

時空間クラスタリングに基づく車両認識手法の開発*

Auto-Recognition of Vehicle Maneuvers Based on Spatio-Temporal Clustering Approach*

布施孝志**・依田秀則***・清水英範****

By Takashi FUSE**, Hidenori YODA*** and Eihan SHIMIZU****

1. はじめに

現在の交通現象分析において、道路ネットワークを対象とした広域道路網の現象分析が注目を集めており、広域における車両の詳細挙動データの必要性が高まっている。このような広域かつ詳細挙動データが利用可能となれば、車線変更・追従・追い越し・避走挙動や車線分布状況、路上駐車状況、山間部交通の幹線道路への影響などに基づく渋滞現象解析、詳細道路交通 OD データの地区計画への応用、交通シミュレータの検証データの提供、あるいは、そのデータに基づくシミュレータの精緻化、交差点の右左折率や飽和交通流率などからの交通制御・規制システムの再検討などへの貢献が期待される。

しかし、現在の交通流観測は感知器による速度、交通量観測が主流であり、軌跡などの車両の詳細挙動を観測することは不可能である。このため、新たな交通流観測手法の開発が望まれている。その要請にともない、ビデオカメラ等による面的な観測に関する研究もなされてきたが¹⁾⁶⁾、その対象範囲が狭いことなどによって大きな制限を受けている。

従来の感知器にかわる新しい交通流観測手法として、高度撮影画像を用いた交通流観測が考えられる。高度撮影画像は、広域かつ詳細な情報を得るのに適

したデータであり、現在ヘリコプター等によりこのようなデータの入手は容易である。また、将来的には、成層圏に気球を停留させる成層圏プラットフォームなどにより地上の時系列観測が可能となる。これにより、従来困難であった広域を対象とした詳細車両挙動観測への道が開かれ、前述した交通現象分析への貢献が大いに期待される。

以上の背景の下、本研究は高度撮影画像を用いて車両の詳細挙動を認識する手法の構築を目的とする。

高度撮影画像からの交通流計測は、それぞれの画像において車両を抽出する問題と、抽出された車両を追跡する問題からなる。筆者らはこれらに対する手法として、観測された前後2枚の画像から、確率的弛緩法を用いて車両の対応関係を決定する手法を開発してきた⁷⁾。しかしながら、この方法では、1枚の画像のみを用いて車両を抽出するため、その抽出精度に限界がある。また、人間の認識方法を鑑みると、抽出と追跡を分離するのではなく、対象物体の動きも含めた認識、すなわち抽出と追跡とを統合した方法がより合理的な手法であるといえる。そこで、本研究では、観測された時系列画像、換言すると、時空間画像から車両領域を認識する問題を対象とする(図-1)。具体的には、ヘリコプターから撮影された時系列画像に対し、時空間クラスタリングに基づく車両挙動認識手法を構築し、その適用可能性を検討する。

2. 時空間クラスタリング

クラスタリングは外的基準なしに分類を行う手法であり、特徴空間における類似度に基づいて分類を行う⁸⁾。ここでは、時空間画像の各ピクセルを、その特徴量が類似しているグループごとに分類することを意味する。本研究では、特徴量として位置(x, y)、

*キーワード：交通情報、交通量計測、リモートセンシング

**学生員、工修、日本学術振興会特別研究員

東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

(東京都文京区本郷 7-3-1、

TEL: 03-5841-6129、FAX: 03-5841-7453)

***正員、工修、国土交通省九州地方整備局熊本工事事務所

(熊本県熊本市西原 1-12-1、TEL: 096-382-1111)

****正員、工博、

東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

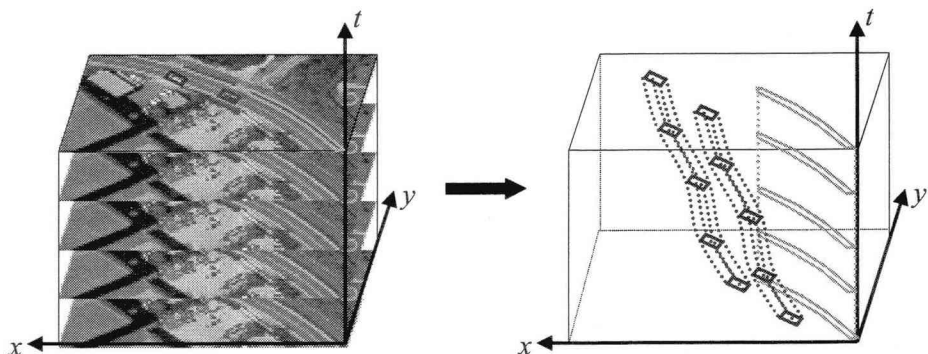


図-1 対象とする車両認識問題

時間 t 、色 (r, g, b) 、速度 (u, v) を採用する。ここで、位置、時間、色は時空間画像から直接得ることができる一方で、速度は推定する必要がある。速度として、事前に領域拡張法により類似色をもつ領域に分割し、各領域をテンプレートとして設定し、1 フレームごとテンプレートマッチングを行い、その移動量をその領域の速度とする。クラスタリング法として階層的クラスタリングを採用した。階層的クラスタリングは下記のステップにより実行される^{8), 9)}。

