

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03201

研究課題名(和文)市街地交差点における自然な走行を実現可能な完全自動運転システムの開発

研究課題名(英文)Development of a fully automatic driving system that enables natural driving at urban intersections

研究代表者

菅沼 直樹 (Suganuma, Naoki)

金沢大学・新学術創成研究機構・教授

研究者番号：50361978

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、市街地の交差点において信頼性の高い自動運転を実現するため、自動運転自動車に搭載したセンサ情報を基に、市街地の交差点付近を走行する他車両の直進・右左折といった運転行動意図を推定する技術を開発した。また、推定した他車両の運転行動意図を考慮し、交差点を安全かつスムーズに通過可能なパスプランナを設計した。そして、実際の市街地を自動走行することでその有効性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般道での自動運転に関する研究は、2007年に米国国防高等研究計画局が開催したコンテスト(Urban Challenge)以降、活発に研究が行われてきた。このような自動運転自動車の市街地走行では、ドライバの運転行動意図をオンボードセンサで推定することは最も重要な技術課題の1つであるが、実は未だ完全には実現できていない課題のうちの1つとなっている。従来提案されている多くの手法では高速道路での車線変更意図のみを考慮しているため、市街地の交差点のような一般道路では使用が難しい問題がある。このことから、本申請課題の達成により将来の市街地走行をともなう自動運転技術に大きな貢献をもたらすことが予想される。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to realize highly reliable autonomous driving at intersections in urban areas, a technology which estimate intention of driving behavior such as going straight or turning left or right of other vehicles traveling near the intersections in urban areas have been developed. In addition, path planning algorithm that can safely and smoothly pass through an intersection, while considering the estimated driving behavior intentions of other vehicles, was designed and evaluated its effectiveness by driving in an actual urban area.

研究分野：自動運転自動車

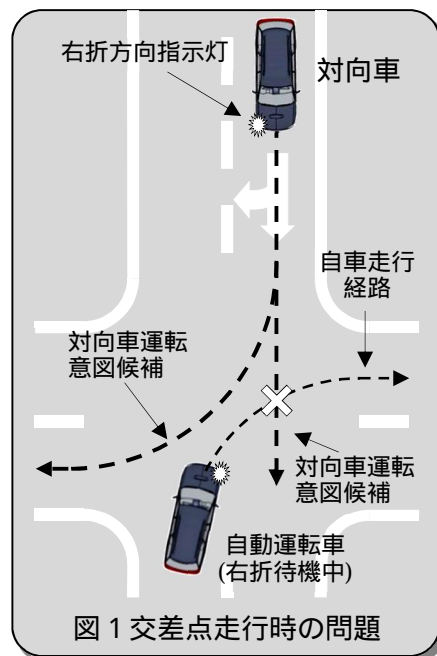
キーワード：自動運転自動車 ウィンカー認識 運転行動意図予測

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自動車の自動運転は安全性・快適性等のメリットが高く、古くから高速道路における適応を目指して研究されてきた。一方、一般道を含めたいわゆる Door-to-door での自律走行に関しては、環境の複雑さの問題から長く空白の課題として残されてきた。研究代表者らは、1998 年ごろから市街地での自律走行を目指した自動運転車両を開発してきており、平成 27 年 2 月からは、国内の大学としては初となる市街地での公道走行実験を開始し、自動運転に関する様々な検討を進めている。

一方、日本ではまだ数少ない実際の市街地での公道走行実験を通していくつかの問題点が明らかとなった。その内の最も大きな問題は交差点走行時における他車両のドライバの運転行動意図の把握である。例えば右図に示すように自動運転車が交差点で右折待機をしている状況で、対向車両が右折方向指示器を出しながら交差点に接近してきている状況を考える。この場合、とりうるべき運転行動は 2 種類考えられる。1 つ目は「対向車両の方向指示器がそのドライバの運転行動意図通り点灯している場合」であり、この場合自動運転車両は対向車両が交差点を通過する前に交差点を通過することができる。2 つ目は「対向車両の方向指示器が実はドライバの消し忘れの場合」であり、この場合対向車両が交差点を直進して通過する可能性もあるので対向車両の交差点通過を待って交差点に進入すべきである。現在、安全性の観点から、このような状況下では基本的に後者の可能性を優先し、初心者ドライバのように右折車両が交差点を完全に通過するのを待って交差点侵入している。しかし、常に右折車両が確実に交差点を通過するのを待って自動運転自動車が交差点に進入していると、交通量の多い交差点において周辺車両に迷惑な運転行動となってしまう問題がある。



