

車載ステレオカメラと動的背景差分による歩行者検出の研究

笠原正樹† 花泉弘†

法政大学大学院情報科学研究科情報科学専攻†

1. はじめに

近年、歩行者と自動車による交通事故は、運転手の脇見運転や安全不確認が主な原因となっている[1]. これを防ぐため、自動車にカメラやレーダーを設置し、それによって歩行者を検出し、運転手に警告または自動的にブレーキをかけるといったシステムが求められている. 特に最近ではレーダーによる検出システムが実際の車に搭載されているが、コストがかかるためカメラの画像から歩行者を検出する研究も進められている.

車載カメラの画像から歩行者を検出する方法は今までに多様に研究されており、主に HOG と SVM の利用[2][3]や、テンプレートマッチング[4][5]等の手法が挙げられる. しかし、いずれの手法でも、画像の歩行者以外の背景領域の特徴量による誤認識の大きな課題となっている. 背景を除去するために背景差分法があるが、車載カメラのようにカメラ自体が動きを持つとき、静止物体も見かけ上の動きを持つため、通常の静的な背景差分による背景の除去は困難である.

これまで、1 フレーム前の画像から現在のフレームの背景を予測生成し、予測された背景と実際の撮影画像との差分処理を行う動的背景差分法を提案してきた[6]. この手法では、差分処理の際にある閾値を設け、その閾値を超えた差分が残った場合に移動物体を検知したとしていた. 本論文では、この動的背景差分法をステレオカメラで行い背景除去の精度向上を図るとともに、対象距離内の移動物体のみを検知するなどの拡張を行う.

2. 動的背景

2.1. 無限遠点

車が直進して進む場合、周りの背景はある 1 点から放射状に広がって動く[7]. この点を無限遠点と呼ぶ. 無限遠点の導出として、まず画像を縦横に 5 分割し、その中央ブロックに存在する点を無限遠点の候補点とする. カメラを直進させ、 n フレームまでの 1 フレーム毎における画像上の右上、右下、左上、左下に存在する 4 つの静止点を抽出する (図 1a). ここで無限遠点の候補点と抽出した点群の平均点を通る 4 直線を考える. それぞれ 4 つの点群と直線の距離の最大値を計算し、求められた 4 つの距離の最大値の合計が最小となるときの、その直線を通る候補点を無限遠点 I と定める (図 1b). この無限遠点は前処理としてあらかじめ導出しておく. また導出の際に、カメラのレンズによる写真の歪みによって正確な値が出ないため、カメラキャリブレーションによって歪みを事前に修正する[8][9].

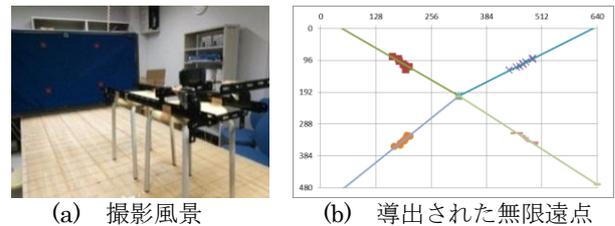


図 1 無限遠点の導出

2.2. 画素の移動量

カメラの位置を原点 O とし、あるフレームにおいて距離 Z にある静止点 W_0 が、次フレームでカメラの直進移動によって光軸に対し平行に ΔZ だけ移動するときの、画像上での点の移動 $P_0 \rightarrow P$ を考える (図 2). ここでレンズの焦点距離を f 、光軸と点 W_0 の距離を L とすると、 $\overrightarrow{OP_0}$ と \overrightarrow{OP} は次の(1)式で表すことができる.

$$\begin{cases} \overrightarrow{OP_0} = f\overrightarrow{OW_0} = f\frac{L}{Z} \\ \overrightarrow{OP} = f\overrightarrow{OW} = f\frac{L}{Z-\Delta Z} = \frac{Z}{Z-\Delta Z}\overrightarrow{OP_0} \end{cases} \quad \dots(1)$$

このとき、(1)式における $\overrightarrow{OP_0}$ の係数を拡大率 k とし、無限遠点 I との関係を図 2 式で表すことができる.

$$\overrightarrow{IP} = k\overrightarrow{IP_0} \quad \dots(2)$$

さらに、時刻 t におけるカメラの速度を $v(t)$ 、1 フレーム当たりの時間感覚を Δt とすると、 k は(3)式で表すことができる.

$$k = \frac{Z}{Z-v(t)\Delta t} \quad \dots(3)$$

(3)式より、拡大率 k は速度と距離によって決まる. 一般的に等速で動いている場合、カメラと静止点の距離が近いほど拡大率 k は大きく、反対に距離が遠いほど拡大率は $k \approx 1$ となる. ゆえにカメラと静止点の距離によって k を変える必要がある[7]. 単眼のカメラによる画像ではカメラと静止点の距離は断定できないので、本論文ではステレオカメラによる距離画像を利用することで距離を特定する.

