

(5) 車両走行軌跡データを用いた信号交差点における交通状況の推定に関する研究

岩原 雄大¹・西内 裕晶²・井料 隆雅³

¹ 学生会員 高知工科大学 大学院工学研究科 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185)

E-mail: 255058h@gs.kochi-tech.ac.jp

² 正会員 高知工科大学准教授 システム工学群 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185)

E-mail: nishiuchi.hiroaki@kochi-tech.ac.jp

³ 正会員 東北大学教授 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09)

E-mail: iryo@tohoku.ac.jp

本研究は、道路の路側から取得したビデオカメラの映像から各車両の走行軌跡データを作成する方法を構築し、車線別の交通状況を把握することを試みる。具体的には、高知県高知市にある石立交差点の前後の道路区間をビューボールによりビデオ撮影し、OpenCV ライブラリのオプティカルフローを用いて通過する全車両の車両走行軌跡データを作成するものである。加えて、作成した車両走行軌跡データから走行車線と追い越し車線の車頭時間分布を集計し比較するものである。その結果、約 9 割の車両について正確な車両走行軌跡データを作成することができた。また、走行車線と追い越し車線の平均車頭時間は走行車線の方が有意に短い結果となり走行車線が追い越し車線よりも混雑する傾向にあることを把握できた。

Key Words: Vehicle trajectory, Optical flow, Vehicle following model, Time headway

1. はじめに

高知県高知市国道 56 号線石立交差点の東行き区間では、朝ピーク時に郊外から市街地に向かう交通で渋滞が発生する傾向がある。石立交差点を西側から東方向に通過する道路の交差点の直前における断面構造は、路肩側から走行車線、追い越し車線、右折専用車線の 3 つの車線で構成されており、走行車線から左折する車両が減速するため直進車の流率を下げ、渋滞の原因になっていると考えられている。その解決策として、当該道路の管理者である国土交通省土佐国道事務所では左折専用レーンの増設を計画している¹⁾。

左折レーン増設の効果を評価するには増設後の交通状況を把握し分析する必要がある。交通状況の調査には、主として、ETC2.0 に代表されるプローブデータが用いられている。しかしながら、プローブデータを取得できる車両は限られているため当該道路区間を通過する全車両の情報が取得できないなどの問題がある。

その一方、様々な分野に用いられてきたビデオ画像観測は、家庭用ビデオで実際の交通状況をそのまま記録できる。ビデオ画像観測は、撮影の手軽さに反して解析作

業に膨大な労力と時間を要することが課題であったが、近年ではビデオ画質の向上やコンピュータの画像処理の高速化により、ビデオから車両位置の取得が容易にできるようになった。しかし、既存の画像処理システムはビデオ撮影時の画角や光、天候に左右され、各車両の走行位置や交通状況を把握するのに十分なデータを取得できないことがある。

そこで本研究では、道路の路側から取得したビデオカメラの映像から各車両の走行軌跡データを作成する方法を構築し、車線別の交通状況を把握することを試みた。具体的には、前述した石立交差点付近の道路区間において西側から東方向に向かう走行車線、追い越し車線の 2 車線においてビデオ画像処理技術を用いて車両走行軌跡を作成する。そのデータを活用することで、石立交差点に流入する車両の交通状況が把握可能であるかを検討する。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

(1) 車両の追跡

画像処理によって人や車両を追跡する研究は数多く行われてきた。画像処理による車両の追跡は、画像処理にかかる人件費や時間を大幅に削減することができる。しかし、日照の変化などの影響で取得したデータの精度が不安定になるため、問題解決のために様々な研究がなされている。

画像処理による物体追跡について鈴木ら²⁾はビデオ画像観測による交通流解析に必要な機能を備えつつ、一般的なパーソナルコンピュータと家庭用のデジタルビデオカメラを用いた簡易な観測機器構成で、実用的な実行性能で画像処理を行うことが可能なビデオ画像処理システムを開発した。また、交通量計測では、車両感知領域と車両の走行位置関係によって計測制度が左右されるが、車両の走行位置が明確な場合には交通量を95%以上の制度で計測可能であり、夜間には対応していないものの、夕暮れ時のように日照が徐々に変化する場合でも検出が可能であることを示した。

