

高感度・高階調車載カメラ映像を用いた夜間歩行者検出のための予備検討

○ 川西 康友†, 出口 大輔‡, 井手 一郎†, 村瀬 洋†, 藤吉 弘亘*

○ Yasutomo KAWANISHI †, Daisuke DEGUCHI ‡,
Ichiro IDE †, Hiroshi MURASE †, and Hironobu FUJIYOSHI*

†: 名古屋大学 情報科学研究科, {kawanishi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp

‡: 名古屋大学 情報連携統括本部, ddeguchi@nagoya-u.jp

*: 中部大学 工学部 hf@cs.chubu.ac.jp

<要約> 自動運転や運転支援のために、車載カメラ映像からの歩行者検出技術の研究が盛んにおこなわれている。特に夜間は道路が暗いため、歩行者の検出が非常に困難である。本研究では、高感度・高階調カメラで観測した夜間の車載カメラ映像に対し、通常のカメラ向けに開発された歩行者検出法を適用するために、前処理としての輝度変換が有効であるかを検討した結果について報告する。

<キーワード> 歩行者検出, 夜間, 高感度・高階調車載カメラ映像, 輝度変換

1. はじめに

交通事故のリスクを削減するための高度道路交通システム (ITS) に関する技術として、自動運転や高度運転支援に関する研究が盛んになりつつある。交通事故の中でも、歩行者と車両との接触による事故は歩行者の人命に関わるため、最も避けなければならない事故のひとつである。

夜間の運転時は、ドライバーは街灯直下など明るい場所にいる歩行者の存在に気付くことは比較的容易であるが、暗い場所にいる歩行者は見落としやすく、事故になる危険性が高い。そのため、特に夜間の運転時において、歩行者の安全性を守ることは重要な課題である。

近年、歩行者等の障害物との接触事故を防ぐことを目的として自動車にカメラを搭載し、カメラの観測画像中に含まれる人物などを検出する技術の研究開発が盛んである [1]。

しかし、これら車載カメラによる歩行者検出の研究の多くは、昼間の映像を対象としており、夜間走行時を対象とした研究は少ない。

夜間の車載カメラ映像中には、街灯直下のように明るい場所と、街灯やヘッドライトの光の当たっていない暗い場所が存在するため、通常のカメラで幅広い明るさのシーンを観測すると、観測画

像中の暗い部分が黒つぶれしたり、明るい部分が白飛びしたりする。こうした幅広い明るさを持つシーンを観測するために、高感度・高階調カメラが注目されている。高感度のため暗い部分も観測が可能であり、かつ高階調のため通常のカメラであれば黒くつぶれてしまう対象であっても微小な輝度値の差を表現することが可能である。

本研究では、高感度・高階調カメラを用いて、暗い場所にいる歩行者の検出を目指す。歩行者検出器を学習するためには大量の学習データが必要であるが、新たに高感度・高階調カメラで大量の学習データを収集することは困難であるため、既存の歩行者検出器を用いる。そのためには、高感度・高階調カメラで観測される高階調画像を既存の階調の画像へと変換する必要がある。本報告では、高階調画像を既存の階調の画像へと変換する際の輝度変換方法が歩行者検出結果に与える影響を評価し、報告する。

2. 歩行者検出の関連研究

歩行者等の障害物検出を目的として、市販車にも様々なセンサが搭載されるようになってきている。特にカメラは比較的安価に広範囲を観測できるため注目されており、ミリ波レーダやレーザーレーダと組み合わせた Toyota Safety Sense,

ステレオカメラを用いた EyeSight, 単眼のカメラのみを用いた Mobileye などが商品化されている。

カメラの観測画像中の歩行者検出は非常に活発に研究されている研究テーマであり, これまでに主として明るい昼間の映像を対象として多くの手法が提案されている [1].

