

高度撮影時系列画像を用いた車両動態認識手法の開発*

Development of Techniques for Vehicle Maneuvers Recognition with Sequential Images from High Altitude Platforms*

布施孝志**・清水英範***・前田亮****

By Takashi FUSE**, Eihan SHIMIZU*** and Ryo Maeda****

1. はじめに

交通工学・計画における交通観測データに対し、車両の詳細挙動の把握、かつ定点での観測という要請が高まっている。現在の交通観測は道路上に設置された感知器、GPSに代表される衛星測位システム、携帯電話等の移動体通信、ビデオカメラ、人手等によって行われており、その中でも、上記の要件に最も適した方法がビデオカメラによる交通観測である。

一方で、高度撮影時系列画像は、広域かつ詳細な情報を得るために適したデータである。現在、ヘリコプターに代表される特定地点に滞空可能なプラットフォームから、任意時間の高度撮影時系列画像の取得が可能である。さらに、地上20km程度の気象の安定した成層圏に無人飛行船を静止させ、地上に対する観測を行うという成層圏プラットフォーム構想が推進され、その実現が期待されている。このように、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、しかもほぼ定点の地上の時系列観測が可能となる。これにより、従来困難であった車両の動態観測への道が開かれることが予想される。

このような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・避走挙動解析に基づく渋滞現象分析、地区計画への応用可能な道路交通ODデータ

の作成、交通シミュレータの検証・精緻化、交差点の右左折率や飽和交通流率等からの交通制御・規制システムの再検討、交通活動に起因する環境負荷の計測等、交通工学・計画の調査への貢献が大いに期待される。

以上の背景の下、本研究は、高度撮影時系列画像を用いた車両動態認識手法の開発を目的とする。本研究では、成層圏プラットフォーム等の近い将来必ず実現されるであろう技術による観測環境を想定している。そのため、高度プラットフォームの積載能力等からのセンサに対する制約も考慮し、最高空間分解能 10cm 程度、最高時間分解能 1/30 秒程度の可視光領域のみを有する高分解能時系列画像を用い、可能な限り自動的な車両動態認識手法の開発を目的とする。

2. 車両動態認識手法の構築

(1) 動態認識に対する基本的アプローチ

従来から動画像処理の研究には膨大な蓄積があるが、動態認識に対するアプローチは、基本的には、次の 2 ステップから構成される。

(1) 各フレームにおける動物体の抽出

(2) 抽出された動物体の対応付けによる動物体追跡

動物体の抽出に関しては、動物体特有の情報を用いた手法に限定すると、差分処理による抽出、オプティカルフロー（画像平面における見かけ上の移動ベクトル）による抽出に分類され、追跡に関しては、抽出された動物体領域の追跡、動物体の輪郭の追跡、動物体中の特徴点の追跡に分類される。

しかしながら、上記アプローチでは、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。ここで、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

*キーワード：交通流，交通情報，交通量計測，ITS

**正員，博士（工学），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

（〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1，TEL: 03-5841-6129，

E-mail: fuse@planner.t.u-tokyo.ac.jp）

***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

****正員，修士（工学），東京ガス株式会社

（〒105-0022 港区海岸 1-5-20）

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）。

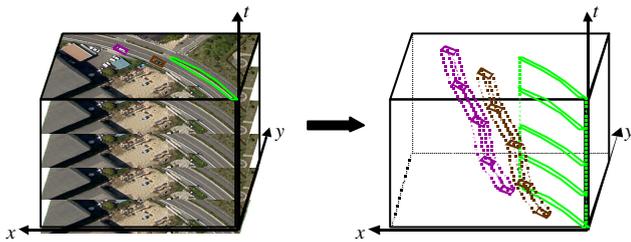


図 - 1 対象とする車両動態認識問題

(2) 動態認識手法の枠組みの構築

視覚情報の特徴は，(a) 空間に関する群，(b) 時間に関する群，(c) 色空間に関する群に大別することができる^{1), 2)}。特徴の中にはこれらの群にまたがるものも存在し，そのため，認識のために用いる特徴を決定することは困難であるといわれている。人間の動態認識の視点から整理すると，動物体を特徴付ける最も重要な要素は，注目するピクセルにおいて静止領域との差異を明らかにすること，また，画像内における移動ベクトルを抽出することである。これらの特徴量は画像処理においては，背景差分値とオプティカルフローに対応し，動態認識において極めて重要な情報であることが確認される。

人間における，上記の特徴抽出段階は前注意過程と呼ばれ，続く集中的注意過程における群化作用を通して動物体を認識することとなる。続く集中的注意過程における群化作用を通して動態認識することとなる。

すなわち，車両の動態認識問題は，背景差分値，オプティカルフローを特徴量とし，時空間において車両クラスタを形成することに他ならない。以上の考察に基づき，車両動態認識手法の枠組みを図 - 2 に示す。この枠組みに基づき，以下各手法を論ずるが，紙幅の関係上，概略のみを示す。

3. 時空間クラスタリング法

(1) 背景差分による車両候補領域の抽出

初期数フレームを用いて，中位値により初期背景画像を作成する^{3), 4)}。そして，逐次入力される画像を用いて，背景画像の更新を行う。背景画像の更新に関しては，カルマンフィルタによる更新を行う。従来の背

