

車両周辺環境の違いに応じた歩行者検出信頼度の推定

久徳 遙矢^{1,a)} 川西 康友¹ 出口 大輔² 井手 一郎¹ 加藤 一樹³ 村瀬 洋¹

概要

車載カメラを用いた歩行者検出結果は、実環境下において依然として改善の余地がある。そこで我々はこれまでに、ある検出器の出力に未検出や誤検出が含まれない可能性を、検出器の出力とは独立に検出器の信頼度として出力するシステムを提案してきた。その中で、カメラから得た各画像の走行環境に応じた未検出と誤検出に関する信頼度について定義した。本稿では、これらを入力画像から直接推定する信頼度推定器を構築し、実走行データを用いて推定精度を評価した。

1. はじめに

近年、自動車の運転者支援技術や自動運転技術の開発が盛んであり、大いに注目されている。それらを構成する要素技術の中でも、車両周辺環境の認識技術は非常に重要である。特に歩行者検出技術は、誤りが人身事故の発生に直結するため、非常に高い精度が求められるものである。このような歩行者検出技術は、古くから監視カメラや車載カメラを対象として非常に盛んに研究されてきている [1], [2]。しかし、高精度な手法が多く確立されてきているものの、実環境下においては依然として検出精度に改善の余地がある。

そのため、運転者支援技術や自動運転技術においては、単に歩行者の有無に関する情報だけでなく、その情報がどの程度信頼できるのかが重要となる。検出器の信頼度が撮影環境の影響で低下すると考えられるシーンの例を図 1 に示す。それぞれ、図 1(a) はレンズフレアによる白飛びのため、図 1(b) は照度差の大きな環境による黒潰れのため、歩行者の判別が困難な例である。これらのような入力を与えられた場合、検出器は正しく歩行者を検出できず、「歩行者は存在しない」と出力する可能性が高い。この情報のみを用いて自動運転車を制御した場合、歩行者の存在を考慮した走行を行なうことができない。しかしこの情報の信頼度を加味し、信頼度の低い「歩行者は存在しない」を出力す



(a) 白飛び

(b) 黒潰れ

図 1: 歩行者の検出が困難な例

ることで、「実際には存在する可能性がある」と判断して安全な速度まで減速する、といった制御が可能となる。また、自動運転などにおける走行経路算出においても、「存在する」という情報の信頼度に応じて歩行者とのマージンを効率よく算出できると考えられる [3], [4]。以上のように、歩行者検出器の出力結果に関する信頼度は、非常に重要な情報である。

そこで我々は、車両周辺環境の違いに応じた歩行者検出器の信頼度定義手法、およびその推定手法について検討してきた [5], [6]。本手法の処理の流れを図 2 に示す。本稿で提案する信頼度付き歩行者検出は、学習段階 (図 2(a)) と推定段階 (図 2(b)) から成る。学習段階では、まず入力画像から歩行者検出器を用いて検出結果を得る。この検出結果と歩行者の正解位置情報を用い、信頼度を算出する。そして、入力画像から直接信頼度を求める信頼度推定器を構築する。推定段階では、通常の歩行者検出の流れとは独立して入力データから直接信頼度を推定し、歩行者検出結果と併せて出力する。

ここで、歩行者検出器による検出結果の誤りとしては、歩行者の見落とし (未検出) と非歩行者の検出 (誤検出) がある。このうち、[6] では未検出に影響すると考えられる画像特徴を用いて信頼度推定器を構築し、実際に未検出に関する信頼度を推定し、評価した。本稿では、新たに誤検出に関する信頼度に影響すると考えられる画像特徴を提案・追加し、実際に推定器を構築して評価した結果を報告する。

以降、2 節で信頼度の定義について、3 節で信頼度推定器の構築手法について述べる。そして 4 節で評価実験および考察について述べ、最後に 5 節で本稿をまとめる。