2. 研究の目的

そこで本研究では、市街地の交差点において信頼性の高い自動運転を実現するため、自動運転自動車に搭載したセンサ情報を基に、市街地の交差点付近を走行する他車両の直進・右左折といった運転行動意図を推定する技術を開発する。また、推定した他車両の運転行動意図を考慮し、実際の市街地を自動走行することでその有効性を評価することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 方向指示器の認識

方向指示器認識アルゴリズムの構築のため、まず図 2 に示すようにカメラ画像に対して一般物体認識のアルゴリズムである YOLO(You Only Look Once)v3[J.Redmon et.al, 2018]を適用して車両領域を切り出す。ここで切り出した車両に関して、フレーム間において同一車両かどうかを判断する事により各車両における方向指示器の認識用の時系列データを取得する。同一車両を判定するときには、領域の重なり具合の指標である Intersection Over Union (IoU)を使用し、IoU が高いほど同一車両であるとするとする。



図 2 車両領域の切り出し

そして、方向指示器の検出を行うにあたり、CNN(Convolutional Neural Network)により得られる特徴量を RNN(Recurrent Neural Network)の入力特徴量とするネットワークを作成した。ベースとなる CNN のモデルは図 3 のように単一フレームの車両画像から方向指示器の点灯状態を識別する CNN である。このモデルでは、画像を半分割した状態で点灯状態を左右それぞれで判断するネットワークである。そして、この CNN の畳み込み層で得られる特徴を蓄積して RNN の入力とするネットワークを用いて信号機の点滅状態を認識する(図 4)。畳み込み層の特徴量を使用することで画像内の 2 次元的位置情報の特徴も保持したまま RNN の入力とすることができる。

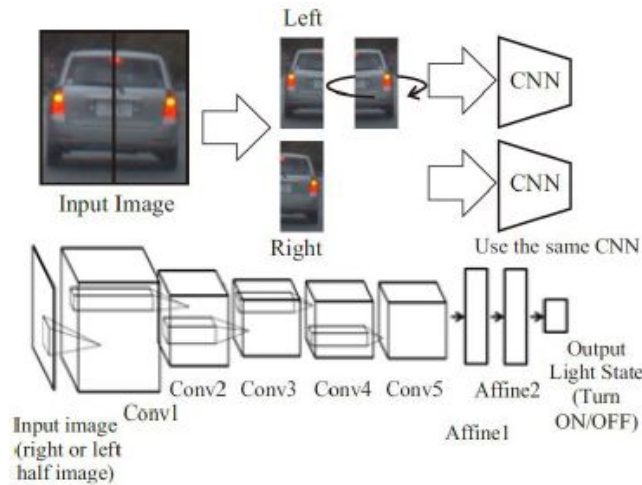


図3 点灯状態を認識するCNNモデル

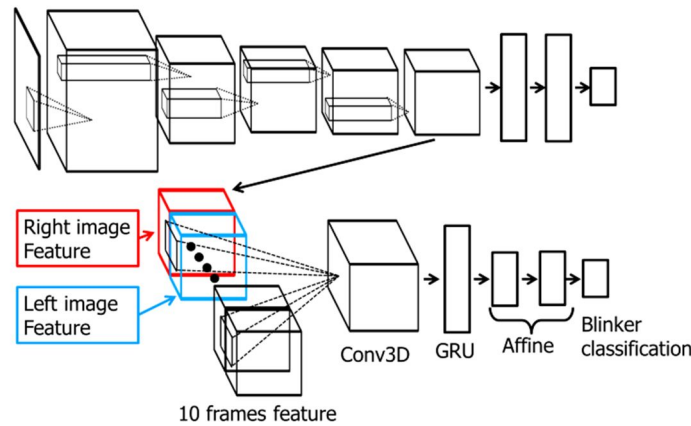


図4 方向指示器を認識するRNNモデル

(2) 運転行動意図推定

移動車両の直進や右左折を判断するために、地図を用いてその運転行動を予測するアルゴリズムを構築した。使用するデジタル地図の情報としては、ノード、リンクで表されるベクトル地図（有向グラフ）を用いた。

