

運転者支援システムのための複数特徴に基づく歩行者検出

Pedestrian Detection Based on Multiple Features for Driver Assistance System

加嶋 亮平[†] 清水 郁子[†] ポンサトーン ラクシンチャランサク[†] 永井 正夫[†]
Kashima Ryouhei Ikuko Shimizu Pongsathorn Raksincharoensak Nagai Masao

1. まえがき

近年、日本での交通事故による死亡事故は 1970 年の 16,765 人をピークに年々減少し、2011 年には 4,612 人であったが、負傷者数や事故の発生件数は依然として高水準のままである [1]。また、歩行中に事故に巻き込まれる人数は運転者よりも多く、致死率は 4.6 倍である。さらに、人対車両の死亡事故の発生件数は多く、中でも横断歩道横断中の事故が 30% 近くを占めている。

交通事故件数を減らすために、予防安全技術の研究開発と普及の推進が重要視されている。歩行者事故に対応した予防安全技術で実用化されているものとして、ステレオカメラによる車両前方環境認識のシステム [2] などがある。本研究では、単眼車載カメラによる予防安全システムを実現するために、歩行者検出手法について述べる。

単眼カメラによる歩行者を認識する手法は様々であり、歩行者認識は、背景が時々刻々変化することに加え、検出すべき人間も様々な大きさ、姿勢、服装、動きであることに対応するために様々な手法が提案されている。たとえ間、複雑な環境下でも人物を正確に検出できる CoHOG (Co-occurrence Histogram of Oriented Gradients) 特徴量に基づいた検出方式 [3]、車両から見ると歩行者の形状が線対称に見えることに着目して、線対称性のある画像領域を、歩行者を含む可能性の高い領域として抽出する対称性アルゴリズムによる歩行者候補領域の検出方法 [4] などが提案されている。また、Viora ら [5] は動き特徴により、固定カメラ画像を用いて歩行者を認識を行っている。ただし、車載カメラでは、車両運動の影響があるので画像全体が常時変動するため、車載カメラへの適用は難しい。Muder ら [6] は、歩行者データベースを用いて外観特徴により学習を行い、4 つの特徴と 4 つの識別方法を用いて組み合わせの比較を行っている。最も高い認識率の組み合わせは Local receptive filed と SVM の組み合わせであったが、Haar-like 特徴とカスケード型 AdaBoost の組み合わせも計算コストが低いが高精度であるという結果が得られている。さらに、Monterio ら [7] はカスケード型 AdaBoost でデータベースを学習し、Haar-like 特徴とカスケード型 AdaBoost の組み合わせにより、移動カメラによって撮影された画像から歩行者認識を行った。これにより、リアルタイムでの処理の有効性を考慮すると、Haar-like 特徴とカスケード型 AdaBoost の組み合わせは有効であると述べている。

本稿では、横断歩道付近での歩行者事故が多いことに着目し、単眼車載カメラにより得られる画像から歩

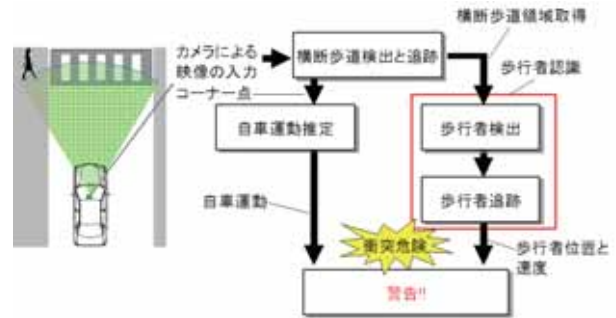


図 1: 提案手法の処理の流れ

行者を認識する手法について述べる。計算時間を削減するため、適切な関心領域 (Region of Interest, 以下 ROI) を設定することは重要である。本研究で開発しているシステムでは、横断歩道領域付近に ROI を設定し、HOG 及び Haar-like 特徴を組み合わせる歩行者検出を行い、さらに、オプティカルフロー推定による歩行者の追跡を行う。

2. システムの概要

本件級で開発しているシステムの概要を図 1 に示す。まず単眼カメラから得られる入力画像を基に横断歩道検出と追跡を行い、横断歩道上の特徴点の動きから自転車運動の推定を行う。次に、横断歩道領域付近に ROI を設定し、歩行者検出と追跡を行う。得られた歩行者の位置と速度より歩行者と車両が衝突危険があるかどうか衝突予測を行う。横断歩道領域を利用した歩行者認識については 3 節で歩行者検出と追跡については 4 節で述べる。

