

消失点推定残差法を用いた移動観測系からの移動体検出

6S-5

武田信之

渡辺 睦

小野口一則

(株)東芝 関西研究所

1 はじめに

我々は、工場内敷地、リゾート地、及び住宅地から最寄り駅までの道路といった特定地域内において、小人数で利用できる公共交通システム（地域交通システム）を実現するため、走行環境の状況を画像認識等の3次元視覚情報処理技術を用いて把握するシステムを開発している。本システムは、移動車前方の走行可能な道路領域を検出する移動可能空間検出技術[1]と、移動しながら移動障害物を検出する移動障害物検出技術から構成されている。ここでは、移動障害物検出技術である、オプティカルフローを用いた移動障害物検出法に関し報告する。

2 消失点推定残差法

画像上の動き情報（オプティカルフロー）を用いて移動障害物を分離する場合、フローの方向成分あるいは長さ成分の空間的な変化を用いて分離することが考えられる。長さ成分を用いた場合、フロー長は距離により変化するため、移動障害物の運動による変化との判別が困難である。一方、方向成分のみを用いた場合、背景領域のフローベクトルと移動障害物領域のフローベクトルは各々常にある一点から湧き出すような成分を持ち、移動障害物を分離する上で重要な情報と考えられる。この湧き出し点は一般にFOE(Focus Of Expansion)あるいは動きの消失点と呼ばれ、観測系（カメラ）に対する移動方向に応じて一意に決定する点である。従って、移動障害物と観測系の移動方向が異なる場合、フローの方向成分を用いれば移動障害物分離を効率的に行なうことが可能であると考えられる。このため、本研究ではFOEの推定問題を利用した移動障害物検出法を提案する。本手法は、勾配法[2]により得られたオプティカルフローに対し、以下の3ステップの処理を行なうことにより移動障害物の検出を行なう。

Step 1: FOEの推定

Step 2: 推定残差画像の生成

Step 3: 移動障害物の抽出

2.1 FOEの推定

背景領域では、観測系の動きに回転成分が含まれない場合、FOEは任意の2本のフローベクトルの交点として求められる。しかし、フローベクトルに含まれる誤差により、このFOE推定は信頼性の低いものとなるため、任

意の複数本のフローベクトルを用い、最小自乗法により推定を行った。

画像上の点 (x_i, y_i) においてフローベクトル (u_i, v_i) が得られているとする。FOEを x とすれば、画像上の任意の領域内のFOEは次式を、 $\|Ax + c\|^2$ が最小となるよう解くことにより得られる。

$$Ax + c = 0 \quad (1)$$

$$\text{where } A = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \\ \vdots & \vdots \\ a_n & b_n \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}$$

$$(a_i, b_i, c_i) = \frac{(-y_i, x_i, u_i y_i - v_i x_i)}{\sqrt{u_i^2 + v_i^2}}$$

2.2 推定残差画像の生成

画像上の任意のブロック領域内に含まれるフローベクトルから推定されるFOEを \tilde{x} としたとき、推定残差は

$$E = \|A\tilde{x} + c\|^2 \quad (2)$$

により与えられる。この推定残差を消失点推定残差と呼ぶことにする。このとき、図2で示すように、ブロック内のフローが背景領域のフローのみの場合と比較し、背景領域と移動障害物領域のフローのどちらも含めば相対的に消失点推定残差は大きな値を持つ。従って、大きな消失点推定残差を持つ画像上の領域を抽出すれば、それが移動障害物検出結果となる。ただし、ブロック領域の選び方によっては、移動障害物と背景の境界にブロック境界が存在し、移動障害物を検出できない可能性もある。従って、ブロックはスライディングブロックを用い、各ブロック領域で求めた消失点推定残差を平均化する。この結果得られる画像を推定残差画像と呼ぶ。また、移動障害物の種別または距離の違いにより、移動障害物は様々な大きさで撮像され、ブロック内のフローが背景または移動障害物のどちらかで支配的になる場合にも移動障害物を検出できない可能性がある。このため、複数のブロックサイズによって得られる推定残差画像を更に平均化する。以後、特に断らない場合には推定残差画像とはこの平均画像のことを指す。

2.3 移動障害物の抽出

推定残差画像をしきい値処理し、移動障害物の存在する（候補）領域を抽出する。ただし、推定残差画像はある一時点のオプティカルフローを用いて計算され、オプティカルフローの抽出が失敗した場合に瞬間的に移動障

Moving Object Detection using Residual Error of FOE Estimation.

