

称号及び氏名 博士（工学） 山内 仁

学位授与の日付 平成 20 年 1 月 20 日

論文名 「標識パターンの抽出とその認識性能向上に関する研究」

論文審査委員 主査 福永 邦雄

副査 汐崎 陽

副査 黄瀬 浩一

副査 宮本 貴朗

論文要旨

自動車の普及とともに交通事故や渋滞などの道路交通に関連する問題が多発しており、その人的・経済的な損害は今日の社会において看過できないものとなっている。そこで、近年発達の著しい情報技術（Information Technology; IT）を活用し、これらの問題を解決することを目指した高度道路交通システム（Intelligent Transport Systems; ITS）に関する研究が盛んに行われている。ITS は、運転者や歩行者といった人間と道路と車両の 3 者間でネットワークを構成し、情報を相互にやりとりすることで、交通事故、渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に構築されている新しい交通システムである。既に実用化されているシステムとしては、道路交通情報通信システム（Vehicle Information and Communication System; VICS）による周辺道路の交通状況提供とカーナビゲーションシステムとの連携による渋滞回避経路探索機能、路車間通信によるノンストップ自動料金支払いシステム（Electronic Toll Collection System; ETC）やバスの現在位置や各バス停への到着予定時刻をリアルタイムに提供するバスロケーションシステムなどが挙げられる。

ITS の重要な分野の一つに安全運転の支援があり、そのサービスシステムとして走行支援道路システム（Advanced Cruise-Assist Highway Systems; AHS）がある。AHS には、道路交通に関する情報の収集、車両の操作、運転に対する責任の 3 つの段階が存在するが、基本となるものは情報の収集手段をシステムにより担保することにある。この AHS の一つの例として、道路標識などの情報を運転者に通知するシステムがある。これは進行方向前方に向けた車載カメラによって撮影された道路環境画像から道路標識パターンを抽出・認識し、その結果をカーナビゲーションシステムのディスプレイやヘッドアップディスプレイ、音声等により運転者に通知・警告するものであり、このシステムによって、先に述べたような運転者へのサポートが実現する。

道路標識は、道路交通を安全・快適に維持するために、運転者に対して走行中の道路における規制・警戒・案内情報を提供する目的で設置されている。これら道路標識の認知は、主に運転者が自身の視覚によって得られる情報に基づいて判断し、必要に応じて次の行動を起

こすことになる。しかしながら、運転者の認知・判断能力は体調や心理状態等によって必ずしも常時万全というわけではなく、これらに対する認知・判断が不完全な状態に陥る可能性がある。また、道路標識が他の物体により隠されて見えない場合も考えられる。交通事故発生原因の約半数は道路標識や先行車両、歩行者などの認知に関するものであることが分かっており、これらの認知・判断をシステムとして車両側がサポートする機能を実装すれば、このような事態に起因する事故や渋滞などを緩和することが可能となる。

車両へのカメラ搭載については、近年、主に後方確認のためのモニタ用として普及しつつある。また、車両前方に向けたカメラの搭載は、前方車両との車間距離警告や車線逸脱警告のために主に高機能車への搭載が見られ、今後は一般車両への普及の拡大が見込まれる。このことは、車載カメラによる道路標識認識をはじめとする画像処理に基づくシステムが車両に搭載される素地が整いつつあることを示しており、これらのシステムへの需要が今後急速に高まることが予想される。

また、道路交通をコントロールするために必要な情報として、環境中に設置された標識の他に、例えば車両の方向指示器の現示や制動灯の点灯なども重要な情報であり、これらも一種の標識と考えることができる。このような標識は時系列上である時点において突然出現するものであり、その環境内への侵入物と考えることもできる。セキュリティ分野において、監視領域中への侵入物体検出手法の提案は多いが、特に屋外監視カメラにおいて照明条件の変化に対する頑健性が求められており、この点については、道路標識抽出においても同じく要求される課題である。

本論文は、車載カメラによって撮影されたカラー画像中に含まれる道路標識パターンを抽出・認識する手法および連続画像中の道路標識領域を重ね合わせることで認識性能を向上させる手法を提案している。日本の道路標識は、本標識と補助標識から構成され、本標識はさらに案内標識、警戒標識、規制標識、指示標識から構成されている。本論文では、安全運行に重要なものである警戒標識と規制標識に属する代表的な形状である円形および菱形の標識を抽出および認識の対象としている。また、運転者の視覚補助を基本的な目的としていることから、目視による認識が可能な昼間における標識を対象としている。

先に述べたように道路標識の抽出は照明変化に対して頑健である必要があり、従来、この目的のために膨大なテストデータに基づく学習を用いた手法が提案されている。しかしこれらの手法に対しては、その教師データを適切に与えることの困難さ、およびその処理時間の問題が指摘されている。これに対して本論文では、画像撮像装置の出力として一般的な RGB 色空間において、それぞれの色値相互の関係のみに基づく高速な色判定手法を示している。

また、車両の方向指示器の現示等を動的標識と考えた場合、このような標識は観測環境中への侵入物体として扱うことができるとの観点から、背景画像および観測画像のエッジ画像間の差分に基づく侵入物体検出手法を示している。本手法は、画像中に存在する物体の輪郭は照明変化が存在する状況であっても変動は少ないとの観点からエッジ画像を扱い、照明変化に対する頑健性を得るものである。

