海澱区

<sup>‡</sup> 東京電機大学 情報システム工学科  
〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂

E-mail: <sup>†</sup> caoli@tsinghua.edu.cn, <sup>‡</sup> koizumi@k.dendai.ac.jp

あらまし 交通流のビデオ画像計測は処理が柔軟にできることから、広く使われるようになった。しかし、2次元画像処理せずに、簡潔な処理によって交通流パラメータの計測精度を高くする必要がある。これに対して、交通流のビデオ画像に模擬ループセンサに着目した計測方法を検討してきた。本稿では、センサの時系列出力信号から交通流量と速度を検出し、センサの差分出力を組み合わせることによって計測精度を高くする方法を提案する。また速度計測の誤差分布関係をまとめる。そして実験により、車両数と車速計測の有効性を示し、車長計測の問題点を分析する。

キーワード 交通流ビデオ画像, ループセンサ, 交通流パラメータ, 車両トラッキング, 相関計測法

## Traffic Parameters Measurement based on Video Virtual-loop Sensors

Li Cao<sup>†</sup>, Zhaozheng Yin<sup>†</sup>, and Hisao Koizumi<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Dept. of Automation, Tsinghua University  
Beijing, 100084 China

<sup>‡</sup> Dept. of Computer and Systems Engineering, Tokyo Denki University  
Hatoyama Saitama 350-0394 Japan

E-mail: <sup>†</sup> caoli@mail.au.tsinghua.edu.cn, <sup>‡</sup> koizumi@k.dendai.ac.jp

**Abstract** This paper is focused on developing a flexible and reliable system to detect the traffic parameters through acquiring video image data. The key point is to convert the two-dimensional image data to one-dimensional temporal signals by virtual-loops. Then output the traffic load and velocity in each lane by tracking and processing the time serial signals. An combination of the differential outputs is used to tracking vehicles and correlation method is used to detect the velocity. Experimental results show that vehicles detection and velocity measurement are effective, but vehicles length distinction is still difficult.

**Key words** Vehicle video image, Virtual-loop sensor, Traffic parameters, Vehicle tracking, Correlation measurement

## 1. はじめに

交通流のビデオ画像による各種交通流パラメータ（流量、流速、道路占有率など）の検出方法は測定範囲が広く、カメラ設置が簡単、処理が柔軟にできることから、広く使われるようになった[1][2][3]。交通流のビデオ画面に模擬ループセンサを指定すれば、その出力波形から車両通過が判断できる[4]。

前回の研究報告[4]では、各種車両の出力信号波形を示し、車種によって特徴が異なることを指摘したが、具体的流量計測法を示していなかった。また流速計測に重みを置いて、2つのループ検出器を通過する車両の出力信号波形をマッチングして時間のずれより速度を求める「時間的速度計測方法」、そして車両の通過をトリガとして、車線方向に車両投影を求め、その投影が数フレーム後に動いた距離から速度を求める「空間的速度計測方法」を述べた。空間サンプリング（ピクセル）は時間サンプリング（ビデオレート）により細かいから、距離さえ校正しておけば、「空間的速度計測方法」は「時間的速度計測方法」より、速度計測精度が高いことを期待していたが、結果として、車両の空間投影の特徴は、車両の時間的出力波形の特徴と比べ顕著に出ておらず歪みが大きいため、時間的出力波形を利用しやすいことが分かった。

ともかく、ループ検出器を利用する方法は2次元の画像データを1次元のループセンサ時系列出力信号に変換するところに特色がある。本稿では、模擬ループセンサの時系列出力に基づき、車両通過と車速を計測する方法を述べ、さらに車種分別した結果を分析する。特に車両通過検出を確実にするために、差分信号を融合的に使用することを提案し、また、速度計測の精度に影響するパラメータ関係式をまとめる。

## 2. 模擬ループ検出器による交通流モニタリング

模擬ループ検出器は交通流モニター画面上で、車線ごとに長方形のエリアとして設定され、その位置と大きさは自由に設定できる。ループ検

出器の出力は基本として、このエリアにおける時間差分画像の和で表す。Fig.1 は乗用車（Vehicle5,6,7,8）、バスとマイクロバス（Vehicle9,10）をモニタリングする時に、得られるループ検出器の出力時系列波形を示す。乗用車の場合、時間差分出力は車両通過に伴い、地面→フロントバンパーまたは陰→車頭→フロントガラス→屋根→地面に対応して5回程度輝度変化することが分かる。バスの場合は、屋根に天井窓があるため、波形変化が複雑になる。マイクロバスの場合は、逆に屋根部分の輝度変化が少ない。