一般に歩行者検出は, 画像に対して様々な大きさの探索窓を用いて画像中を探索し, 探索窓で区切った各領域に対して人か否かの判定をすることで, 画像から歩行者を検出する。

広く用いられている手法のひとつに, Histograms of Oriented Gradients (HOG)特徴を用いて, Support Vector Machine (SVM)により人か否かの判定をする Dalal らの手法 [2] が挙げられる。HOG 特徴は, エッジに注目した特徴量であり, 歩行者の概形を捉えることができる。

HOG 特徴は歩行者の大きな姿勢変化に対して弱いため, Felzenszwalb ら [3] により, Deformable Part Models (DPM)が提案されている。Deformable Part Models は, 対象を幾つかの局所的なパーツの組み合わせで表現することにより, 大きな姿勢変化への対処をしている。

近年では, Channel Features と呼ばれる手法が注目されており, Integral Channel Features (ICF) [4], Aggregate Channel Features (ACF) [5], Locally Decorrelated Channel Features (LDCF) [6] などの手法が提案されている。これらの手法は, 画像に対し, 画素値及び, 様々なフィルタを畳み込んだ画像を合わせて複数の Channel とし, AdaBoost によって各 Channel から検出に適した特徴を選択することで, 高速かつ精度の高い検出を可能としている。

一方, 夜間の歩行者検出に関する研究としては, 可視光カメラではなく, 主に赤外線カメラを用いる手法が提案されている。

Suard ら [7] は, 初期的な検討として, 赤外線画像に対し, HOG 特徴量を用いた歩行者検出を試みている。Zhang ら [8] は, 特徴量として Edgelets 特徴と HOG 特徴を, 識別器として AdaBoost と SVM を組み合わせ, 検出性能の評価を行っている。Olmeda ら [9] は, 遠赤外線画像に特化した特徴である Histograms of Oriented Phase Energy (HOPE) 特徴を提案し, 精度の良い歩行者検出を実現している。

赤外線カメラを用いることにより, 可視光カメ

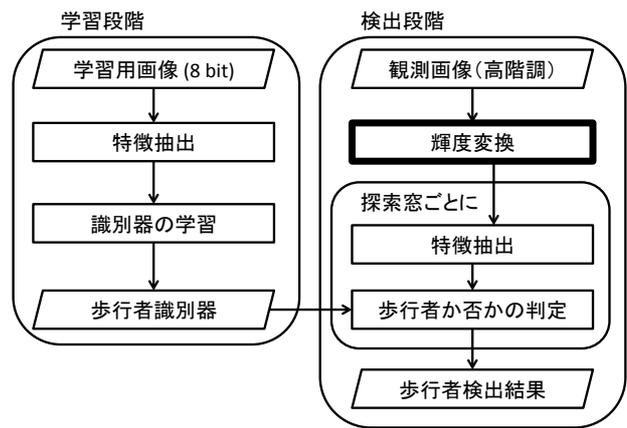


図1 歩行者検出の前処理としての輝度変換

ラでは撮影できないような暗いシーンであっても画像を得ることができる。しかし, 昼間は太陽光の影響があるため, 昼間は可視光カメラ, 夜間は赤外線カメラと切り替えて使用される。そのため, システム構成が複雑になる。

3. 高感度・高階調カメラによる歩行者検出

3.1 概要

従来の赤外線センサを用いた歩行者検出に対し, 本研究では, 高感度・高階調カメラを用いることにより, 1 台のカメラのみで昼夜に対応した歩行者検出の実現を目的とする。特に夜間において, 高感度・高階調カメラによって撮影される高階調画像からの歩行者検出を対象とする。

高階調カメラは既存の 8 bit 画像よりも階調数の大きな画像を出力する。既存の歩行者検出手法は, 通常のカメラによって撮影された 8 bit 画像を想定して設計されており, 一般に公開されている既存の歩行者検出器は 8 bit 画像を用いて学習されている。(以下では, カラー画像の各チャンネルが 8 bit で表現されている, 1 画素につき 8 bit \times 3 channels = 24 bit の値を持つ画像のことを, 8 bit 画像と呼ぶ。) そのため, 既存の歩行者検出器をそのまま高階調画像に適用することはできない。そこで, 既存の歩行者検出器を高階調カメラによる歩行者検出に用いるためには, 高階調カメラによって観測される高階調画像を 8 bit 画像へと変換する必要がある。

一方, 高感度・高階調カメラは, 撮影対象のシーンが非常に暗い場所と非常に明るい場所を含む場合であっても, 対象を撮影することが可能である。しかし, 撮影対象が幅広い明るさを含むシーンの場合, 高階調画像を単純に 8 bit 画



