

高度撮影画像を用いた車両挙動認識手法に関する研究

東京大学大学院、日本学術振興会特別研究員 学生会員 ○布施孝志
 国土交通省 正会員 依田秀則
 東京大学大学院 正会員 清水英範

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、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などに基づく渋滞現象解析、道路交通 OD データの地区計画への応用、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、山間部交通の幹線道路への影響分析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、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。

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る。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、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が計画されており、今後、従来の人工衛星画像よりもはるかに空間分解能の高い画像による地上の時系列観測が可能となる。

以上の背景のもと、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。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. 対象とする車両認識問題

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¹⁾。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認識精度を向上させる手法にかなっていることは明らかである。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。

3. 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²⁾。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にまとめることを意味する。本研究では、特徴量として位置 (x, y) 、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。そこで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。クラスタリングは下記のステップにより実行される。

1. 特徴空間において C 点(クラスタ数)のクラスタ中心の候補を設定する。
 2. それぞれのピクセルをその特徴量から最近隣のクラスタに割り当てる。
 3. ステップ 2.において作成されたクラスタから新たなクラスタ中心を計算する。
 4. 上記 2., 3.を繰り返し、クラスタ中心が変化しなくなった時点で終了する。
- 各ピクセルの特徴量とクラスタ中心間の距離は、次の

キーワード：高度撮影画像、交通流計測、時空間クラスタリング

連絡先：〒113-8656 文京区本郷 7 - 3 - 1, TEL: 03-5841-6129, FAX: 03-5841-7453,

E-mail: fuse@planner.t.u-tokyo.ac.jp

重みつきユークリッド距離を採用する。

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

k_x, k_v, k_c, k_t はそれぞれ位置、速度、色、時間に対する重み、 $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{u}, \hat{v}, \hat{r}, \hat{g}, \hat{b}, \hat{t})$ 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という問題が生ずる。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下記のように推定する。

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

時刻 $t+1$ において推定された位置の近傍に類似色をもつクラスタを探索する。類似色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か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。

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

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。

4. 適用

提案手法を航空 HDTV 画像((株)朝日航洋提供)に適用した。HDTV 画像は、空間分解能 0.20m、撮像間隔 1/30s、フレーム数 20frames である。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_x, k_v, k_c, k_t は試行錯誤の結果下記のとおりを設定した。

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

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

自由流、渋滞の交通状況に対して、提案手法適用したが、全ての車両を認識・追跡可能であった。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。上記画像に対して、空間分解能 0.4m まで、時間分解能では撮像間隔 1/2s まで認識・追跡が可能であることを確認した。

5. 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。今後の展望として、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、すなわち、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。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 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.
- 2) Richards, J.A. and Jia, X.: Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag, 1999.