具体的には、まず車載センサにより認識した車両に最も近い距離に存在するリンクをデジタル地図から探索する。次に求めた最近傍リンクを用いて経路に分岐点があるか探索し、分岐点があれば直進経路 A と左折経路 B といった複数の予測経路を生成する。そして予測経路に車載センサにより認識した車両が走行する可能性の高い速度プロファイルを生成する。この走行速度プロファイルは、デジタル地図に記載されている道路の制限速度、および予測経路の曲率から計算される走行可能な最大速度等から計算される。ただし、実環境で走行する周辺移動車両には車間距離維持のための加速度が存在する。そこで対象としている移動車両が追従している先行車両を探索し車間距離保持のための加速度を Intelligent Driver Model (IDM) [M.Treiber et.al, 2000] を使用して求める。IDM は、走行する経路において先行車両に追従する車両が最低車間距離を保持して走行するために必要な加速度を計算するモデルである。求められた加速度を走行経路の確率を求める時に使用し、実環境にも対応した走行経路予測を行う。

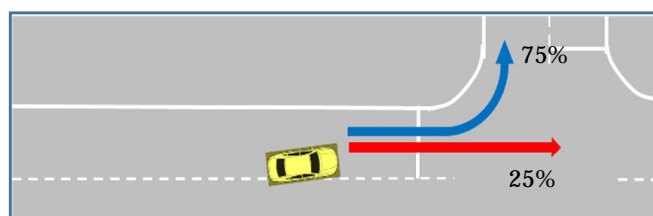


図5 走行経路の確率による表現

これらの経路情報と先行車両の情報を用いて、各時刻における走行する経路の確率を求め、そして、求めた確率に Binary Bayes Filter を用いて時系列処理を行い、信頼性のある確率を求め、図5に示すように得られた各経路の走行確率を正規化し、周辺移動車両がどの経路を走行するか判断するアルゴリズムを構築した。

4. 研究成果

上記で述べたアルゴリズムを実装し、評価を行った。評価には図6に示す試験車両を用いた。この車両には、LiDAR、ミリ波レーダ、カメラ等が搭載されており、これらのセンサ情報から自動運転車周辺に存在する移動物体を検出することが可能となっている。また、GPSアンテナ、IMU、車速センサが搭載されており、あらかじめ取得済みの地図情報と LiDAR によるセンシング情報を組み合わせることで高精度な車両の位置姿勢を計測可能となっている。本研究ではこの試験車両を用い、石川県金沢市および東京都臨海部の公道での自動運転および手動運転時に得られた走行データから検証を実施した。

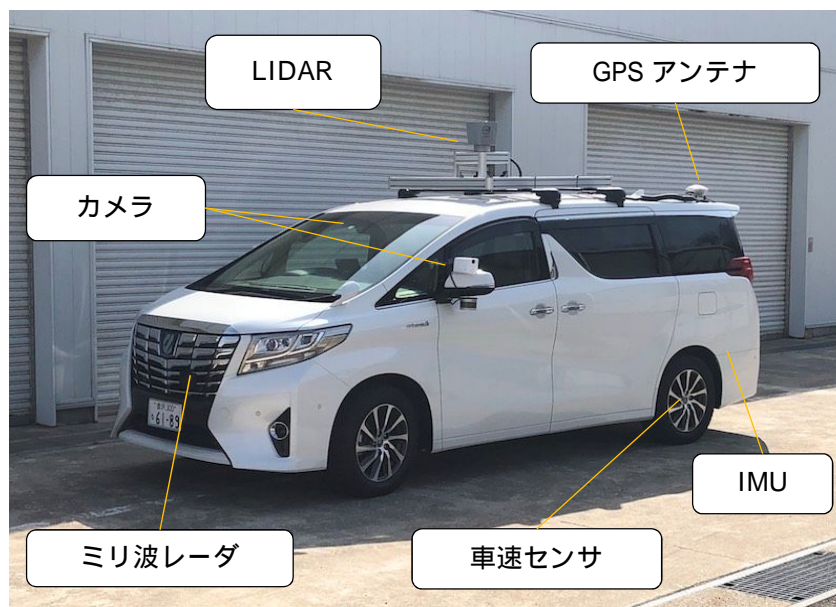


図6 走行評価に用いた試験車両

まず方向指示器の認識に関しては、定性的な評価として図7に示すように多くのシーンにおいて正しく認識ができることを確認した。また、定量的な評価として処理時間 96ms で F 値が 0.72 程度で認識できるアルゴリズムを構築できたことを確認した。ただし、カメラのダイナミックレンジ等のデバイスの特性から方向指示器を含む車両の画像が鮮明に捉えられない状況も発生していることも確認できた。このため、認識率の向上にはアルゴリズムの改善に加え、ハードウェアの改善も必要であることが分かった。

