

動的背景差分法を用いた飛び出し検知システム

A System for Children Rushing Out Detection Using Dynamic Background Subtraction

星 聡†
Satoru Hoshi花泉 弘†
Hiroshi Hanaizumi藤田 悟†
Satoru Fujita

1. まえがき

自動車による衝突事故の主な原因に、運転手によるわき見運転や安全確認の不足などが挙げられる[1]。これらによって発生する事故を回避するため、レーダーやレーザーを用いた衝突事故回避システムが実用化されている[2][3]。

しかし現在実用化されているシステムでは、専用の装置が必要となるためにコストがかかる。本研究ではその改善を目的として、比較的安価な CCD カメラ 1 台で撮影された動画像を処理し、市街地を走行する車両進行線上への人や物体の飛び出しを検知するシステムを提案する。

移動体を検出する場合、時間的に不変な背景画像を現在の画像から差し引くことで移動体だけを抽出する背景差分法がよく用いられている[4][5][6][7]。本研究においても飛び出し検知に背景差分法を用いるが、車載カメラで撮影した画像は車両の移動に伴って断続的に変化するため、一定不変の背景画像を背景差分処理に用いることはできない。この問題を解決するため、提案するシステムでは 1 フレーム前に撮影された画像から現在のフレームにおける背景画像を動的に生成して背景差分処理を行っている。本研究においては、この手法を動的背景差分法と呼ぶ。

以下、提案する飛び出し検知システムの原理、システムの構成と処理手順を説明し、基礎実験による原理の検証と実際に路上で撮影した動画を用いた実験の結果を示す。

2. 提案手法

背景差分法を動画像処理に応用するため、次のフレームの背景画像を現在のフレームから予測生成する。このとき、生成された次フレームの背景画像を動的背景とよぶ。

動的背景は、車載カメラによって撮影された画像上におけるすべての撮影対象はある一点から広がっているという事実を利用して生成する[8]。この点を無限遠点とよび、無限遠点を中心として現在のフレームに映っている画素を適切な量だけ放射状に移動させて動的背景を生成する。そして、生成された動的背景と撮影された画像との差分処理を行い、閾値を超えた差分が残った場合に飛び出しが起きたと判断する。

次節以降では、無限遠点の座標と各画素の移動量とを決定する式について説明する。

3. 動的背景

3.1. 無限遠点

車両が直進する限り、車載カメラで撮影された画像に映る対象は画像中の無限遠点 I を中心として I と対象画素を結ぶ直線上を外側に移動するように見える。すなわち、画像上のある点を時間的に追跡するとそれらの点は直線をなす。この直線を複数本得ることができれば、その直線が収束する点として無限遠点を得ることができる。複数の点の軌跡を得るため、連続画像における特徴点を OpenCV が提

供するコーナー検出器を用いて 1 枚の画像につき最大 100 点を抽出して追跡する。各フレーム間での特徴点の対応付けは、1 フレームの間に対応点はそれほど移動しないという事実のもと、図 1 で示すように前フレームの特徴点を中心として、 $15\text{px} \times 15\text{px}$ の窓の空間的相関が最大となる点を対応点とする。この時、検索の範囲は特徴点を中心とした半径 30px とした。

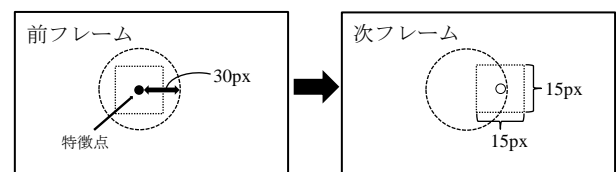
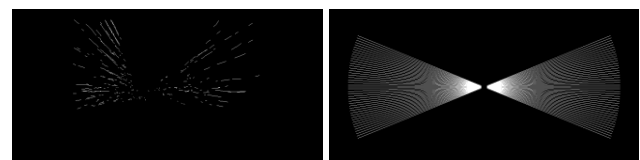