(i) α が大きい場合 (ii) α が小さい場合
図 2 定数値を変えた時の輝度変換 (暗所)



(i) α が大きい場合 (ii) α が小さい場合
図 3 定数値を変えた時の輝度変換 (明所)

像へと変換するだけでは、通常のカメラで観測するのと同様、暗い場所の情報を失ってしまい、暗い場所にいる歩行者を検出できない。そのため、高階調画像をどのように 8 bit 画像へと変換するかが重要である。本研究では、この変換のことを輝度変換と呼ぶ。

3.2 高感度・高階調カメラ画像の輝度変換

歩行者検出の前処理として輝度変換を行い、画像の明るさを補正したうえで高階調画像を 8 bit 画像化し、歩行者検出を適用する (図 1)。

本研究では、輝度変換法として、線形変換及び、ガンマ補正を用いる方法 (以下、ガンマ補正) を採用し、それらの効果を比較する。

3.2.1 線形変換

線形変換は、高階調の入力画像に対して、式(1)を用いて画像中の歩行者が十分視認できる程度に画素値を定数倍した後、8bit カラー画像へと階調変換をする。

$$y = \alpha x \quad (1)$$

ただし、 x は入力値、 y は出力値、 α は定数である。このとき、 α が小さいと、明るい場所の情報は保たれるが、暗い場所の画素値は黒つぶれする (図 2)。一方、 α が大きいと、暗い場所の分解能は保たれるが明るい場所は白飛びする (図 3)。そのため適切な定数値を選択する必要があるが、幅広い明るさを持つシーンに対しては、適切な値を選択することは困難である。



(i) 暗所 (ii) 明所
図 4 ガンマ補正による輝度変換

3.2.2 ガンマ補正

ガンマ補正は、パラメータ γ の値が 1 以上の場合、明るい場所は輝度差を小さく、暗い場所は輝度差が大きくなるような変換である。

画像の輝度値を 0 から 1 の間に正規化し、各画素の値を $1/\gamma$ 乗する。

$$y = x^{1/\gamma} \quad (2)$$

この時、画像中で飛び抜けて明るい画素や、暗い画素が存在すると正規化がうまく出来ないため、高階調画像の輝度のヒストグラムを作成し、上位と下位 3% ずつの領域を切り捨てたうえで正規化を行う。ガンマ補正をかけた後に 8bit カラー画像へと変換をする。

ガンマ補正を用いることにより、明るい部分での白飛びを抑えつつ、暗い部分の黒つぶれを改善することが出来る (図 4)。

3.3 歩行者検出

輝度変換を行い、8 bit 画像化することにより、既存の 8 bit 画像で学習を行った歩行者検出器を適用できる。まず、8 bit 画像化した画像に対し、探索窓によって領域を切り出し、特徴抽出を行う。抽出した特徴量を元に、事前に学習した識別器を用いて歩行者か否かの判定を行い、歩行者と判定した場合はその探索窓を歩行者検出結果として出力する。

