

画像処理技術を用いた交通流計測と今後の方向性*

Outline and Prospects of Traffic Data Collection and Vehicle Tracking using Image Processing*

川崎紀一**・西山和人***

By Norikazu KAWASAKI**・Kazuto NISHIYAMA***

1. はじめに

画像処理を用いた交通流の面的なセンシング技術により、通過台数など従来の断面的交通指標だけでなく、空間平均速度などの空間的交通指標、交通異常事象検出などの交通安全性指標、さらには個々の車両の走行軌跡などの計測が現実のものとなる可能性を帯びてきた。一方、画像処理センサは照度や天候などの外部環境やカメラの設置画角条件などの影響を受けやすいという原理的な課題を抱える。

筆者らは画像処理によるさまざまな交通指標の自動計測システムの開発を行ってきた。本稿では、交通流計測における画像処理技術の概要について紹介するとともに、技術的な課題や今後の技術発展の方向性などについて筆者らの考えを述べる。

2. 交通流計測と画像処理センサ

交通流を自動計測するための従来のセンサで代表的なものとしては、超音波式のものやループコイルを用いたものが挙げられる。これら従来のセンサ技術の多くはある車線のある一点での車両通過を検知するスポット計測であるため、数分単位で蓄積した結果をマクロ的に分析することにより交通流の状況や変動を把握する手法が研究されてきた。代表的なものとしては、交通量と、時間平均速度または時間占有率との相関関係から渋滞判定を行う方法などがある。一方で、個々の車両の挙動を調査する際には、ビデオで撮った映像から目視で車両を抽出し解析するなどの手法がとられた。

これに対して、路上に設置したビデオカメラ映像などを画像処理することにより交通流を計測する場合には、道路上を面的に広く計測できるという特長により、従来センサと同様の断面的交通指標だけでなく、次のような計測を瞬時に直接行うことが可能となる。

- ・空間平均速度や交通密度などの空間的交通指標

*キーワード：ITS、交通流、画像解析、交通安全

**正員 工修 住友電気工業(株) (〒554-0024 大阪市此花区島屋1-1-3, TEL:06-6466-6542, FAX:06-6466-5727)

***正員 住友電気工業(株) (同上)

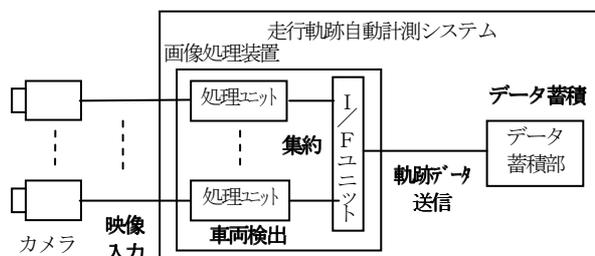


図-1 走行軌跡自動計測システムの基本構成図

- ・渋滞、駐停車、車線変更などの交通異常事象
- ・個々の車両の走行軌跡

また、画像処理による車両走行軌跡の自動計測が可能になると、従来の人手による解析に比べ、大量のデータが短時間で処理でき、かつ解析結果に個人の特性が影響しないため、定量的に評価を行うことが可能となる。これらの理由から、画像処理センサによる交通流計測が注目されている。

3. 走行軌跡自動計測システム

筆者らはこれまで、時間パラメータ^{1,2)}、空間パラメータ³⁾、交通異常事象⁴⁾、など各種の交通流計測を目的とした画像処理センサをそれぞれ開発してきた。さらに近年には個々の車両の走行軌跡をリアルタイムに自動計測可能なシステムを開発した⁵⁾ので、簡単に紹介する。

図-1は、システムの基本的な構成例である。処理ユニットを追加することにより最大16映像を同時にリアルタイム計測が可能である(録画映像の再生による事後計測も可能)。軌跡データはデータ蓄積部に常時送られ蓄積される。軌跡のデータ仕様を表-1に示す。計測分解能は計測領域長等にも依存するが数十cm程度である。本システムを用いた計測結果例を図-2に示す。