¹ 名古屋大学大学院情報学研究所

² 名古屋大学情報連携統括本部情報戦略室

³ 株式会社デンソー

a) kyutoku@murase.is.i.nagoya-u.ac.jp

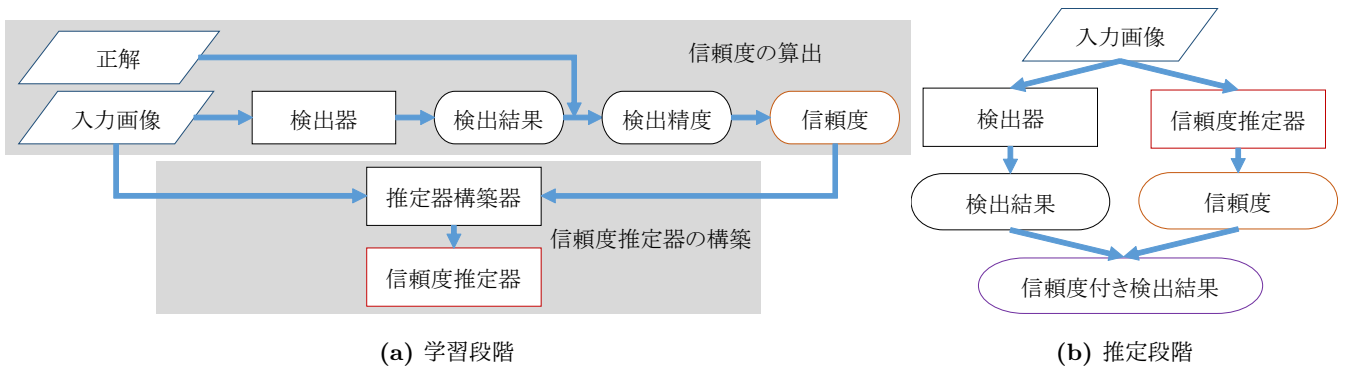


図 2: 信頼度付き歩行者検出の流れ

2. 信頼度の定義

本節では、検出器の車両周辺環境の違いに対する信頼度の定義について述べる。

歩行者検出器による検出結果の誤りとしては、歩行者の見落としと非歩行者の検出がある。そのため、信頼度として未検出に関するもの、および誤検出に関するものの2つが考えられる。そこで我々は、それらを直接表す信頼度として、未検出に関する信頼度を検出率、誤検出に関する信頼度を適合率と定義した [5], [6]。また、それらを間接的に表す信頼度として、未検出や誤検出が生じるしきい値を用いた [5], [6]。本稿ではこれらのうち後者を用いる。

以降、しきい値を用いた信頼度の定義について詳細に述べる。

2.1 未検出に関する信頼度

未検出に関する信頼度として、次式で表される未検出数を最小とする最大の検出しきい値を用いる。

$$T_o = \max\{\arg \min_t N_{FN}(t)\} \quad (1)$$

ここで、 t は $[0, 100]$ の値域をとる検出器の検出しきい値であり、 $N_{FN}(t)$ はそのしきい値における未検出数である。検出しきい値 t を変化させた際の正検出数 $N_{FN}(t)$ の例を図 3(a) に示す。図のように、一般的に検出器は、しきい値が低い（緩い）ほど正検出が多くなり、高い（厳しい）ほど正検出が少なくなる。しきい値が低いほど誤検出も多くなるため、未検出が発生するしきい値は高いほど良いと言える。すなわち、未検出数を最小とする最大の検出しきい値 T_o は高いほどその入力に対する検出器の信頼度が高いと言える。そのため、 T_o は次式のように未検出に関する信頼度 R_o として用いることが出来る。