図 1 対応点検索領域の略図

以上の結果により、各フレームの対応点を結んだ直線は無限遠点を中心とした放射状に分布する(図 2a)。この画像を a とし、画像の中心から放射状に点が散布されたテンプレート画像 b (図 2b) を用意し、 a と b の相互相関関数を計算する。相互相関関数を計算することによって、数値が最も高くなる座標として画像 a における無限遠点の座標を得ることができる。得られた結果を画像化し、値が高くなる部分を白く表したものを図 2c に掲載する。



(a) 追跡結果

(d) テンプレート画像



(c) 結果を画像化したもの

図 2 相互相関関数を用いた無限遠点の導出

3.2. 画素の移動量

図 3 で示すような場合について、原点 O をカメラの位置として、距離 Z にある点 W_0 がカメラの光軸に対して平行に ΔZ だけ移動するときの画像上での移動 $P_0 \rightarrow P$ を考える。このとき、レンズの焦点距離を f 、光軸から点 W_0 までの距離を L とすると O 、 P_0 、 P 、移動前の W_0 、移動後の点 W はすべて平面上にある。したがって O を基準とした $\overrightarrow{OP_0}$ 、 \overrightarrow{OP} は

$$\overrightarrow{OP_0} = f \frac{L}{Z}, \quad \overrightarrow{OP} = f \frac{L}{Z + \Delta Z} = \frac{Z}{Z + \Delta Z} \overrightarrow{OP_0} \quad (1)$$

† 法政大学大学院, Hosei University

で関連付けられる。

(1)式により、対象物までの距離 Z と車両の移動距離 ΔZ が得られれば画像上での対象物の移動量を知ることができる。

また、(1)式について、 $\overrightarrow{OP_0}$ の係数を k としてこれを拡大率とすると、無限遠点を I とした画像上での対象物の動きは

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

と表すことができる。さらに、時刻 t における車両の進行速度を $v(t)$ 、1フレーム当たりの時間間隔を Δt とすると k は

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

となる。

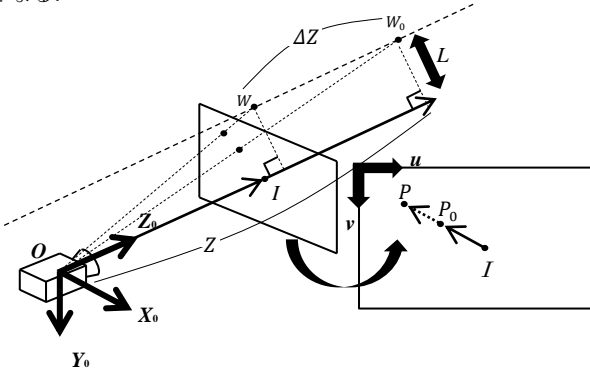


図 3 3次元空間における撮影対象と画像系

図 3 をもとに、連続する 2 枚の画像において拡大率 k がどのように変化するかを実際に計算した結果を図 4 に示す。

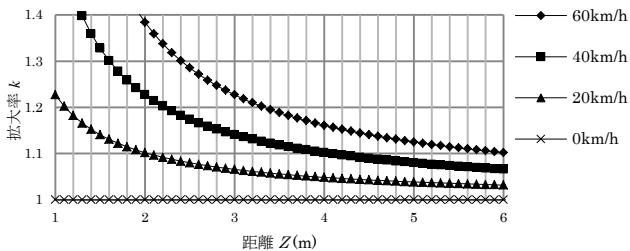
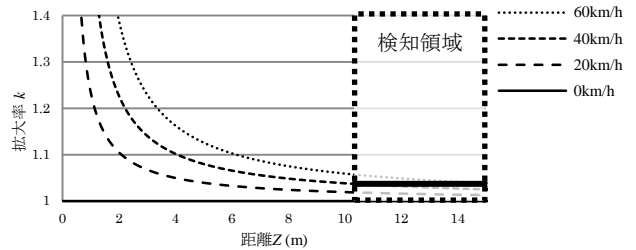


