

[Short Paper]

(2010年4月23日 Accepted)

車載カメラ映像からの横断歩道上の歩行者の検出法

タン ジュークイ¹, 三好 誠², 石川 聖二¹, 森江 隆³

1) 九州工業大学大学院・工学研究院 2) 九州工業大学大学院・工学府

3) 九州工業大学・生命体工学研究科

要約: コンピュータビジョンの技法を応用した自動車の安全運転支援システムの研究開発が近年盛んである。自動車事故を回避するために、車載カメラから得られる高速道や一般道の映像を解析して有用な情報を取得する技術が種々開発されている。しかし交通事故は、高速道や一般道走行時よりも交差点付近で発生することが多い。そこで本論文では、交差点付近の横断歩道上の歩行者等を車載カメラ映像から自動検出する手法を提案する。本法は移動するカメラから得られるビデオ映像から逐次背景を推定し、その背景から前景を分離するという方法により歩行者等を検出する。市街地の横断歩道映像に提案法を適用し歩行者の検出を行った。背景を歩行者の一部と誤認識した割合が 1% のとき、歩行者の形状を正しく抽出した割合は平均 82% であった。

キーワード: 車載ビジョン, 歩行者検出, 背景, 移動カメラ

Detecting Pedestrians on a Zebra Crossing from Car Video Images

Joo Kooi TAN¹, Makoto MIYOSHI², Seiji ISHIKAWA¹, Takashi MORIE³

1) Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

2) Graduate School of Engineering, Kyushu Institute of Technology

3) Faculty of Computer Science & Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

Abstract: Automobile technologies have been challenging to realization of safe driving by the employment of a computer vision system. Various techniques have been developed for preventing car accidents based on so-called car vision technologies by analyzing road images captured by the cameras mounted on a car. Traffic accidents often occur at junctions compared to motor ways or ordinary roads. We therefore propose in this paper a technique for detecting pedestrians on a zebra crossing near a junction from the video images provided by a camera on a car. The detection is performed by recovering backgrounds from the video images and separating foregrounds from the backgrounds. Performance of the proposed technique was examined by the experiment employing car video images at some urban junctions. The technique detected 82% in average of a pedestrian's shape correctly when 1% of the background was incorrectly extracted as part of the pedestrian.

Keywords: Car vision, Pedestrians detection, Background, Moving camera.

Joo Kooi TAN

Sensuicho 1-1, Tobata, Kitakyushu 804-8550, Japan

E-mail: etheltan@cntl.kyutech.ac.jp

1. はじめに

自動車は産業や社会に多大の利益・利便性を提供しているが、同時に交通事故も多く[1]、社会的問題である。そのため、自動車の安全走行のための技術開発が近年活発化している。特に、交通事故を未然に防ぐために、車載カメラから得られる前方映像から歩行者や車を自動抽出し、危険を予知するシステムの開発が盛んである。この分野は車載ビジョンとよばれ、高速道路走行時の映像処理から、現在は一般道路走行時の映像処理の研究開発が盛んに行われている。

ところで交差点付近は危険度が特に高い。平成20年には、全交通事故件数の約44%が市街地の交差点で発生している[1]。交差点は直進・右左折の車に加えて、横断歩道を渡る歩行者・自転車など複雑な状況にあり、また信号停止時はドライバの注意が散漫になるなど、危険因子が多様である。また横断歩道上の歩行者は、一定速度で流れていけば危険度は低い、横断歩道上で立ち止まる、しゃがむ、転倒する等が発生すれば危険度は高い。しかし、車載ビジョンのこれまでの研究は、高速道路（前方車両や車線検出）や一般道路走行（車や歩行者検出）が対象で、交差点付近の複雑な状況を扱った車載ビジョン研究はまだ行われていない。

そこで本論文は交差点に着目し、交差点付近（特に横断歩道）の車載映像から移動物体（歩行者、自転車等）を検出する手法を提案する。車載ビジョンシステムではステレオ法[2,3]が多いが、ステレオ法は左右画面上で対応点検出が必要であり、実画像ではその検出精度が高くないために歩行者を囲む枠で検出結果が表示される。よって、歩行者検出後の次の段階である挙動認識に直接つなげることができない。これに対し提案法は単一カメラ映像から背景の推定を行い、前景として歩行者の形状を抽出するため、挙動認識に直接つなげることが可能である。また背景推定による人物検出の研究はあるが[4,5]、カメラ固定の場合のみである。単一カメラを前提とした歩行者検出法もあるが[6,7,8,9]、まだ確立した方法とは言えない。

