

開発事例を通じた交通工学分野における画像処理技術の適用上の課題^{*1}

Practical Issues of Applying Image Processing Technique in the Field of Traffic Engineering ^{*1}

鈴木 一史^{*2}・中村 英樹^{*3}

By Kazufumi SUZUKI^{*2} and Hideki NAKAMURA^{*3}

1. はじめに

ビデオ画像観測による交通現象解析は、車両や歩行者などの詳細な挙動分析や交通状況の正確な把握に適した手法である。このようなビデオ画像の解析には、その膨大な画像データゆえ一般に多大な労力を要するが、近年その利用が身近になりつつある画像処理技術を活用することで、これら解析作業の飛躍的な効率化が期待できる。しかしながら、既存の画像処理システムを交通現象解析に適用しようとする、観測コストと観測精度の両面でバランス良く利用できるものは極めて少ない。高精度な観測ニーズとは別に、とりわけ研究や実務の分野では、短時間に多数の地点において簡易かつ安価な方法により、分析に必要となるデータの収集を実現したいというニーズがある。この場合、多数のビデオ映像をきめ細かく分析することになるため、多様な解析を行えることが必要になる。また、実際のビデオ映像を画像処理するときには、現状の画像処理技術における認識性能の限界から、適用時に様々な問題を生じることが考えられる。

そこで本稿では、著者らが取り組んできたビデオ画像処理システムTrafficAnalyzerの開発¹⁾と適用の事例を通し、画像処理技術を適用する際の問題点等について整理した上で、それらの現実的な対処方法について提示する。

2. 交通工学分野でのビデオ画像処理のニーズと現状

交通工学分野におけるビデオ画像解析の主な用途としては、車線別/車種別交通量の計測、地点速度の計測、歩行者や車両の軌跡データ収集、ナンバープレート観測などがある。研究や調査業務においては、ビデオ撮影調査で長期間連続して観測するというケースは少なく、むしろ数時間程度の短時間に多数の地点で多目的な観測が行われることが多い。例えば、信号交差点における利用者挙動の分析に際しては、歩行者や車両などの軌跡データの取得を信号現示とともに数時間程度、複数の交差点を対象としてビデオ観測調査を行う必要がある。また、高速道路単路部においては、車両感知器の設置されてい



図-1 ビデオ画像処理システム TrafficAnalyzer の構成¹⁾

ない箇所での速度計測や分合流部を含めた長区間にわたる軌跡観測で、同時に複数のカメラが設置されるといった例が挙げられる。このように交通工学分野の研究や調査においては比較的短時間かつ複数地点同時でのビデオ観測調査が多いことを考慮すると、可搬型で簡易かつ安価な観測機器構成であることが求められる。

現在、画像処理技術による可搬型の交通流計測システムやナンバー読み取りシステムなどが実用化され、既に市販されてはいるものの、その画像処理においては高精度かつリアルタイムであることを重視しているため、専用のカメラと解析装置が必要となるなど、前述のような用途ではコストパフォーマンスの観点から手軽に利用できるとは言いがたい。また、高精度であるがゆえに前処理やパラメータ設定が複雑なものとなれば、短時間、複数地点でのビデオ映像処理には段取りの手間が増大することになる。

研究や調査業務においては、むしろオフラインでの多様かつきめ細かな解析が必要とされることから、画像処理のリアルタイム性は必ずしも重要な要素ではない。とりわけ近年、高性能化が著しいパーソナルコンピュータ上でソフトウェア的に画像処理が行えるのみならず、従来は業務用途に限られていたHD(High Definition)映像を撮影できるビデオカメラなども安価に入手できるようになった。これらを考慮すると、高性能化するパーソナルコンピュータとデジタルビデオカメラという汎用機器の組み合わせにより、コストを抑えつつ柔軟なシステム

*1 キーワーズ：画像処理，交通流観測

*2 学生会員，修(工)，名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻(名古屋市千種区不老町，E-mail: kazu@genv.nagoya-u.ac.jp)

