

車載カメラ映像中の走行車両の速度推定に関する検討 A study of speed estimation for running vehicles by car-mounted camera

金子 弘樹[†] 藤井 健作[†] 森本 雅和[†]
Hiroki Kaneko Kensaku Fujii Masakazu Morimoto

1. はじめに

近年、車載カメラの普及に伴い、撮影された映像(図1)が事故原因の分析や、過失判断の明確化のために用いられる機会が増加している。交通事故は一瞬の出来事であるため、当事者ですら事故の様子を正しく把握できていないことが多い。そのため、双方の言い分に相違が生じることや、一方のドライバーが死亡した場合に、もう一方のドライバーの証言のみを頼りに事故解析を行うなど、正確な過失の判断が困難な場合がある。しかし、車載カメラは当事者・目撃者として、客観的で正確な事故の様子を記録することができるため、その映像から詳しい事故発生時の状況を知ることができる。

交通事故による裁判では、事故当時の速度が特に重要となる場合が多い。しかし、車載カメラで記録された映像には対向車や前方車両など、他車の速度情報は記録されておらず、自車の速度情報を記録しないものも多く存在しているため、映像のみでは事故分析の情報としては十分ではない。そのため、重大な事故が発生した場合には、事故発生現場を封鎖して再現実験が行われる場合も多い。しかし、事故現場が主要幹線道路の場合、通行止めにすることは困難であり、再現実験には多大な労力を費やすこととなる。また、重大な事故でない場合にはこのような再現実験は行われなため、速度情報は鑑識員の主観により判断されることになり、正確性を欠いたものとなる。そのため、車載カメラの映像から自車や他車の速度を、解析により客観的かつ正確に取得することが求められている。

そこで本研究では事故での分析を目的とした、車両速度情報を車載カメラ映像から抽出するシステムを開発する。本研究では事故映像からの正確な速度推定を目的とするため、全自動・リアルタイム処理については考慮せず、またシーン中の各種オブジェクトの大きさ等の情報を任意に利用できるものとする。映像解析ではまず、撮影した映像レンズひずみ補正を施した後、上空からの俯瞰映像に変換し、連続する画像間の特徴点対応から自車の速度を推定する。次に、速度を推定したい他車のテンプレート画像を作成し映像中の検出を行い、他車領域から得られた特徴点の座標を実空間座標変換することで他車の速度を推定する。現在交通事故鑑定のために行われている再現実験では、±10%程度の速度推定誤差があると言われており、これと同等以上の精度を確保することを目的とする。

2. 自車速度推定

車載カメラは魚眼レンズを使用しているため、撮影された映像は図2(a)のように画像端が歪んで表示される。そこで、カメラキャリブレーションによりレンズの歪みを補正し、図2(b)のような歪みのない画像へと変換する。カメ



図1 車載カメラ撮影画像

ラキャリブレーションとは、焦点距離や CCD 素子の縦横比などの内部パラメータと、カメラの動きや歪み係数などの外部パラメータを求める処理である。カメラキャリブレーションにより得られたパラメータから3次元空間座標とカメラ画像の座標の対応付けを行うことで、歪みを補正することができる。

カメラキャリブレーションには Zhao Zhang の手法[1]を用いる。まず、車載カメラでチェッカーパターンを異なる距離、角度で撮影する。次に、この複数のチェッカーパターン画像のコーナーをそれぞれ検出し、キャリブレーションパターンを認識させ、カメラの内部パラメータ、外部パラメータを推定する。そして、得られたパラメータから画像を幾何変換し、歪みのない画像に補正する。ただし、この処理により画像端の情報は失われる。

車載カメラで撮影したすべての画像の道路面上の特徴点を検出し、連続する画像間でその特徴点の対応付けを行うことで、その画像間で自車の移動した距離を求めることができる。しかし、撮影された映像は道路面以外の不要な情報が多く、また奥行きがあることで特徴点間の実際の距離が同じであっても、画面上でのみかけの長さは場所によって異なって見える。そのため、自車の移動距離を上記の手法で求めることは困難である。そこで、図3(a)の画像を、図3(b)のような上空から見下ろしたような画像に変換し、この問題を解決する。この変換を行うために、まず消失点の座標を求め、その座標から透視投影変換により、上空から見下ろした画像に変換する。