提案法の特徴は、単一移動カメラの映像からの背景の逐次推定と前景抽出法の提案にある。以下に方法の概要を述べ、実験結果を示す。

2. 背景推定と歩行者検出

本法は、車載カメラ映像から背景を推定し、背景と異なる部分を前景として抽出することにより歩行者等を検出する。交差点付近の状況を前提とするため、車は徐行または徐行→停止→発進という状況であり、そのためカメラの移動速度は遅いものとする。

本法は、まずビデオ映像の初期フレームの画素ごとに画素値を正規分布で表現し、それを背景映像とする。初期フレームに移動物体が移っていれば移動物体もそのまま背景となる。

現フレーム（初めは初期フレーム）と次フレームの間の画像の背景変化をカメラ運動ベクトルの抽出によってとらえ、それを2次元射影変換で近似する。2次元射影変換は2平面間の変換関係であり、画像上で主要な平面を求めて平面ごとに2次元射影変換を定義するのが最善であるが[9]、処理の高速化のため、本法ではカメラ運動による画像全体の変化を2次元射影変換で近似する。

2次元射影変換の関係をを用いて次フレーム上の画素 p の現フレーム上での位置 q を求める。この位置は一般に、現フレーム上の画素の中心位置とはならない。そこでその位置 q を囲む最近傍の4画素の正規分布を双線形補間することによって、次フレーム上の画素 p の正規分布とする。これを次フレーム上の全画素に対して行うことによって、次フレームの背景画像を得る。なお、画素 p に対応する位置 q が現フレームの外に出る場合は、初期フレームと同様に、画素 p において新たに正規分布を定義する。

次フレーム上の各画素の値をその画素位置の正規分布と比較し、標準偏差 σ 以上離れていけばその画素を前景の画素とし、 σ 以内ならば背景の画素とする。次フレーム上の全画素で上記の手続きを実行し前景を抽出する。

前景と背景が抽出されたら、前景と背景のそれぞれの場合に分けて各画素位置の正規分布を更新する。すなわちその平均値と分散値を更新する。ある画素が前景の画素と判断された場合は、初めはその画素の現正規分布モデルに合わせようとするが、その画素が前景として抽出されるフレームが連続するほど、その前景画素の値に合せるように正規分布が更新される。一方、ある画素が背景の画素と判断された場合は、その画素値に合せた正規分布になるように更新される。この処理の結果、初期フレームに移動物体が含まれていても、それが移動して画像外に消えたら速やかに本来の背景画像が確立する。また、照明変化や天候変化があれば、

変化後の画素値を持つ画素は次第に背景画素となる。人が立ち止まって動かなくなれば、人が覆う画素群は前景から背景へと変化する。

全画素の正規分布が更新されたら、その画像を新たに現フレームの背景画像とする。

以上の手続きを、次フレームが入力されるたびに行う。

全体の処理の流れを図1に示す。

3. 実験結果

市街地の交差点左折時の映像を処理した実験結果を図2に示す。同図上段は原映像、下段は前景の抽出結果である。処理時間は、Intel Core2 2.4GHzのPC(メモリ4GB)で1フレームあたり平均39.6msであった。背景推定法として実験では、時間メジアン法、移動平均法、正規分布法の3方法の比較を行ったが、正規分布法が最もノイズの少ない結果を与えた。

なお、2次元射影変換を定義するには、現フレーム

と次フレーム間の移動ベクトルを複数検出する必要がある。本法では特徴点の検出にHarris corner detector[10]、特徴点の追跡にLucas-Kanade tracker (LK法)[11]、移動ベクトル内のアウトライアの除去のためにRANSAC [12]を利用している。RANSACを適用するため、画像内に移動物体があっても、背景の多数の移動ベクトルに対して移動物体上の少数の移動ベクトルは効果的に削除される。図3にLK法による動きベクトル及びRANSAC適用前・後における背景抽出結果を示す。同図背景結果(a2)において、横断歩道やビルのエッジに生じていた誤差が、(b2)ではほとんど見られない。また、図4に前述の3手法における背景推定・更新の一例を示す。同図(a)に映像中心付近に描画した矩形の中心画素を注目画素(グレイスケール値)とし、(b)にフレーム(時間方向)における注目画素における画素値の変化を示す。注目画素における各手法の推定背景画素値を算出し、(c)に表している。(c)からわかるように、グレイスケール値の変動は正規分布モデルによる背景推定の場合が小さい。

