

| | |
|-----------|---|
| 氏名 | 張 興国 |
| 授与学位 | 博士(工学) |
| 学位授与年月日 | 平成 27年 3月 20日 |
| 学位授与の根拠法規 | 学位規則第4条第1項 |
| 研究科専攻 | 秋田県立大学大学院システム科学技術研究科 博士後期課程総合システム科学専攻 |
| 学位論文題目 | Study on High Accuracy Method of Pedestrian Detection for Vehicle Camera Images (車載カメラ画像に対する歩行者検知手法の高精度化に関する研究) |
| 指導教員 | 教授 <u>陳 国躍</u> |
| 論文審査委員 | 主査 教授 <u>陳 国躍</u> 副査 教授 <u>陳 延偉 (立命館大学)</u> 教授 <u>佐藤 宗純</u> 准教授 <u>猿田 和樹</u> |

論文内容要旨

近年の車社会において、人と車の衝突事故が深刻な問題となっている。本研究は、交通事故の予防安全技術の一つとなる運転支援技術として、車載カメラの画像から、画像認識技術を用いて道路上の歩行者を検知する手法について検討し、運転者に注意を喚起することにより、歩行者が巻き込まれる交通事故の低減への貢献を目指すものである。

本論文では、画像認識技術による、Bag-of-Features をベースとして、歩行者検知に有効な Visual Word を選択する手法を提案し、実験的な検討を行っており、全6章で構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と既往の研究、目的および意義について述べている。歩行者検知において、識別器を構築する学習方法は重要であるが、学習させる特徴の記述方法も検知性能に大きく影響する。近年は、局所領域における勾配方向をヒストグラム化した特徴量である Histograms of Oriented Gradients(HOG)、エッジ同士をつなげた短い線、カーブを特徴量として表現する Edgelet Feature などにより、高い検知精度が達成されている。

しかし、これらの勾配情報などに基づいた特徴量を用いた歩行者検知においては、検知ウィンドウ内における対象物の位置ずれ画像に対する、検知精度の低下が問題となる。現在、画像を局所特徴量の集合ととらえ、各局所特徴を最も類似する Visual Word として表現する手法である Bag-of-Features 手法が注目されている。一般には Visual Word が多いほど検知精度は高いとされるが、歩行者を検知対象とした場合、すべての Visual Word が検知に有効であるとは限らない。また、Visual Word を多くすれば必要な計算量やメモリ量は膨大となり、処理コストは非常に大きくなる。そのため歩行者検知に有効な Visual Word 選択方法が必要になることを示した。

第2章では、Bag-of-Features という手法（以下、BoF）による歩行者検知の具体的な処理の流れと問題点について述べている。BoF 手法は画像から抽出される特徴量の位置情報を無視し、その出現頻度で画像を識別する。BoF での処理は学習プロセスと検知プロセスに分けられる。まず、学習プロセスでは、学習用画像を歩行者画像と非歩行者画像を別々に用意する必要がある。はじめに、学習用画像から局所特徴量の抽出を行う。すべての特徴量をまとめて特徴空間内でクラスタリングを行い、各クラスタの重心点を Visual Word 辞書と呼ばれる画像を表すための辞書として登録する。次に、各学習用画像1枚毎に特徴量のベクトル量子化を行い、Visual Word の出現頻度をカウントしたヒストグラムを作成する。そして、Support Vector Machine に作成したヒストグラムを学習サンプルとして入力し、識別器を構築する。検知プロセスでは、同様に評価用画像から抽出された特徴量を用い、学習プロセスで作成した Visual Word 辞書を基にヒストグラムを作成し、学習済みの識別器に入力することにより判定結果を得ることができる。

3章では、Bag-of-Features 手法において、歩行者画像と非歩行者画像の識別に有効な Visual Words を選択する方法を提案する。

提案手法では、ベクトル量子化で作成した Visual Word 出現頻度ヒストグラムを直接 SVM に入力せず、Visual Word 辞書から歩行者画像と非歩行者画像に対して出現頻度の変化が高い Visual Word は分類性能が高いものとして選択し、頻度ヒストグラムの対応次元だけを SVM に入力し、歩行者であるかどうかの判定を行う。

次に、提案手法による歩行者検知精度の評価、および処理時間短縮の効果について評価実験で検討した。可視光画像を対象とした実験により、Visual Word の 40%を選択した場合でも、従来と同等の歩行者検知精度が得られ、認識時間を約 50%短縮できることを明らかにした。さらに、歩行者死亡事故が多発する夜間の近赤外線カメラ画像を対象に、歩行者検知実験を行い、提案手法の同等の有用性も示した。

また、本章では位置ずれの歩行者画像に対する検知効果も検討した。実験結果として、提案手法では従来の BoF 手法と同様に位置ずれ画像に対して頑健であるといえる。一方、位置ずれがない画像に対しては HOG 特徴に比べて検知精度は低下する。しかし高精度な他の BOF や SIFT 特徴の改良手法と提案手法を組み合わせることで検知精度の向上が期待できる。あるいは、特徴点の位置などを考慮して位置ずれ画像かどうかの判別処理を加えれば、HOG 特徴と SIFT 特徴を切り替えて検知する場合などにおいて有用といえる。