Konstantinos G. Derpanis et al.³⁾は車両感知器ではなく金銭的なコストが低いビデオを用いることを取り上げ、ビデオから道路の混雑状況を取得する方法を提案し、車両が多い交通状態とそうでない状態を区別することができた。

(2) 交通状況の評価

交通量や密度などの交通の量的情報は、道路における遅れ時間の評価や信号制御、環境評価などに活用される最も基本的な情報の1つである。

交通量の把握について和田ら⁴⁾は複数のプローブ車両走行軌跡データのみを用いて交通量の量的把握を可能とする手法を提案した。提案手法は、先行プローブ軌跡と後続のプローブ軌跡がもっとも整合するように流入交通量を推定するものであり、推定交通流量を用いれば、プローブ車両間の間の交通状態も推定できることを示した。

水木ら⁵⁾はプローブ旅行時間データを用いることで、ボトルネック交差点および影響範囲を特定することが可能であることを示した。

また、橋本ら⁶⁾は民間プローブデータを利用して、ボトルネック交差点とその影響範囲の特定方法を提案した。提案方法により、ボトルネック交差点を簡便に特定できるほか、渋滞の起点へのなりやすさ、下流側の渋滞の影響の受けやすさという詳細な渋滞状況を把握できること

を示した。加えて、道路区間を跨いで影響が及ぶ渋滞、複数のボトルネック交差点が近接して存在する場合のボトルネック相互の影響関係を把握することも可能であることを示した。

海外では、Zuchao Wangら⁷⁾が各々の道路で自由流を推定した後に低速度を発見した場合自動的に交通渋滞とみなす方法を提案した。そして、一カ所で交通渋滞が発生した場合隣接した道で交通渋滞がどのように広がっているのかを想定した。

(3) 本研究の位置づけ

既往研究のように、ビデオ画像処理は高い建物など対象全体を撮影できる場所から撮影すれば車両同士の重なりが少ないため、容易に画像処理が可能である。しかしながら本研究では、最高高さ約10mの位置から撮影し車両の重なりがある画像のビデオ画像処理をして車両走行軌跡を作成する。

また、道路状況の把握に何台かの車両走行軌跡を取得し他の車両を推定するのではなく、通過する全車両の車両走行軌跡データを用いることで車線別に各車の走行状態により交通状況を把握する。

3. 調査対象場所

本研究では、高知県高知市国道56号線石立交差点の東行き区間を対象とし、石立交差点を西側から東方向に通過する道路の交差点の直前における断面構造は、路肩側から走行車線、追い越し車線、右折専用車線の3つの車線で構成されており、本研究では走行車線と追い越し車線の2車線を対象とする。石立交差点の航空写真を図-1に示す。調査日は2019年11月18日～11月22日、調査時間は朝のピーク時で交通量の多い午前7時～午前10時の3時間とした。

4. 車両走行軌跡作成方法

(1) ビデオ撮影

ビデオ撮影は、株式会社道路計画が開発したビューボ



図-1 石立交差点の航空写真(Google マップより筆者が作成)



図-2 座標取得時の実行状況



(a)走行車線 (b)追い越し車線
図-3 射影変換後の各車線



図-4 車両長取得に用いる動画の画角

ールを用いて街灯柱などの構造物に固定して道路を撮影した。画角は撮影した全時間変えないこととする。

(2) 車両位置の取得

取得したビデオデータを用いて、動画上での四輪車の座標を取得した。図-2に座標取得時の画面を示す。まず、ビデオデータより OpenCV ライブラリのオプティカルフローを用いて、最も車両同士の被りが少なくなるよう車両後輪の特徴点をクリックして指定した。指定した特徴点は、動画を進めると特徴点と認識しなくなるまで追跡され、1/30 秒ごとに動画から座標データを取得した。

