

## 多視点映像情報統合による広域道路交通監視システムの構築

胡 振程, Francisco Lamosa, 後藤 靖史, 中山 順博, 内村 圭一

熊本大学大学院自然科学研究科

あらまし 近年の自動車台数の増加に伴い、渋滞や空気汚染の問題が深刻化している。本研究では、複数台カメラのデータ統合を用いて従来の道路交通計測方式では困難である車両同士の重なり問題と車両3次元形状計測問題を解決する。また本稿では、対象物を連続的に監視するために、広域に散布される監視カメラを「クラスター」「グループ」と「ネットワーク」という3レベルに組み込んで、効率良く情報をハンドリングできる知能型道路交通監視システムの構成を提案する。シミュレーション及び路上実験により本手法の有効性を検討する。

キーワード 多視点画像, 確立フュージョンマップ PFM, 道路交通流計測, 広域カメラネットワーク, カメラクラスター

## Intelligent Traffic Monitoring Camera Network System via Multiple Viewpoints Data Fusion

Zhencheng Hu, Francisco Lamosa, Yasufumi Goto, Nabuhiro Nakayama, Keiichi Uchimura

**Abstract** With the rapidly increasing of automobiles, traffic accidents, congestion and environment pollution have become serious society problems in recent years. Reliable traffic monitoring and automatic traffic analysis systems are key technologies in ITS to provide systematic solutions for traffic problems. However conventional way of traffic analysis and monitoring relies on each individual camera's resolution and placement. Since there is no data sharing or handling between cameras, it suffers from the traditional single camera's problems like occlusion and less accurate position estimation result. In this paper, we provide a novel solution based on multiple viewpoints data fusion and a 3-level camera network concept which aims at providing a more efficient data handling method. Simulation environment test and real road test showed the effectiveness and efficiency of our system.

**Keyword** Stereo vision, Disparity, Millimeter wave radar, Fusion, Calibration

### 1. はじめに

近年、自動車保有台数の増加に伴い、交通事故の増加、渋滞、大気汚染など様々な道路交通に関する問題が深刻化してきている。これら諸問題の対策として、自動車交通を情報化することで、道路を走行中の運転者に対し、道路情報、交通情報、沿線情報などを提供するシステムが実用化されつつある<sup>1)</sup>。また、高度道路交通システムITS(Intelligent Transportation System)に関

する研究がさかんに行われている。ITSは道路交通管理や自動車の走行に対して、最先端の情報通信技術を利用して安全性や快適性の向上、道路交通の円滑化および環境との調和などを図ろうとするものである。自動車を安全に能率よく運転するためには、前方の道路交通の状態に関する情報を即時に得ることは不可欠である。そこで、広域道路交通状況をリアルタイムに収集・解析することは次世代高度道路交通システム(ITS)の

構築において不可欠な要素技術である。

現在の道路交通情報センサの中で、一般的に使用されているものは、超音波式、ループコイル式および光式である<sup>2)</sup>。これらは安定で高信頼性を持つが道路の代表的な区間に設置し、局所的な情報を取得するものであるため、空間的な広がりを持った情報を取得することができず、追跡のような高度な処理ができない。また、新設や変更も容易ではない。

一方、画像を利用した道路情報の収集が実現されれば、落下物や事故、避走といった様々な空間的な道路情報も取得することができ、利便性が高い。しかし、従来の画像処理手法では、ほとんど単眼によるもので、カメラの設置位置や方向によって、車両同士の遮蔽(オクルージョン)問題が生じてしまい、計測精度が悪くなる。更に、カメラ1台ずつ独自に監視計測タスクを果して、カメラ同士の間で計測データの共用またはハンドリングができないため、広域時間と空間で連続的な交通情報を得られず、運転者および交通/道路管理者により正確な道路交通情報を与えられない。

本研究では、広域大規模道路監視カメラネットワークを知的に統合することによって、次世代道路交通計測システムの構築に関する基盤技術を研究開発する。その一環として、本稿では、複数台カメラのデータ統合を用いて広域多車線道路環境での交通計測手法を提案する。また、対象物を連続的に監視するために、広域に散布される監視カメラを「クラスター」「グループ」と「ネットワーク」という3レベルに分解し、効率良く情報をハンドリングできる知能型道路監視システムの構成を提案する。

以下、2.で従来の交通流計測手法及び問題点を述べる。3.で本研究のシステム構成を述べる。4.で提案手法の詳細について説明する。5.で実装したモジュールの実験結果を示す。最後に、6.で結論をまとめる。