図 4 距離に対する k の変化

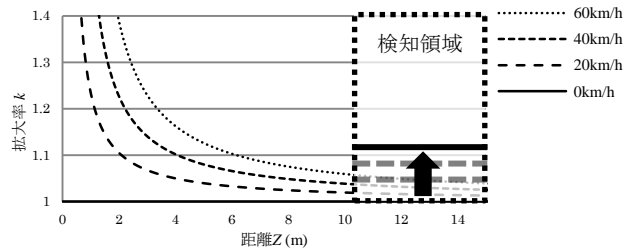
図 4 から、車両の速度が異なれば被写体までの距離が同じであっても k は異なってくるということがわかる。また、画像に映るすべての被写体が車両から等距離であることはないため、一枚の画像上でも被写体とカメラとの距離によって k を変える必要があることがわかる。

市街地における車両の進行速度 40km/h、使用するカメラのフレームレート 30fps(0.37m/frame)が実際に想定される環境と仮定すると、飛び出し検知の観点からは、背景差分処理を行う際に予測が不十分なことに基づく残差が飛び出しによる残差よりも十分に小さければよいと考えられる。したがって、計算コストも考慮して飛び出しが予想される領域を決め、その中では k を速度によって決まる一定値と考える。すなわち、対象が十分遠方にあるならば個々の対象間における拡大率のばらつきは極小くなるため、そのような条件を満たす領域内に映る対象物は、全てカメラから等距離であるとして扱う(図 5(a))。また、速度の違いによって起こる最適な k の変化には、車両の速度は急激には変わらないという事実のもと、 k の値を徐々に変化させ

ながら複数回にわたって差分を計算し、その結果得られた差分の最小値で飛び出しを判断ことで解決する(図 5(b))。



(a) 十分遠方では k を一定値と考える



(b) k を変化させて繰り返し処理

図 5 2変数によって変化する k とその対応

4. 背景差分処理

背景差分法のアルゴリズムは、従来のものを拡張して用いる。

背景成分がどの程度消去されたかは、注目する撮影画像の画素と背景画像の画素の差分を和で正規化して比で表し、これを正規化差分 R とする。ただし、画面の明度の変化やフロントガラスに反射した光によって飛び出しが誤検知されてしまうことを防ぐため、正規化差分を求める際は各チャンネルに一定の係数をかけ、色空間を RGB から明度基準で判断できる HSV に変換して処理を行う。これにより、画面の明るさが変化するなどしても対応できる。

差分処理の結果、飛び出しが発生していれば飛び出した人や物体の部分は残差として現れるため、飛び出しがない状態よりも検知領域の差分は大きくなり飛び出しが検知できる。

5. 実験

前章までに説明した手法を元に、動的背景差分法が実際に可能であるか、すなわち、速度や進行方向が一定しないデータに対して背景成分の消去が行えるかを検証する。

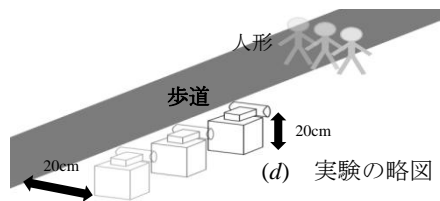


図 6 基礎実験

図 6(a)のような比較的歪みの少ないカメラを台座に固定したものを方眼紙上で正確に直進させながら、1/10 スケールのモデルで撮影した画像を解析した。図 6(c)は飛び出し検知に用いた人形である。また、図 6(b)に示した車載カメラで動画を撮影したものについても解析を行う。なお、車載カメラで撮影された動画には歪曲収差による画像の歪みが含まれるため、OpenCV で提供されている歪み補正関数で補正し、画像に分解して処理を行った。

