

令和元年5月30日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K12713

研究課題名(和文)公道自動運転のための交通信号の認識と信号機状態変化の予測

研究課題名(英文)Traffic Light Detection and Tracking for Urban Automated Driving

研究代表者

米陀 佳祐 (Yoneda, Keisuke)

金沢大学・新学術創成研究機構・助教

研究者番号：80643957

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：自動運転では車載センサから周辺環境を認識しながら安全の確認が必要である。本研究は車載カメラ及び地図情報を用いた信号機の検出システムを提案する。多くの信号機が配置されている市街地道路ではカメラ画像中に複数の信号機が観測されるため、対象となる信号機の識別が困難となる場合がある。そこで、画像内に観測される信号機位置の存在確率をモデル化することでデジタル地図上の信号機との正確な対応付けを実現した。さらに信号機の時系列追跡処理の導入による認識の安定化を行い、点灯状態の変化に頑健な認識を実現した。開発したシステムを自動運転自動車に搭載した評価を行うことで、市街地走行における認識能力の妥当性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

信号機の認識は状態が時間変化する道路特徴であるため、対象物を適切に特定しながらその状態変化を考慮して認識することが重要となる。本研究の取り組みにより、地図上の信号機を画像中に存在する信号機間の対応付けが実現され、自動運転車が次に通過する交差点の信号機など特定の信号機を抽出しやすくなる。現在の交通死亡事故において、交差点周辺の十分な安全確認により防げる事故が多いと報告されている。自動車の交差点走行における状況判断が改善されることで、安全な走行環境の確保に貢献可能である。

研究成果の概要(英文)：Environmental perception using onboard sensor is an important role in urban automated driving. This study develops a traffic light detection system using a camera and a digital map. On urban roads where many traffic lights are placed, it is sometimes difficult to identify the specific traffic light in the image because multiple traffic lights are observed. Therefore, accurate correspondence with the traffic light on the digital map was realized by modeling the existence probability of the traffic light position observed in the image. Furthermore, an object tracking method was implemented for traffic lights in order to achieve stable recognition against changes in lighting conditions. The developed system was installed on the automated vehicle to verify the validity of the recognition ability in urban driving.

研究分野：自動運転自動車

キーワード：自動運転自動車 周辺環境認識 画像処理 ITS

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自動車の公道自動運転は、2020年代の実用化を目指して世界中で研究開発が進められている。一般道における自動運転走行では、一般車両が走行する交通環境において一般車両と調和の取れた走行を実現するため、車載センサ(カメラ、レーザ、GPS等)の情報を活用して周辺の状況を適切に認識することが重要となる。

信号機の情報は円滑な交差点走行を達成するために欠かせない道路特徴である。また、特に信号機は点灯色及び矢印灯の状態が時間変化する道路特徴物であるため、交差点走行の安全性の観点から確実な認識が要求される。通信設備に頼らない自律型の認識手法としては車載カメラの画像を用いた認識手法が考案されており、車両位置からデジタル地図を参照して点灯状態を認識する方法が開発されている。このような画像処理の認識アルゴリズムとしての信号機認識アルゴリズムは高精度に認識可能な方法が多く提案されている。一方、自動運転走行の交差点進入判断を行う機能として信号機を認識するためには、デジタル地図との対応関係を考慮した認識が要求される。例えば、画像処理のアルゴリズムによって画像内の信号機を認識できたとしても、デジタル地図上の各信号機との対応関係が得られていなくては自動運転自動車が次に進入する信号機の状態を判断することはできない。こうした議論は十分に行われておらず、実践的な課題に対する技術開発が望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、信号機を認識する際に「デジタル地図との対応関係」及び「信号機の状態変化に頑健な認識」の実現を実現するために以下の研究に取り組む。