3. 横断歩道領域を利用した歩行者認識

歩行者検出アルゴリズムは一般に計算量が多いため、リアルタイム処理を考えると画面全体に対して処理を行うのは難しい。そこで本手法では、図 2 のように探索領域を横断歩道付近のみに限定することで、歩行者検出のための計算時間の短縮だけでなく、誤検出の削減を狙う。追跡においても、探索領域を限定することにより、横断歩道上以外の無駄な処理やノイズの影響を受けず、毎フレームかかる処理時間を短縮できる。

4. 歩行者検出と追跡

図 3 に歩行者検出と追跡処理の流れをまとめる。

4.1. 歩行者検出

横断歩道上の歩行者や横断歩道付近の衝突危険が予測される歩行者を検出するために、複数特徴量として

[†]東京農工大学工学府，東京都小金井市中町 2-24-16
Tokyo University of Agri. and Tech. 2-24-16 Naka-cho,
Koganei-shi, Tokyo 184-8588 Japan



図 2: 横断歩道上領域を ROI 指定

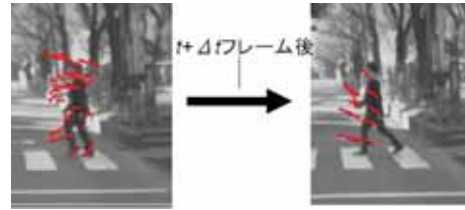


図 4: 特徴点を更新をしない追跡失敗例

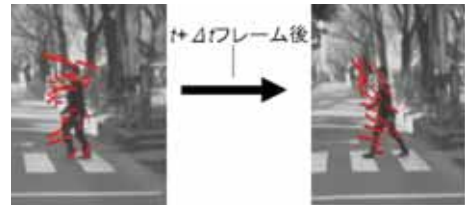


図 5: 特徴点を更新した追跡例

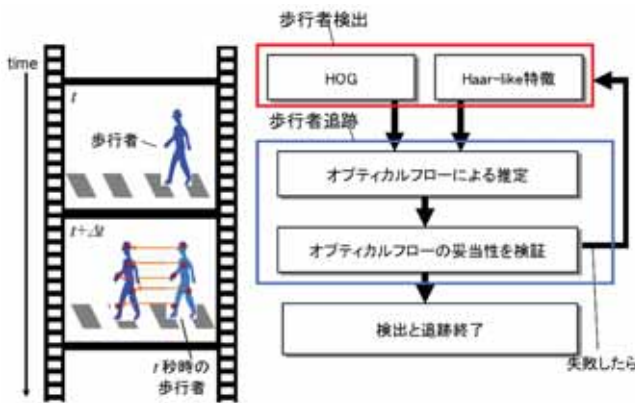


図 3: 歩行者検出と追跡処理の流れ

歩行者検出の既存手法である HOG[9][10] と Haar-like 特徴 [11] を用いる。それぞれの特徴量には短所と長所があり、誤検出や未検出してしまふ対象が異なる。そこで、複数の特徴量を組み合わせることにより、未検出や誤検出を減らすことを狙う。

4.2. 歩行者追跡

歩行者が検出されたら、次のフレームからは歩行者を追跡する。歩行者検出により得られた歩行者の領域をもとに、その領域内の特徴点を求め、時系列間でオプティカルフローの推定を行い、追跡を行う。オプティカルフロー推定には従来から様々な手法が提案されているが、本手法では、画像ピラミッドにより階層的に Lucas-Kanade 法を用いる [12]。

このとき、追跡精度を向上させるために、特徴点の更新は 2 フレーム毎に行う。これは、図 4 のように追跡開始 t フレーム後ではうまく追跡が行っているが、フレームを追うごとに徐々に特徴点が減少し、追跡が失敗することがあるためである。特徴点の更新を 2 フレーム毎に行うことで図 5 のように特徴点の減少を防ぐことができる。