第4章では、提案手法により歩行者検知に有効な特徴量の可視化を実現し、特徴点分布の特性を分析した。歩行者の判定に有効な特徴点の可視化は、選択される特徴点の傾向分析や、評価画像に対する未検知や誤検知の要因分析においても有用である。はじめに、提案手法による歩行者画像の判定に寄与する特徴点は F_+ とし、非歩行者の判定に寄与する特徴点は F_- とする。

実験結果から、検知した歩行者画像では F_+ は主に身体の領域にあり、特に、背中、足等人的の身体を含む領域に特徴点が多い、背景の特徴点はほとんど残っていないことがわかる。また、 F_- の数も少ないし、主に身体領域以外の背景部分に分布している。棄却した非歩行者画像では、特徴点の分布も大きく異なり、Visual Word 選択後の特徴点はほとんど F_- であることがわかる。また、未検知の歩行者画像では、 F_+ の分布は主に人の身体の領域であるが、背景が複雑であるため相対的に F_- の数が多くなり、非歩行者として判定されたと推測できる。誤検知の非歩行者画像では、逆に F_+ が多数を占め、歩行者と判定されたと考えられる。

また、分析結果に基づき、歩行者検知実験における未検知と誤検知の要因を検討する。未検知の歩行者画像と誤検知の非歩行者画像における平均特徴点の分布は、それぞれ正しく判定した歩行者画像と非歩行者画像と類似している。しかし、選択された特徴点数に違いがある。以上のように選択した Visual

Word に属する特徴点の分布は、判定結果に影響を及ぼす一つの大きな要因といえる。

次に特徴点数について考察する。検知した歩行者画像に対する、 F_+ の平均特徴点数は 85.9 であり、 F_- の数 39.7 の 2 倍以上である。棄却の非歩行者画像に対する F_+ の平均特徴点数は 67.5 で、 F_+ の 57.4 よりやや多い。また、誤検知の非歩行者画像では、 F_+ の数が多数を占め、検知画像の F_+ と F_- の比率に近い。逆に、未検知の歩行者画像は棄却した非歩行者画像の F_+ と F_- の比率に近づく。このことから、特徴点数も検知精度に影響する要因といえる。

つまり、歩行者画像か非歩行者画像に関わらず、 F_+ が多数に占めた場合は歩行者画像に判定されやすく、 F_+ と F_- の数が同程度、あるいは F_- の数が多い場合、非歩行者画像として判定されやすい傾向があるといえる。

さらに、本章では、近赤外線画像と可視光画像における有効な特徴点の分布の相違も明らかにした。可視光で撮った歩行者画像では、有効な特徴点は主に下半身に位置し、近赤外光の歩行者画像では、有効な特徴点は主に上半身に位置することが明らかにした。

第 5 章では、従来手法の改良として、双閾値 Visual Word 選択手法を提案した。従来手法では、一つ閾値を設定し、歩行者画像と非歩行者画像に有効な Visual Word をまとめて選択している。具体的にいくつ Visual Word が有効であるかが分からない。提案した双閾値 Visual Word 選択手法は二つ閾値を利用し、歩行者画像と非歩行者画像を分けて、別々に対する有効な Visual Word を選択することが可能になる。さらに、歩行者の検知精度を向上するため、分類性能が高い Visual Word を指数分布の重み付けの方法を利用し、選択された Visual Word の値を拡大する。

評価実験による提案した双閾値 Visual Word 選択手法は、従来手法より歩行者画像の検知精度において 4% 以上の向上が実現できた。選択された有効な Visual Word を重み付けることによる、検知精度の向上が可能である

第 6 章においては、研究を通して得られた結果と知見を総括し、さらに今後の展開について述べている。

本論文では、歩行者検知を対象とし、BoF 手法における判定に有効な Visual Word の選択手法を提案する。提案手法は歩行者と非歩行者画像から Visual Word 出現総頻度の差分を求め、絶対値が大きい Visual Word を選択する。選択した Visual Word に属する特徴点を表示することで、歩行者の判定に有効な特徴点を自動的に選択し、可視化することが可能となる。

歩行者の判定に有効な特徴点の可視化は、選択される特徴点の傾向分析や、評価画像に対する未検知や誤検知の要因分析においても有用であり、提案手法の大きな利点である。また、Visual Word の選択は学習・検知プロセスにおける処理時間の短縮にも貢献する。さらに、提案手法は非常にシンプルな手法であり、Visual Word の頻度ヒストグラムを利用できる場合であれば、SIFT 以外の局所的特徴量や BoF の改良手法との組み合わせも可能といえる。

提案手法を用いて、歩行者検知に有効な特徴量の可視化を実現し、特徴点分布の特性を分析した。その結果、歩行者画像では、歩行者画像に有効な特徴点は主に身体の領域に分布し、非歩行者画像に有効な特徴点は身体以外の背景領域に分布することが明らかとなった。また、歩行者の判定に有効な特徴点が多数を占める場合は歩行者画像に判定されやすく、非歩行者の判定に有効な特徴点数が多い場合は、非歩行者画像と判定されやすいことがわかった。さらに、従来の BoF 法と比較して約 40% の Visual Word を選択する場合でも、検知精度に影響を及ぼすことなく、処理時間を大幅に短縮できることを示した。さらに、選択された Visual Word を重み付けて、歩行者画像の検知精度を 4% 以上の向上が実現された。

本論文は新しい特徴選択手法を提案することで画像認識による歩行者検知技術の向上に知見を与えており、将来的な交通事故件数の低減に期待できる。