抽出された標識の種別を判定するためには、さまざまな距離・角度で撮影されたさまざまに変形した画像を扱う必要があり、そのためにアフィン変換のパラメータを入力画像から推定し、適用した後にマッチング処理を行うことが多い。しかし、このアプローチではこの推定処理および変換処理に要する処理時間が問題となる。本論文では、抽出した画像を変換することなく直接輪郭情報を取得し、その情報に基づいた認識手法を示している。

さらに本論文は、撮影された個々の画像に基づく従来の認識手法では、より遠方の構成要素の少ない画像への適用が困難であるのに対して、時系列で得られる画像群から擬似的に解像度を向上させ、早期に認識を可能とする入力画像の生成手法を示している。またこの手法により、対象となる標識が他の物体によって隠されている瞬間においても、時系列の処理により隠蔽物を除去することが可能となることを示している。

第 2 章では道路標識の抽出手法として、一般道路における道路標識の構成色（以下、特定

色と呼ぶ)である赤、黄、青色を抽出し、その射影ヒストグラムに基づく標識存在領域の限定および限定領域内における形状および領域内の特定色の比率を用いて選別を行う手法を示している。この手法は、撮像装置の出力として一般的な RGB のそれぞれの値相互の関係に基づいてそれぞれの特定色らしさを判定することで高速な処理を実現するものである。

第 3 章では環境中に出現する侵入物体を検出する手法として、ある瞬間の前後に観測される画像を背景とし、その背景上に出現した侵入物を検出する手法を示している。この手法は、一般的な背景差分による検出を基本としながら、基準となる背景を複数用意し、さらに差分処理の対象を主にエッジ画像とすることで、その環境における照明変化に対する頑健性を図ったものである。

第 4 章では標識の認識手法として、特定色ごとに輪郭を抽出し、その輪郭情報の符号表現と参照標識のものとの一致判定による手法を示している。一般に標識として用いられるパターンはコントラストの高いものである場合が多く、道路標識も例外ではない。すなわち、画像のぶれやぼけを除けば、パターン中に比較的明確な輪郭が検出されやすく、その追跡結果をベクトル列として表現することが可能となる。本章は、抽出のサイズや変形量に大きく左右されることなく、その輪郭形状をベクトル列として表現し、このベクトル列の符号表現間の一一致判定により標識を認識する手法を示している。

第 5 章ではパターンの認識処理に供する画像の取得手法として、現在一般的となっている連続画像の特性を用いて、単一の抽出対象に対してその画像を連続画像より複数取得し、それらをそれぞれの抽出画像が有する情報量に基づいて重ね合わせる手法を示している。また、この手法を適用することで、一時的な照明条件の変化や隠れの発生による影響を軽減できること、信頼度の高い認識を可能とするような抽出画像が生成されることを示している。

この手法は、基本的に対象物を撮影した単一の撮影画像では持ち得ない情報を複数の微小なずれを伴う画像の相互の関係を計測・推定することで対象物のより高解像度な画像を得るものであり、一般にデジタルアーカイブに関する分野において、美術品の画像保存などを目的として、低解像度の複数画像を合成することによって疑似的に高解像度画像を生成する手法として知られている。本章で提案している手法はこの手法の基本原理を応用し、連続する複数フレーム間で標識形状を抽出・追跡することで得られる低解像度の画像を重ね合わせ、さらにその際に障害物の除去処理を行うことで認識の安定性を向上させるものである。

第 6 章では、本研究で得られた成果について総括し、今後の課題について述べている。

審査結果の要旨

本論文は、車載カメラによって撮影されたカラー画像中に含まれる道路標識パターンの抽出および認識手法の性能改善手法について論じたものであり、標識パターンの抽出・認識手法の提案ならびに連続画像中の道路標識領域の重ね合わせによる認識性能向上手法を提案するとともに、実証実験によりそれらの有効性を検証したものであり、以下の成果を得ている。

- (1) RGB の各色成分値相互の減算を基本とした手法によって、高速に道路標識に用いられる色を抽出する手法を明らかにした。また、色抽出結果の射影ヒストグラムを用いて再帰的に標識領域を限定し、形状概形検査および各色の占有比率に基づく標識領域判定手法を明らかにした。さらに、輝度調整のみで同一手順によって雨天時の抽出ができることを示した。
- (2) 車両の灯火等を環境中に出現する標識と位置づけ、これらが環境中への侵入物体と同等であるとの観点から、複数の背景画像と対象画像のエッジ画像間の差分を用いた照明変化に頑健な侵入物体検出手法を明らかにした。さらに、車載カメラによる動画像

- の複数フレームを背景画像とすることで、灯火等の変化を検出できる可能性を示した。
- (3) 抽出画像中の輪郭成分を追跡してベクトルとして表現することにより、パターンの内外を区別するとともに、その符号表現を小さな部分符号列に分割した上でテンプレートと照合することで標識パターンを認識する手法を明らかにした。さらに、本認識手法はリアルタイム認識に適した高速処理方式であることを示した。
 - (4) 抽出画像サイズが距離に基づく情報量の根拠となることを示し、連続画像から標識領域を追跡し、抽出サイズに基づく重み付き重ね合わせ手法を明らかにした。さらに、各画素位置における時間軸方向の色分布に基づく外れ値除去による隠れ除去方法および、超解像処理を導入して高解像画像を生成し認識性能を向上させる手法を明らかにした。

以上の研究成果は、高度交通システム分野および画像工学分野における標識パターンの抽出および認識性能の向上に関する有用な知見を与えるものであり、同分野に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究活動を行うのに必要な能力と学識を有することを証したものである。学位論文審査委員会は、本論文の審査ならびに学力確認試験の結果から、博士（工学）の学位を授与することを適当と認める。