自車が走行しているとき、映像中の静止物体は消失点から放射状に動いて見える。そこで、Lucas-Kanade 法[2]によるオプティカルフローを推定し、検出したすべての動きベクトルの交点を求める。これらのベクトルは消失点から伸びる線であるため、その交点は消失点を表していることがわかる。求めたベクトルのすべての長さの標準偏差を求め、偏差が標準偏差より大きいベクトルは特異点として除去する。特異点を除いた結果から、平均を取った座標を消失点としている。

撮影した映像を透視投影変換により、上空から見下ろした映像に変換する。透視投影変換とは画像上の4点対応よ

[†] 兵庫県立大学大学院工学研究科,
Graduate School of Engineering, University of Hyogo.



(a) 撮影画像 (b) 歪み補正画像
図2 カメラキャリブレーションによる歪み補正



(a) 撮影画像 (b) 俯瞰画像
図3 俯瞰画像変換

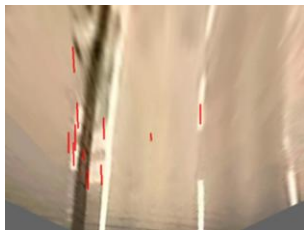


図4 特徴点对応検出結果

り透視投影変換行列を計算し、その行列を用いて画像全体を変換する手法である。この変換を行うことで、上空から見下ろしたような画像となる。変換された映像は補間の影響により、画面上部がぼやけた映像となる。

変換したすべての画像の道路面上の特徴点を検出し、連続する画像間でその特徴点の対応付けを行うことで、そのフレーム間での自車の移動距離を推定する。この特徴点検出手法として、補間の影響により特徴点検出が困難な路面においても有効な SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) [3]を用いる。

SIFT を用いて連続する 2 つの画像で特徴点を検出する。この 2 画像の特徴点の対応付けを行ったものが図 4 である。この線分が 1 フレーム間に自車が移動した画面上での見かけの距離を表している。なお、画面下部の方が解像度は高く信頼性があるため、重みづけを行っている。

ここで求めた距離は画面上の見かけの距離であるため、1 ピクセル当たりの長さ(m)を求め、実際の距離に変換する必要がある。ここではカメラ画像の座標を 3 次元空間座標に変換する手法を用いて、1 ピクセル当たりの長さを求める。図 5 より、カメラ画面上の座標を 3 次元空間座標に変換する次の式を導くことができる。

$$X = -H \cdot \frac{x}{y \cos \theta - f \sin \theta}$$

$$Z = -H \cdot \frac{f \cos \theta + y \sin \theta}{y \cos \theta - f \sin \theta}$$

ここで、3 次元空間の座標(X, H, Z)、カメラ画面上の座標(x, y)、カメラの俯角 θ 、焦点距離 f とする。H はカメラが設置された地面からの高さを表す定数である。また焦点距

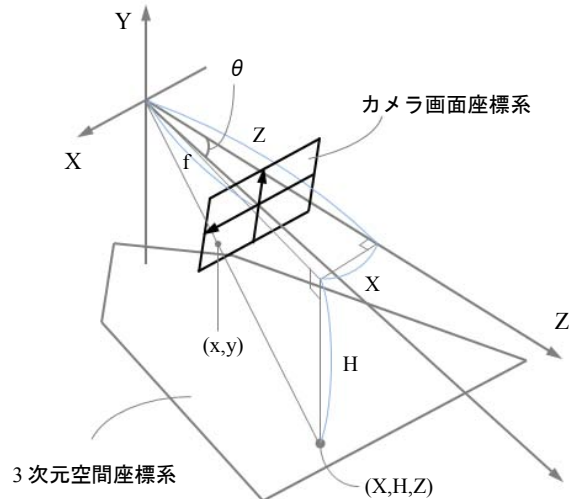


図5 座標変換図

離 f は、レンズ歪み補正時に算出した内部パラメータからわかる。この式より、道路面上の任意の 2 点の画面上の座標を、3 次元空間座標に変換する。2 点間の画面上でのピクセル数と、算出した 2 点間の実際の距離より、単位ピクセル当たりの長さがわかる。

