



(様式 5)

指導教員 承認印	
-------------	---

2017 年 12 月 1 日
Year Month Day

学位 (博士) 論文要旨
(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph. D. candidate)	工学府博士後期課程 機械システム工学 専攻 (major) 平成 26 年度入学 (Admission year) 学籍番号 14833803 氏名 古性 裕之 (student ID No.) (Name) 
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	毛利 宏
論文題目 (Title)	一般道自動運転のための道路白線検出に関する研究 Research on road white line detection for general road autonomous drive
論文要旨 <p>本論文は一般道自動運転に用いられると考えられる、以下の画像処理の実現に取り組んだものである。</p> <ol style="list-style-type: none">① 多様な日照環境に対応する道路白線エッジ検出② 一般道に見られる多様な形状の道路白線に対応する輪郭線検出③ 上記輪郭線検出の高速化処理 <p>一般道の自動運転を実現するための課題の一つに道路白線検出が挙げられる。従来、高速道のような規格化された道路を対象とする手法が提案され、運転支援システムで成功を取めた。これら商品化された手法は、規格化された道路白線の形状がモデルで近似できることを前提としており、複雑かつ多様な形状を有する一般道に適用できないことが考えられる。本論文はこのような背景のもと、路面のテクスチャや汚れなどのノイズを誤検出することなく、輝度の低い白線輪郭線のエッジを検出する手法、及びノイズを誤検出することなく、多様な形状の白線輪郭線を検出する手法を提案する。これら 2 つの手法はいずれも道路白線の形状モデルを用いず、道路白線が区分的に滑らかな曲線で構成されるという特徴のみを仮定して構成されたものである。</p> <p>1 章では本研究の社会的な位置づけを、自動運転の動向を踏まえて説明する。 2 章ではエッジ検出／輪郭線検出の従来手法を説明する。解決すべき課題を整理して、本論文の目的を明確にする。 3 章では「エッジ検出」「輪郭線の検出」「輪郭線検出の高速化」に分けて基本的な考え</p>	

方、アルゴリズムの詳細を説明する。

「エッジ検出」では、エッジ点を判定する新たな指標を提案する。従来、注目する画素を含めた所定領域の輝度分布から輝度の変化率を加重平均で求め、それと閾値を比較することでエッジ判定がなされた。提案手法では、輝度の低い白線のエッジを含み、かつノイズの誤検出が少なくなるような、エッジの評価指標を再定義した。この評価指標は、高周波成分をカットする非線形の微分演算器に着想を得たものであり、非線形ノイズフィルタを施した輝度勾配の離散値的近似と見做せるものである。この基本的考え方に基づくアルゴリズムを説明し、テスト画像を用いて意図する機能が実現されていることを説明する。

「輪郭線の検出」では、位置及び輝度勾配方向の近接性に基づくエッジのクラスタリング手法を提案する。アルゴリズムは境界線追跡を基本とするものであり、滑らかな輪郭線であれば、形状モデルでは近似することが困難な輪郭線も検出できる。また、手法を構成する、輝度勾配方向の近接性に基づくクラスタリングを、1章で提案したエッジフィルタで構成することにより、輝度値の影響を受けないクラスタリングが実現されることを示す。

「輪郭線検出の高速化」では、エッジのクラスタリングの高速化を実現するアルゴリズムを説明する。エッジの位置及び輝度勾配方向の近接性をクラスタリングの条件に保持し、アルゴリズムの基本骨格を境界線追跡から Hough 変換に修正した。得られた処理は階層化構造を有するコンボリューション処理となり、並列処理による高速化が期待できる。この手法が仮定する輪郭線エッジの特徴量は、Hough 変換に用いられる“投票”処理の課題、及び人間の知覚認知を説明するために引用される Helmholtz の原理に立脚して導出されたものである。そして、この特徴量に工夫を加えることで、直線のみならず、滑らかな曲線も検出することが可能となり、演算時間の高速化も実現されることを示す。

4章では、「エッジ検出」、「輪郭線検出」、「輪郭線検出の高速化」の各手法を車載カメラ画像に適用した結果を示し、それらの目的が達成されていることを説明する。

「エッジ検出」では、滑らかな輪郭線をなすエッジが検出され、それ以外のノイズの誤検出が低く抑えられていることが示される。エッジ判定に用いられた閾値は路面との輝度差の小さい白線を検出するように小さく設定されたものであり、路面との輝度差にかかわらず白線のエッジを検出しつつ、ノイズ誤検出を低減できることが示される。

「輪郭線検出」では滑らかな輪郭線が検出され、それ以外のノイズの誤検出が低く抑えられていることが示される。車載カメラ画像に撮像された道路白線の輪郭線はいずれも検出され、路面汚れのなす輪郭線の誤検出は低く抑えられる。検出された道路白線の輪郭線は形状モデルでは近似することが困難な対象も含まれており、目的が達成されていることが示される。ただし、演算時間が課題であることも併せて説明される。

「輪郭線検出の高速化」では Hough 変換を基本とする新たなアルゴリズムによっても、「輪郭線検出」で示した手法同様、滑らかな輪郭線が検出され、それ以外のノイズが低く抑えられていることが示される。また、演算時間に関しても「輪郭線検出」で示した手法と比較して短縮されることが示される。提案手法はコンボリューション処理の階層化で構成され、並列化処理を導入することにより更に演算時間が短縮されることが説明される。5章では結論を示し、本論文の目的と照らし合わせながら研究の成果をまとめる。

(英訳)

This paper proposes methods to detect white lane marker of general road, especially, the method of edge detection, contour detection and the method to shorten processing time of contour detection.

White lane marker detection is thought to be necessary to autonomous drive. In previous study, many methods are proposed based on model fitting. Those showed good performance but are thought to be not applicable to general road where a lot of shapes of lane boundary exist. This paper's objective is to realize white lane marker detection applicable to any road including general road where the range of edge gradient magnitude is also wide.

In chapter 1, the background of this study is explained from the point of autonomous vehicle development.

In chapter 2, the previous studies such as edge extraction, contour detection are summarized as well as those defects.

In chapter 3, proposed method is explained. At first, edge detection is explained. The basic idea is that the edges on contour of white lane marker are smoothly aligned. Proposed method uses counting of brightness different pixel pairs appeared on the contour around interested pixel. The algorithm is shown to be effective for the edges which brightness gradient is very small. Next, contour detection applicable to all shapes of contour is explained. The principle assumption is that the contour shape is smooth. Obtained algorithm is the combination of edge clustering of position proximity as well as the clustering of brightness gradient direction proximity. It is shown that this algorithm can be realized by using above mentioned edge detection and can detect all smooth contours with keeping low detection rate of noise. Next, the method to shorten calculation time is explained. Above mentioned algorithm of contour detection requires much calculation time. So the method to shorten processing time is also studied. The algorithm is constructed on the hierarchical structure of low computational convolutions and showed the improvement of processing speed. This algorithm is inspired by the analysis of weak point of Hough transform from the view of Helmholtz principle.

In chapter 4, the intended functionality of proposed methods is verified by evaluating the performance on test images taken by car camera in general road.

In chapter 5, the validity for white lane marker detection of general road is summarized.