6. 結果

6.1. 無限遠点導出

図 2 で示した例は、手動で無限遠点を導出した場合とほとんど同じ結果が得られた場合である。ただし、テンプレート画像のパターンによっては望ましい結果が得られない場合も生じたため、さらに改良が必要である。また、動的背景差分処理の精度を考えた場合、無限遠点の座標に誤差がある場合は結果がどの程度変わるかを検証する必要もある。

6.2. 動的背景差分

1/10 モデルの実験に使用した撮影画像、マスク画像と無限遠点を図 7、数パターンの速度変化に対して動的背景を用いて処理した差分と動的背景を用いなかった場合の結果を図 8 に示す。速度を変化させた実験では、0 フレーム目から 15 フレーム目まで断続的に速度が変化し続けている。

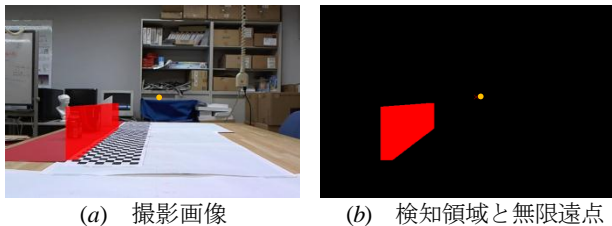


図 7 1/10 モデルの実験

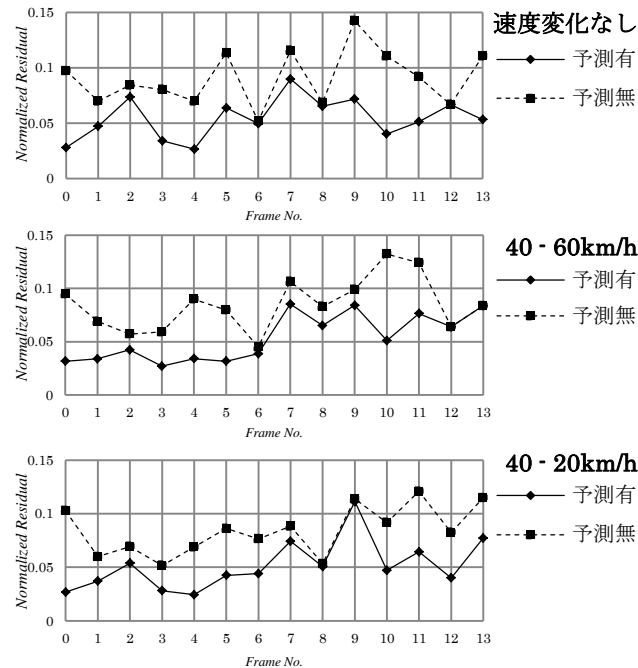


図 8 速度変化時の差分処理の結果

図 7 より、すべての場合において差分が少なくなったため、提案した拡大率 k に関する調整方法はどの速度においても有効であることが認められた。結果における 6 フレーム目前後については、実験環境における凹凸によってわずかにカメラが上下にずれたため、背景差分が多少残ってしまったものと考えられる。

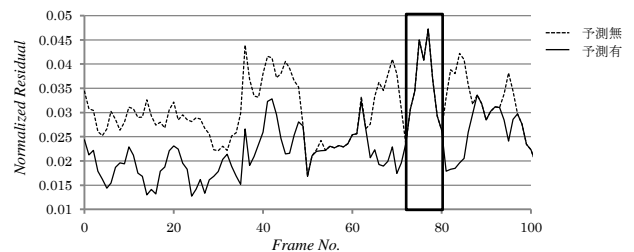
次に図 6(b) に示した車載カメラで撮影された実測データに対して動的背景差分処理を行う。実験は 40km/h で走行中の車両進行線上で飛び出しが発生した状態を想定し、理論通りに差分が大きくなるかどうか検証を行った。このとき使用した撮影画像、検知領域と無限遠点を図 9 に示す。