*3 正会員，工博，名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

表-1 ビデオ画像処理システム TrafficAnalyzer の適用条件

	交通状況		天 候			日 照				撮影アングル	映像の解像度 / フレームレート
	自由流	渋滞流	晴天	曇天	雨天	昼間	夜間	朝夕	影		
交通流計測		1)	3)		5)		×		6)	高所・陸橋から撮影され、車両の走行位置が明確な画角	240×360pixel 以上 ⁹⁾ / 3~10 frame/sec
移動体追跡		1)	4)		5)		×	7)	8)	対象物がるべく重ならないような画角	240×360pixel 以上 ¹⁰⁾ / 10 frame/sec
車 番 認 識		2)			-		×			歩道、陸橋から撮影し、プレートに垂直な画角	240×360pixel 以上 ¹¹⁾ / 10 frame/sec
備 考	1) 高所からの撮影で真上からのアングルに近ければ可 2) 車間が狭まってプレートが確認できれば可		3) 日照が急激に変化する場 合や早朝および夕方にお いて影が著しく生じる場 合には誤検出の恐れがあ る 4) 影が著しく生じる場合 にはオクルージョンが発 生しやすい 5) 路面へ車体が反射する 場合にはオクルージョン が発生しやすい			6) 隣接車線の走行車両を誤検出する恐 れがある 7) 影が著しく生じる場合にはオクル ージョンが発生しやすい 8) 走行位置の精度低下とオクルー ジョン発生恐れがある				9) 車両の画像上でのサイ ズは最低 15×15 pixel 必 要 10) 移動体の画像上でのサ イズは最低 8×8pixel 必 要 11) 一連番号の認識には プレート部の画像サイ ズが最低 40×80 pixel 必 要	

凡例： 良好に適用可能 条件付きで適用可能 不可 - 検証が必要

が実現できる可能性がある。また、データ分析までを視野に入れるなら、ビデオ撮影後はパソコン上で一括して行えた方が利便性は高い。すなわち、現状の画像処理技術であっても、ビデオ映像の撮影段階での工夫とともに、映像に応じて様々な代替手法が用意された画像処理システムを用いることで、交通工学分野において必要となる観測精度を満足しつつ、解析作業の効率化が実現できると考えられる。

3. 画像処理技術の適用上の課題と対処方法

(1) 開発事例

前章で整理したニーズを踏まえ、著者らは交通流解析に特化したビデオ画像処理システムの開発に取り組んできた。本システムは、ビデオ画像観測による交通現象解析に必要な基本的機能を備えた解析プラットフォーム、そして、この解析プラットフォームに必要な応じて追加することで様々な画像処理を行う機能拡張アドインより構成されている(図-1参照)。それぞれの具体的な機能および性能の詳細については紙面の都合上割愛するが、次章との関連から、ここで各計測機能において実装されている画像処理の概要について述べておく。

a) 交通流計測

車線上を走行する車両の速度および車長を2地点間の通過時刻差と検出ライン上での通過所要時間から計測すると同時に、車長から車種別(小型・大型)交通量をカウントするものである。走行車両の検出は、背景差分により車両領域を抽出したのち、各検出ラインとの交差部分の大きさより判定することで行われる。

b) 移動体追跡

車両や歩行者などの移動体の抽出に背景差分法を使

用している。背景画像は日照変化などにより時間とともに変化するため、背景画像をカルマンフィルタにより前景画像に適応させることで背景画像を逐次更新することで対応している。移動体の追跡は、抽出された移動体領域の重心位置をフレームごとに予測しながら対応づけることで行われる。

c) 車番認識

ここでの車番認識は、1)車両検出、2)プレート検索、3)プレート上の文字認識という3つのプロセスで行われる。車両検出では輪郭画像を生成し、画面上に指定された車両検出領域で車両の通過を検出する。ここで検出された車両に対してナンバープレートの形状を基にパターンマッチングを行い、プレートのみの画像を抽出する。この画像から文字領域を切り出し、文字認識を行うことで車両の一連番号を取得するものである。