$$R_o = T_o \quad (2)$$

2.2 誤検出に関する信頼度

誤検出に関する信頼度として、次式で表される誤検出数を最小とする最小のしきい値を利用する。

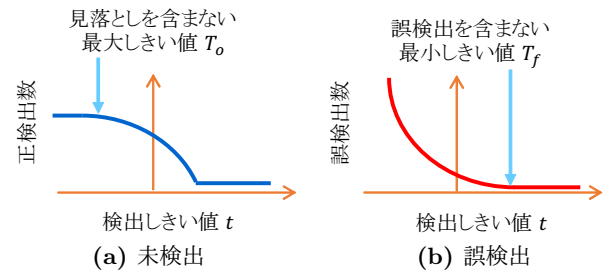


図 3: 信頼度を表す指標

$$T_f = \min\{\arg \min_t N_{FP}(t)\} \quad (3)$$

ここで、 t は $[0, 100]$ の値域をとる検出器の検出しきい値であり、 $N_{FP}(t)$ はそのしきい値における誤検出数である。検出しきい値 t を変化させた際の誤検出数 $N_{FP}(t)$ の例を図 3(b) に示す。2.1 節で述べたように、検出器はしきい値が高い（厳しい）ほど誤検出が少なくなり、低い（緩い）ほど誤検出が多くなる。しきい値が高いほど未検出も多くなるため、誤検出が発生するしきい値は低いほど良いと言える。すなわち、誤検出数を最小とする最小の検出しきい値 T_f は低いほどその入力に対する検出器の信頼度が高いと言える。そのため、次式のように T_f の大きさを反転させた値は誤検出に関する信頼度 R_f として用いることが出来る。

$$R_f = 100 - T_f \quad (4)$$

3. 信頼度推定器の構築

歩行者の未検出や誤検出は、車両周辺の構造や光源、不適切なカメラパラメータなど、様々な要因により発生する。例えば図 1 のように白飛びや黒潰れが発生した場合、検出率が大きく低下すると予想される。このような状況を表現するため、画像全体の輝度特徴を用いる。また、画像中のエッジの出現情報は、前述の見落としに影響する白飛びや黒潰れによる情報損失に加え、誤検出に影響する画像の複雑度を表現できると考えられる。そこで、画像全体の輝度特徴に加え、画像中のエッジ情報を大まかに表現する特徴を用いる。これらの特徴を用い、MLP(Multilayer perceptron) によって推定器を構築する。以降、それぞれの特徴について詳細を述べる。



図 4: 実験車両

画像全体の輝度特徴

画像の輝度の平均，中央値，分散，最小値，最大値，Michelson コントラスト，飽和画素の割合を用いる [6].

画像中のエッジ情報

入力画像の各画素における輝度値の微分値の絶対値を算出し，ブロック毎に算出したヒストグラムを連結したベクトルを用いる．微分値は水平方向および垂直方向の Sobel フィルタを用いて算出し，それぞれに対し上述の処理によって 2 つの特徴ベクトルを算出する．さらに，強いエッジ画素における勾配方向の，ブロック毎に算出したヒストグラムを連結したベクトルを用いる．なお，強いエッジ画素は Canny エッジ検出器を用いて算出する．

4. 評価実験

本節では，3 節で述べた信頼度推定器構築手法を評価した実験について述べる．

4.1 実験条件

評価用データセットとして，車載カメラを図 4 の位置に設置した車両を用い，日中の市街地を走行し，逆光や濃い影を含む 15 本の系列を取得した．使用したカメラは Point Grey Research 社の Grasshopper3 GS3-U3-28S4C-C であり，使用したレンズはスペース社の VP-JHF8M-3MP である．取得したフレームの解像度は $1,920 \times 1,440$ 画素であり，ゲイン等の撮影パラメータは標準ドライバによる自動調整とした．取得した系列中の 41×100 画素以上の歩行者を検出対象とし，人手でアノテーションを与えた．また，同一シーンにおける白飛びや黒潰れを擬似的に表現するため，取得した系列それぞれに対し，輝度の上限あるいは下限のある割合まで線形に引き伸ばして飽和させた系列を，変化量 $-180\% \sim +100\%$ まで用意した．さらに，この現象は検出時に前処理によってある程度正規化可能であると考えられるため，この処理により飽和した画素のみ元画像の画素と置き換えた画像を用意し，これらを学習データに加えた．一例を図 5 に示す．

信頼度算出に用いる評価用の人物検出器には，予め INRIA Person Dataset [7] を用いて学習した Locally Decorrelated Channel Features (LDCF) 検出器 [8] を用いた．これらの系列に対し，歩行者検出器を用いて未検出・誤検出の発生するしきい値 T_o , T_f を算出し，それらを元にした信頼度 R_o , R_f を真値として，信頼度推定器の学習および評価を行

なった．評価の際には，ある 1 系列を評価用，残りの 14 系列を学習用として用いる leave-one out で行なった．また，図 5 のように輝度変化を加えた画像は学習にのみ用い，評価は元の画像のみで行なった．なお， R_o は歩行者が存在するフレームからのみ， R_f は最も緩いしきい値において誤検出が発生するフレームからのみ算出可能である．そのため，未検出に関する信頼度の学習・評価は歩行者が存在するフレームのみ，誤検出に関する信頼度の学習・評価は誤検出が発生し得るフレームのみを用いて行なった．