このほかに、出力波形は検出器の大きさや視野範囲など計測系パラメータとも関係する。また明らかに日照条件、車線変更などの通行条件の影響も受ける。

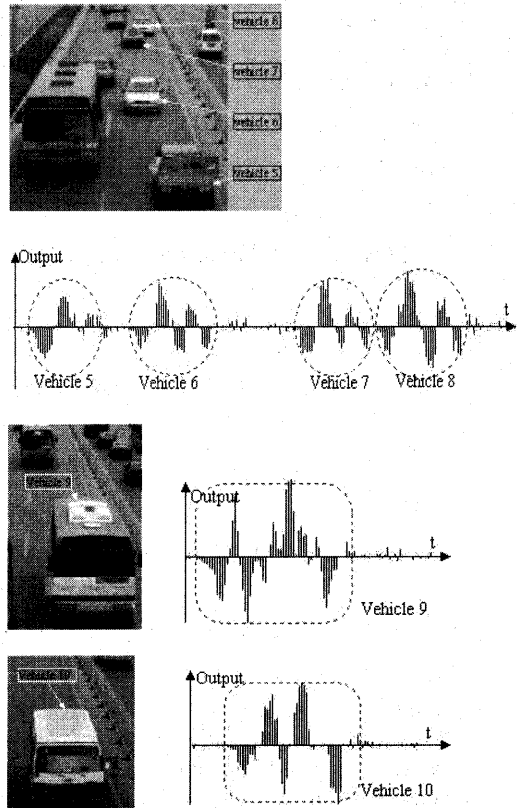


Fig. 1 Vehicle monitoring by virtual-loop detectors

### 3. モニタリングの前処理

#### 3.1 ループ検出器の設定方法

まず、車線の規格によって決められた白線の長さを距離校正に利用することができる。ループ検出器の大きさを変えることによって、出力感度を調整することができるが、出力の特徴変化はあまり見られない。また、ループ検出器を画面の奥と手前のどっちに設定しても特徴自体はあまり変わらないが、出力信号が続く時間について手前の方が短い。すなわち、奥にある場合、3D射影のため車両信号が長く続き、同時に車両信号の分離も難しくなるから、通常手前に設定する。また後車が前車に隠れるようなことをなるべく避けるように、かつカメラ姿勢を主な監視車線に沿って設置する。

#### 3.2 信号チャンネルの選択と感度調整

ビデオ信号出力には RGB またはグレイが選択可能だが、各種色の車両が RGB またはグレイのチャンネルに対してそれぞれの出力変化を観測した結果、R チャンネルが赤い車に対して出力が顕著に大きいほか、特に違いはなかったから、以降 R チャンネルの出力だけを検討することにした。

R チャンネルの出力を N フレーム観測し、K 個の極大値をサーチする。K 個の極大値のうちの最小のものを感度調整基準とした。K の選び方は最大速度と最小車間距離で車が並んで進行する場合、N フレームの間にループ検出器を通過する車両数を目安にしている。

#### 3.3 ループ検出器における背景画像の更新

センサーエリアにおける背景画像を得るには、まず、[1] 式に示すように多数回の画像平均を取ればよい。平均回数 M の値は経験上 100-200 でよい。Fig.2 に 150 回まで平均を取った結果を示し、この間 (6 sec) は 4 台の車が経過している。そして、背景の更新について(2) 式に示すカルマンフィルタ法を用いて行うことが報告されている[3]。

$$f_B(x, y) = \sum f_i(x, y) / M \quad (1)$$

$$B(p, k+1) = B(p, k) + g(I(p, k) - B(p, k)) \quad (2)$$

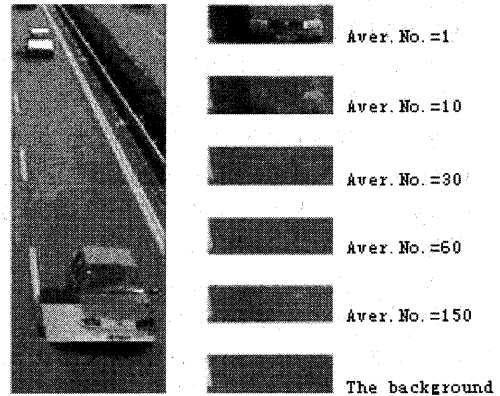


Fig. 2 Adaptive background renew

#### 3.3 ループ検出器の差分出力のとり方

ループ検出器の出力は基本として、[3] 式に示すように、このエリアにおける時間差分画像の加算結果で表すことができる。これを Output\_1 とする。

$$Output\_1 = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} R[f(x, y, i) - f(x, y, i-1)] \quad (3)$$