(3) 単位変換

取得した座標データを射影変換し、実際の距離に単位

変換する。図-2 の走行車線を射影変換後の画像を図-3 に示す。射影変換した範囲の実際の距離を α (m)，求める車両の実際の位置を β (m)，射影変換後の画像の縦の全ピクセル数を γ_1 (ピクセル)，射影変換後の車両の y 座標を γ_2 (ピクセル)とすると車両の実際の位置 β (m)は式(1)の通りに算出できる。

$$\beta = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \times \alpha \quad (1)$$

(4) 車両走行軌跡の作成

縦軸にビデオ撮影時間(秒)，横軸に式(1)で算出した実際の車両位置 β (m)を描画して車両走行軌跡を作成する。

5. 交通状況把握方法

(1) 車両追従モデル

本研究では、交通状況を把握する指標として車頭時間を用いた。車頭時間は、長ければ車両同士の間隔が空いていて混雑しておらず、短ければ車両間隔が詰まっていて混雑していると判断できる。車頭時間は、M. Treiber et al.⁹⁾によって提案された Intelligent Driver Model (以下、IDM)に基づいて算出する。IDMは前方車両との相対速度から安全な車間距離 s^* を計算し、 s^* と希望速度から加速度を計算するモデルである。車両の加速度は式(2)で表される。 s^* は必要とされる車間距離であり式(3)で計算される。

$$\dot{v}_\alpha = a \left[1 - \left(\frac{v_\alpha}{v_0} \right)^\delta - \left(\frac{s^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha)}{s_\alpha} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$\text{with } s^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha) = s_0 + v_\alpha T + \frac{v_\alpha \Delta v_\alpha}{2\sqrt{ab}} \quad (3)$$

ここで、車両走行軌跡から算出できる値は v_0 , v_α , $v_{\alpha-1}$, s_α である。 v_0 は希望速度で、本研究では分析対象区間の法定速度である 13.89m/s を代入する。 v_α は自車両の速度、 $v_{\alpha-1}$ は先行車の速度であり、 Δv_α は $\Delta v_\alpha = v_\alpha - v_{\alpha-1}$ で計算される。 s_α は $s_\alpha = x_{\alpha-1} - x_\alpha - l_{\alpha-1}$ で計算され、 x は基準点からの距離、 α は α 番目の車両で自車両を指す。 l は車両長である。IDM より最小二乗法を用いて算出する値は s_0 , T , a , b である。式(2)において、 s_0 は前車両から自車両までの安全とされる最小距離で、停止時の車間距離とも言える。 T は安全とされる最小車間時間(反応時間)、 a と b はそれぞれ最大加速度と最大減速度である。 δ は速度係数であり通常 4 で一定であるとされている。

(2) 車両長の取得

車両長 l は、図-4 の画角から前章で用いた方法より車両の前輪と後輪の座標を取得し、実際の位置に変換した。

そして、前輪位置から後輪位置を引くことで車両長を算出した。

6. 車両走行軌跡と車頭時間の比較

(1) 車両走行軌跡

本研究では、21,751 台の車両走行軌跡を取得した。30 分間に取得した車両走行軌跡を図-5 に示す。作成した車両走行軌跡の中には前方車両、後方車両が停止しているのに対し対象車両が走行しているような挙動が見られた。これは、通常の車両挙動では起こりえない現象であるため、座標取得時のエラーであると考えた。座標取得時のエラーは全 21,751 台の内、約 1,500 台観測された。エラーが観測されるのは、車両同士が被った際に画面上で手前の車両に奥の車両が隠れ見えなくなり、奥の車両を追跡していた点が手前の車両を追跡してしまうのが原因である。