- (1) 市街地の走行データの記録・性能評価用のデータセットの整備
- (2) デジタル地図との対応付けを考慮した信号機認識の実現

画像内の各信号機位置の存在確率を画像空間に定義した確率推定方法を考案し、認識した信号機候補の位置情報とデジタル地図から与えられる事前情報に基づいて正確な対応付けを実現する。

- (3) 信号機の時系列追跡による状態認識の実現

信号機の特徴点を時系列追跡するアルゴリズムを導入することで点灯物の継続的な認識を可能とする。(2)にて推定される信号機の存在確率と統合することで点灯状態が変化する状況においても継続的な認識を可能とする。

3. 研究の方法

- (1) デジタル地図との対応付けを考慮した信号機認識の実現

図1に信号認識手法の概要を示す。車両位置と地図から周辺の交差点を検索して認識対象の信号機を抽出する。信号機と車両の位置関係から画像内のROIを算出し、各ROIに対して以下の認識処理を適用する。

1. 信号点灯色を表す高強度・高彩度な画像を点灯物の特徴画像として作成
2. 特徴画像から円形点灯物を候補物体として抽出
3. 候補物体の点灯色を識別し、周辺の信号機形状等の特徴に基づき確信度を算出
4. 矢印信号機の場合は候補物体周辺に対して矢印灯の検出手法を適用
5. 候補物体の位置・デジタル地図の信号機位置との関係から信号機存在位置の確率分布を更新
6. 最大確率の候補点を認識結果として出力

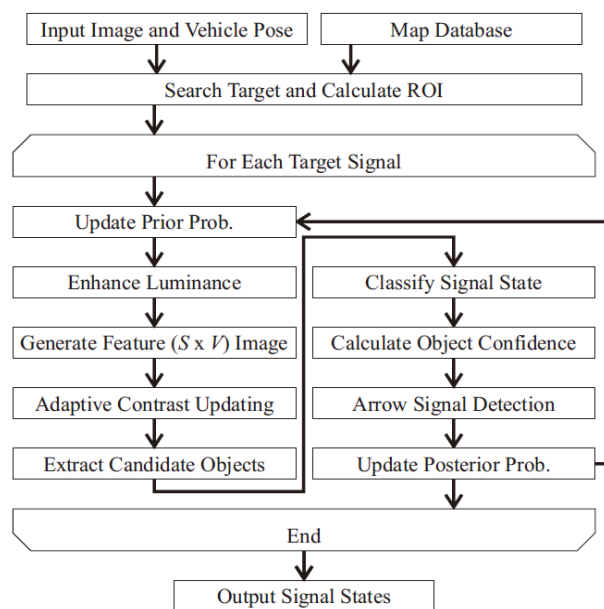


図1 開発した信号機認識アルゴリズム

信号機の特徴画像は、図2のようにHSV画像の彩度(S)及び明度(V)の特徴を掛け合わせることで生成可能である。特徴画像から信号機の候補を抽出する際には、円形領域を抽出することで実現する。現在の自車位置とデジタル地図の信号機位置の関係から画像中の信号機の大きさを算出可能であるため、信号機の大きさ及び点灯色に近い物体が候補物体となる。一般的に夜間のカメラ画像では信号機本体の形状を視認することは困難となるが、信号機灯火部の領域に注

目している手法であるため、昼夜の変化による認識の影響を抑える事ができる。

候補物体は単純な円形物体であるため、背景の誤検出である場合が想定される。そこで、画像内の信号機位置を時系列的に追跡することで、信号機の存在位置の確率を推定する。図3のように、デジタル地図の情報から算出される事前確率と、認識結果として得られる候補物体の情報から事後確率を算出する。確率更新の処理はバイナリベイズフィルタを活用して実装している。候補物体から得られる観測確率を算出する際は、各候補物体の点灯色が得られているため、そこから算出される信号機全体の領域に高い尤度を設定する。これによって認識対象となる信号機の尤もらしい位置の確率分布を得ることができる。また、点灯色が変化した場合においても信号機全体の事後確率が得られているため、状態変化後の点灯領域をすばやく認識可能となる。最終的には対応する事後確率が最も高い候補物体の情報を認識結果として出力する。また、認識結果が赤・黄色の状態においては信号機周辺の領域に対して矢印灯の認識処理を導入して市街地交差点における適切な交差点状態の判断を可能とする。