(2) 適用上の課題と対処方法

表-1は、本システムの現状の画像処理を多数の撮影映像に適用した結果、性能に影響すると考えられる要素を整理したものである。以下では、実際の適用事例より主として問題となった点について解析画像とともに示した上で、それらに対する現実的な対処方法について述べる。

a) オクルージョン(Occlusion)

画像処理では移動体同士が見かけ上、重なり合うことで、互いの識別が困難となるオクルージョン発生の問題がある。専門研究分野ではオクルージョンにロバストな画像処理技術の開発²⁾が進められているものの、依然として一般には利用に際して制限がある。したがって、現状の画像処理技術では、オクルージョンの発生を検出した際に、解析を中断して目視による計測に切り替えることで対応する方法が現実的であろう。

b) 交通状況

撮影アングルにもよるが、交通状況は混雑時に大きな問題となる。例えば、図-2の高速道路単路部の映像では、自由流のときは個々の車両を容易に抽出可能であるが、渋滞流のときは個々の車両同士が重なり合うことでオクルージョンが発生しやすくなるほか、前後の車両が大型車によって完全に隠れるなど、目視でさえも抽出が困難となる。このように長区間を観測しようとして俯角が浅くなるときは、例えば、赤羽ら³⁾が試みているように、複数カメラで撮影することで観測精度と観測範囲を両立させる必要があるだろう。

c) 天候および日照

晴天時には影が早朝および夕暮れ時に大きく生じやすいほか、昼間においても雲の切れ間が上空を通過することで断続的に生じる日照変化により、誤検出を生じる恐れがある。例えば、図-3のような日照変化により、周辺構造物の影が生じ始めることがある。背景差分法では、このような影は背景画像として認識されるべきであるが、急激な日照変化が生じる場合には追従できず、移動体として誤認識してしまう。したがって、このような強い日差しによる影は、移動体追跡を行う場合において大きな問題となる。例えば、図-4(a)のように影の発生が軽微な場合は、輪郭部分のみを抽出した画像を用いることで軽減できるもの(図-4(c)参照)、図-5(a)のように明瞭に生じるときには、移動体の位置座標が本来の走行位置と異なるほか、車両同士が十分に離れていてもオクルージョンを生じさせてしまう恐れがある。このような影は入力画像がRGBカラー画像であれば、図-5(b)のように完全ではないものの影部分のみを除去⁴⁾することが可能である。以上より、画像処理には日照変化や影の影響が少ない曇天時が適しているといえる。

d) 撮影アングル

移動体追跡において撮影高さが低い場合や、高さが十分でも遠方を撮影する場合には、オクルージョン以外にも位置座標の推定精度が低下する問題がある。図-6のように移動体の走行位置を抽出された領域の重心位置とすると、移動体の高さの影響により得られる位置座標が実際のものよりも大きくずれてしまう。したがって、精度良く位置座標を取得するためには、この影響を補正する必要がある。これに対しては、例えば、飯田ら⁵⁾の移動体の位置座標をビデオ画像平面と3次元空間とで対応づけながら追跡を行う方法が有効であろう。また、撮影地点に高い建築物が存在しないときは、米国でのNCHRP 3-65 プロジェクトにおける観測事例⁶⁾のように、高さ10m程度のマストを立ち上げることで高さを確保するという方法も参考になる。