$$Output\_2 = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} R[f(x, y, i) - f(x, y, i-1)] \quad (4)$$

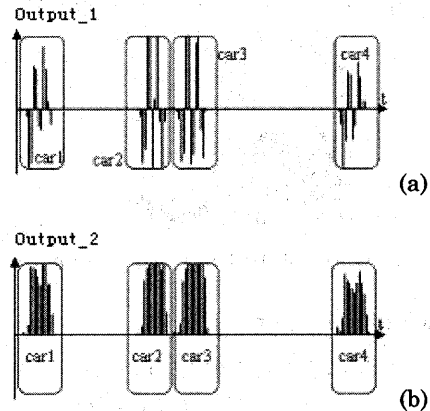


Fig.3 Differential output types

一方、[3] の変形として、[4] 式に示す差分出力 Output\_2 とは、差分画像の符号を考慮しない統計結果である。Fig.3 にはこの 2 種類の

差分出力の比較を示す。Fig.3(a)は前述のように、車体の輝度変化の特徴を表しており、正負交互に信号が出ている。Fig.3(b)は車体の通過をよりまとめて表現しているが、車体自身各部位の特徴変化を反映できない。

さらに、以上の時間的隣接画像の差分のほかに、[5]式に示す背景との差分出力 Output\_3をとると、Fig.4に示すように、車両の特徴は Output\_2 よりは多いが、Output\_1 と比べたら少ない。また、隣車線を通過バスの陰も出力に影響していることが分かる。しかし、マイクロバス屋根の部分は出力がゼロでなくなる。したがって、フレーム間差分信号出力 Output\_1 がある閾値より小さい場合、背景差分信号 Output\_3 を呼び出し、信号を補完的に利用することができる。Fig.5 より、信号補完前と補完後の違いが見て取れる。

このようにループ検出器のいくつかの出力形式を融合的に利用することにより、後述の車両検出と車速計測の精度を高めることができる。

$$Output\_3 = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} R[f(x, y, i) - f_B(x, y)] \quad (5)$$

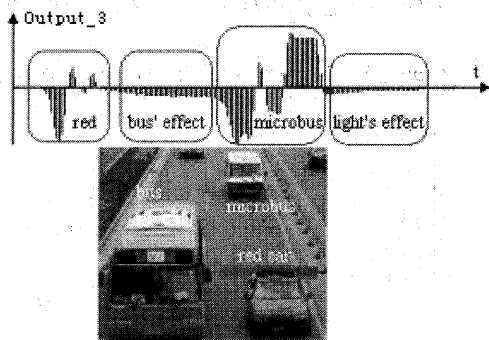


Fig.4 Differential output from the background

#### 4. 車両検出方法

ループ検出器の時系列出力信号から車両の数をカウントすることは、すなわち Fig.6 においてフレームごとに得られているパルス信号出力のグループ化と分割、そしてノイズ除去のプロセスである。それには Fig.7 に示すような車両カウントのアルゴリズムを考えた。まずパルス