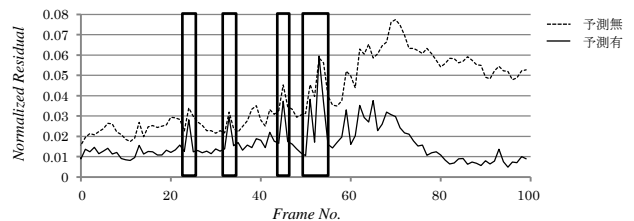
図 9 実測データを用いた実験

図 10(a), (b) はそれぞれ車両が初速 40km/h から 20km/h に減速した際の実測データ、進路変更を行った際の実測データに対して動的背景差分法を用いた結果である。車両の進路変更時は、フレーム間で画像上の無限遠点がどれだけ左右に移動したかがわかれば k を計算する前に画像を平行移動することで対応できる。このとき、無限遠点の対応は図 1 で説明した方法を用いた。図 10(a) では 0 フレーム目から 100 フレーム目まで速度が変化しているのに対し、図 10(b) は 60 フレーム目から進路変更が開始されている。

結果より、実験で想定したすべての視点の変化に対して動的背景差分法が有効であることが確認できた。車両の上下動揺が発生した数フレーム (図 10(a) 矩形領域) は対策を行っていなかったため差分が大であるが、進路変更時と同じプロセスでフレーム間の無限遠点の対応が取れば解決できるものと思われる。ただし、逆光などによってレンズフレアやフロントガラスのちらつきが生じた場合 (図 10(b) 矩形領域) は瞬間的に差分が大きくなってしまっている。



(a) 車両が減速を行った際のデータに対する処理結果



(b) 車両が進路変更を行った際のデータに対する処理結果

図 10 実測データに対する動的背景差分処理の結果

最後に、1/10 のモデルにおいて飛び出し検知実験を行った結果を図 12 に示す。このとき、すべての飛び出しは 5 フレーム目から始まっており、車両の進行速度は 40km/h とした。例として、飛び出しが起きている撮影画像 A に、動的背景を用いて次フレームの撮影画像 B と背景差分処理を行ったものを図 11 で示す。実験は、成人の歩行速度が 4km/h である[9]として数パターンに分けて行った。