4.2 実験結果と考察

実験の結果，ある系列に対し，未検出に関する信頼度を平均誤差 14.8，標準偏差 17.3 で推定できた．また同様の系列に対し，誤検出に関する信頼度を平均誤差 16.9，標準偏差 13.9 で推定できた．この系列における誤検出に関する信頼度 R_f のフレーム毎の推定結果を図 6 に示す．図から，実験車両の進行による周辺環境の変化に伴う信頼度の変動を大まかに推定できたことがわかる．

さらに，誤検出に関する信頼度 R_f の真値および推定値がともに高かった例として図 6 中の点線円で示すフレームを図 7 に，同様に低かった例として実線円で示すフレームを図 8 に示す．なお，図中の枠は検出しきい値 $t = 0$ のときの検出結果，すなわち全検出候補である．図 7 は開けた交差点であり，誤検出しやすい構造物が少なかったため，信頼度が高くなったと考えられる．一方図 8 は標識やポールなど，歩行者と類似した構造物が多いため，信頼度が低くなったと考えられる．

5. むすび

本稿では，歩行者検出器の車両周辺環境に応じた信頼度の定義，およびその推定器の構築手法について述べた．正検出に関する信頼度，すなわち未検出の有無に関する信頼度について未検出が発生するしきい値を，誤検出に関する信頼度，すなわち誤検出の有無に関する信頼度について誤検出が発生するしきい値を用いた．これらを推定する信頼度推定器を，画像の輝度特徴とエッジ特徴を用いて構築した．実験により未検出および誤検出に関する信頼度それぞれに対し信頼度推定器を構築し，評価した．実験の結果，未検出に関する信頼度を平均誤差 14.8，標準偏差 17.3 で，誤検出に関する信頼度を平均誤差 16.9，標準偏差 13.9 で推定できた．今後の課題として，より高精度に信頼度を推定可能な特徴量の検討が挙げられる．

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: 人がつながる“移動”イノベーション拠点)」の支援および，科学研究費補助金の援助によって行われた．