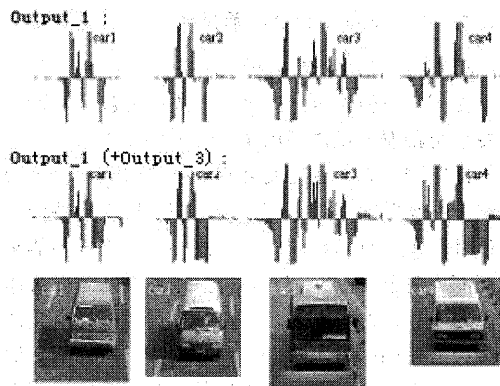


Fig.5 The effect of signal composition

信号の閾値（感度調整基準の10%–15%）を与えておく。そして、最大許容度（フレーム数）、最小可能性（フレーム数）を予測し、得点採点（±1）の戦略を設ける。

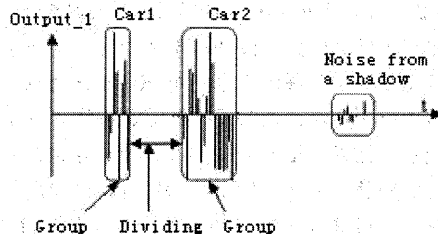


Fig.6 To group and divide the pulse signals

パルス信号の閾値は車両トラッキング開始するかどうか、または既にトラッキング中なら得点か減点かを定めるのに使う。最大許容度とは連続何フレームの間に閾値より弱い信号が続いても、トラッキングを終了させないような許容性を持たせることを意味する。減点された数は最大許容度を超えたらトラッキングが終了する。一方、最小可能性とは車両が速い速度でループ検出器を通過するのにかかりそうな時間または得られそうなパルスの数を意味する。得点の数がこれより大きければ、トラッキングしていたのが車両であると判断する。

なお、各ループ検出器に出力バッファプールが用意されている。上記アルゴリズムにしたがって、車両トラッキングした結果をすべてバッファプールに印をつけておく。

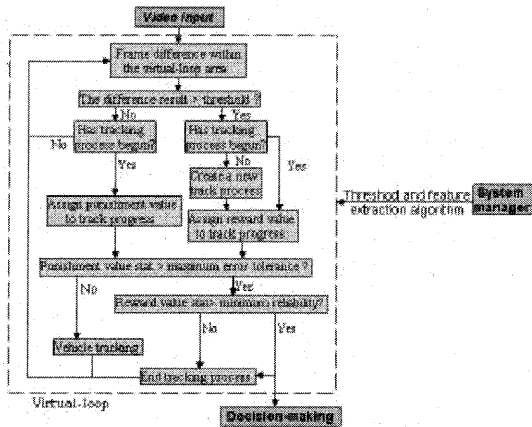


Fig.7 The algorithm of vehicle tracking

### 5. 車速検出方法

同じ車線にループセンサ2つを指定する。この2つのループセンサ間の距離  $L$  が校正できるものとする。速度測定の原理は同じ車両が2つのループ検出器に進入する時間差  $t$  を求め、そして速度結果  $v$  を出力する。  $V=L/t$ 。

車両のトラッキングが安定にできれば、バッファプールに付けたトラッキングの印により、時間差  $t = NT$  を求める方法もあるが、隣車線車両の影の影響で、この誤差がかなり大きい。現在2つのループ検出器の相互相関を取り、時間ずれ  $t$  を求めることにした。この場合、Fig. 8 (a) に示すように、符号あり差分出力 **Output\_1** の相関結果は好ましくなく、[b] 符合なし差分出力 **Output\_2** の相関はピーク位置が正しく決められることが分かる。車速検出の処理は **Loop1** への車両進入で始まり、その後 **Loop2** から離れることで終了する。ただし、その間に **Loop1** に後続車の進入がある場合、一時的に車速検出の開始時点を記憶し、前の速度計測の結果を出してから、次の測定に入る。

相関法による速度計測の精度もビデオキャプチャのレートと距離校正の精度によって決まり、その関係式は [6] 式にまとめる。

$$\sigma_v^2 = \left(\frac{\partial v}{\partial L}\right)^2 \sigma_L^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)^2 \sigma_t^2 = \frac{1}{t_1^2} (\sigma_L^2 + v_1^2 \sigma_t^2) \quad [6]$$