## 2. 従来の研究

交通流計測に用いられるセンサとしては、従来超音波式、ループコイル式などのスポット計測方式が主流であったが、近年、計測領域の優位性からビデオカメラの画像処理による自動計測方式がよく利用されてある。

Jung<sup>3)</sup>らは、カルマンフィルタによる適応背景差分処理とExplicit OcclusionアルゴリズムとImplicit Occlusionアルゴリズムによるオクルージョンを考慮した車両追跡を用いた交通流計測手法の提案を行っている。しかし、車両が直線運動を行っていることが前提で、密な交通流に対する検討がない。Malik<sup>4)</sup>らは、アルゴリズムによる輪郭重心の対応付けを用いた車両追跡手法の提案を行っている。これは、オクルージョン発生時に遮蔽領域の推定と各車両の輪郭の推定を行

い者である。しかし、はじめからオクルージョンが発生している場合には適用はできない。上條ら<sup>5)</sup>は、時間画像の時間軸方向の相関関係に着目したモデルを用いた車両追跡手法を提案している。この手法の利点は追跡対象を限定しておらず汎用性があるが、車両の遮蔽問題や3次元計測などの問題を解決できない。青木ら<sup>6)</sup>は時系列スリット画像を作成し、車両検出、交通流計測を研究している。

産業界では、日本電気(NEC)など各社は画像処理による交通流計測システム、そしてETC事業に伴う単台車両の車種識別技術を実用化しつつある。また、オムロン社がシルエットビジョン手法<sup>7)</sup>を提案して、ステレオ視による3次元車両形状を認識することができるが、センサの配置は従来の単眼視と変わらず、視点による車両遮蔽問題を解決できない。また、国内で公開されている特許(特開2001-103451および特開2004-220102など)ではカメラの連続監視ための配置問題および射影変換による交通計測に関する手法を論じたが、本質的には車両遮蔽問題や車種認識の問題を解決できない。

本論文では、複数カメラからの画像を用いて上述の問題を解決するための統合手法として、各カメラからの車両位置情報の信頼性を示す確率フュージョンマップによる統合手法を提案して、より正確な交通データを計測できる。

## 3. 広域道路交通システムの構成

上記のように、従来手法は単眼視に依存することが多く、視点による車両遮蔽や計測精度などの問題が生じる。また、カメラ同士の間で計測情報が共用できず、監視視野の予測広域範囲内における対象物の全過程監視が実現できない。

これらの問題を解決するために、本研究では、広域大規模道路監視ネットワークを知的統合することによって、計測空間範囲内の車線交通流量、空間平均速度および密度などのマクロ計測と共に、多視点のカメラ計測データを統合することによって、車両の遮蔽と3次元計測問題を解決し、渋滞の判定、個々車両の異常挙動の検出などのマイクロ計測をできるようになる。理論的に、個々の車両が計測空間に入るから出るまでの全過程の挙動を正確に把握ことができ、より高いレベルの交通管理・交通規制の実施、道路交通計画の策定へ支援することが期待できる。

図1は本研究が提案した広域道路監視システムの構成図を示した。システムはカメラネットワーク、カメラグループおよびカメラクラスターという3レベルのピラミッド構造で構成される。

カメラクラスター：システムにおける最も低いレベ

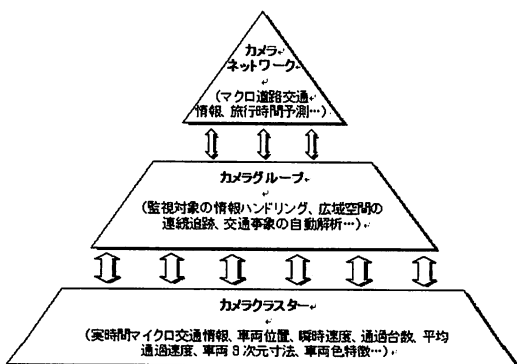
ルである。大まかに同じエリアを監視し、異なった視点を持つ複数台監視カメラで構成され、カメラの種類、解像度などの物理特性を問わず、計測データを統合するために画像データの同期入力が要求される。カメラクラスターの計測情報としては、車両位置、瞬時速度、通過台数、平均通過速度、車両3次元寸法、車両色特徴などの実時間マイクロ交通情報などが挙げられる。図2にはカメラクラスターの例が示される。多視点カメラクラスターでの計測手法が第4章に説明される。