表-1 走行軌跡自動計測システムのデータ仕様

仕様項目	内容
計測周期	カメラ毎に原則としておよそ200ミリ秒毎
フォーマット	カメラ番号・車両ID・日時・XY各位置座標などを1レコードとするCSV形式
座標定義	カメラ毎に独立とする。また車線のカーブに沿ってY軸を定義し、Y座標は車線に沿って進んだ距離とする。

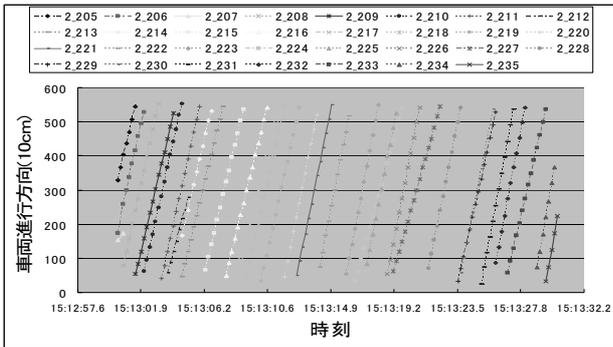


図-2 走行軌跡自動計測システムによる計測データ例

4. 画像処理アルゴリズムの概要

(1) 画像処理の基本的な流れ

上記の計測システムにおける画像処理の基本的な流れを図-3に示す。各ステップの概要を以下に示す。

a) 初期化処理

画面上の座標系を路面上の座標系に射影変換するための変換テーブルを作成し、道路上に格子状になるように処理対象の画素を選定する。これにより計測エリア内において、車両の位置測定が可能となる。

また、後述する背景差分処理を行うための背景画像の初期値を作成する。

b) 差分・二値化処理等による特徴抽出

差分/二値化処理を行い画像中の特徴を抽出する。交通流計測分野においては代表的な差分方式として表-1の3種類が用いられており、交通流計測の目的や環境条件などに応じてこれらを適切に選択または組み合わせる。これらの処理例を図-4に示す。

c) 車両抽出・追跡

前項の特徴抽出結果から車両候補を抽出し、その位置情報などを前計測周期のものと比較することにより車両追跡を行い、同一車両と判定すればその情報を更新する。追跡処理の例としてテンプレートマッチングなどが挙げられる(図-4)。

d) 更新処理

背景画像の更新など各種の学習処理を行い、次の計測周期へ遷移する。

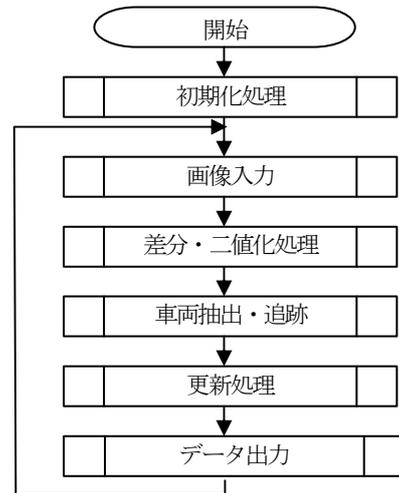


図-3 画像処理の基本的な流れ

(2) その他の画像処理方式の例

上記の画像処理方式以外にも、交通流計測を行うための画像処理方式の研究は活発に行われており、後述する各課題を解決するものとして数々の方式が提案されている。本稿では代表的なものをいくつか簡単に紹介する^{6,7)}。

a) カラー情報の利用

カラー画像をRGB値からHSI値(色相・彩度・明度)の表現に変換して利用する方法で、対象物と影との分離に有効とされている⁸⁾。

b) 時空間画像の利用

各フレームの画像から抽出した1次元の特徴量を時系列に並べることで新たな2次元画像を作成し解析を行う方法⁹⁾で、物体の移動を把握しやすい。

c) 動きベクトル(オプティカルフロー)の利用

物体の動きを表現する方法の一つであり、異なる時間の2枚の画像から同一対象物の対応付けを行い移動量をベクトルで表現する。テンプレートマッチングを用いるブロックマッチング法や移動量が微少であることを前提に求める勾配法がある¹⁰⁾。

d) 領域分割の応用

領域を類似した特徴を持つ画素の集合に分割する手法は種々あるが、それを応用した交通流計測の一例として、後述の車両重なり課題に有効とされる時空間MRF(Markov Random Field)モデルがある¹¹⁾。