4. 実験

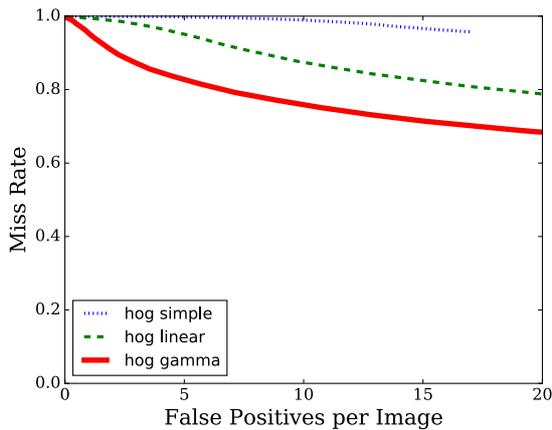
4.1 目的

夜間の歩行者検出における前処理としての輝度変換の有効性を評価するための実験を行った。

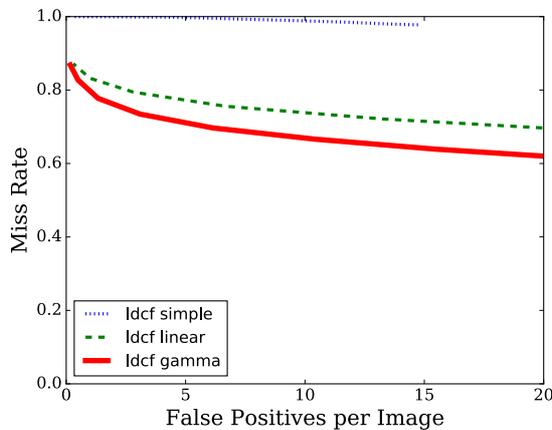
4.2 データセット

評価をするにあたって、夜間に歩道を歩いている歩行者を高感度・高階調カメラで撮影したデータセットを作成した。撮影には、ViewPLUS 社製高感度・高階調カメラ Xviii 18G-01 を用いた。

このデータセットは 15 本の映像系列からなり、各系列は 500~1500 枚の画像で構成されている。



(i) HOG 特徴による検出結果



(ii) LDCF による検出結果

図 5 歩行者検出結果の精度

系列ごとに、異なる歩行者が、異なる歩行に向かって歩いている様子が撮影されている。また、歩行者に対して車のヘッドライトの光が当たっている場合 (図 3)、当たっていない場合 (図 2) を含む。

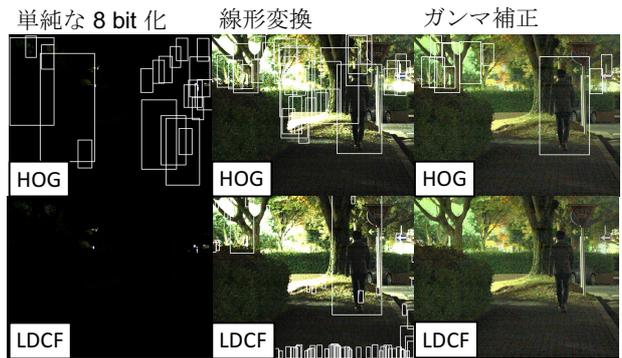
なお、各系列に写っている歩行者全てに手動で正解の検出枠を与えた。

4.3 方法

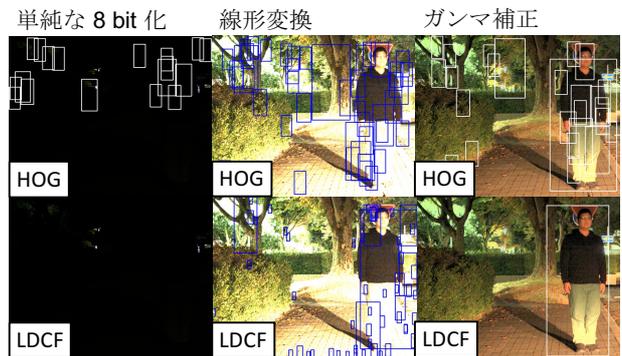
輝度変換法の比較として、単純に 8 bit 化した画像および、線形変換またはガンマ補正を適用した画像を用意した。ただし、パラメータはそれぞれ、 $\alpha = 500$, $\gamma = 2.2$ とした。

歩行者検出手法としては、広く利用されている HOG 特徴量による手法 [2] と、近年高い検出精度が出ることで注目されている LDCF による手法 [7] を用いた。

歩行者検出器は、HOG 特徴を利用するものについては Daimler Mono Pedestrian Detection



(i) ヘッドライトが当たっていないシーン



(ii) ヘッドライトが当たっているシーン

図 6 歩行者検出の適用結果例

Benchmark Dataset [10] を、LDCF を利用するものについては Caltech Pedestrian Detection Benchmark [11] の学習用画像を用いて学習を行ったものを用いた。これらはともに通常の 8 bit 画像で学習されている。

4.4 結果と考察

各歩行者検出法において、3種類の輝度変換を適用した画像に対する歩行者検出結果を図 5 に示す。図 5 は、画像 1 枚あたりの誤検出数 (False Positives per Frame) に対する、検出漏れの割合 (Miss Rate) をプロットしたものであり、曲線が図の下方を通る手法ほど精度が高いことを表す。曲線は、上から順に、単純に 8 bit 化したもの (simple), 線形変換をしたもの (linear), ガンマ補正をしたもの (gamma) を表す。