**カメラグループ：**システムの間中レベルである。2つ以上のカメラクラスターで構成され、主なタスクはグループ内のカメラクラスター間で監視対象個体の情報をハンドリングすることである。監視対象が一つのクラスター監視エリアから離れている際に、道路交差点ルールおよびカメラクラスターの分布によって、この監視対象の情報をグループ内の次のクラスターへハンドリングする。カメラグループレベルで広域空間の連続追跡、交通事象の自動解析などが行われる。

例えば、図2でカメラクラスター#1から撮られた左折しようとした車両情報はクラスター#2にハンドリングされる。クラスター#2でこの車両を正しく計測できれば、ハンドリング作業が終了し、車両の追跡が継続できる。一定な時間を越えてもクラスター#2で車両の計測が出来なければ、停車や交通規則違反などの異常処理が開始する。

**カメラネットワーク：**最も高いレベルである。各カメラグループから得られる情報によって道路交通状況、道路別の渋滞指数などのマクロ道路交通情報を出力できる。また、交通信号の制御、旅行時間推定などの応用アプリケーションもこのレベルで行われる。

システムのデータ交換を効率的に行うために、図1に示すように、レベル毎にデータ通信方式を採用する。カメラクラスター内部ではフレーム毎の映像情報および監視対象の履歴情報を常に共有する必要があるため、



物理的に大容量通信のブロードバンド通信方式を利用する。

図1. 広域道路監視システムの構成図

カメラグループ内では、監視対象を一つのクラスターから別のクラスターへ移管するためのハンドリングが主に行うため、通常のプロードバンド通信方式で十分である。カメラネットワークレベルでは、監視対象個体を共有する必要がなくなるため、ローコストなWANまたは無線通信方式を採用する。

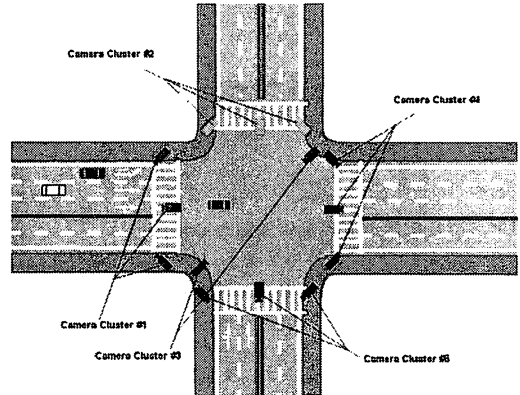


図2. カメラクラスターの説明図

#### 4. 多視点カメラクラスターのデータ統合によるマイクロ交通計測手法

本章では本提案手法の詳細を述べる。上述したように、従来手法では本質的に遮蔽問題や精度、信頼性の問題が解決できないため、本研究では、カメラクラスターにおける異なる視点のカメラデータを統合することによって高精度の車両検出およびマイクロ交通計測手法を提案する。

##### 4.1. 従来の単眼視車両検出・追跡法

従来の単眼視手法では、以下のような手順で車両を検出し、交通量を計測する。

1. 背景差分：フレーム毎に背景との差分を取って、事前に決められた閾値を超えた領域を対象候補領域として二値化処理をする。
2. 車両領域検出：二値化した領域を粒子解析によって一定面積以上の領域を車両領域とする。
3. 車両位置確定：領域重心および下部影部分検出による車両の画像位置を確定する。
4. 車両追跡：フレーム間モデルマッチングによる車両追跡をする。

