

画像処理を用いた交通調査システムの開発*

Building the Detecting and Tracking for the Measurement of Traffic Movement at Intersections *

松田真宜**・松本昌二***・佐野可寸志****

By Masanori MATSUDA**・Shoji MATSUMOTO***・Kazushi SANO****

1. はじめに

従来の交通事故の問題点の抽出方法は、事故の発生状況からの手法と安全性の観点からの手法に分けられる。¹⁾の手法は長期にわたる先見的な事故情報をもとに分析され、事故件数や事故率を元に対象箇所抽出し、事故類型を元に対策を行うものであるが、事故発生のない箇所や事故データの蓄積が少ない新設交差点では分析できない。この手法は、ヒヤリ・ハット事象の収集に代表される利用者の意見や要望をアンケート等により徴収、管理者からの視点から問題点を抽出する手法であり、事故データには現れない潜在的な危険性が抽出できるが、事故データとの相関性が明らかではないなどの問題点が指摘される。この手法の短所を補う手法として、筆者らは車両軌跡に基づく交差点の安全対策が有用と考えている。車両軌跡を用いると、時空間での位置を車両毎に把握できるので、速度・通過位置・ギャップアクセプタンスの計測が可能である。これらのデータを用いると、計測事故データが存在しない場合においても比較的短期間に問題挙動を見つけ安全対策を実施することができる。また、交差点の安全対策前後の車両挙動を比較することで、事故対策の効果を比較することができるので、交差点改良にかかる投資の透明性を確保できると期待がある。しかしながら車両挙動の獲得は人手によるビデオ調査が一般的で膨大な労力と人件費を必要とする欠点があった。我々は、このような観点からカメラ映像を画像処理し、車両挙動を自動的に抽出するシステムTrackerMの開発に着手してきた²⁾。カメラ映像を用いる意義は、カメラが

*キーワード：車両挙動、画像処理、安全対策

**正員、エヌシーイー株式会社

(新潟市網川原1丁目4番11号
TEL025-258-8540、FAX025-258-3531、
E-mail m-matsuda@nceinc.co.jp)

***正員、工博、長岡技術科学大学 環境・建設系

(長岡市上富岡町1603-1、TEL0258-47-9615、
FAX0258-47-9650、shoji@vos.nagaokaut.ac.jp)

****正員、博士(工学)、長岡技術科学大学 環境・建設系

(長岡市上富岡町1丁目1603-1、TEL0258-47-9615
FAX0258-47-9650、sano@vos.nagaokaut.ac.jp)

距離センサーなど他のセンサーと比較し、はるかに安価で情報量が豊富であり、1台のカメラで広範囲の情報が取得可能な点があげられる。また、画像処理システムをJPEG2000やインターネット等の圧縮転送技術と組み合わせ、技術転用することで全国に設置されているCCTVカメラ等をオンラインで利用し、交通量や車両挙動の常時観測の期待が持てると考えたためである。本論分では、2章で画像処理による車両挙動の自動抽出システムTrackerMについて述べ、3章で、新潟市の柳都大橋東詰交差点の交通画像からTrackerMを用いて車両挙動を抽出し、交差点運用の問題点を把握し、安全対策の抽出と車両挙動を元とした交通事故対策のメリットをまとめこととする。

2. 車両挙動の自動抽出システムTrackerM

(1) TrackerMの概要

TrackerMは、画像中の時々刻々と位置変化する車両の追跡を行い、車種別、車線別の交通量や車両の走行軌跡を抽出するソフトウェアシステムである。プログラムは、Microsoft社のWindows上で動作し、Borland社のDelphiを用いて拡張性や柔軟性の高いオブジェクト指向を用いて記述している。また、高速演算の実行のため、画像の繰り返し演算のほとんどはCPUの並列演算命令(SSE、SSE2、SSE3命令)をインラインアセンブラで記述している。動画の再生やフレーム画像の取得等のメディアの制御は、多くのマルチメディアアプリケーションに採用実績のあるMicrosoft社のDirectXを利用し、読み込み可能な動画の形式は、AVI(非圧縮、DV形式Type1・Type2)、MPEG1・2、VMA形式である。TrackerMにより出力されるデータは、個々の車両データとして、車両別の交差点への流入出車線番号、フレーム毎の車両の重心座標(車両軌跡)・車両領域が出力される。また、統計データとして車線別・車種別交通量、交差点方向別・車種別の速度分布、通過確率図(ビデオ画像90×60ブロックに分割し、ブロックを通過する車両の台数(確率)を図化したもの)である。車両の認識処理はいくつかのパラメータを試行錯誤して設定することが多いので、操作性の高いGUI(Graphical User Interface)に必要な全ての操作が可能である。図-1は、TrackerMのGUI画面である。