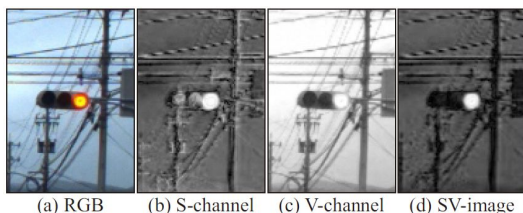


図2 特徴画像の生成例

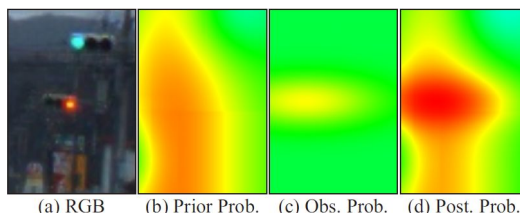


図3 確率更新の様子

(2) 信号機の時系列追跡による状態認識の実現

(1)にて開発した方法では各フレームで検出された候補物体に対して推定している事後確率との関係性から尤もらしい信号機であることを認識している。しかしながら、候補物体が検出されていない場合には認識を継続することが困難となる。そこで、候補物体自体を時系列追跡することで認識の安定化を図る。具体的には画像内の座標に関して一定加速度で運動すると仮定してモデル化を行い、カルマンフィルタによる状態推定処理を導入した。これによって認識の継続ならびに誤検出の削減が可能となる。

以上の方法で認識アルゴリズムを実装し、自動運転自動車に実装して認識性能を評価する。これらの実験計画において、(1)では特徴画像の設計において認識が困難となる課題が発生する場合は計画通りに進まない可能性がある。その際は信号機らしさを効果的に強調するために特徴画像の設計を行う、カメラの仕様を変更して視認性・解像度を改善するなどの変更を検討する予定である。

4. 研究成果

本研究では、信号機の点灯色および矢印灯の点灯状態を認識・予測するためのアルゴリズムを開発し、提案手法を自動運転の実証実験に導入して要求される認識性能を検証した。

平成29年度の研究では、天候条件・季節の異なる走行データを継続的に収集し、性能評価用のデータ整備を行った。具体的には石川県などを中心に市街地の走行データ記録を継続的に実施し、様々な天候・季節における画像データを収集した。また、収集したデータに対して評価用データのタグ付けの環境整備を行い、データ整備を開始した。また、画像内の信号機位置の存在確率をモデル化することでデジタル地図との対応関係を考慮した信号機認識を可能とした。これによって他の信号機や点灯物が信号機付近に存在する状況においても目的の信号機を適切に認識可能となる。具体的には地図情報及び過去の認識結果に基づいて信号機位置の存在確率を個別に算出する認識アルゴリズムを開発した。これによって、デジタル地図と関連付けながら対応する信号機を認識可能となる。さらに、他の信号機や点灯物が信号機付近に存在するようなシーンにおいても個別の確率を算出することで目的の信号機を適切に認識可能となる。しかし、実験を進めるにあたり、ランプ式信号機など点灯色の弱い画像に対する未検出や背景の誤検出の影響が課題となることが確認された。そこで画像特徴の前処理方法を導入して認識精度の改善を検討することを次年度の課題の一つとして追加した。