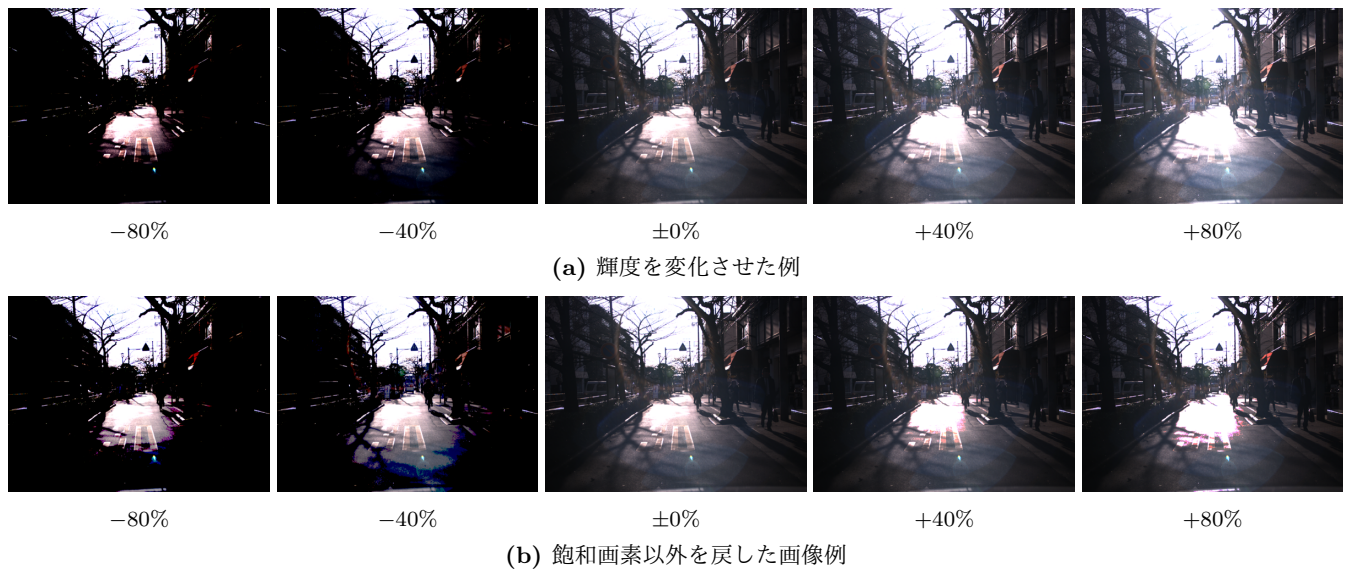


図 5: 実験データの例

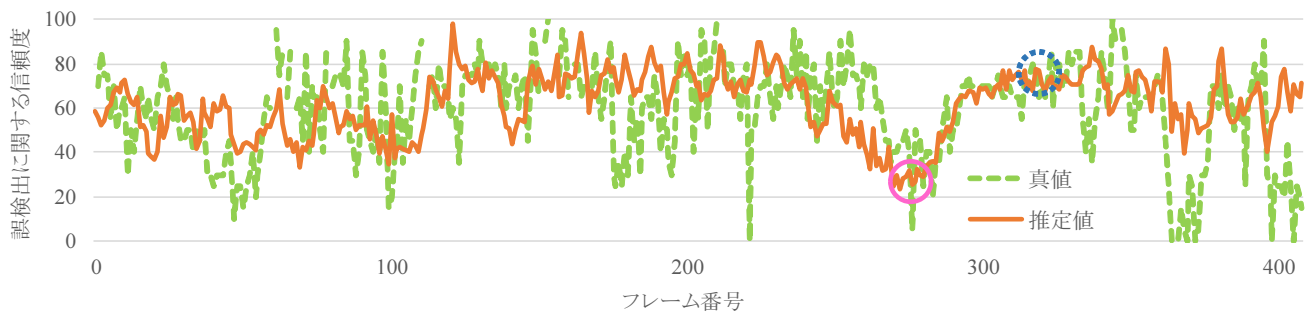


図 6: ある系列における誤検出に関する信頼度 R_f の推定結果



図 7: 誤検出に関する信頼度 R_f が高い例



図 8: 誤検出に関する信頼度 R_f が低い例

参考文献

- [1] 福井 宏, 山下隆義, 山内悠嗣, 藤吉弘巨, “[サーベイ論文] deep learning を用いた歩行者検出の研究動向,” 電子情報通信学会技術研究報告, pp.37-46, PRMU2016-121, Dec. 2016.
- [2] 川西康友ほか, “車載センシング技術の開発と adas、自動運転システムへの応用,” 第 6 章, 技術情報協会, 2017.
- [3] 赤木康宏, P. Raksincharoensak, “先読み運転支援を可能にするための逆衝突確率モデルを用いた経路計画手法に関する研究,” 自動車技術会 2016 年秋季大会 学術講演会 講演予稿集, pp.114-119, Oct. 2016.
- [4] 吉原佑器, L.Y. Morales, 赤井直紀, 竹内栄二郎, 二宮芳樹, “先読み運転支援を可能にするための危険評価,” 自動車技術会 2016 年秋季大会 学術講演会 講演予稿集, pp.632-633, Oct. 2016.
- [5] 久徳遙矢, 川西康友, 出口大輔, 井手一郎, 加藤一樹, 村瀬 洋, “車両周辺環境の違いに対する歩行者検出器の信頼度推定に関する初期検討,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 2017 講演予稿集, pp.PS3-62, Aug. 2017.
- [6] 久徳遙矢, 川西康友, 出口大輔, 井手一郎, 加藤一樹, 村瀬 洋, “歩行者検出器の信頼度推定に関する初期検討,” 自動車技術会 2017 年秋季大会 学術講演会 講演予稿集, pp.99-104, Oct. 2017.
- [7] N. Dalal and B. Triggs, “Histograms of oriented gradients for human detection,” Proc. 2005 IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, vol.1, pp.886-893, June 2005.
- [8] W. Nam, P. Dollár, and J.H. Han, “Local decorrelation for improved pedestrian detection,” Proc. Neural Information Processing Systems 2014, pp.424-432, Dec. 2014.