図-1 TrackerMのGUI画面

(2) TrackerMの画像処理手法

a) 車両の検出単位

TrackerMは、8×8ピクセルを1ブロック(720×480ピクセルの画像では90×60ブロック)としたブロック単位で車両領域の検出を行う。ブロック単位に検出を行う理由は、ブロック単位で検出した車両領域の重心が人手で計測した重心座標と差異がほとんどなく、検出の最小単位をピクセルからブロックにすることで1ブロックあたり64ピクセルの輝度値のサンプルが得られ統計指標を利用して正確な車両の検出ができる期待が高いこと、CPUの並列演算レジスタと相性がよいこと(SSEレジスタが128bitであるため最大で4ブロックを並列演算可能：統計処理を1/7の処理時間で実行できる)なるなどの理由がある。

b) 車両の検出と車両オブジェクトの生成

交通画像中に車両が登場すると、流入ディテクターと呼ばれる画像処理による仮想の車両検知器流入が検知され車両オブジェクトと呼ばれる仮想車両が生成される。流入ディテクターは、背景差分により検出され、かつディテクター内のオプティカルフローの最頻度長さが閾値を超えたとき車両オブジェクトを生成する。背景差分による車両検出は、式1に基づき行っている。ただし、 T_A 、 T_B の閾値パラメータは理論的に決定する手法がないので、試行錯誤にて決定する。オプティカルフローは、いくつかの手法が提案されているが、勾配法の一つであるPyramid Lucas & Kanade法³⁾を用いて計算を行って

$$\left. \begin{aligned} B_{index} &\geq T_B \cdots \text{detected, otherwise} \cdots \text{undetected} \\ B_{index} &= \sum_{y=0}^8 \sum_{x=0}^8 P_{index}^{x,y} \\ I_{xy} &\geq T_A \cdots P_{index}^{x,y} = 1, \text{ otherwise} \cdots P_{index}^{x,y} = 0 \end{aligned} \right\} \cdots 1$$

ここに、

I_{xy} : ピクセル単位の差分値(0-255)

P_{index} : ピクセル単位の差分検出結果(0 or 1)

B_{index} : ブロックの評価値(0-64)

T_A : 閾値パラメータ(0-255) T_B : 閾値パラメータ(0-64)

る。車種判定は式2のように行っている。これは、流入ディテクターのオプティカルフローの最頻度長さの時間方向積分が車両の長さと同関が高いためである。

$$\left. \begin{aligned} L &\geq T \cdots \text{Truck, otherwise} \cdots \text{Car} \\ L &= \sum_{t=1}^n l_t \end{aligned} \right\} \cdots 2$$

ここで、

n : 車両の検出時間

l_t : 時刻tにおけるオプティカルフローの最頻度長さ

L : 通過車両の推定長さ(時間方向積分値)

c) 車両オブジェクトの移動と廃棄

車両オブジェクトは、車両の存在するブロック座標や生成された流入ディテクターオブジェクト番号を保持し、流出ディテクターオブジェクトと呼ばれる車両廃棄用の検知器により廃棄されるまで移動に伴う車両オブジェクトの移動(ブロック座標の更新)を行う。この移動更新は、2段階に行われ、1段階目は、車両ブロックについて時刻T-1と時刻Tの画像を用いてオプティカルフローを計算し、車両オブジェクト全体のブロックをオプティカルフローの最頻値に基づき暫定的な平行移動をする。2段階目は、移動誤差の補正であり、平行移動前後のブロックの連結度、テクスチャーの類似性をパラメータで平滑化したユークリッド距離を閾値で判定し車両オブジェクトへブロックの追加・削除を行う。