また、図 6 のような明らかに誤ったオプティカルフ

ローを削除するために、あらかじめ歩行者の移動距離や速度を仮定して、オプティカルフローのノルムの上限を設定し、大きすぎるものを排除する。

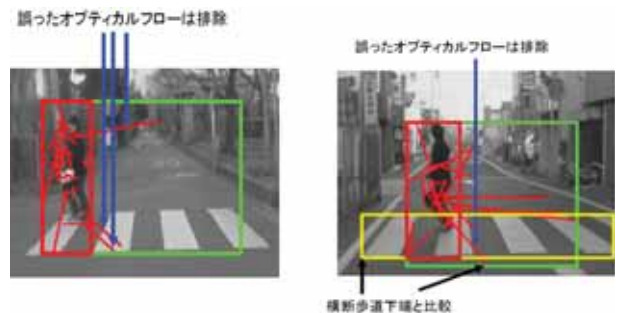


図 6: 誤ったオプティカルフローの排除

さらに、図 7 のように歩行者領域が急に小さくなることはないことに基づき誤追跡を判定する。歩行者領域が一定以上小さくなら誤追跡と判定し、再度検出に戻る。

5. 評価実験

HOG と Haar-like 特徴による複数特徴に基づく歩行者検出とオプティカルフロー推定による歩行者追跡のそれぞれの評価を行った。歩行者検出には、横断歩道上またはその付近に歩行者が存在する場合と歩行者が存在しない場合での特徴量の検出評価も行った。

5.1. 評価方法

市街地を走行して得た動画像を用いたシステムのシミュレーションを行い、歩行者の検出と追跡が成功したかどうかを目視で確認する。なお、横断歩道は [13] の手法によりあらかじめ検出されているものとする。歩行者が横断歩道上またはその付近に存在し衝突危険が予想されるフレームを検出開始フレーム、実験車両が横

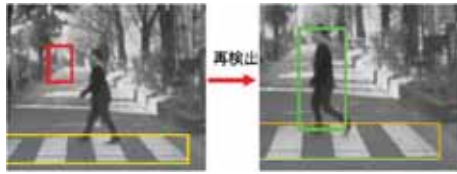


図 7: 誤追跡から再検出

断歩道を通り横断歩道検出ができなくなるフレームを最終フレームとする。全てのフレームについて、歩行者の検出と追跡をしているかどうかを評価する。

$$\text{検出成功率 (\%)} = 100 \times \frac{\text{正しい検出フレーム数}}{\text{全体のフレーム数}} \quad (1)$$

$$\text{追跡成功率 (\%)} = 100 \times \frac{\text{正しい追跡フレーム数}}{\text{追跡全体のフレーム数}} \quad (2)$$

$$\text{誤検出率 (\%)} = 100 \times \frac{\text{誤検出フレーム数}}{\text{全体のフレーム数}} \quad (3)$$

$$\text{未検出率 (\%)} = 100 \times \frac{\text{未検出フレーム数}}{\text{全体のフレーム数}} \quad (4)$$

$$\text{誤追跡率 (\%)} = 100 \times \frac{\text{誤追跡フレーム数}}{\text{追跡全体のフレーム数}} \quad (5)$$

5.2. 結果

図 8 と、図 9、図 10 に結果を示す。

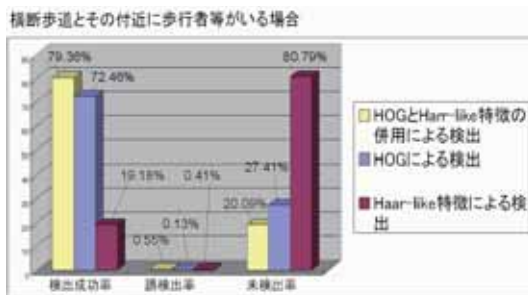


図 8: 歩行者検出結果

既存手法である HOG 特徴量と Haar-like 特徴を用いたが、複数の特徴量を用いることにより、単一の特徴量に比べて歩行者の検出成功率は向上した。しかし、HOG の誤検出には図 11 のような場合、Haar-like 特徴の誤検出は図 12 のような場合があった。