従来手法の計測結果の例は図3に示す。図3は異なった視点を持つ3台カメラの結果図である。図3aの右上にある2台の車は遮蔽によって一台の車と誤認識された。

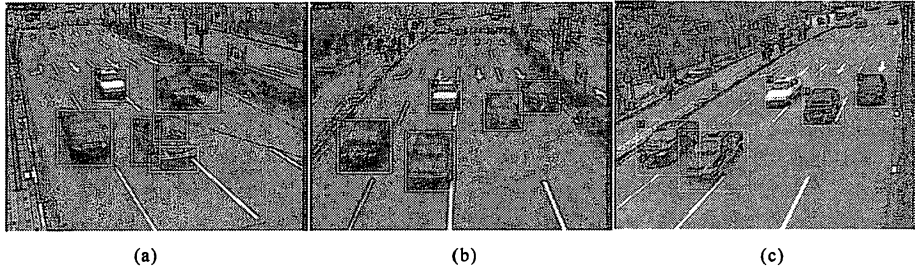


図3. 従来手法の車両検出・追跡結果

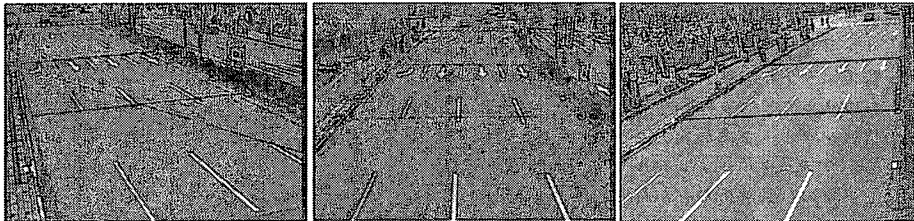


図4. カメラクラスターの外部パラメータの計測

また中央部分にある車は背景差分による過分割された。図3bおよび図3cは同時に撮影された別の視点からの結果図であり、上記の未分割または過分割が発生しないため、正しい結果が得られた。そのため、一つ視点のカメラ映像で遮蔽による未分割または過分割が発生して、正しく車両領域を検出できないが、別の視点のカメラ映像から正しく車両領域を検出できる可能性がある。この結論によって、本研究では多視点カメラクラスターの概念を導入する。

#### 4.2. 多視点カメラクラスター

カメラクラスターは提案システムにおける最も低いレベルである。クラスターを構成する複数台のカメラは異なった視点から大まかに同じエリアを監視している。監視エリアの広さおよび道路構造によって、カメラの台数、設置位置および物理特性などを選ぶ。

カメラクラスター内における各カメラの計測結果を統合するために、カメラ間のキャリブレーション処理を行う必要がある。本研究では、オンライン処理のため路側に置いた特徴点をベースにキャリブレーション手法を提案する。

ピンホールカメラモデルの投影式は式(1)に示す。

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{P} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 \\ 0 & f_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{P} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $i=0, 1, 2, \dots$ はカメラ番号、 $(X_i, Y_i, Z_i, 1)^T$ は特徴点の3次元世界座標、 $(x_i, y_i, 1)^T$ は対応する画像座標、 $\mathbf{A}$ はカメラ内部パラメータマトリクスと呼ばれ、 $\mathbf{P}$ はカメラ外部パラメータマトリクスと呼ばれる。 $f_x, f_y$ はカメラレンズの焦点距離、 $u_0, v_0$ はカメラレンズの光学中心座標である。

カメラ内部パラメータは通常の格子パターンで容易に計測されるので、ここでは省略する。外部パラメータの計測を図4に参照する。まず、路側に特徴点のパターンを置き、各特徴点の世界座標 $(X_i, Y_i, Z_i, 1)^T$ を計測する。路面が平坦であれば、 $Z_i=0$ 。次に、各カメラから取られた映像から手動または自動的に特徴点の画像座標を計測する。最後に、各カメラの外部パラメータは式(1)をベースにZhang<sup>9)</sup>の逐次最小二乗法による計測できる。

#### 4.3. 確率フュージョンマップ

カメラクラスターの各カメラから計測されたデータを同一空間に統合する必要があるため、本研究では、確率フュージョンマップ(PFM:Probability Fusion Map)の概念を提案する。

4.2節から求められたカメラ外部パラメータを利用して、各カメラの画像を鳥瞰図に逆投影変換できる。逆投影変換式は画像上におけるすべての点は路面上の点である( $Z_i=0$ )と仮定して、計算を行う。

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = P^{-1} A^{-1} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

図5には逆投影変換の例を示す。図5a~5dはそれぞれ元画像、背景差分後の二値化画像、元画像の逆投影画像および差分画像の逆投影画像である。図5dから判るように、カメラキャリブレーションは路面における特徴点を利用して行われたため、路面上にある点( $Z_i = 0$ )は逆投影変換後、正しい位置に逆投影されたが、高さを持つ点( $Z_i > 0$ )の逆投影は倒れてしまった。この原理によって、異なった視点からの逆投影画像を統合すれば、車両の正確な路上位置(路面に接触する部分)を抽出することができる。