1. 全個体(ピクセル)の組み合わせに対して、特徴空間における距離を計算する。
2. 上記距離を比較し、最小距離の2個体を融合してクラスタを形成する。
3. ステップ 2.において作成されたクラスタを個体とみなし、そのクラスタ中心を新たな特徴量とする。
4. 上記 2.、3.を繰り返し、クラスタ数が指定したクラスタ数となったら終了する。

各ピクセルの特徴量とクラスタ中心間の距離は、次の重みつきユークリッド距離を採用する。

$$\begin{aligned}
 d^2 = & k_t \left\{ (x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2 \right\} \\
 & + k_v \left\{ (u - \hat{u})^2 + (v - \hat{v})^2 \right\} \\
 & + k_c \left\{ (r - \hat{r})^2 + (g - \hat{g})^2 + (b - \hat{b})^2 \right\} \\
 & + k_t (t - \hat{t})^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

k_t 、 k_v 、 k_c 、 k_t はそれぞれ位置、速度、色、時間に対する重み、 $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{u}, \hat{v}, \hat{g}, \hat{b}, \hat{t})$ はクラスタ中心である。

上記クラスタリングにより、車両領域をその他の

領域と分類することが可能である。しかしながら、実際は同一車両にもかかわらず、時間軸方向に複数のクラスタに分類されるという、時間方向の不連続性の問題が生ずる。そのため、時間方向にクラスタを統合する必要がある。クラスタ統合のため、本研究では、速度履歴を利用する。例えば、時刻 t と $t+1$ においてクラスタが不連続とする。時刻 t 、 $t-1$ 、 $t-2$ における車両位置をそれぞれ (x_t, y_t) 、 (x_{t-1}, y_{t-1}) 、 (x_{t-2}, y_{t-2}) とすると、時刻 $t+1$ における車両位置を加速度一定の仮定のもと下記のように推定する。

$$\begin{aligned}
 x_{t+1} = & x_t + (x_t - x_{t-1}) \\
 & + \{ (x_t - x_{t-1}) - (x_{t-1} - x_{t-2}) \} \\
 = & 3x_t - 3x_{t-1} + x_{t-2}, \\
 y_{t+1} = & y_t + (y_t - y_{t-1}) \\
 & + \{ (y_t - y_{t-1}) - (y_{t-1} - y_{t-2}) \} \\
 = & 3y_t - 3y_{t-1} + y_{t-2}
 \end{aligned} \quad (2)$$

時空間画像中の時刻 $t+1$ において推定された位置の近傍に類似した色分布をもつクラスタを探索する。類似した色分布をもつクラスタが存在する場合はこれら2つのクラスタを統合する。その他の場合は、このクラスタの車両は消失したものと考える。これにより、車両が歩道橋やビル影により、一時消失した場合にも車両を追跡することが可能となる。

最後に、個々のクラスタに対し車両が否かの自動ラベリングを行う。ラベリングのために時間領域における速度の連続性、および空間領域における形状と大きさを利用する。ここで、注目するクラスタの時刻 t における空間領域の重心を (x_{ct}, y_{ct}) とし、速度を次式のように定義する。



図-2 HDTV 画像(朝日航洋(株)提供)

$$u_i = x_{ct-1} - x_{ct}, v_i = y_{ct-1} - y_{ct} \quad (3)$$

この速度の変化量がある閾値よりも小さい時に車両と判別する。

$$\sum_{t=1}^{N-2} \frac{(u_{t+1} - u_t)^2 + (v_{t+1} - v_t)^2}{\sqrt{u_t^2 + u_{t+1}^2} \sqrt{v_t^2 + v_{t+1}^2}} < T_1 \quad (4)$$

ここで N は時空間画像のフレーム数である。速度の連続性に加え空間領域での形状と大きさも用いる。形状と大きさはそのクラスタの空間領域における外接長方形の短辺、長辺の長さ(a, b)を用いて定義する。

$$b/a < T_2 \quad (5)$$

$$T_3 < ab < T_4 \quad (6)$$

式(4)、(5)、(6)の3条件を満足するクラスタに車両のラベリングをおこなう。

3. 適用

(1) 適用可能性の検討

提案手法を図-2に示す航空HDTV画像(朝日航洋(株)提供)に適用した。HDTV画像の諸元は以下の通りである。

撮影プラットフォーム：ヘリコプター

高度：約 600m

撮像間隔：1/10 秒

空間分解能：0.20m

フレーム数：20frames

バンド数：3 (8bit RGB 値)

