

車載カメラ映像による一般道における他車両の検出 On-Road vehicle detection from vehicle mounted camera-image

古谷 仁志†
Furuya Hitoshi

長谷川 為春‡
Hasegawa Tameharu

1. まえがき

自動車社会の発展に伴い ITS (高度道路交通システム) の研究が盛んに行われている。その役割のひとつである安全運転の支援は運転の自動化や危険事象の判断, 危険事象回避の操作, 走行環境の認知といったサービスを行う。

走行時において, 運転の自動化や危険事象の判断を実現するためには, 衝突の危険性を予測することは重要であり, 衝突相手には他車両や障害物などが考えられる。ここでは車両を検出対象として検討する。

車両検出の方法にミリ波センサやレーザレーダセンサを用いる方法がある。これらは遠方の車両でも精度よく検出することができるが, 検出するのは直線道路の前方車両に限る。一方, 画像センサを用いる方法[1][2]では, ステレオ視を用い, 走行可能領域を定義し前方車両を検出するものがあるが, 複雑な道路状況を持つ一般道ではカメラによる撮影範囲が広いという特徴を生かし, より広範囲に検出範囲を広げることが望まれる。

そこで本研究では, 車載した単眼カメラによって撮影された画像中に存在する他車両を検出し, その運動を解析するシステムを提案する。オプティカルフローと背景速度ベクトルを求め, これらを逆投影変換することで領域そのものの運動を解析することで車両の検出を行う。この処理はすべての路面に対して有効なため, 路面領域を定義することなしで前方車両だけでなく様々な車両を検出することが可能である。

2. 概要

提案するシステムの概要を示す。このシステムは次の2つの段階で構成される。

- ① 車両候補領域の検出
- ② 車両領域の識別

車両候補領域は, 車両が多くの場合において画像上において水平線を持つので, その情報を用いて領域を検出する。

車両領域は, オプティカルフローと自車両の運動に対する背景の仮想的な速度ベクトルを用いて領域の速度を解析し, 車両候補領域の中から識別する。

2.1 車両候補領域の検出

水平線の情報を用いて車両候補領域を作成する。水平線の検出には Kasvand の線検出オペレータを用いた。水平線は8近傍で連結されたものを1つの水平線とし, 構成画素数が閾値以下のものは除去する。

次に, ある水平線の中心の縦軸上と交わる水平線を対の水平線とし, 図1のように水平線を結ぶ3つのパターンの線上において横方向の濃度勾配の大きい画素がある割合が最も高いパターンを求める。これらは水平線の途切れや,

複数物体により構成される水平線に対して有効である。その割合が閾値以上の場合にそのパターンで結んだ線により囲まれた領域を車両候補領域とする。この処理を逐次的に行うことで領域を拡張していく。

この段階では, 主に矩形の形状を持つ範囲を検出しただけでそれが移動物体, つまり, 車両であるとは定まらない。そこで次に車両を識別することを考える。

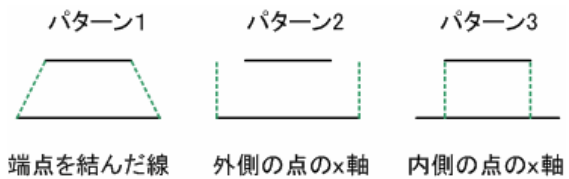


図1 線を結ぶパターン

2.2 車両領域の識別

2.1 で求めた車両候補領域の中から車両領域を識別するために, まず, オプティカルフローと背景速度ベクトルを求める。そしてこれらを用いて車両候補領域から車両領域を識別する。

2.2.1 背景速度ベクトル

背景速度ベクトルとは, 車両候補領域をすべて固定物体と仮定したときの自車両の運動に対する背景の仮想的な速度ベクトルとする。

車載カメラレンズの中心を原点とした世界座標系 XYZ と画像の中心を原点とした画像座標系 xy を用いる。車両候補領域の最下線部分では世界座標での高さ Y は地面から車載カメラレンズ中心までなので, これを H とすると, 次のように示せる。

$$Y = -H \quad (1)$$

車両候補領域の最下線部分における世界座標 XZ は車両候補領域における画像座標 (x, y) と式(1)による Y を用いて次の式で示す逆投影変換を用いることで求まる。

$$X = -H \frac{x}{y \cos \theta - f \sin \theta} \quad (2)$$

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

ここで, θ はカメラの俯角で, f は焦点距離である。

そして, その他の部分の X, Z は縦軸ごとに最下線部分における X, Z とほぼ等しいと考えられるので, この X, Z と (x, y) を用いて未知数であった Y を求めることができる。

次に, 領域の見かけの動きは自車両の運動と相対的に変化するので, 自車両が等速直線運動をしている場合には移動前の領域のある点の世界座標 $P(X, Y, Z)$ は自車両の移動距離を L とし $P'(X, Y, Z - L)$ となる。この点 P' を投影変換し, 画像上における移動後の点を求める。背景速度ベクトルはこの移動前と移動後の点を結ぶことで決定する。