こうして求めた特徴点对応間の長さ、単位ピクセル当たりの長さを掛け合わせることで、実際に移動した距離がわかる。また、車載カメラの定格からカメラの FPS (Frame Per Second) の値もわかることから、自車の移動速度を推定することができる。1 枚の画像中からは複数の結果が得られるため、そのすべての結果から標準偏差を取り、偏差がその値以上である特異点を除去する。それ以外の得られたすべての結果を平均することで、自車速度が推定される。

3. 他車速度推定

他車の速度推定にはまず、映像から他車の検出する必要がある。そこで、対象となる他車の映像を切り出し、その映像をテンプレート画像として映像中からの検出を行う。

画像の切り出しには GrabCut 法[4]を使用する。GrabCut 法は、入力画像を色分布から背景領域と物体とを分離する手法であり、その際に切り出す領域を手動で選ぶ必要がある。また、分離後の結果から誤った領域分割が行われた部分を指定することにより、図 6(a)の画像から図 6(b)のような高精度な物体切り出しができる。テンプレート画像には、車のフロント部分、もしくはリア部分のみを選び、ルーフからタイヤまでで過不足なく切り出す。

GrabCut 法により作成した画像をテンプレート画像として、テンプレートマッチング[5]により、映像から他車を抽出する。映像中の車両はカメラとの距離に応じて大きさが変わるため、テンプレート画像を拡大・縮小し、全てのサイズでテンプレートマッチングを行う。その中から最も類似度の高いものを検出結果とする。実際に図 7(a)のテンプレート画像を用いて映像から他車検出を行った結果が図 7(a), (b)である。

連続する 2 つの画像間において、それぞれ検出された車両領域の範囲内で LK 法によるオプティカルフローを推定し、他車両の動きベクトルを得る。求めたベクトルの両端の座標を利用して、他車の速度を推定する。

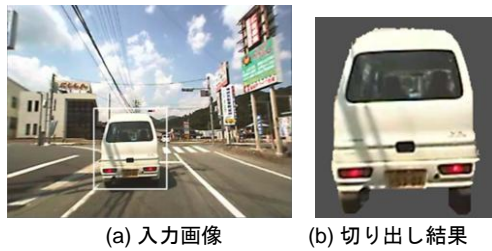


図6 GrabCutによるセグメンテーション



(a) テンプレート画像



図7 移動物体検出

オブティカルフローの対応する2点間の座標がわかればその距離がわかり、単位時間での移動距離を求めることができる。そこで、ベクトル両端の実空間座標を得るために、カメラ画像の座標を3次元空間座標に変換する式を応用して用いる。本式では、道路面からのカメラの高さ H を定数として扱っていたが、検出した移動物体から得られる特徴点の高さはそれぞれ異なっている。そこで、テンプレート画像の車高のピクセル数と対象の車両の高さから、カメラと特徴点の高さの差を求める。この差を式の定数 H に当てはめることで、道路面の場合と同様に3次元空間座標への変換ができる。消失点座標とオブティカルフローの2点の座標の関係から、その物体が近づいているか、遠ざかっているかの判断を行って自車速度との差を取り、実際の移動物体の速度を推定する。複数推定される結果から標準偏差を算出し、偏差以下の結果のみで平均を取ることで、他車の速度が推定できる。なお、ここで推定される速度は自車からの見かけの速度であるため、自車速度との相対速度を取ることで対象の移動物体の正しい速度が得られる。

4. 実験・結果

本実験では、車載カメラに図8(a)のCJ-DR300を用いる。このカメラは常時映像を記録するドライブレコーダーである。またGPS情報から、1秒毎に自車速度を記録する機能が搭載されている。実験ではこの速度を実速度とし、推定した速度とを比較する。本カメラは640×480pixels、30万画素、30fpsで撮影を行う。また、他車速度推定実験においてはわずかな時間内の映像を用いるため、GPSデータロガーを使用する。GPSデータロガーには0.2秒毎にGPS