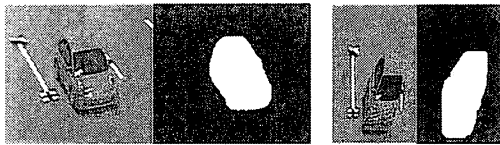


図5. 逆投影画像

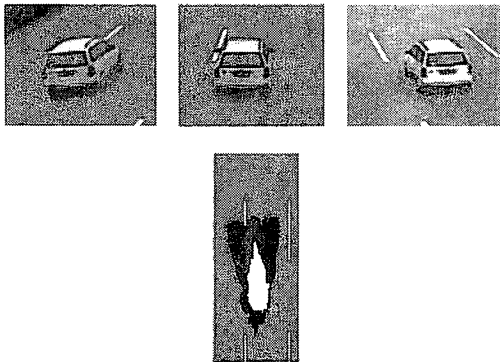


図6. PFMの説明図

カメラ外部パラメータは統一された特徴点で計測されたため、多視点のカメラ画像が逆投影変換する際に鳥瞰的な同一空間に変換される。計測データのフュージョンもこの空間で行われる。

各カメラの計測結果を示す確率は逆投影因子  $\alpha_i(x, y)$  および撮影精度因子  $\beta_i(x, y)$  に構成される。

逆投影因子  $\alpha_i(x, y)$  は図5dに示した背景差分後の二値化逆投影画像に決められる。車両領域にある点の逆投影因子をAとし、領域外の点の逆投影因子をBとする ( $A > B$ )。例えば、 $A = 0.95$ ,  $B = 0.05$ 。

ピンホールカメラの射影原理によって、対象物の面

像計測精度が距離と反比例するため、撮影精度因子  $\beta_i(x, y)$  は式(3)で計算される。

$$\beta_i(x, y) = 1 - K_i \log_{10} \frac{P(x, y)}{P_0} \quad (3)$$

ここでは、 $P_0$ は固定特徴点D1からカメラ*i*までの直線距離、 $K_i$ はカメラの調整パラメータ、 $P(x, y)$ は画像座標  $(x, y)$  に逆投影した路面点からカメラ*i*までの直線距離である。 $P(x, y)$ は式(1)から計算できる。

各カメラの確率は逆投影因子と撮影精度因子の積によって計算される。

$$P_i|_{(x, y)} = \alpha_i(x, y) \cdot \beta_i(x, y) \quad (4)$$

最後に、カメラクラスターの確率フュージョンマップ PFM は各カメラの確率の累積で計算される。

$$P|_{(x, y)} = \sum_{i=0}^n P_i|_{(x, y)} = \sum_{i=0}^n (\alpha_i(x, y) \cdot \beta_i(x, y)) \quad (5)$$

図6にはPFMの説明図を示す。赤、緑、青はそれぞれ3台カメラの確率図を示し、統合したPFM結果は白である。

#### 4.4. PFM による車両位置の検出

上記のように、PFMによって多視点カメラの計測結果を統合した。図6のようにPFM結果は通常に各カメラの空間位置関係によって決められる。ほぼ前面向きの複数台カメラから得られたPFMはすい星のような形で、カメラと離れば離れるほど尾が長くなる。

車両の輪郭はPFMから推定できる。具体的に、まずPFMを二値化して、輪郭線を求める。次に、輪郭線の外接矩形の左辺、下辺および右辺を一画素ずつ内部へ移動し、輪郭線との平均距離が最も短い位置を車両輪郭として検出する。ここでは、処理の詳細を省略する。

#### 4.5. フレーム間の追跡

車両位置、瞬時速度、通過台数、平均通過速度、車両3次元寸法、車両色特徴などの実時間マイクロ交通情報を計測するために、フレーム間の車両位置の追跡が必要である。

次のフレームが入力されてから、4.3節までの処理を行い、前フレームのPFMから推定された車両の輪郭座標を利用して新しいPFM上で車両位置を決める。フレーム間の位置ズレの平均を取って、車両瞬時速度や平均通過速度などを推定できる。

### 5. 実験結果および検討

## 5.1. 処理手順

図7にシステムの処理手順を示す。

予備処理としては、カメラクラスターの領域確定、各カメラのキャリブレーションおよびカメラグループの連結ルール決めなどが挙げられる。

処理開始後、まず車両の抽出を背景差分処理によって行う。また、背景差分処理に用いる背景画像の更新にカルマンフィルタを適用する。次に抽出された車両領域をHSV処理による影除去して、逆投影変換を行う。さらに、確率フュージョンマップをもちいて最終的な車両の位置座標を決定する。最後に訂正された車両領域を用いて車両の追跡を行い、交通流パラメータを測定する。