表-1 3種類の基本的な特徴抽出方式

	背景差分処理	時間(フレーム)差分処理	空間差分(微分)処理
概要	背景画像(車両がない状態)を作成し、入力画像との差分から対象物を抽出	一定時間差のある2枚の画像の差分から対象物を抽出	入力画像から輝度値が急激に変化する部分をエッジとして抽出
抽出対象	対象物全体	対象物の時間的な変化量	対象物の輪郭(エッジ)
長所	・車両を直接検出可能 ・処理が比較的容易	・環境変化に強い ・移動物体を直接検出可能	・入力画像のみで対象物の特徴を得られる
短所	・環境変化に対して背景画像の更新が必要	・停止車両を直接計測できない	・移動車両と停止車両との識別が困難 ・背景のムラをノイズとして抽出する場合あり

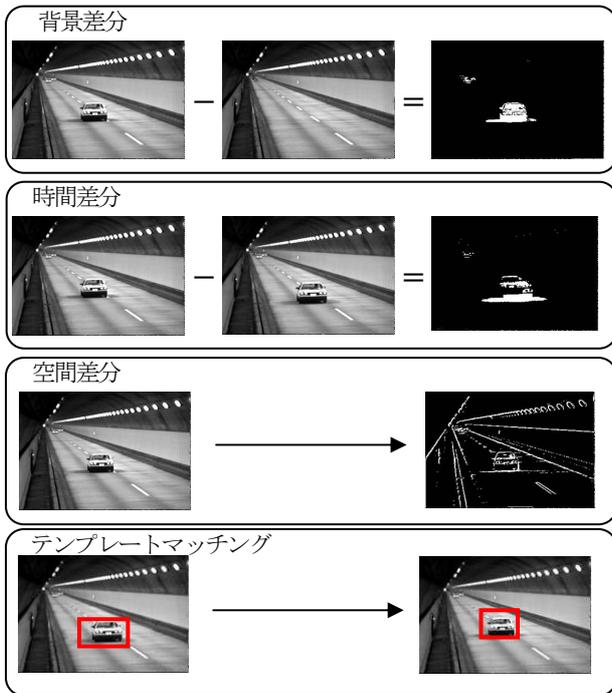


図-4 基本的な特徴抽出方式や追跡方式の処理例

e) ステレオカメラの利用

カメラを2台並べて撮像し視差を利用して立体視することにより対象物の3次元の座標を得る。影との分離や距離計測に有効とされる¹²⁾。

f) 赤外線カメラの利用

車両から遠赤外線を受光することで、低コントラストや悪天候時でも車両の存在を検出することが可能となる。

5. 画像処理による交通流計測の技術的な課題

画像処理は、2章で示したような利点がある一方で、パッシブなセンシングであること、実空間の3次元から画像の2次元に縮退すること、などの理由から、計測精度に対してロバスト性にやや欠けるといった特性がある。特に交通流計測に関して以下のような課題が挙げられ、これらの特性を踏まえてデータの活用方法を考えていくことが望ましい。

(1) 屋外環境に起因する課題

- a) 昼夜の照度変化に応じて背景画像を常に更新する必要がある。他の特徴抽出方式においても閾値の最適値が常に変化する。また、薄暮などの低コントラストとなる状況では車両を検出しにくくなる(図-5①)。
 - b) 昼には雲の動きにより急激な日照変化が生じ、背景差分結果が正常に得られない場合がある(図-5②)。
- 他にも雨天・降雪・霧など天候により路面状況が変わり同様の課題が発生する。一方、渋滞中に背景更新すると誤った背景画像となるため、背景学習の方法も課