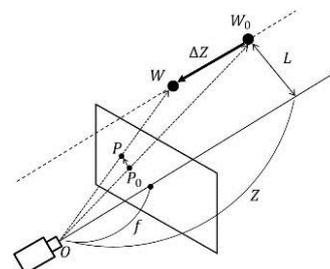


図 2 3次元空間における静止点と画像の関係

“Walkers detection by using dynamic background subtraction with mobile stereo-camera”

† Masaki Kasahara, Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University

3. 距離画像との併用

3.1. 距離画像の取得

2つのカメラからなるステレオカメラにより、カメラと対象物の距離に応じてグレー画像の階調値が決まる距離画像が取得でき、距離画像を取得する手法をステレオマッチングという。今、カメラと静止物体の距離を Z 、焦点距離を f 、右目カメラと左目カメラ間の距離（基線長）を b とし、左目画像に映る静止物体の点 x_l と右目画像に映る静止物体の点 x_r の差（視差） d を考える（図3）。このとき、視差 d は次の(4)式で表される。

$$d = x_l - x_r = f \frac{b}{Z} \quad \dots(4)$$

この視差 d に基づいて距離画像を作成する。距離画像では、カメラとの距離に近い物体ほど階調値が大きく（白く）なる。

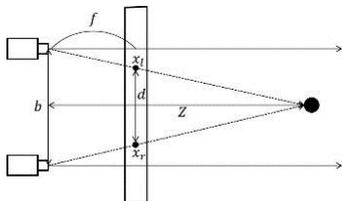


図3 3次元空間とステレオカメラの関係

3.2. 背景差分

式(3)より、等速で動いている場合カメラと静止物体の距離が遠いほど拡大率はほぼ一定である。ここでカメラの進行方向を横切るように動く移動物体の拡大率は静止物体のそれと大きく異なるため、拡大率に閾値を設けそれを越える拡大率を持つ画像上の点を移動物体とし、それ以外を背景として動的背景差分を行った。しかし、カメラとの距離が近い静止物体は拡大率が大きくなるため、これも閾値を越して移動物体と認識される問題点があり、差分制度は高くなかった[6]。

この問題を解決するため、カメラとの距離がわかる距離画像を併用し動的背景差分を行う。まず拡大率が急激に変わる、または拡大率がほぼ1である遙か遠方の距離に対応する距離画像の階調値の閾値を定める。ここで前フレーム画像とその距離画像を考える。距離画像の画素の階調値が設定した閾値を越える場合、その位置の前フレーム画像の画素を除外する。これにより拡大率が殆ど一定である部分が残る。次に前フレーム画像を一定の拡大率に合わせて拡大し、また前フレーム画像で除外された部分を現フレーム画像でも同様に除外する。最後に現フレーム画像との通常の静的な背景差分を行う。よって、静止している背景が除去され移動物体のみが残る、より精度の高い動的背景差分が実現できる。

4. 実験と結果

この手法による動的背景差分と飛び出し検知の実験と結果を示す。実験に使ったステレオカメラは FUJIFILM社の FINEPIX REAL 3Dである。基線長は75mm、焦点距離18.9mm、フレームレートは30fpsである。このカメラを、実際の車の一般道の法定内速度40km/h(37cm/フレーム)に合わせて37cm動かす。時速40km/hで走る車が急ブレーキをかけて完全に停止する距離20m先に被写体となる人物を立たせ、人物は歩行速度4km/h(3.7cm/

フレーム)に合わせて3.7cmカメラの進行方向を横切るように動く。カメラのスタート地点のものを前フレーム、37cm進んだものを現フレームとし、動的背景差分を行った。図4aは差分前の画像、図4bは差分結果である。まだ残っている部分はあるものの大部分の背景が除去され、移動している人物の検出に成功しているのがわかる。処理時間は、動作環境Intel Core i5-2520M CPU(2.50GHz)で平均約673msであった。



(a) 現フレーム画像 (b) 差分結果

図4 差分結果

5. おわりに

車載カメラのように観測系自体が動く場合の背景差分法として、前フレームから予測生成した背景と実際の背景の差分を行う動的背景差分処理を行い、その際にステレオカメラによる距離画像を併用し、背景差分の精度を向上させた。今後の課題として背景差分の更なる精度向上やカメラの進路方向の変化、上下振動等への対策などが挙げられる。また、歩行者の車道への飛び出し検出への応用も今後の課題である。

文献

- [1] 内閣府, “交通安全白書<平成24年度版>”, 第1編第1部第2節, 日経印刷, pp.18, 2013.
- [2] N. Dalal and B. Triggs, “Histograms of oriented gradients for human detection”, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.886-893, 2005.
- [3] A. Shashua, Y. Gdalyahu, and G. Hayun, “Pedestrian detection for driving assistance systems: Single-frame classification and system level performance”, *Intelligent Vehicles Symposium, IEEE*, pp.1-7, 2004.
- [4] D.M. Gavrila, “Pedestrian detection from a moving vehicle”, *Proc. European Conference on Computer Vision*, pp.37-49, Dublin, Ireland, 2000.
- [5] A. Broggi, M. Bertozzi, A. Fascioli, and M. Sechi, “Shape-based pedestrian detection”, *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp.215-220, Dearbon, USA, 2000.
- [6] 星聡, “動的背景差分法を用いた飛び出し検知システム”, 法政大学情報科学部卒業論文, 2012.
- [7] 加藤裕貴, “車載ステレオカメラによる衝突予測システム”, 法政大学情報科学部卒業論文, 2008.
- [8] J.g. Frayer and D.C. Brown, “Lens distortion for close-range photogrammetry”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol.52, pp.51-58, 1986
- [9] Z.Zhang, “A flexible new technique for camera calibration”, *IEEE transactions on Pattern Analysis and machine Intelligence*, vol.22, pp.1330-1334, 2000