極端に暗いシーンを撮影した今回のデータセットにおいて、単純に 8 bit 化しただけでは黒つぶれによって、両手法でほとんど歩行者検出が出来なかったのに対し、線形変換やガンマ補正を適用することにより、HOG 特徴や LDCF は歩行者検出性能が向上することが確認できた。一般的に

ガンマ補正は画像を人が見やすくするために使われるが、歩行者検出においても有効であることが確認できる。しかし検出精度は、他の文献 [11] で報告されている昼間での検出精度より、大きく低下していることがわかる。これは、画像中のノイズの影響による誤検出の増加と、8 bit 画像と高階調画像の性質の違いによる検出漏れの増加が原因であると考えられる。

歩行者を観測した画像に対し、線形変換及びガンマ補正を適用した画像を入力として歩行者検出を行った結果の例を図6に示す。図6では、誤検出が多いように見えるが、実際は閾値処理で誤検出は削ることができる。結果を見たところ、LDCFではHOGに比べて大きく誤検出を削ることができていることがわかる。

5. おわりに

本研究では、夜間における車載カメラ映像からの歩行者検出について、前処理としての輝度変換が歩行者検出精度に影響を与えるかの評価を行った。

今回撮影したデータは極端に暗いシーンだったこともあり、非常にノイズの多いものだったため、検出精度が低かった。そこで今後の課題として、ノイズの影響の少ない輝度変換法及び、ノイズに頑健な歩行者検出器の学習が挙げられる。

また、夜間と昼間とは歩行者の見え方が異なるため、夜間用の歩行者検出器を学習するためのデータ収集が今後必要である。

今回、高階調画像を8bit画像に変換してから歩行者検出を行ったが、高階調画像に対してそのまま歩行者検出を適用できることが望ましい。そのために、任意の階調の画像に対応できる歩行者検出器の構築法についても検討の余地があると考えられる。

謝辞

本研究の一部は国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーションプログラム(名古屋 COI:高齢者が元気になるモビリティ社会)」の支援及び、科学研究費補助金の援助によって行われた。

参考文献

- [1] R. Benenson, M. Omran, J. Hosang, B. Schiel: "Ten Years of Pedestrian Detection, What Have We Learned?" Proc. of CVRSUAD workshop, 7 Sep. 2014.
- [2] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection," Proc. of CVPR, 20-26 Jun. 2005.
- [3] P. Felzenszwalb, D. McAllester, D. Ramanan, "A discriminatively trained, multiscale, deformable part model," Proc. of CVPR, 23-28 Jun. 2008.
- [4] P. Dollár, Z. Tu, P. Perona, and S. Belongie: "Integral Channel Features," Proc. of BMVC, 7-10 Sep. 2009.
- [5] P. Dollár, R. Appel, S. Belongie, and P. Perona, "Fast Feature Pyramids for Object Detection," PAMI, vol.36, no.8, pp. 1532-1545, 2014.
- [6] W. Nam, P. Dollár, and J. H. Han: "Local Decorrelation for Improved Pedestrian Detection," Proc. of NIPS, 8-13 Dec. 2014.
- [7] F. Suard, A. Rakotomamonjy, A. Bensch, A. and A. Broggi: "Pedestrian Detection using Infrared images and Histograms of Oriented Gradients," Proc. of Intelligent Vehicles Symposium, 13-15 Jun. 2006.
- [8] L. Zhang, B. Wu and R. Nevatia: "Pedestrian Detection in Infrared Images based on Local Shape Features," Proc. of CVPR, 17-22 Jun. 2007.
- [9] D. Olmeda, C. Prenebida, U. Nunes, J. M. Armingol and A. de la Escalera: "Pedestrian Detection in Far Infrared Images," ICAE, vol.20, no.4, pp. 347-360, 2013.
- [10] M. Enzweiler, D. M. Gavrila: "Monocular Pedestrian Detection: Survey and Experiments," PAMI, vol.31, no. 12, pp. 2179-2195, 2009.
- [11] P. Dollár, C. Wojek, B. Schiele, P. Perona: "Pedestrian Detection: An Evaluation of the State of the Art," PAMI, vol.34, no.4, pp. 743-761, 2012.