サイズ：1920×1080 pixels (400m×200m)

適用に際し、時空間クラスタリングにおける式(1)、(4)、(5)、(6)のパラメータを設定する。パラメータ T_1, T_2, T_3, T_4 は車両の動特性などから容易に決定することが可能である。一方で式(1)における重み係数 k_f, k_v, k_c, k_t は試行錯誤の結果下記の通りに設定した。

$$k_f = 0.1, k_v = 5.0, k_c = 0.05, k_t = 0.01,$$

$$T_1 = 50, T_2 = 4.0, T_3 = 120, T_4 = 2000$$

図-3 は時空間クラスタリングを適用した結果の一部である。交通状況は平均時速約 40km の自由流である。車両と認識された領域を外接四角形で表示している。自由流に対しては 100%の車両を正確に認識することが可能であった。

提案手法を渋滞の交通状況に対しても適用した。適用対象画像内の車両速度はおおよそ時速 0km～10km である。設定したパラメータは下記のとおりである。

$$k_f = 1.5, k_v = 5.0, k_c = 0.01, k_t = 0.05,$$

$$T_1 = 10, T_2 = 4.0, T_3 = 120, T_4 = 2000.$$

自由流と同様に全ての車両を正確に認識することが可能であった。一方で、車両以外の部分で車両と認識された領域が存在した。



図-3 自由流に対する時空間クラスタリングの適用結果

(2) 空間・時間分解能の検討

さらに、本研究では認識可能な空間分解能、時間分解能の検討を行った。前節で用いた自由流を撮影した画像を、空間分解能 0.4m に変換し、提案手法を適用した。全ての車両に対して車両の認識は行われたもののその位置(外接四角形の重心)は不正確なものも存在した。さらに、車両以外の物体で車両と認識された部分も存在した。

さらに、時間分解能(撮像間隔)に対しては、自由流にたいして 1/2 秒まで認識可能であることを確認した。

4. おわりに

本研究では、車両認識手法として時空間クラスタリングを提案し、航空 HDTV 画像に適用することによりその有効性を確認した。また、空間分解能、時間分解能に対して車両認識精度の検討を行い、今後の交通観測用センサへの示唆を与えた。今後の展望として、時空間クラスタリングにおけるパラメータの自動設定・更新法、すなわち、認識結果を時空間クラスタリングにフィードバックすることによる、あるいは、学習によるパラメータの自動チューニング法への展開が考えられる。

謝辞

本研究の実施に際し、文部科学省科学研究費(特別研究員奨励費: 08769)の助成をいただいた。また、

航空 HDTV 画像においては、津留宏介氏、渋谷研一氏(朝日航洋(株))に多大な御協力を頂いた。

以上記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 山田 啓一, 水野 守倫: 領域分割を用いた画像による駐車車両検出法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-D-II, No.12, pp.2316-2324, 1999.
- 2) Fathy,M. and Siyal,M.Y.: An Image Detection Technique Based on Morphological Edge Detection and Background Differencing for Real-Time Traffic Analysis, Pattern Recognition Letters, Vol.16, pp.1321-1330, 1995.
- 3) 高藤政雄, 北村忠明, 小林芳樹: 空間微分および差分処理を用いた車両抽出法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.11, pp.2976-2985, 1997.
- 4) 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トラッキングアルゴリズム, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-D-II, No.12, pp.2597-2609, 2000.
- 5) Zhang,X. and Forshaw,M.R.B.: A Parallel Algorithm to Extract Information about the Motion of Road Traffic Using Image Analysis, Transportation Research PartC, Vol.5, pp.141-152, 1997.
- 6) Coifman,B., Beymer,D., McLauchlan,P. and Malik,J.: A Real-Time Computer Vision System for Vehicle Tracking and Traffic Surveillance, Transportation Research PartC, Vol.6, pp.271-288, 1998.
- 7) Fuse,T. and Shimizu,E.: A New Technique for Vehicle Tracking on the Assumption of Stratospheric Platforms, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol33, Part B5/1, pp.277-284, 2000.
- 8) Richards,J.A. and Jia,X.: Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, Berlin, pp.223-238, 1999.
- 9) Sangwine,S.J. and Horne,R.E.N.: The Colour Image Processing Handbook, Chapman & Hall, London, pp.163-176, 1998.