d) 車両オブジェクトの廃棄

交差点の流出部には流出ディテクターを設置する。車両オブジェクトは、交通画像中の車両の消滅に伴いメモリー上から廃棄されるが、流出ディテクターがこの廃棄プロセスを担当し、流出ディテクターに入った車両オブジェクトのブロックを削除し、このとき車両オブジェクトは、流出ディテクター番号を記憶する。車両はブロックがゼロとなった時点で廃棄されるが、車両オブジェクトは廃棄時に流入出ディテクター番号、フレーム毎の通過位置や車両ブロックをハードディスクに記録する。

3. 柳都大橋東詰交差点の車両挙動分析

柳都大橋東詰交差点は平成15年に供用開始した柳都大橋の東詰に位置する2重右折交差点で右折車両と対向直進車両・歩行者の衝突事故の多い、重点対策箇所である。

(1) ビデオ調査の概要

分析に用いるビデオ映像は、隣接するマンションから撮影した約2時間の映像である。表-1に概要を示す。

表-1 ビデオ撮影の概要

撮影場所	マンション6階より撮影
撮影日時	2005年7月22日(金) AM8:00- AM 10:00
記録方式	DVテープをDV-TYPE1形式AVIでキャプチャー

(2) 車両挙動の抽出精度

図-3に車両認識のスクリーンショットを、図-4にTrackerMにより出力された車両軌跡を示す。交差点全方向の交通7273台のうち、7092台の車両を抽出できた。(台数の識別率=97%)このうち、車両が交差点を走行している際の誤認識(2台の車両重なって見える結果1台と識別されるオクルージョンが主)を除外すると、交差点通行する車両の軌跡と判定できた台数は、6618台(認識率=91%)であった。以降の分析では、この6618台のデータを用いる。特に焦点を当てる右折車両については、全時間で、1916台中、1781台(認識率=93%)台のデータを抽出できた。

(3) 右折車両のショートカット車両と速度分布

表-2は、ショートカット車両の割合である。表-2から、右折右側車線の約7割が交差点をショートカットすることがわかる。左側車線の車両については、8.4%とショートカット車両の割合が小さい。次に、ショートカット車両の多かった右側右折車線の通常走行車両とショートカット車両の右折速度の分析を行う。図-5は、右折



図-3 車両の識別状況

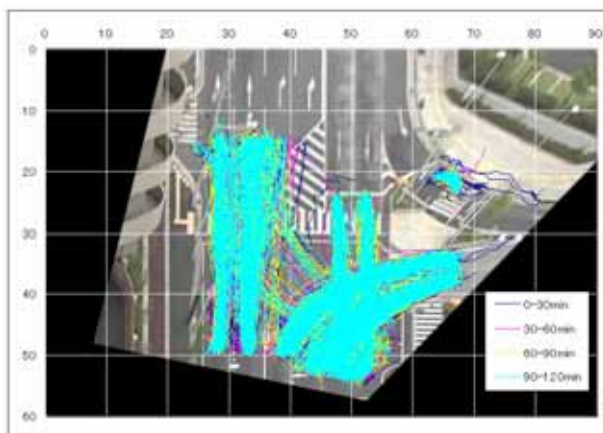
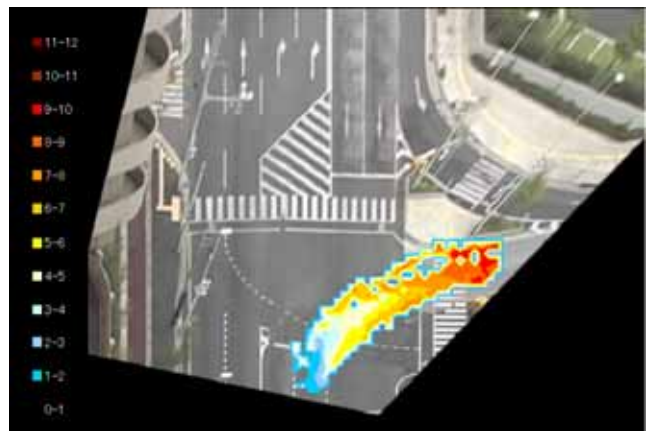