(2) 車頭時間の比較

IDM の式から最小二乗法を用いて車頭時間を算出し、走行車線と追い越し車線の分布を比較する。比較に用いたデータは座標取得時のエラーが見られなかった車両走行軌跡データであり、走行車線は 143 ケース、追い越し車線は 136 ケースのデータを取得した。走行車線と追い越し車線の車頭時間について平均値の差の検定によりデータの傾向を比較した。その結果を表-1 に示す。表-1 より、走行車線の車頭時間のほうが追い越し車線よりも有意に短いため、走行車線の方が混雑している可能性を示すことができた。これは、前述した当該交差点が混雑する理由と一致しており、本研究で提案する車両の走行軌跡データの作成により交通状況を把握することができたとと言える。

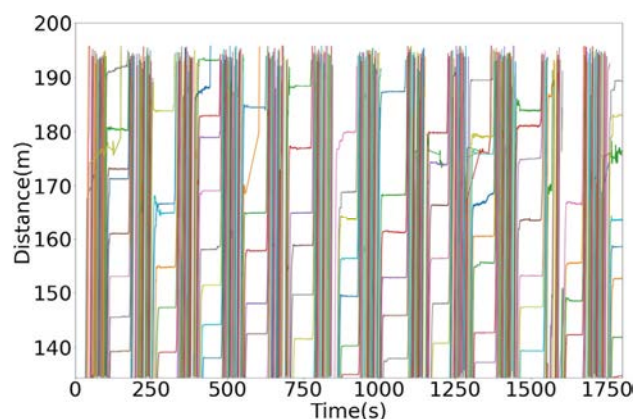


図-5 30 分間に取得した車両走行軌跡

表-1 t検定による車頭時間の比較

	走行車線	追い越し車線
平均	0.566	0.911
分散	0.243	3.20
観測数	140	132
P 値	0.0172	

7. 車両走行軌跡を用いた交通状況把握の課題

本研究では、オプティカルフローを用いてビデオカメラから取得した画像データから全車両の車両走行軌跡を取得し、走行車線と追い越し車線の車頭時間を比較した。結果より、追い越し車線よりも走行車線の方が混雑していた。今後の課題として、ビデオデータから車両の座標を取得する際に車両が被ってしまうと座標が取得できなくなるため、座標取得方法に改善が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省土佐国事務所 HP「石立交差点（東行き）の車線見直しを行います!」<http://www.skr.mlit.go.jp/tosakoku/pres/2020/210104.pdf>, (入手 2020.3.2).
- 2) 鈴木一史, 中村英樹: 交通流解析のためのビデオ画像処理システム TrafficAnalyzer の開発と性能検証, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.3, 276-287, 2006.
- 3) Konstantinos G. Derpanis, Richard P. Wildes: Classification of Traffic Video Based on a Spatiotemporal Orientation Analysis, 2011 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV), pp. 606-613, 2011.
- 4) 和田健太郎, 小林桂子, 桑原雅夫: プローブ車両軌跡データのみを用いた交通の量的把握, 生産研究, 67 巻, 2 号, pp.143-147, 2015.
- 5) 水木智英, 橋本浩良, 門間俊幸, 上坂克己, 中西雅一: 常時観測道路交通データを用いた渋滞状況の動的变化に関する分析～ボトルネック交差点とその影響範囲の特定～, 土木計画学研究・講演集 Vol.45 CD-ROM, 2012.
- 6) 橋本浩良, 水木智英, 高宮進: プローブデータを利用したボトルネック交差点とその影響範囲の特定方法, 土木計画学研究・論文集, vol.70, pp.1159-1166, 2014.
- 7) Zuchao Wang, Min Lu, Xiaoru Yuan, Junping Zhang, Huub van de Wetering: Visual Traffic Jam Analysis Based on Trajectory Data, IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, Vol. 19, No. 12, 2013.
- 8) M. Treiber, A. Hennecke, and D. Helbing: Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations, Physical Review E, Vol.62, No.2, pp.1805-1823, 2000.