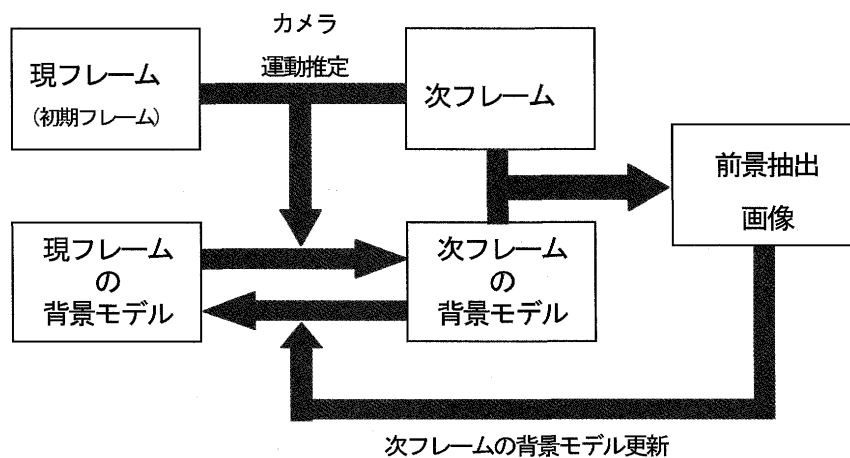


図1. 背景推定に基づく前景抽出のブロック図.

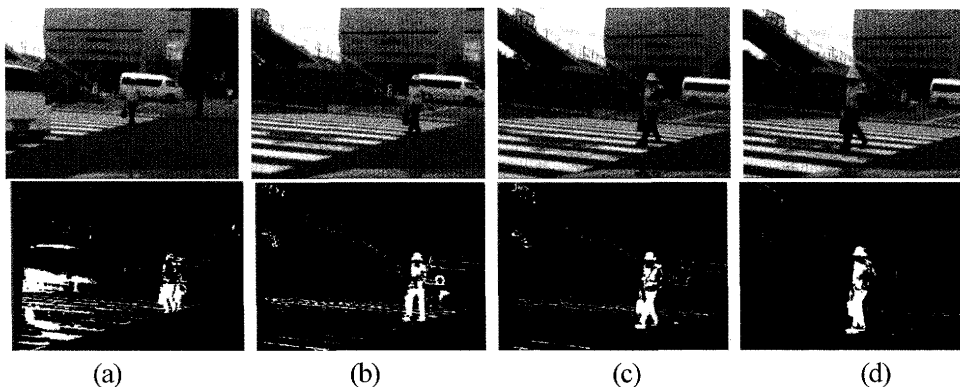


図2. 市街地の交差点映像の実験結果の一部。上段は原映像、下段は前景の抽出結果。時間進行は左から右へ。

車載カメラ映像からの横断歩道上の歩行者の検出法

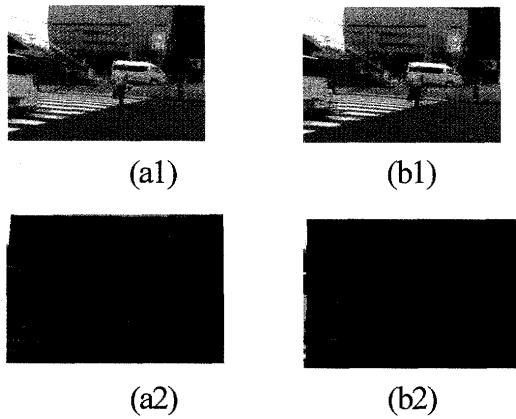
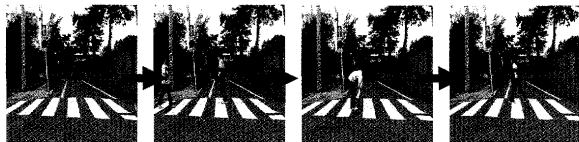


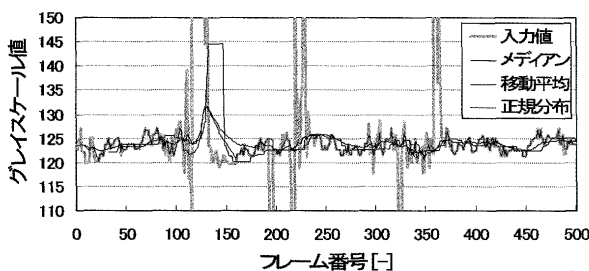
図3. 入力フレームにおける諸処理 (a1)LK 法による動きベクトルの算出, (b1)RANSAC によるアウトライア(赤のベクトル)の除去, (a2) アウトライアを含む場合の背景抽出, (b2) アウトライア除去後の背景抽出.



(a)



(b)



(c)

図4. 3手法による推定背景の例. (a)原画像, (b)注目画素(赤矩形)におけるグレイスケール値の変化, (c)各手法における背景の推定値.