図-4 車両軌跡の抽出状況(軌跡を射影変換)

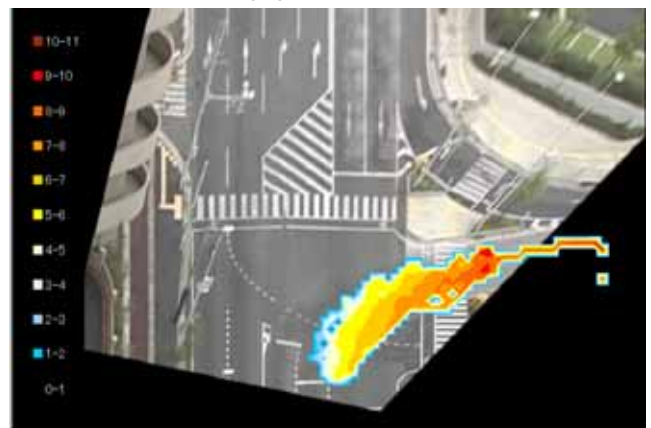
表-2 ショートカット車両の割合

車線	通常走行車両(%)	ショートカット車両(%)	計(識別率)
左側	731(91.6)	67(8.4)	798(90.1%)
右側	288(30.3)	695(70.7)	983(94.7%)
計	448	1333	1781(93%)

右側車線の速度分布図であるが、通常軌跡(a)の速度分布を見ると、赤色の2つの帯ができていることから、交差点の流出車線(2車線)を選択していることがわかる。これから、右折左側車両との交錯の危険性が指摘される。ショートカット軌跡(b)の速度は通常走行より速度が速く、極端なショートカットとなるような領域では特に交差点通過速度が速い。横断歩道周辺での速度は、通常軌跡・ショートカット軌跡共に高く、歩行者との衝突時のダメージが懸念され、右折車両の右折速度のコントロールを行う必要がある。



(a) 通常軌跡



(b) ショートカット軌跡

図-5 右折右側車線の速度分布図

(4) 右折車両のギャップアクセプタンス

右折車両1781台のうち、対向直進と同一の現示で右折を行った車両(右折専用現示以外で捌けた車両)は、244台(13.7%)であった。ここでは、この244台を用いて分析を行う。図-6は、右折車両が右折を行ったときの対向直進車両のギャップの分布であり、最頻値は、9秒であることがわかる。図-7は、右折車両が右折を見送った

ときの対向直進車両のギャップの分布であり、最頻値は2秒である。図-6に着目すると、右折に使用されたギャップの分散が大きい。分散が大きい理由としては、対向直進車両の需要量が非飽和であること、ドライバーによって走行位置が違ふことや右折待ちの停止からの発進も含まれていることが理由と考えられる。なお、図-6のサンプル数と図-7のサンプル数から、右折車両は平均して約8台の対向直進車両を見送っていることとなる。図-8は、ギャップアクセプタンスである。これより、臨界ギャップは、5秒であることがわかる。5秒より小さいギャップで右折する確率は10%以下であるが、244台中13台（1時間当たりの交通に対しては1.5%）の車両が、右折を行っている。このうち、9台が右側右折車線を利用し、4台が左側右折車線を利用している。これらの全ての車両はショートカット車両であり、高い速度で交差点を通過していた。