平成30年度の研究では認識結果の安定化を図るための取り組みとして、信号機認識時の画像特徴の前処理方法の検討及び時系列追跡アルゴリズムの導入による誤認識の改善に取り組んだ。また、解像度の異なる条件における認識性能や処理速度への影響を検証した。まず、画像認識時の前処理として色相・明度・彩度に関して信号機特徴を強調するための重み付け処理を導入し、明るさの弱い信号機の性能改善や背景の誤認識の低減を可能とした。次に、カルマンフィルタによる時系列追跡処理を導入することで点灯物の継続的な認識を可能とした。前年度までに開発してきた信号機の存在位置と追跡結果を統合することで信号の状態変化時においても安定した認識を可能とした。

開発したアルゴリズムを用いた実走行環境に対する評価結果（カルマンフィルタによる追跡

は含まない)を図4に示す。この評価は石川県金沢市などで計測した画像データに対する認識性能の評価結果であり、使用するカメラの解像度は1280x960である。図4において、平成29年度にて基本検討したアルゴリズムがBaselineとしており、平成30年度にて特徴画像の前処理を導入した結果がProposedである。比較結果のF値(図4(c))より、提案方法では120m以内の信号機を約95%以上の精度で認識可能である評価結果が得られた。また、本研究室にて開発している自動運転自動車に導入した評価を行うことで、逆光などによるハードウェアに課題の残る状況を除く通常の天候条件においては適切な交差点判断が実現できたことを検証した。

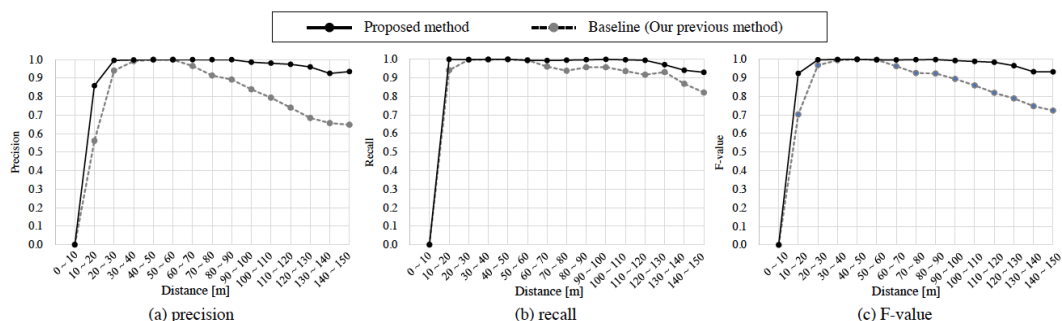


図4 信号機認識結果の評価結果

この他、カメラの違いによる認識性能への影響検証として、解像度の異なるカメラを用いた認識性能への影響を評価した。具体的には解像度を1280x960から1920x1200のフルHDクラスのカメラに変更した場合の認識距離や処理時間への影響を検証した。解像度の変更によって遠方の視認性が改善されるため、矢印灯などにおいて認識距離が20%程度改善することを確認した。また、10x10px程度の信号機であれば安定的に認識可能な点を検証した。処理時間への影響としては、フルHDクラスのカメラ使用時においてもCPUで10fps程度の処理時間であることが確認できたため、自動運転自動車に十分利用可能であることが検証できた。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

- (1) Akisue KURAMOTO, Ryo YANASE, Mohammad ALDIBAJA, Tae-hyon KIM, Keisuke YONEDA, Naoki SUGANUMA, "Digital Map based Signal State Recognition of Far Traffic Lights with Low Brightness", IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2018.
- (2) Keisuke YONEDA, Akisue KURAMOTO, Junya KAMEYAMA, Naoki SUGANUMA, "Traffic Light and Arrow Detection using Digital Map and Luminance Enhancing", Proceedings of The 1st International Conference on Digital Practice for Science, Technology, Education, and Management, 2018.
- (3) 倉元昭季, 亀山純哉, 米陀佳祐, 菅沼直樹, "信号機状態認識の精度向上に関する考察", 自動車技術会2017年秋季大会学術講演会, 2017.

〔その他〕

ホームページ: <http://its.w3.kanazawa-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究分担者

該当なし

(2)研究協力者

該当なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。