車載カメラから撮影された交差点付近の映像を対象として、背景を推定し前景を抽出するという方法によって、横断歩道上の歩行者を検出する手法を提案した。実験結果は、カメラ移動が小さければ(図2c,d)おおむね良好であるが、カメラ移動が大きいと(図2a,b)まだノイズが多い。図2の実験では、背景を歩行者の一部と誤認識した割合が1%のとき、歩行者の形状を正しく抽出した割合は平均82%であった。また前者が7%のとき、後者は90%であった。提案法の実用化に向けて、さらに洗練・改良の余地がある。なお、本評価は、歩行者領域を手動で抽出し、グランドトゥルース(GT:母数)画像を作成することにより行う。各手法における歩行者抽出結果とGT画像を比較して、歩行者を正確に抽出した割合(TPR:歩行者形状の割合)と、背景領域を誤って歩行者として抽出した割合(FPR)として算出する。

本法は、文献[4]と異なり、混合正規分布は利用しない。その理由は主に処理時間短縮のためである。車載ビジョンシステムは実時間処理を実現する必要があるが、実験では実時間にほぼ近い、平均39.6ms/フレームという結果を得ている。本システムは、近年急速に高性能・高速化しているCPUや、画像処理演算に高速なGPU(グラフィックスプロセッシングユニット)等と併用して、あるいは背景推定部のLSI化も視野に入れて、車載コンピュータシステムとして実用化へ向けて展開する予定である。

本法は単一カメラ映像の処理を前提としている。背景から前景を抽出するため、歩行者等の前景形状が直接得られる。図2下段では歩行者の形状が完璧には得られていないが、歩行者の形状抽出率が90%以上に達するよう、さらなる改善によって動作認識[13]が可能になると考えている。

提案法は、危険度の高い交差点において歩行者(自転車を含む)を検出することによって、車両ドライバーの環境認知の不足を補うシステムの実現に貢献できると考えられる。特に右折時は、対向車に気を取られて横断歩道上の歩行者を見落とす危険性が高い。左折時でも、歩行者をやり過ぎて発進しようとするとき、横断歩道に走り込んでくる歩行者の認知が遅れる場合がある。このような状況に対して本研究は、歩行者認知を支援するシステムを提供できると思われる。

4. おわりに

謝辞

本研究を進めるにあたり、車載カメラ映像の収集やプログラム作成補助、また実験において手伝って頂いた著者研究室の学生諸氏に感謝の意を表す。本研究は文部科学省知的クラスター創成事業（第Ⅱ期）の支援による。

参考文献

- [1] 警察庁交通局: “平成20年中の交通事故の発生状況”, <http://www.npa.go.jp/toukei/index.htm#koutsuu>.
- [2] L. Zhao and C. Thorpe: “Stereo- and neural network-based pedestrian detection”, *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, Vol.1, No.3, 2000.
- [3] B. Leibe, et al.: “Dynamic 3D Scene analysis from a moving vehicle”, *Proc. of Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2007.
- [4] C. Stauffer, W. E. L. Grimson: “Adaptive background mixture models for real-time tracking”, *Proc. of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol.2, pp.246-252, 1999.
- [5] A. Elgammal, R. Duraiswami, D. Harwood, L. Davis: “Background and foreground modeling using nonparametric kernel density estimation for visual surveillance”, *Proc. of the IEEE*, Vol.90, No.7, pp.1151-1163, 2002.
- [6] D. M. Gavrilu: “Detection from a moving vehicle,” *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, Vol.2, pp.37-49, 2000.
- [7] P. Viola, M. Jones and D. Snow: “Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance”, *International Journal of Computer Vision*, Vol.63, No.2, pp.153-161, 2005.
- [8] Zhang, Y. et al.: “Robust moving object detection at distance in the visible spectrum and beyond using a moving camera”, *Proc. of CVPR Workshop*, 2006.
- [9] 上村浩文, Krystian Mikolajczyk, Joo Kooi Tan, 石川聖二: “カメラ動き補償のための複数特徴点追跡”, *バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌*, Vol.11, No.1, pp. 1-9, 2009.
- [10] C. Harris, M. Stephens: “A combined corner and edge detector”, *Proc. of the 4th Alvey Vision Conference*, pp.147-151, 1988.
- [11] B. D. Lucas, T. Kanade: “An iterative image registration technique with an application to stereo vision”, *Proc. of the 7th International Conference on Artificial Intelligence*, pp.674-679, 1981.
- [12] M. A. Fischler, R. C. Bolles: “Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography”, *Communications of the ACM*, Vol.6, No.24, pp.381-395, 1981.
- [13] タンジュークイ, 河野憲亮, 石川聖二, 金亨燮, 四宮孝史: “モーションデータベースを用いた人の動作の高速認識”, *画像電子学会誌*, Vol.36, No.5, pp.738-746, 2007.