図8 実験器具

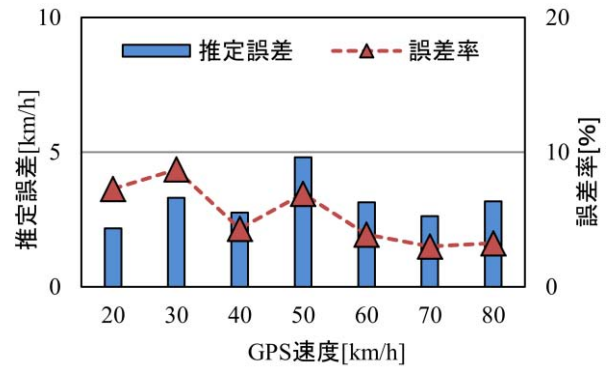


図9 一定速度での自車速度推定結果

速度を記録する図8(b)のGPS747Proを用いる。

4.1 自車速度推定実験

自車速度推定実験は、速度一定時と加減速がある場合の2つの実験を行う。速度一定の実験では、一定速度で走行する複数の映像から推定した自車速度とGPS速度を比較し、誤差速度の平均二乗偏差と誤差率から妥当性を検討する。映像は20km/hから80km/hで10km/hごとに7つの速度域で、20秒間走行したものを使用する。撮影は日中、晴天時に平坦な路面で行い、走行は直進のみでカーブや旋回のないものとする。加減速がある場合の実験では、速度が一定でない270秒間の映像からの自車速度を推定する。撮影は日中、晴天時に実施しているが、こちらの映像では旋回や、特徴点の乏しい路面での走行も行っている。

図9に速度一定の場合の自車速度推定実験の結果を示す。図10には自車速度推定実験に用いた各映像中の画像を示す。図9より、いずれの速度域においても推定誤差は5km/h以下の範囲に収まっていることがわかる。また、いずれも速度域においても誤差率は10%を下回っており、要求する精度が実現できていることがわかる。なお、50km/hのデータでは推定誤差、誤差率ともにやや高い値となっている。これは図10に示すように撮影は公道で行っているため日照条件や路面条件が完全に一定ではないことが原因であり、特に、図10(d)では他の路面とは異なり中央線が破線でないことがわかる。このように他の映像よりも特徴点検出が困難な路面で撮影を行ったために推定精度が低下したものと考えられる。

図11は速度が一定ではない、加速・減速がある動画から速度を推定した結果である。30秒、120秒の付近での誤差は旋回を行ったことが原因であり、210秒以降の誤差は図12のような特徴点がほとんど得られない路面で走行したことが原因である。それ以外の場合では、高い精度で速度が推定されていることがわかる。よって、目標とする精度の自車速度推定ができることを確認できた。