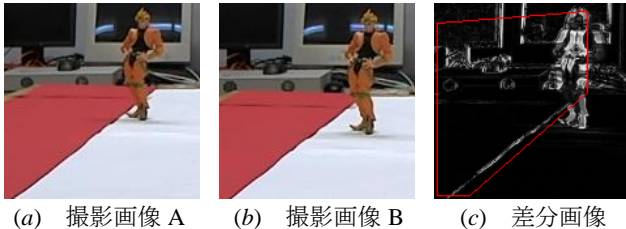


図 11 撮影画像と差分画像の一例

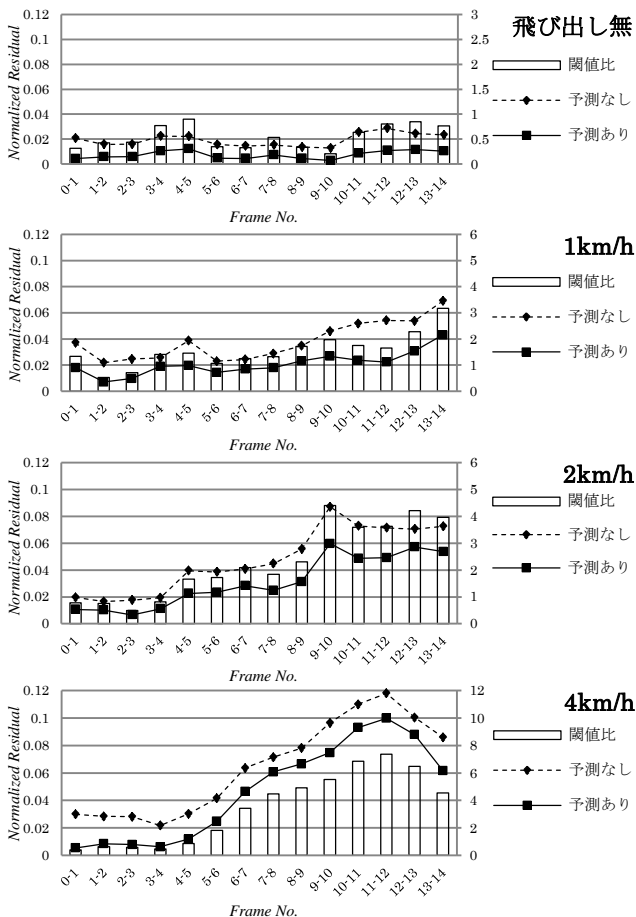


図 12 飛び出しに対する動的背景差分処理結果

結果として、すべてのパターンで動的背景差分法を用いたときの正規化差分が少なくなっていることがわかる。図 5(a) で示したような遠方の検知領域において、動的背景差分法を用いることで背景成分を効率よく消去できることは実験により明らかであるから、背景成分によって発生した差分を取り除き、飛び出しによって発生した差分だけを取り出すことができたため、全体として差分が減少したと考えられる。この結果を踏まえて、本実験では飛び出しがない状態のデータに対して動的背景差分処理を行った結果の

平均を μ 、標準偏差 σ とし、閾値を $\mu+2\sigma$ とした。図 12 の右軸 (棒グラフ) は正規化差分の閾値に対する比である。このとき、右軸において値が 1 を超える部分で飛び出しを検知したことになり、高い精度で飛び出しが検知できていることがわかる。

7. むすび

本研究では、人や物体の飛び出しを検知できるシステムを提案した。飛び出し検知の手法として、1 フレーム前の撮影画像から現在の背景画像を予測生成し、生成された動的背景と現在の撮影画像との差分処理を行う動的背景差分法を検証した。動的背景の生成は、画像上の無限遠点がわかれば、画像に映った対象物とカメラとの距離が未知の状態にあっても、複数回の繰り返し処理を必要とするものの、検知領域を限定することで解決できた。同時に、各フレーム間の無限遠点の対応がとれさえすれば進路変更が発生しても動的背景が生成できることを実験によって示した。

今後の課題としては、飛び出しを検知する際の適切な閾値の設定方法を確立すること、車両の進路変更や上下の動揺に際しての無限遠点の移動を算出するプロセスを高速化すること、動的背景生成に必要な係数 k を一意、あるいはより効率よく求め、リアルタイム処理を実現できるだけのシステム全体の高速化などが挙げられる。また、システムを実用化するには飛び出しを検知する前方領域を先行車両の存在を考慮して適切に設定する必要があり、雨天や夜間など環境の変化を考慮したシステム設計も必要となると考えられる。

参考文献

- [1] 内閣府, “交通安全白書 (平成 23 年版)”, 第 1 編第 1 部第 1 章第 2 節, 日経印刷, 2011.
- [2] J. Sans Sangorin, T. Sohnke and J. Hoetzel, “Reducing Uncertainties in Precrash-Sensing with Range Sensor Measurements”, *Advanced Microsystems for Automotive Applications 2005*, Volume 2005, part2, pp.115-127, March 2005.
- [3] M. Skutec, M. Mekhaie, G. Wanielik, “A PreCrash System based on Radar for Automotive Applications”, *Proc. IEEE, Intelligent Vehicles Symposium*, pp.37-41, June 2003.
- [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] Y. Ivanov, A. Bobick, J. Liu, “Fast Lighting Independent Background Subtraction”, *International Journal of Computer Vision*, Vol.37, No.2, pp.199-207, 2000.
- [7] 土田勝, 西川隆仁, 村瀬洋, 高木茂, “背景差分法による物体検出を目的とした逐次モンテカルロ法による背景推定”, *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J87-D-II, No. 5, pp.1062-1070, May 2004.
- [8] 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.
- [9] ウォーキングの効果的な実践, <http://everyman.client.jp/walkingpoint.html>