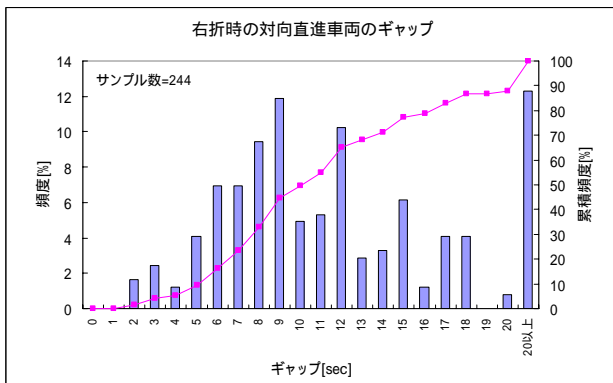


図-6 右折を行った対向直進車両のギャップ分布

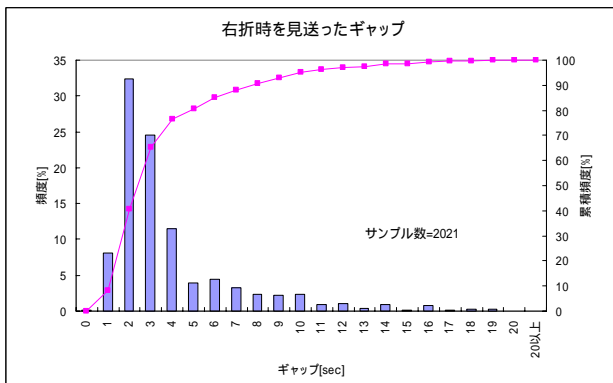


図-7 右折を見送った対向直進車両のギャップ分布

4. おわりに

画像解析による交通調査システム TrackerM について述べ、TrackerM を用いて車両の移動軌跡を取得・分析し、以下の知見を得た。

- ・左側右折車線では、ほとんどの車両がショートカットを行わないのに対して、右側右折車線では、約7割の車両が右折のショートカット走行を行う。
- ・右折車両は、ショートカットとなるほど車両の走行

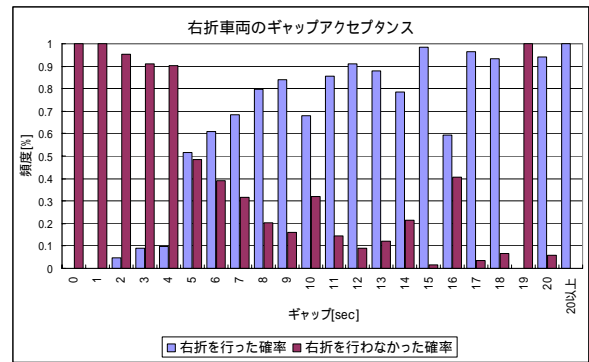


図-8 右折車両のギャップアクセプタンス

速度が高くなる傾向がある。

- ・右折車両のギャップ選択の確率を求め、臨界ギャップは5秒で臨界ギャップを下回る短いギャップでの右折は、全交通量に対して1.5%であった。
- これより、現状では設置されていない右折導流線を設置し、右折車両の軌道を矯正し、速度を適切にコントロールすることが望ましいと考えられる。また、車両挙動を利用した事故対策の立案手法として、画像解析を応用した手法は以下の点で有用である。
- ・速度等の車両挙動をビジュアルに表示することで、交通状態を理解しやすく、迅速な対策案の立案が可能である。
 - ・危険と判断される軌跡を抽出すると時間をキーとして映像とリンクでき、実際の交通状況と危険軌跡を照らし合わせ現象の理解を深めることが出来る。
 - ・人手による車両挙動の抽出と比較し、画像解析による車両挙動の取得は大幅に労力を圧縮でき、短時間に問題点の抽出が可能である。

-謝辞-

本研究は、北陸ブロック交通対策アドバイザー会議の協力のもと行った。北陸地方整備局新潟国道事務所様にはビデオ撮影の協力、新潟県警様には事故データや信号データの提供、新潟県・新潟市様には貴重なご意見を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 交通工学研究会編：交差点事故対策の手引き
- 2) Masanori MATSUDA, Shoji MATSUMOTO and Kazushi SANJO: Traffic Detecting and Tracking for the Measurement of Traffic Flow at Intersections, The 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF HONG KONG SOCIETY FOR TRANSPORTATION STUDIES, Dec, 2005.
- 3) Lucas, B.D. and Kanade, T: An iterative image registration technique with an application to stereo vision. In International Joint Conference on Artificial Intelligence, 674-679, 1981.