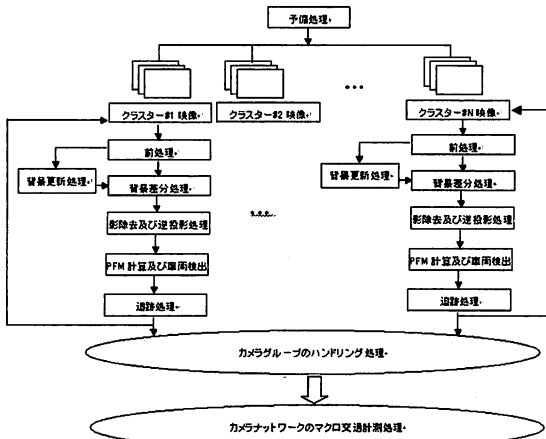


図7. システム処理ブロック図

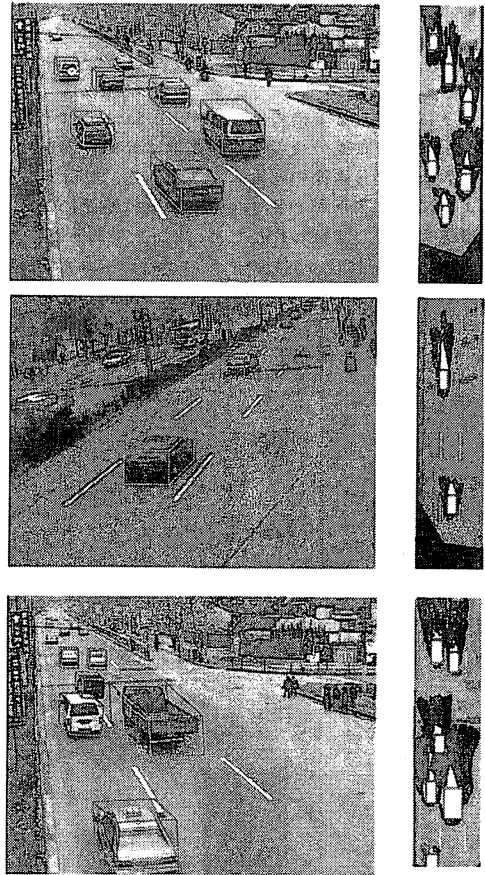


図8. 車両検出・追跡結果図

## 5.2. 実験結果

実装した車両検出・車両追跡モジュールの実行結果を示す。車両検出図8は車両検出結果の中から無作為に選んだものである。

車両検出に関しては、車両密度が疎密に関わらず、ほとんどのフレームで車両を正しく識別することができた。また、図8cのように車両遮蔽があってもPFM図からそれを容易に分離して認識することができた。また、車両の明度値が路面と近いものや、トラックなど、輪郭に凹部を含むものに多く見られたが、複数台カメラの補間関係によってPFM図では正しく認識できた。

車両の3次元寸法計測に関しては、車両によってできた影により実際の車両の輪郭とは異なる形状の輪郭となるなどの問題も発生した。また、車両高さについては精度を上げる必要がある。今後、ステレオマッチングによる解決法を検討する予定である。

## 6. むすび

複数台カメラのデータ統合を用いて従来の道路交通計測方式では困難である車両同士の重なり問題と車両3次元形状計測問題を解決する。また本稿では、対象物を連続的に監視するために、広域に散布される監視カメラを「クラスター」「グループ」と「ネットワーク」という3レベルに組み込んで、効率良く情報をハンドリングできる知能型道路交通監視システムの構成を提案した。シミュレーション及び路上実験により本手法の有効性を検討した。今後の課題は、システム全体の実装を行い、提案手法の有効性を確認することである。

## 文 献

- [1] 道路交通における状況理解調査専門委員会編：「道路交通における状況理解」、電学技法，784

(2000)

- [2] 金山憲司：「都市交通と映像情報メディア」，映像情報メディア学会誌，53，1(1999)
- [3] Young-Kee Jung, Yo-Sung Ho, "Traffic Parameter Extraction using Video-based Vehicle Tracking", Prof. IEEE ITSC Conf'99, pp.764-769, 1999.10
- [4] J.Malik, S.Russell, " A Machine Vision Based Surveillance System for California Roads", PATH Project MOU-83 Final Report, University of California, Berkeley, 1994
- [5] 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, 2000年12月
- [6] 根本智昭, 青木正喜, "二重スリットカメラを用いた交通計測", 画像電子学会誌, Vol.36, No.3,1996年7月
- [7] 麻生川佳誠, 呉越, 来海雅俊, "シルエットビジョンによる車両認識", OMRON TECHNICS, 第38巻・第4号(通巻128号)1998年12月
- [8] Z. Zhang. A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(11):1330-1334, 2000.