

車載ステレオカメラによる動的背景差分の精度向上

Improving accuracy in dynamic background subtraction by using mobile stereo cameras

笠原 正樹†
Masaki Kasahara

花泉 弘†
Hiroshi Hanaizumi

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[2]を設置し、それによって歩行者を検出するシステムが求められている[3]。

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いるが、いずれの手法でも画像の歩行者以外の背景成分による誤認識の大きな課題となっている。静止している背景成分を除去し移動物体だけを検出する方法として、背景差分法[4][5]が挙げられる。しかし車載カメラのようにカメラ自身が動きを持つとき、静止物体も動きを持つため、これにより背景成分も誤検知される。

これまで我々は、車載カメラの背景がある1点(無限遠点)から放射状に広がる性質を利用して、1フレーム前の画像から現在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考案した。この手法によって背景を除去し、歩行者の道路への飛び出しを検出する研究を行ってきた[6]。本論文では、無限遠点の導出法の改良や、背景予測を行う範囲を広げる等の動的背景差分の精度向上を行い、実際の車載カメラの映像で実験を行った。

2. 原理と処理

2.1. 動的背景

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き、この点を無限遠点と呼ぶ。これまでの研究ではあらかじめ専用のレール装置によって求めた無限遠点を使用していた[6]が、無限遠点はカメラの環境によって変化するため、それに合わせて導出する必要がある。今回無限遠点は、 n フレームの複数枚の車載カメラ画像から、オプティカルフロー[7]によって抽出された m 個の背景の対応点のグループから求めた(図1)。これらの対応点は無限遠点 I を始点とする半直線上に位置するので、この半直線を点との距離の最小二乗和 S を使って求める。 x_{ij} と y_{ij} をグループ j におけるフレーム i の点の座標の値、 \bar{x}_j と \bar{y}_j をグループ j の重心とすると、 S は次の式(1)のように表せ、この時の x と y が無限遠点の座標となる。

$$S = \min_{x,y} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{\alpha_j x_{ij} - y_{ij} + \beta_j}{\sqrt{\alpha_j^2 + \beta_j^2}} \right)^2, \quad (1)$$

$$\alpha_j = \frac{\bar{y}_j - y}{\bar{x}_j - x}, \beta_j = \frac{\bar{x}_j y - x \bar{y}_j}{\bar{x}_j - x},$$

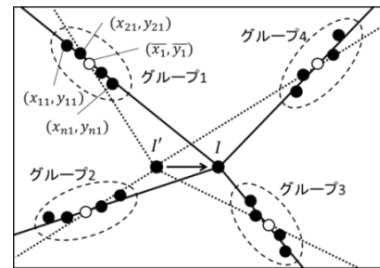


図1 無限遠点の導出

この無限遠点を中心に放射状に広がる原理を利用して、車載カメラの現在の背景画像を予測生成する。ここで前フレーム画像と現フレーム画像での背景の点の移動 $W_0 \rightarrow W$ を考える(図2)。この時、 W と W_0 に対応する画像の点をそれぞれ P, P_0 、カメラと W_0 のZ軸方向の距離を Z 、カメラと W および W_0 のX軸方向の距離 L 、 W から W_0 の移動量を ΔZ 、をカメラの焦点距離を f とする。無限遠点 I と P 及び P_0 の関係は次の式(2)のように表せる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\overline{IP_0}}{f} &= \frac{L}{Z}, \\ \frac{\overline{IP}}{f} &= \frac{L}{Z - \Delta Z} = \overline{IP_0} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

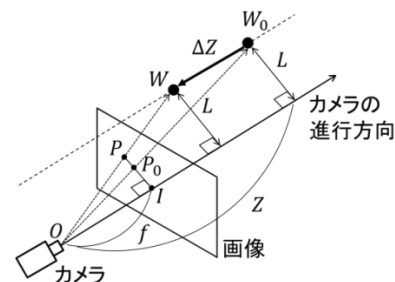


図2 3次元空間における静止点と画像の関係

ここで現在の背景を予測生成するための比率 $\overline{IP}/\overline{IP_0}$ を拡大率 k とし、カメラ(自動車)の速度を v 、1フレーム当たりの時間感覚を $\Delta t (=1/30$ 秒)とすると、式(2)より k は式(3)で表すことができる。

$$k = \frac{\overline{IP}}{\overline{IP_0}} = \frac{Z}{Z - \Delta Z} = \frac{Z}{Z - v\Delta t}, \quad (3)$$

(3)より、拡大率 k は速度 v とカメラとの距離 Z の2変数によって決まる。この距離 Z を知るために、ステレオカメラによる距離画像の距離情報を用いた。これによって距離が分かり、ゆえに式(3)より拡大率 k はカメラの速度 v による関数として計算できる。

†法政大学大学院情報科学研究科情報科学専攻

2.2. 処理手順

これまでの研究では、拡大率がほぼ一定になる距離のみに絞って、動的背景差分処理を行った[6]。今回は処理を行う距離範囲を広げ、不特定の距離からの歩行者の飛び出し検出に対応させるように精度を向上させた。