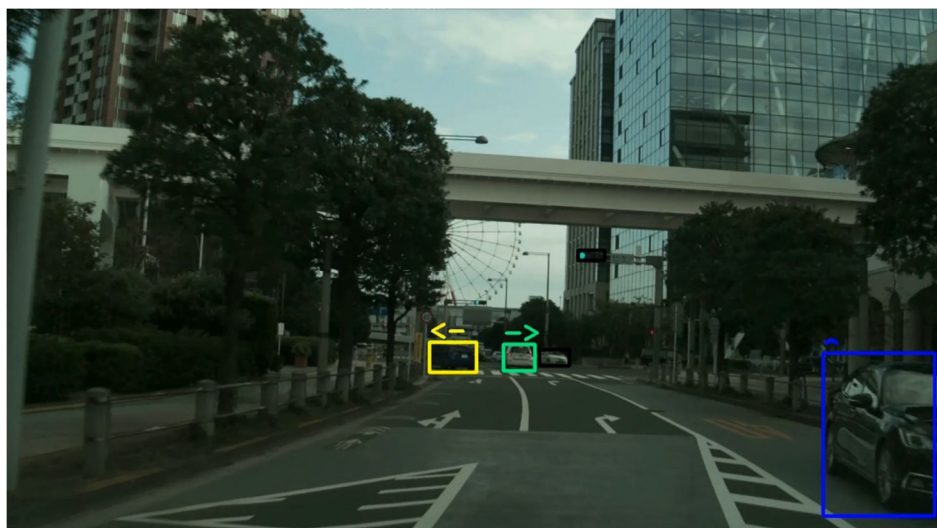


図7 方向指示器の認識例

次に運転行動予測に関して、評価を行った。図8は図5に示す状況下で、車載センサにより認識した車両周囲が左折する状況下において提案したアルゴリズムを評価した結果を示している。解析の結果、概ね停止線5m手前から正しく左折経路を走行することを判断可能であることを確認した。ただし、交差点の形状や認識した車両の時系列的な走行速度によっては判断可能な距離が低下する状況も発生していたため、今後の継続的な検討も必要であると考えられる。

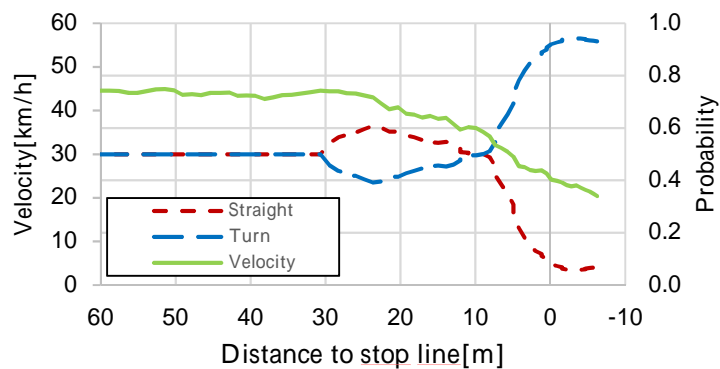


図8 走行経路予測結果の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 萩亮太, 米陀佳祐, 菅沼直樹
2. 発表標題 Convolutional Recurrent Neural Networkによる方向指示器の認識
3. 学会等名 2018年度人工知能学会全国大会, 101-02
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 盛野琢也, 米陀佳祐, 菅沼直樹
2. 発表標題 自動運転のための地図を用いた周辺移動車両の運転行動予測
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018, 2P2-F17
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

計測制御研究室ホームページ http://its.w3.kanazawa-u.ac.jp/
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	米陀 佳祐 (Yoneda Keisuke) (80643957)	金沢大学・新学術創成研究機構・助教 (13301)	