$\sigma_v, \sigma_L, \sigma_t$  は標準偏差値、 $t_1, v_1$  は瞬時測定結

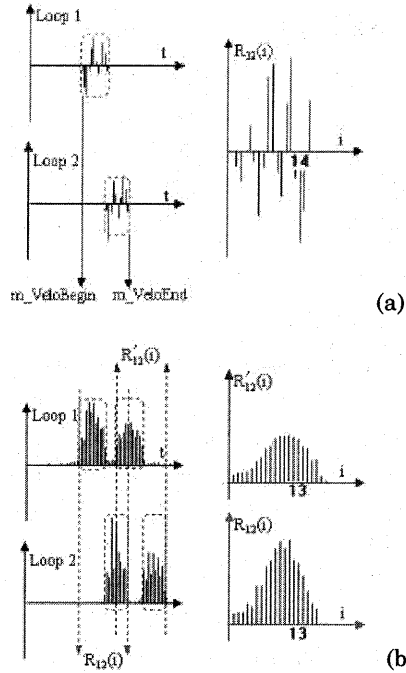


Fig.8 Cross-correlation for velocity measurement

果、誤差は標準偏差で代表させる。Fig.9 は  $L = 6m, T = 1/30sec; \sigma_L = 0.5m, \sigma_t = T, t = NT$  とした時、時間差  $t$  を変えてプロットした速度と速度誤差の分布図である。このように分析していくと、距離校正精度が  $1m$  から  $0.5m$  へと高くすると、速度誤差率は  $17\%$  から  $12\%$  まで下がる。一方、ビデオレートを高くしても、高速が測れるようになるが、速度誤差も大きく、速度誤差率が変わらない。したがって、距離校正すなわちカメラ姿勢による射影の影響が重要な問題であり、今後充分に考慮する必要がある。

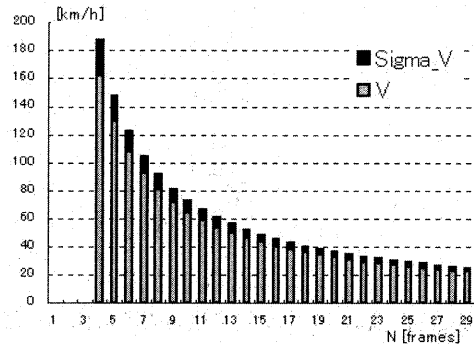


Fig.9 Velocity and its error vs. time difference

## 6. 車両分類の方法

車両トラッキングと車速検出結果の両方を引き受け、車両パルス信号が続く時間の長さを車長に変換し、簡単な車両分類を行っている。現在、乗用車などの小型車（3-7m）とバス、トラックなどの大型車（7m以上）の2種類に分けている。

## 7. 実験および考察

ループ検出器に着目し、できるだけ処理時間を少なくする計らいをしてきたが、まだ実験室内で交通流ビデオ録画の再生と処理によって、性能を確かめている。例：180sec間の交通流ビデオを再生しながら処理したところ、Mpeg4の画像解凍と4車線計8つのループ検出器の出力処理と波形表示を入れて、すべて180secの間に完成していることを確認した。

一般道路、都市環状高速と空港高速道路のサンプルについてそれぞれ Fig.10,11,12 に示すような交通流計測の結果が得られた。

Fig.10 には一般都市道路の3つのビデオサンプルである。通行速度は遅いため、最大許容数は5フレームとした。結果として、視野が広い Sample\_3 だけ、低速車線に実際8台の小型車が通ったのに対して、1回検出漏れが現れた。これはバスのすぐ後ろに続いて走った車をバスから分離できなかったケースである。

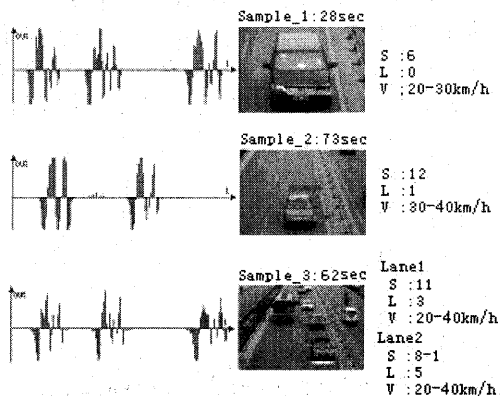


Fig.10 A test result in urban way

Fig.11 には都市環状高速道路の片方向4車線を対象とした Sample\_4 で、186sec間のビデオ

である。ループ検出器により計測できた車両総流量（台数）とそのうちの大型車数、そして車両ごとに計測できた速度結果をそれぞれグラフで表示している。車両検出結果を見ると、

- 車道1（総流量 75+2、大型車 3）；
- 車道2（総流量 65+2-1、大型車 9+5-2）；
- 車道3（総流量 42-1、大型車 20+8-8）；
- 車道4（総流量 26-1、大型車 9+3-1）。

すなわち、車道2の場合、実際65台の通過に対して、2台多くカウントし、また1台カウント漏れがあった；大型車が9台だったのに対して、小型車5台を大型とみなして、また2台の大型車を小型車と判断してしまったこと。