処理手順は以下の手順で行う。まず、前処理として数枚のフレーム画像から無限遠点を導出する。次にステレオカメラにより距離画像を取得し、空などの場所は除外する。距離画像の距離情報によって、前フレーム画像をいくつかの領域画像に分け、その領域画像を対応する拡大率だけ無限遠点を中心に拡大し、それらを再び合成して現在の背景予測画像を生成する。最後に予測生成した背景画像と現フレーム画像との差分を行い、抽出された残差を移動物体とする。

3. 実験と結果

3.1. 実験結果

今回の研究では、実際にステレオカメラを車に載せ、その映像で実験を行った。実験は精度を比較するため、背景予測なしの背景差分と、予測ありの動的背景差分とで行った。実験に使ったステレオカメラは FUJIFILM 社の FINEPIX REAL 3D で、処理に使った CPU は Intel Core i5-2520M CPU (2.50GHz)である。

図7(a)~(d)は、ステレオカメラを実際に自動車に搭載し、背景差分を行った結果である。円で囲んだ部分は、道路への飛び出しを行っていた歩行者を示す。この時の車速 v は、背景物体の距離情報と、導出された無限遠点、1フレーム間における背景点の移動を用いて、式(3)を変形して次の式(5)で求めた。

$$v\Delta t = Z \frac{\vec{IP} - \vec{IP}_0}{IP}, \quad (5)$$

図7(a)は元の車載カメラの現フレームの画像、(b)は前フレームから予測生成した画像である。(c)は予測なし差分の結果、(d)は動的背景差分の結果である。処理時間は予測なし差分が600ms、動的背景差分が1200msとなった。

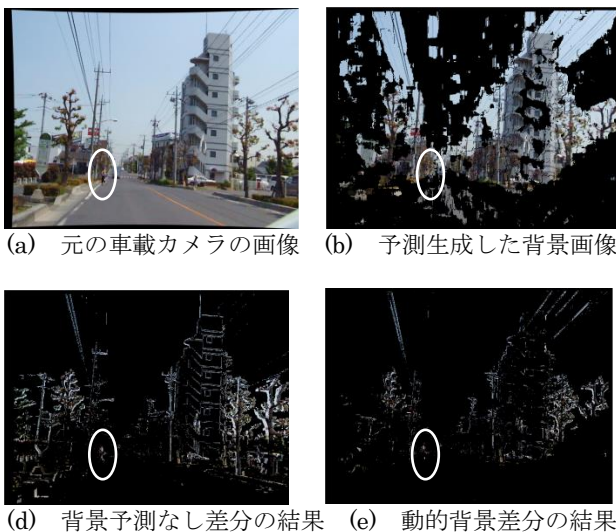


図7 車載カメラでの実験結果

3.2. 考察

図7の(c)と(d)より、背景予測なしの背景差分よりも、予測精度を上げた動的背景差分の方が、まだ残差はあるものの周囲の背景を除去できた。しかし、飛び出しを行っている歩行者の残差は、背景の残差と見分けが付き難い結果となった。また、動的背景差分の処理時間も予測なしの約6倍もの時間がかかった。

これらの実験の結果より、精度が向上した背景予測あり動的背景差分法による手法は、背景予測なしの差分法よりも画像の背景を除去できた事が言える。しかしながら、未だに背景成分の残差が雑音成分として残っており、検出すべき歩行者の残差と背景の雑音を識別する必要がある。

4. おわりに

今回の研究では、車載カメラの背景差分法として考案した動的背景差分処理を、無限遠点の導出手段の改良や、背景予測を行う距離範囲の拡大により向上させた。またこの精度向上により、背景予測を特定の距離だけに絞らず全体に行ったことで、不特定の位置から道路への飛び出しを行う歩行者の検出に対応させた。最後にステレオカメラによる車載映像に精度を向上させた動的背景差分を行い、背景予測なしの差分との比較を行った。

今後の課題として背景予測のさらなる精度向上や、処理時間の短縮、具体的な背景の雑音成分と歩行者の残差の識別による歩行者飛び出しの検出が挙げられる。これらの課題を解決し、この動的背景差分法による歩行者の飛び出し検出のシステムを、実用化に向けて開発していきたい。

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] M. Skuttek, M. Mekhail, G. Wanielik, “A PreCrash System based on Radar for Automotive Applications”, *Proc. IEEE, Intelligent Vehicles Symposium*, pp.37-41, June 2003.
- [3] T. Gandhi and M. M. Trivrdi, “Pedestrian collision avoidance systems: A survey of computer vision based recent studies”, in *Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, pp.976-981, 2006.
- [4] S. Cheung, C. Kamath, “Robust Background Subtraction with Foreground Validation for Urban Traffic Video”, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, Volume 2005, 1 January 2005.
- [5] Massimo Piccardi, “Background subtraction techniques: a review”, *Proc. IEEE, 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 4, pp.3099-3104, October 2004.
- [6] 笠原正樹, 花泉弘, “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”, 情報処理学会第75回全国大会, 2013年3月
- [7] M. J. Black, P. Andan, “A framework for the robust estimation of optical flow”, *Fourth International Conference on Computer Vision*, pp.231-236, May 1993