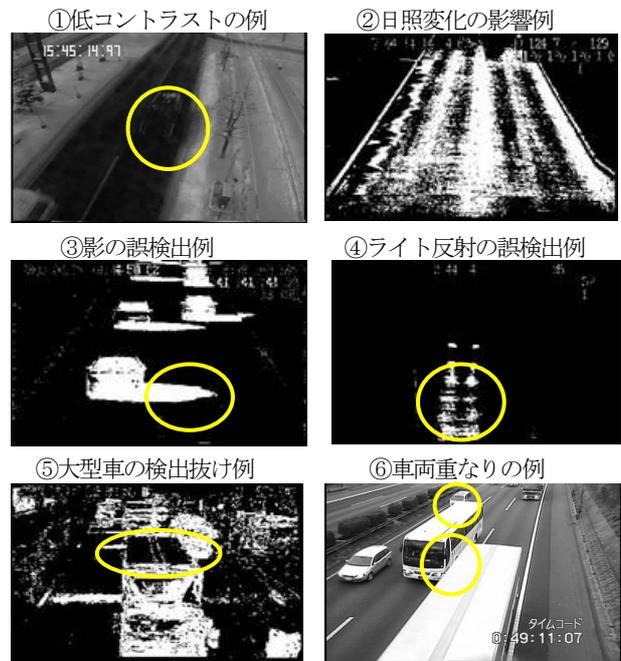


図-5 画像処理の課題の例

題となる。

- c) 映像の明るさ(シャッター速度やゲイン等によりカメラ側で自動調整されることが多いが、車両の通過時などに一時的に急変することがある。また、カメラの前面ガラスの汚れなどにより映像の質が徐々に劣化する。
- d) 車両や周辺構造物の影などを車両自身と誤検出してしまう場合がある(図-5③)。また、夜間にはヘッドライトなどの路面反射を誤検出してしまう場合がある(図-5④)。

(2) 計測対象やカメラ設置条件に起因する課題

- a) 移動車両も停止車両も、さらに渋滞でのろのろ走る車群もそれぞれ計測する必要がある。これらの計測は画像処理上、互いにトレードオフとなることがある。
- b) 道路線形・路面模様・周囲環境・画角などが千差万別となるため、予め車両モデルを登録しておいて車両認識に用いる、などの手法をとりにくい。
- c) カメラ自体が揺れると、背景差分などの各特徴抽出結果や走行軌跡が正常に得られない場合がある。
- d) バスやトラックのように車体上面の模様が一樣な部分に対して動きを抽出しにくく検出抜けを起こす場合がある(図-5⑤)。

(3) 計測項目とそれに適したカメラ画角条件

計測項目(計測目的)や要求性能などに応じて、それに最適なカメラ画角となるよう設置するのが望ましい。

例えば、一般的にカメラは道路を斜めに俯瞰する画角となるため、車両が進行方向や横方向に倒れ込んで見えてしまい、並走車や後続車との分離が難しくなる(図-5⑥)。速度や渋滞長などは車両が分離していなくても

概ね良好に計測可能なため計測範囲を広くすることができるものの、一方で通過台数を高精度に計測することが目的の場合には、車両が分離して見えるようになるべく下を向けて撮影するのが望ましいが計測範囲は狭くなる。

また、走行軌跡計測の場合は、計測範囲の広さと計測分解能とがトレードオフであることに留意が必要である。

6. 画像処理による交通流計測の今後の方向性

交通流や車両走行軌跡の収集手段としては、前述したセンサの他に、プローブカーを用いる方法や、光ビーコン・DSRCなどのアップリンクデータを活用する方法が研究・利用されている。これらの手段は速度やハンドル・ブレーキ操作などの車両挙動を正確に直接収集できるようになるという利点がある。しかし、前者の方法は近傍車両との関係の把握や定点観測的な用途には適さず、後者についても車載機搭載がかなり普及しない限りは近傍車両と車両挙動との関係を解析することは難しい。よって筆者らは、画像を使うことの長所を活かした画像処理センサの開発は今後も重要と考えている。