Nobuyuki, Takeda Mutsumi Watanabe and Kazunori Onoguchi
TOSHIBA Kansai Research Laboratories

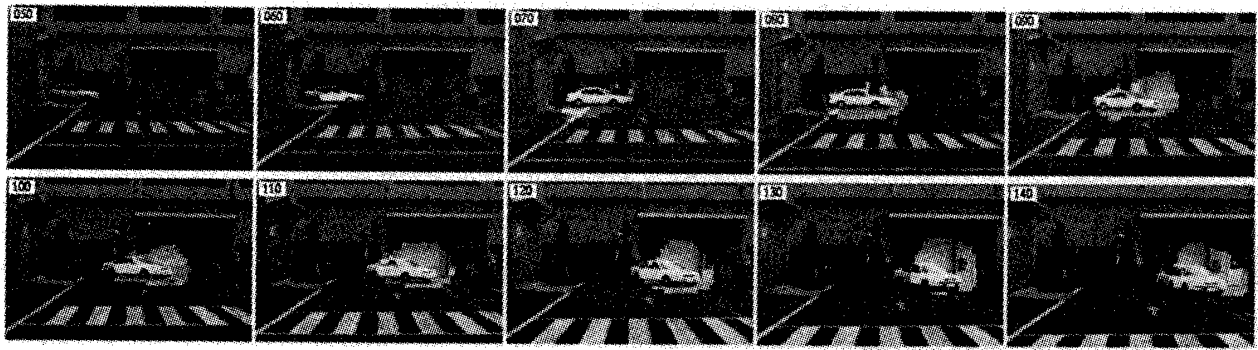


図 1: 移動障害物検出結果 (左肩の数字はフレーム番号を表す)

表 1: 推定残差画像の生成に用いたブロック (単位は画素)

ブロックサイズ	サンプリング間隔	移動量
32 × 32	4 × 4	4
64 × 64	8 × 8	4
96 × 96	12 × 12	4

害物と誤判定する可能性があるため、実際には過去の数時点の推定残差画像を時間方向にローパスフィルタリングし高域成分の除去を行う。また、移動障害物の画像上における大きさや位置、移動方向により推定残差が変動する影響に対処するため、移動障害物抽出は推定残差画像の最大値によりしきい値を変化させ行なった。

3 実験結果

本手法を実画像に適用した結果を図 1 に示す。画像中では移動障害物領域を明るく表示した。この画像は自動車上部に焦点距離 7.5mm のカメラを固定し、15km/h 程度の速度で自動車を走行させ、前方を右折しながら接近する自動車 (約 15km/h) を撮影した。推定残差画像の生成には表 1 で示される 3 種のブロックを用いた。従って、いずれのブロックでも最大 64 本のフローを含む。ただし、式 (2) により求めた推定残差をブロック内のフロー数で除したものを推定残差値として用いた。推定残差画像の時間方向フィルタリングは負の時間方向に標準偏差 2 のガウシアンフィルタ (負方向に 6 フレーム) を用いた。なお、2 つのしきい値は実験的に求めた。

図 1 より画像内に移動障害物が進入した直後は移動障害物を見逃しているが、その他のフレームでは移動障害物が検出できた。更に、移動障害物として自動車の他に歩行者あるいは自転車を含む 14 シーンについて正解率と見逃し率により評価を行なった。移動障害物を移動障害物の一部覆う移動障害物候補を正解とし、全ての移動障害物候補に占める正解候補数の比で正解率を定義した。この結果、正解率は 91.8% となった。また、移動障害物が画像中に存在するフレーム数と見逃したフレーム数の比である見逃し率は 8.43% となった。

4 おわりに

自律移動車の状況把握における移動障害物検出技術として、消失点推定残差法による移動障害物検出法を提案

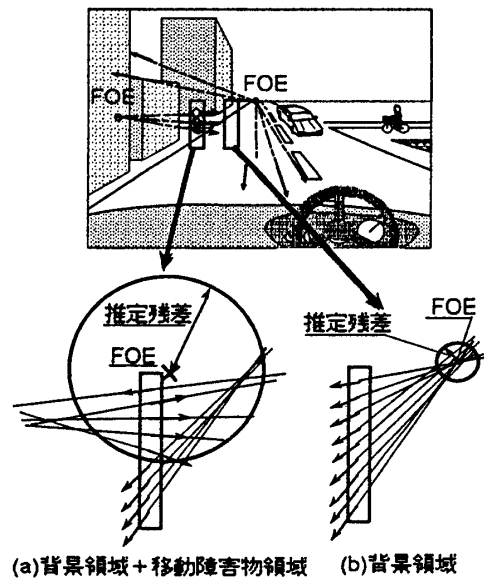


図 2: 提案手法の原理

し、その有効性を確認した。画像に回転成分が含まれる場合には、式 (1) では FOE の推定が正しく行えないため、上記の議論は成り立たないが、文献 [1] のような手法によって得られた画像領域上の特徴点 (ここでは道路上的特徴点) から回転成分を推定し、各フローの回転成分を除去することにより、同じ枠組により議論を進めることが可能である。今後は、背景領域と移動障害物領域の FOE が接近した場合等の検出見逃しに対する追跡処理や処理の高速化を検討していく。また、提案手法では画像中に複数の移動障害物が存在した場合、移動障害物の抽出を失敗する可能性があり、この点についても検討していく。

参考文献

- [1] 小野口, 武田, 小栗, 渡辺: “平面投影ステレオを用いた道路領域抽出”, 第 49 回情報処理学会大会, 2-83, 1994.
- [2] J.Weber and J.Malik: ‘Robust Computation of Optical Flow in a Multi-Scale Differential Framework’, Proc. ICCV, pp.12-20, 1993.