Fig.11の結果を分析すると、最大許容度は2としたにも関わらず、乗用車2台が繋がって走るのが大型車1台だとみてしまう（-）ケースが現れた。また車線を跨って走る時、どちらの検出器の信号も弱く両方の車道にカウントされない（-）か、または影が車だとみて両方にカウントされてしまう（+）ケースがあった。一方、車高が車長に投影されたため、マイクロバスが大型車と判断されたり、また大型車の貨物部分が背景と色が近かったため、大型車が小型車に判断されたりするケースが発生した。

総合的に車両統計と速度計測の車線別の結果をみると、高速車線ほど通過量が多い、平均速度も高く、速度のバラツキが少ないことが見て取れる。同じ車線における車両速度の揺らぎも計測できている。実際に合ったよい測定結果が得られたことが言える。ただし、車種分別はもっと改善すべきである。

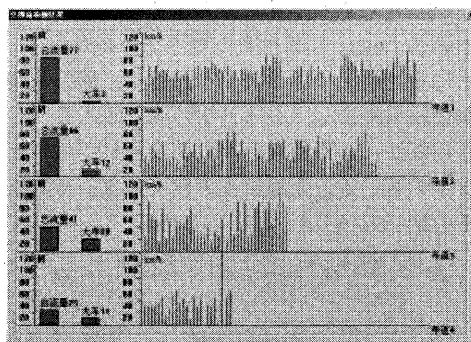




Fig. 11 A test result in city highway

Fig.12 は空港高速の Sample\_5 で、30sec 間の観測だけで、

車道1 (総流量9、大型0+3)；

車道2 (総流量6、大型0+1)；

車道3 (総流量3、大型2)。

総流量は正しく測定され、車種の判断には間違いが多かった。距離と投影の校正は正しく行なわれていないためである。

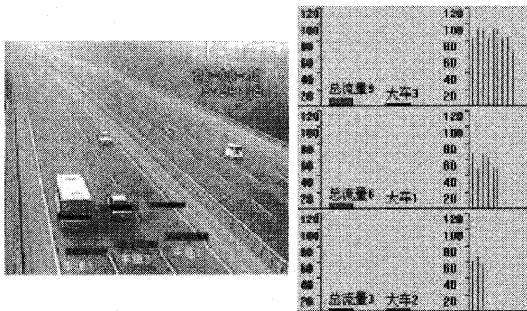


Fig. 12 A test result in super-highway

Fig.13 は夜間観測に関する状況を表している。Fig.13(a)の前方観測において、2回の検出漏れとも車両が近接して、ライトの影響で2台だと分離できなかった場合である。Fig.13(b)の後方観測において、車両信号が弱いため1回検出漏れがあった。後方から観測しても流量計測は同じようにでき、前方観測より夜間の場合において精度がよいことがわかった。



(a) towards to the car front

Sample\_6 :59sec

Lane1 (T:22-3)

Lane2 (T:15-1)



(b) towards to the car back

Sample\_7 :104sec

Lane1 (T:40-1)

Lane2 (T:26)

Fig. 13 Traffic monitoring in the evening

## 8. おわりに

交通流のビデオ画像計測のためにループ検出器に着目した簡潔な信号処理方法と測定原理について詳細に述べた。実験では交通流量と流速の良い計測結果が得られたが、車両分類の結果はまだ改善の必要がある。異なる差分出力信号を融合的に利用したため、流量と流速の良い結果が得られたことになったと考えられる。

今後、このような交通流モニタリング情報を、情報通信ネットワークと関連つけて活用する必要がある。

## 参 考 文 献

- [1] Benjamin Coifman, David Beymer, etc., "A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance", Transportation Research Part C 6, p.271-288, 1998.
- [2] Zhigang Zhu, Guangyou Xu, etc., "A real-time vision system for automatic traffic monitoring", Image and Vision Computing, p.781-794, 18, 2000.
- [3] YangJun Kim, etc. "Improvement of Background Update Method for Image Detector", 5Tth World Congress on ITS in Seoul, Paper Number 4005, 1998
- [4] 曹、尹、小泉, "交通流ビデオ画像による時・空間速度計測方法の比較", 電気情報通信学会, 信学技報, ITS2001-103, pp67-70 [2002-03]