e) 撮影場所の周辺環境

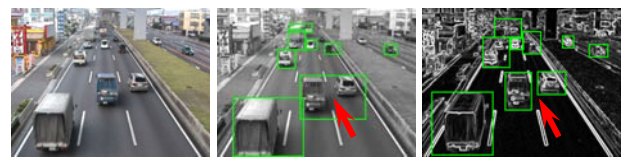
郊外の観測場所などで十分な高さが得られない場合、



(a) 自由流 (b) 渋滞流
図-2 交通状況の違いによる走行車両の見え方



図-3 急激な日照変化が生じるケース



(a) RGB 画像 (b) 濃淡画像 (c) 輪郭抽出画像
図-4 輪郭



(a) 車両周辺に生じる影 (b) 影部分の除去
図-5 車両周辺に生じる影の除去

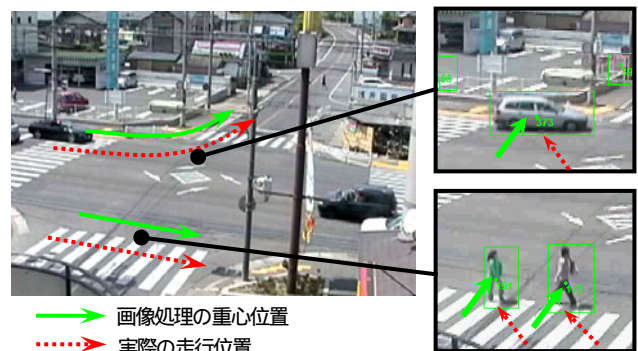


図-6 高さの影響により実際の走行位置と異なるケース

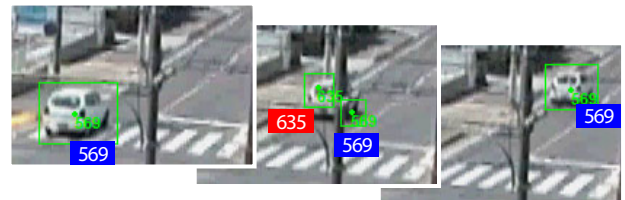
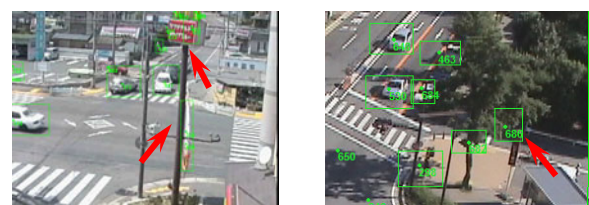


図-7 遮蔽物により領域が分割されるケース



(a) 回転看板・垂れ幕を誤検出 (b) 木の葉の揺れを誤検出
図-8 移動体として誤検出するケース

図-7(a)のように、電柱などの周辺構造物が映像内に映り込むことで、移動体の軌跡が遮蔽されることがある。この場合、移動体の移動履歴から遮蔽前後で対応関係を保つことができるが、位置精度の低下は避けられない。また、図-8のように、撮影場所付近に垂れ幕や街路樹などが存在すると、風になびいて微動することで移動体として誤って検出してしまふ。したがって、このような部分を画像処理時に解析範囲から除くか、撮影時に映り込まないように注意する必要がある。さらに、図-9のように、それまで背景として存在していた駐車車両が動き出すことで、路面を前景として誤検出してしまふこともある。

f) 映像の解像度および画質

映像品質は移動体追跡や車番認識で特に問題となる。例えば、移動体追跡において画素数があまりにも小さいと、ノイズとの区別が困難になるほか、車番認識では文字認識の際に文字領域の画素数が少なかったり、画質が低かったりすることで判別が困難になる。図-10は、高速道路の跨道橋からナンバープレートを観測したときの撮影画像であるが、図-10(a), (b)の画像では被写体が高速に移動するため、ぶれが生じやすく、たとえ目視で読み取ることはできても画像処理には適さないことが多い。したがって、シャッタースピードを上げるか、図-10(c)のように被写体の映像内での移動量が少なくなるよう撮影アングルを工夫する必要がある。

g) 映像のフレームレート

図-11の各プロットは、交通流計測において2つの検出ライン間を所定の通過所要時間で通過した際に計測できる車両の走行速度を2地点間の距離別に示したものである。通常のNTSC規格では1秒間に約30フレーム(30fps)の画像が記録されているが、高速走行する車両を扱うときには、30fpsでは粗いことがわかる。このような場合、2地点間距離を長めにとるか、インタレース方式の映像であれば、奇数フレームと偶数フレームを利用した60fpsで解析を行う方法が考えられる。このように、映像の解像度やフレームレートは、画像処理時に計算コストと観測精度のバランスから道路条件に応じて柔軟に変更することが望ましい。