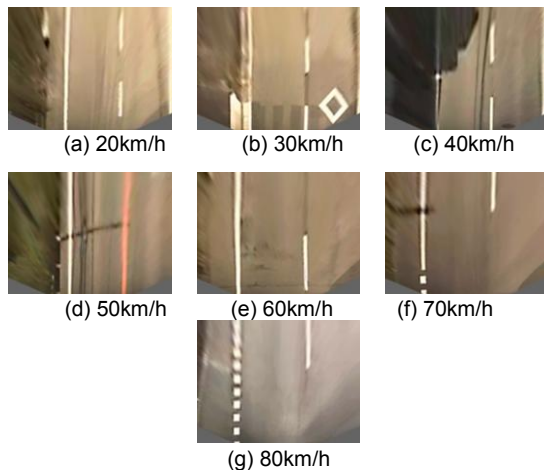


図10 自転車速度推定に用いた各速度域の画像

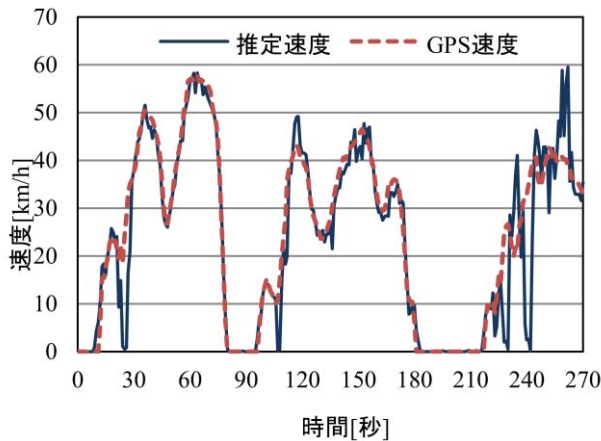


図11 加減速する時の自転車速度推定結果

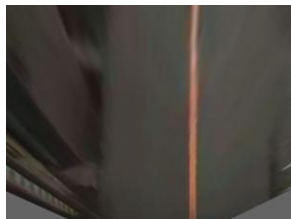


図12 特徴の乏しい路面

4.2 他車速度推定実験

他車速度推定実験は、対向車を対象に実験を行う。映像は自車・対向車ともに走行しながらすれ違う3分の1秒間の映像を使用する。撮影は、GPS データロガーを設置した車両と行う。撮影した映像から推定した他車速度とGPS速度を比較する。撮影条件は自転車速度推定実験時と同様である。なお、相対速度を得る際に用いる自転車速度のデータにはGPS速度を用いる。

図13に対向車の速度推定結果を示す。GPS速度は48km/hであり、推定した他車の平均速度は47.1km/hであった。よって、推定速度はGPS速度に近い値で得られたことがわかった。また、推定速度とGPS速度の誤差率の平均値は6.7%であり、要求する精度内に収まっていた。なお、

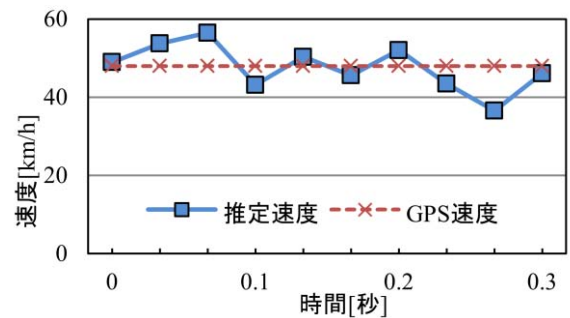


図13 他車速度推定結果

図13の左から2, 3, 9番目の結果は偏差が標準偏差以上であったため、特異点として扱われている。特異点として選ばれた画像では、車両の高い位置から特徴点を多く得ていた。特徴点は消失点に近いほど分解能が低下し、1ピクセル当たりの長さが大きくなるため、これらの画像では誤差が大きくなったものと考えられる。

5. まとめ・今後の課題

本研究では、事故分析を目的として、車両速度情報を車載カメラ映像から抽出するシステムを提案した。本手法として車載カメラで撮影した映像を俯瞰画像に変換し、特徴点の画像間の対応から自車速度を推定した。また、映像中から切り出した対象となる移動物体のテンプレート画像から他車画像を検出し、動きベクトルの座標間の距離から他車速度を推定した。自車両では要求する $\pm 10\%$ の精度での速度推定ができた。また他車両の場合も対向車に対して要求する精度での速度推定ができた。

今後の課題として、特徴点検出が困難な映像から速度を推定できるようにすることが挙げられる。夜間や悪天候時の映像がその例である。また裏路地など、道路標示が乏しく、天候・日照条件にかかわらず特徴点がほとんど検出できない場合もある。さらに旋回・カーブを行った場合や、路面が平らではないために映像が揺れ、正しく速度推定できない場合などの状況に対応させる必要がある。

謝辞

本研究を開始するにあたり、さまざまなご助言を頂きました兵庫警察本部刑事部科学捜査研究所の宮本直樹氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Z Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.11 (1998)
- [2] B. D. Lucas and T. Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision", proceedings of the seventh international joint conference on artificial intelligence, Vol.2, pp.674-679 (1981)
- [3] David G Lowe, "Distinctive image features from scaleinvariant keypoints", International Journal of Computer Vision, Vol.60, No.2 (2004)
- [4] C Rother, V Kolmogorov, A Blake, "'GrabCut'-Interactive Foreground Extraction Using Iterated Graph Cuts", SIGGRAPH'04, Vol.23, No.3 (2004)
- [5] J.P.Lewis, "Fast Normalized Cross-Correlation" (1995)