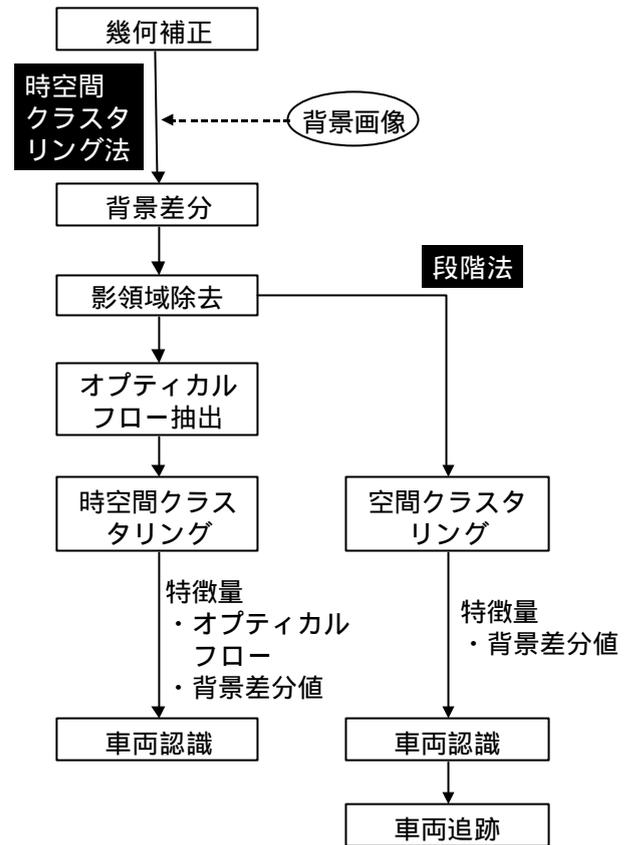


図 - 2 車両動態認識手法の枠組み

景差分は濃淡値画像によるものが専らであったが，適用可能性の検討の結果，色画像による背景差分を行う。

(2) 影の除去

前述の背景差分の結果，車両候補領域が限定される。ここで，車両候補領域としては，背景との色が異なる領域，すなわち動物体領域のことである。この動物体領域には，車両自身の影も含まれる。車両の影は背景差分では原理的に除去できず，影により2台である車両が統合される可能性が生じる。そこで，本手法内においては，背景差分後に影の除去を行い，車両候補領域をさらに限定する。

本手法においては，既に背景画像が得られていることから，ここでは，背景画像とのHSV空間における比較による影認識を行う^{3), 5)}。背景画像と入力画像とを比較して，色相，彩度は不変であり，明度のみが小さくなる領域を影領域と認識する。

(3) オプティカルフローの抽出

全画素レベルでのオプティカルフロー推定法には，Gradient-based approach と Area-based approach があるが，適用可能性の検討の結果，本研究では Area-based

approach のうち残差逐次検定法を採用する .Area-based approach はテンプレートマッチングとしてよく知られた手法である .

(4) 時空間クラスタリング

動態認識手法の枠組みにおいて論じたように、画像内において物体の出現や運動が検知された後、群化作用によって、各ピクセルがまとめられる .ここでは特に、近いピクセルがまとまる近接による群化、類似した特徴をもつピクセルがまとまる類同による群化作用から領域を形成する .すなわち、これまでに抽出された情報である、背景差分値、およびオプティカルフローを特徴量とし、時空間画像を画像空間としてクラスタを形成する .本研究では、この考え方を時空間クラスタリングと名付けた .画像空間における領域分割法は実証比較研究から反復型領域拡張法が最も安定した結果が得られると報告されている⁶⁾ .

以上のことを整理すると、注目するピクセルに対し、時空間において隣接する 26 近傍のピクセルを参照し、そのピクセルが類似した特徴をもつ場合、それらのピクセルを統合する .さらに、形成されたクラスタ群をその隣接関係から統合を繰り返し、クラスタの更新がおこなわれなくなった時点で完了とする .

(5) 車両特性を用いた車両の同定

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 .用いる車両特性として、オプティカルフローの連続性、および、空間領域における形状と大きさを利用する .

4 . 段階法

前節において扱ってきた時空間クラスタリング法に対し、撮影条件によっては、追跡すべき車両に属するピクセルが必ずしも隣接するとは限らない場合が存在する .その典型的な例が、撮像間隔、あるいは時間方向のサンプリング周期が長い場合、条件を満足しない場合である .本章で扱う手法は、そのような場合に対処するため、各フレームにおいて車両を抽出し、連続するフレーム間で抽出された車両を対応付けることにより車両を追跡するものである .

(1) 車両抽出

背景差分、影領域除去に関しては、時空間クラスタリング法と同様である .車両認識のためのクラスタリングは背景差分値を特徴量とした空間クラスタリングとなる .クラスタ形成法は、時空間クラスタリングを空間領域のみに限定したものとなり、空間内における隣接ピクセルを参照することにより、前章のクラスタリングアルゴリズムを同様に適用可能である .さらに、車両同定のために用いる車両特性は車両形状のみとなる .以上の結果、各フレームごとに車両が抽出されることとなる .