4. おわりに

本稿では、交通工学分野でのビデオ画像処理のニーズと現状について述べるとともに、ビデオ画像処理システムTrafficAnalyzerの開発事例を通して明らかとなった適用上の課題について整理した上で、それらの現実的な対処方法について提示した。

現状の画像処理技術は、あらゆる撮影条件に対応できるというものではなく、実際に適用してみると予想外の問題が生じることが多い。それらの問題に対して画像処理技術のみで対応することは高度な技術を要するため、



図-9 駐車車両の発進により誤検出するケース

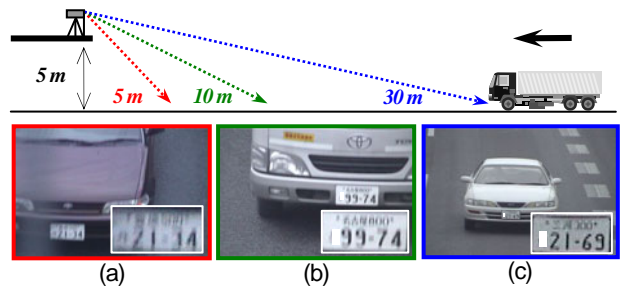


図-10 プレート観測位置別の撮影画像

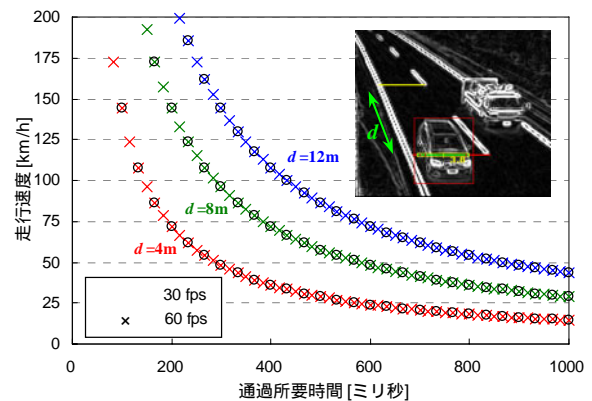


図-11 2地点間距離別の速度計測値の分布

画像処理技術のユーザーにとって現実的ではないと考えられる。よって、画像処理技術の特性を十分に理解した上で、画像処理に適した映像が得られるよう撮影方法を工夫することが重要となる。また、画像処理時には複数の代替手法を用意して使い分けるとともに、画像処理では困難な部分をマニュアルで代替することが、これまでのところ現実的といえる。

参考文献

- 1) 鈴木一史・中村英樹：交通流解析のための簡便な多機能ビデオ画像処理システムの開発，第24回交通工学研究発表会論文集，pp.69-72，2004。
- 2) 例えば，上條俊介，佐藤 秀，坂内正夫：時空間MRFモデルに基づく交通事象統合把握システム，第1回ITSシンポジウム2002 Proceedings, pp.523-532, 2002.
- 3) 赤羽弘和，畠中聡志：複数のビデオカメラによる車両走行軌跡の連続観測，第2回ITSシンポジウム 2003 Proceedings, pp.61-66, 2003.
- 4) Andrea, P., Ivana, M., Costantino, G. and Mohan, M.T.: Shadow Detection Algorithms for Traffic Flow Analysis: a Comparative Study, 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, pp.340-345, 2001.
- 5) 飯田克弘・安時享・上地登・英恵司：物体の3次元移動軌跡を計測するためのビデオ解析システムの開発，土木計画学研究・講演集No.28，CD-ROM，2003。
- 6) Michael, K. et al.: Characteristics of Modern Roundabouts in the United States: A Summary of the NCHRP 3-65 Operations Database, TRB 2006 Annual Meeting CD-ROM, 2005.