具体的には、計測項目や目的に応じて以下のようなセンサの研究開発が今後進むのではないかと考えている。

a) マクロ的交通指標

信号制御や渋滞情報提供といった交通管制のための画像処理センサは、多車線・広範囲の計測を利点として、特に空間的交通指標算出の開発が重要になると思われる。また、元々監視用途に設置されたカメラ(CCTV)を有効活用するというニーズが交通・道路管理者や研究者の間で高まるのではないかと考えられる。

b) 安全運転支援

従来のような交通異常事象(事故等)の検出だけでなく、個々の車両挙動の計測結果から潜在的な危険事象を指標化して検出し警告するといった安全運転支援の開発が進むと考えられる⁹⁾。そのためには前述した各課題を解決し、かつカメラ画角条件の工夫や高解像度カメラの採用などにより計測分解能の向上を図ることが必要である。

また、トンネル内や事故多発区間などにカメラを連続的に設置して計測することにより、前述の安全運転支援だけでなく、特定の車両の走行を連続的に追跡したり、映像自身も監視用途に工夫して活用するといったことも可能となる¹⁰⁾。

c) 交通解析

上記2項はいずれも実用配備によるリアルタイム計測を想定して述べたものだが、それ以外に、一時的にカメラを設置して映像収集した交通状況を事後に解析したり、事故多発地点にカメラを常設して事故発生時の映像を事後に解析することなどにより、道路交通行

政に役立てる、といった活用方法も考えられる。これらの用途であれば、映像毎に車両モデルを登録して識別に用いるなどの様々な画像処理技術を積極的に取り入れたり、最適な定数パラメータをその都度手動で調整したりと、高い計測精度や分解能を得るための手法の幅を広げることができる。また、走行軌跡データから自動は手動でデータ補正できる機能を盛り込むことにより、画像処理センサのデータ活用の幅がさらに広がると思われる。

また、近年の通信インフラ・映像圧縮技術・録画メディアの発達により、道路上のカメラ映像を遠隔の事務所等に高画質のまま伝送して蓄積することが可能となってきた。これにより、画像処理で交通解析を行う環境がより整っていくと考えられる。

参考文献

- 1) 古田淳史ほか：画像式車両検知器の開発，SEIテクニカルレビュー 第165号，pp.52-55，Sep. 2004.
- 2) 後藤一昭・東久保政勝・青木正憲：空間形画像感知器とその信号制御，監視・警告システムへの応用，電気学会論文誌D，Vol.121 No.1，pp.99-104，2001.
- 3) Nakatani,K., Nishiyama,K. and Hayashida,M. : Fundamental study of information collection on Hanshin Expressway by employing image processing technology, 6th World Congress on ITS, Tronto, Nov. 1999.
- 4) 山田好ほか：トンネル内異常走行検知システムの開発，住友電気 第145号，pp.124-129，Sep. 1994.
- 5) 飯田恭敬ほか：画像データ処理の高度化による道路交通安全シミュレーションの開発，「ITS社会に向けた交通事故分析に関する研究小委員会」報告書，土木学会土木計画学研究委員会，2004.
- 6) 上條俊介：ITSのセンシング技術，画像ラボ Vol.17 No.1，pp.26-31，2006.
- 7) 鷺見和彦：単純から複合へ --- 画像計測・認識の展望，動的画像処理実用化ワークショップ2004，pp.144-152，Mar.2004.
- 8) 園田頼信・緒方敏博・松野洋輔：監視画像における対象物と影の分離 - カラー情報の利用 - ，電子情報通信学会信学技報，PRMU99-19，pp.1-6，Jun.1999.
- 9) 谷口博康・中村高宏・古澤春樹・小沢慎治：時空間画像を用いた車群速度計測，電気学会論文誌D，Vol.120 No.5，pp.642-650，2000.
- 10) CG-ARTS協会(画像情報教育振興協会)編：デジタル画像処理，CG-ARTS協会，2004.
- 11) 上條俊介・松下康之・池内克史・坂内正夫：時空間Markov Random Field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.
- 12) 諏訪正樹ほか：Silhouette Vision Sensor - 交通流計測のためのステレオビジョンセンサの開発 - ，第10回画像センシングシンポジウム講演論文集，pp.13-18，2004.
- 13) 岩本健・井藤義行・平山達郎・鈴木邦彦：画像処理技術を用いたトンネル監視，電気学会道路交通研究会RTA-00-15，Jun.2000.