(2) 車両追跡⁷⁾

車両抽出後、連続するフレーム間(以下第 1 画像、第 2 画像と呼ぶ)において車両の対応付けを行うことにより、車両を追跡する .本手法では、確率的弛緩法の対応付け基準となる局所的な移動ベクトルの均一性が、車両の移動特性に良く一致することに着目し、確率的弛緩法を車両の追跡手法としてより適したものへと改良した .確率的弛緩法は、初期対応確率設定、対応確率更新の 2 段階からなり、以下の通り改良した .

- (a) 色情報の利用：初期対応確率設定の際に色の類似度を利用する .
- (b) 双方向法：第 1 画像から第 2 画像への対応確率と第 2 画像から第 1 画像への対応確率を区別し、対応確率更新の際にそれぞれを考慮する .

従来の第 1 画像から第 2 画像への対応確率のみのアルゴリズムでは、車両の出現に対応することはできないが、双方向の対応関係を考慮することにより、この問題に対応することが可能となる .

5 . 適用

(1) 提案手法の適用

これまで提案してきた車両動態認識手法の枠組みに基づき、提案手法を適用し、その有効性を検討した .対象とする高度撮影時系列画像は、図 - 3 に示す高度約 300m から撮影した航空 HDTV (High Definition TV) 画像(空間分解能：10cm、撮像間隔：1/30 秒)である .なお、適用結果の画像は動画であるため、本稿においては、認識率のみを結果として示す .



図 - 3 適用対象とする HDTV 画像

総フレーム数 600 frames の時系列画像に対し，時空間クラスタリング法を適用した結果，全 77 台中 77 台の車両が認識された（車両認識率: 100%）．一方で，段階法を適用した結果，77 台中 69 台の車両が抽出され（車両抽出率: 90%），抽出された車両に対しては 100% の追跡結果が得られ，抽出結果と追跡結果を統合すると 90% の車両認識率となる．

（ 2 ）空間・時間分解能の検討

次に，時空間クラスタリング法，及び，段階法における空間・時間分解能の認識精度に与える影響を検討した．空間分解能に対しては，総じて時空間クラスタリング法が優れた結果を示し，時間分解能に対しては，段階法がよりロバストであることを確認した．今回の交通状況では，時間分解能 $1/5s$ を超えた時点で，時空間クラスタリング法の車両認識率が急激に低下する．これは，撮像間隔が長くなった場合，時間方向において画素が隣接しなくなるため，時空間クラスタリング法では認識率の限界が生じる．高速道路など，より速度の大きな車両が通行している状況では，時間分解能に対する要求がより厳しくなることは明確である．

（ 3 ）位置精度の検証

さらに，時空間クラスタリング法に関して，その位置精度の検証を行った．認識された車両位置としては，クラスタの空間断面における面積最小の外接四角形の重心とし，マニュアルによって得られた車両の外接四角形の重心との位置ずれを比較した．40 台の車両に対し，約 10 秒間の軌跡の比較を行ったところ，位置誤差は 2.5 ± 0.9 pixels の結果が得られた．換算すると，その位置誤差は，約 15 cm ~ 35cm 程度であった．

6 . おわりに

本研究では，交通観測手段としての高度撮影時系列画像の有用性を説き，それを実現させるための車両動態認識手法の枠組み，および個別手法を開発した．そして，提案する手法を航空 HDTV 画像に適用することにより，手法の有効性を示した．

本研究で構築した方法論は，一定の成果を得たと考えられるが，未だ残された課題も存在する．それらの主要なものとして，適用事例の拡充，幾何補正法の拡張，位置精度の向上・検証，複数センサによる観測，他センサとの統合による観測，他対象への適用等が挙げられる．

謝辞

本研究の実施に際し，文部科学省科学研究費（基盤研究 B : 13450208，特別研究員奨励費 : 08769）の助成をいただいた．ここに記して感謝の意を表する．

参考文献

- 1) 出澤正徳：視覚における情報処理過程 - 錯視現象と視覚のメカニズム ,Computer Today ,No.93 ,pp.4-9 ,1999 .
- 2) 村田厚生：認知科学，朝倉書店，1997 .
- 3) Cucchiara, R. et al. : Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information, 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings , pp.334-339 , 2001 .
- 4) Haritaoglu, I., Harwood, D. and Davis, L.S. : W4: real-time surveillance of people and their activities, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , Vol.22, No.8, pp.809-830 , 2000 .
- 5) Prati, A. et al. : Shadow detection algorithms for traffic flow analysis: a comparative study , 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings , pp.340-345 , 2001 .
- 6) 江浩，鈴木秀智，鳥脇純一郎：濃淡画像のセグメンテーションのための領域生成および領域分割法の比較評価について，電子情報通信学会論文誌，Vol.J75-D- , No.7 , pp.1120-1131 , 1992 .
- 7) 清水英範，布施孝志：成層圏プラットフォームを想定した車両の動体追跡手法，画像ラボ，Vol.11, No.3 , pp.32-36 , 2000 .