† 千葉工業大学 工学部
(現在 筑波大学大学院 理工学研究科)
‡ 千葉工業大学 情報科学部

2.2.2 オプティカルフロー

オプティカルフローとは領域の各点における画像上の速度ベクトルの分布である。オプティカルフローを求めるには照合法と輝度勾配法があるが、本研究ではカメラ自身の運動による影響が少ない照合法を用いる。本研究では、処理時間の短縮と精度向上のため、画像全体でなく車両候補領域におけるエッジ部分のみでオプティカルフローを求める。また、処理は2回に分けて階層的に行う。照合法は時刻 T における画像を $I(m, n, t)$ 、時刻 $T+1$ における画像を $T(m, n, t+1)$ とすると、次のような残差 R を最小とする点を求める。

$$R = \sum \sum |I(i, j, t) - T(i, j, t+1)| \quad (3)$$

これらの点を対応付けることでオプティカルフローを求めることができる。

2.2.3 識別判定

背景速度ベクトルとオプティカルフローを用いて車両候補領域から車両領域を識別する。各領域そのものの運動はオプティカルフローから背景速度ベクトルを除いたものになる。そこで、オプティカルフローと背景速度ベクトルをそれぞれ逆射影変換し差分をとることで領域の各点における実世界での移動距離を求める。これらの点において、130km/h以上の速度が検出された点はオプティカルフローの誤検出として除外し、その他の点において表1に示す5つの分類に分け領域ごとに投票を行う。その結果もつとも多いものをその領域全体の速度と決定し、この速度が0以上10km/h未満の場合にはその領域を背景とし、その他の場合には車両とする。

3. 実験結果

実際に撮影した画像を用いて実験を行った。画像サイズは320×240、カメラの俯角は0°、焦点距離は8.5mm、路面からカメラレンズまでの距離は0.8mとし、5/30sec間隔で連続する3543枚の画像について検出を行った。また、検出対象は自車両から35m以内の距離にある他車両とした。

結果を図1～3に示す。図2の入力画像に対して求めた背景速度ベクトルとオプティカルフローを図3に示す。そして、車両領域を求めた結果を図4に示す。車両候補領域の段階では車両以外にも図の左の車両でないものを含んでしまっている。しかし、背景速度ベクトルとオプティカルフローを用いて領域そのものの運動を推定することにより車両領域では車両のみを識別することができている。

そして、検出率と除去率を表2に示す。ここで、検出率と除去率は次のように定義する。

- 検出率 = 検出した車両数 / 実際の車両数
- 除去率 = 除去した数 / 非車両候補領域数

次に他車両の状況別の検出率を表3に示す。他車両に考えられる状況として、前方車両、対向車両、その他の3つに分けた。その他は自車両と交差する方向に進行する車両や、追い越し車両を含む。検出率は、自車両と大きく運動が異なる対向車両が一番高かった。その他についても自車両との運動は大きく異なるが、さまざまな向きを持つため、車両候補領域を作成できない場合があり、精度が落ちた。前方車両は自車両と離れた場合に検出ミスが多かった。

表1:速度の分類

	背景	車両					エラー
速度 (km/h)	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 50	50 ~ 80	80 ~ 130	130 ~	

表2 実験結果

検出率(%)	83.5 (4388 / 5257)
除去率(%)	40.0 (2120 / 5323)

表3 検出率の状況による内訳

	前方車両	対向車両	その他
検出率(%)	72.8	88.2	78.7

図2 入力画像(左:時刻 t 、右:時刻 $t+5/30$)

図3 背景ベクトル(左)とオプティカルフロー(右)



図4 車両候補領域(左)と車両領域(右)

4. おわりに

自車両が等速直線運動を行っているとは仮定した場合に車載カメラの映像からオプティカルフローと背景速度ベクトルを用いて、道路領域に処理範囲を限定することなしで一般道における他車両を特定することができた。

今後の課題として、提案手法では、水平線の情報を用いて車両候補領域を検出するため画像上で水平線を持たない車両に対応することや、車両領域の識別の精度をより向上させることが挙げられる。また、処理時間を短縮するため、移動観測系を考慮した輝度勾配法の適応が考えられる。さらに、他車両だけでなく、求めた背景領域から障害物の検出を行うことが挙げられる。

謝辞

本研究は文部科学省の科研費(15700166)の助成を得て行われました。

参考文献

- [1] 綱島, 中島, "投影視差画像を用いた前方車両の検出", 電学論, Vol. 120-C, No. 3, pp337-344, Mar, 2000
- [2] 胡, 内村, "一般道路状況を考慮した道路平面線形モデルの構築", 信学論, Vol. J81-A, No. 4, pp590-598, Apr. 1998