また、横断歩道上とその付近に歩行者がいない場合での検出評価を行ったところ、背景が複雑なデータでは誤検出があった。図 13 には誤検出があったデータ例を示す。

歩行者追跡については、図 14 のように、横断歩道上の歩行者追跡を始めて数フレーム後に、歩行者の背後

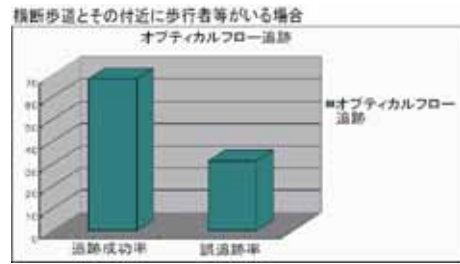


図 9: 歩行者追跡結果

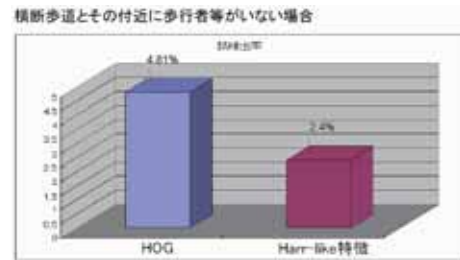


図 10: 誤検出結果

から自転車が出てくるような場合、横断歩道上の歩行者の追跡に失敗した。

6. まとめ

本稿では、車載単眼カメラによる予防安全システムを実現するための歩行者検出手法について述べた。横断歩道付近での歩行者事故が多いことに着目し、横断歩道とその付近に歩行者検出のための ROI を設定し、計算時間の短縮を行った。また、HOG 特徴量と Haar-like 特徴の複数特徴を用いて歩行者の検出を行い、さらにオプティカルフローにより追跡を行った。

歩行者検出では、どちらかの特徴量では検出できないものをもう一方の特徴量によって検出が可能である場合があり、全体の未検出を減少させることができた。歩行者追跡では、特徴点の更新とオプティカルフローの移動量の制限による誤ったオプティカルフローの排除により、追跡率が向上した。

今後の課題として、未検出・誤検出を削減するためのさらなる特徴量の追加や、オプティカルフローによる誤追跡の改善が挙げられる。

参考文献

- [1] 警察庁: "平成 23 年中の交通事故死者数について". <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Pdfdl.do?sinfid=000012680558>
- [2] 富士重工業: "先進運転支援システム～アイサイト～". <http://www.subaru.jp/news/2010/eyesight/>
- [3] 東芝: "車載向けカメラからの歩行者検出技術", ヒューマンインタフェース技術紹介パンフレット (2010).

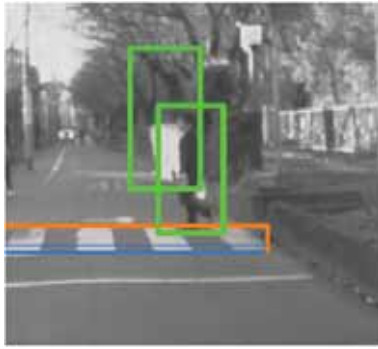


図 11: HOG による誤検出結果



図 12: Haar-like 特徴による誤検出結果



図 13: 誤検出結果

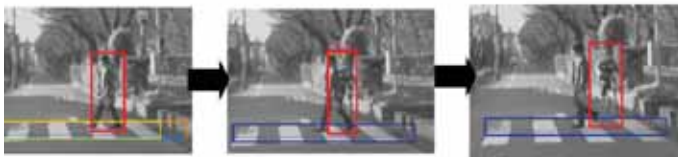


図 14: 追跡の失敗例

- [4] 富士通: "対称性による路上歩行者候補領域検出", 富士通テン技報 (2008).
- [5] Viola, P., Jones, M., Snow, D.: "Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance." Proc. ICCV (2003)
- [6] S.Munder,and D.M Gavrila: "An Experi-

mental Study on Pedestrian Classification", IEEE Trans.on Pattern Analysis and Machine Intelligence,vol.28,pp.1863-1863 (2006)

- [7] G. Monteiro, P. Peixoto, and U. Nunes : "Vision-based pedestrian detection using Haar-like features", Proc. Robotica- Festival nacional de robotica,Guimaraes (2006)
- [8] C. G. Keller, M. Enzweiler and D. M. Gavrila: "A New Benchmark for Stereo-Based Pedestrian Detection". Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Baden-Baden, Germany, pp.691-696 (2011)
- [9] 藤吉 弘巨: "HOG 特徴量と Boosting を用いた人検出". http://www.vision.cs.chubu.ac.jp/joint_hog/pdf/HOG+Boosting_LN.pdf
- [10] N. Dalal, B. Triggs: "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection", Proc. IEEE CVPR, pp. 886-893 (2005).
- [11] P.Viola,and M.Jones: "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features." Proc. IEEE CVPR (2001)
- [12] B. D. Lucas and T. Kanade: "An Iterative image registration technique with an application to stereo vision", Proc. DARPA Image Understanding Workshop, pp. 121-130 (1981)
- [13] 室井宏友, 清水郁子, 瀧本勇太, ポンサートン・ラクシンチャランサク, 永井正夫, ミハエル・ダームス, ロルフ・アドマツト, "歩行者衝突回避システムのための横断歩道認識手法", 自動車技術会論文集, Vol.41, No.5, pp.1023-1029 (2010)