

リーンなセンサによる自動運転のための 外界環境認識技術

Recognition of Driving Environment for Automated Driving by Lean Sensors

伊藤 太久磨

Takuma ITO

公共交通機関が衰退しつつある地方圏において、高齢者の日々の移動を支えるためには自動車の知能化や自動化に関する技術が必要となるが、これまでの取組では高齢者の主な移動環境である生活道路は技術開発の対象とされていなかった。この様な背景のもと、本研究では地方の生活道路を対象とした走行環境認識技術の開発に取り組んだ。具体的には、リーンなセンサで外界環境を認識するために、センサと相補連携する地図情報基盤を構築した。また、車載カメラと地図情報を組み合わせ、擦れ等が発生している道路上の各種標示に対して局所特徴量と大域連続性の両方に注目する事で、走路境界や停止線、横断歩道や規制速度標示等の検出技術を開発した。

For supporting the elderly for their daily travels in the country areas where public transportation systems go into a decline, technologies regarding the intelligent and automated vehicles are desired; however, existing trials for developing such technologies have not focused on community roads to date. Thus, this research started to develop the recognition systems of driving environments on community roads in the country areas. To be more precise, at first, this research developed the perception platform complementally combined with lean sensors and digital maps. Then, this research developed monocular camera-based detection methods of road boundaries and damaged road marks such as stop lines, crosswalks, and speed regulations by focusing on both local features and global continuity.

はじめに

現在の日本の高齢化率は26.7%となっており^[1]、超高齢社会と呼ばれる状況になっている。自動車の分野においてもその影響は発生しており、高齢ドライバーが第一当事者となる交通事故は増加傾向にある。この様な状況に対処するために、一定の年齢以上的高齢ドライバーの運転免許返納が必要であるという意見が挙がる一方で、公共交通が衰退しつつある地方では高齢ドライバーの運転継続が日々の生活を送るために必要不可欠となる状況が発生している。

高齢ドライバーの交通事故の原因は、加齢に伴う知覚・認知・判断・操作の各機能の低下であると言われており、身体特性に起因するものであるため運転教育による対策が難しい。そのため、高齢ドライバーの運転能力の低下に対して、自動車の知能化による補償が必要となる。なお、自動車の知能化に関しては、自動化の程度によって完全自動運転から運転支援まで様々なアプリケーションが考えられるが、

本研究では高齢ドライバーの運転能力やそれに付随する身体機能の維持の観点から、自動運転技術をベースとした運転支援技術の開発に注目する。

自動車の知能化や自動運転に関する研究は近年までに様々な取り組みがなされて来たが、そのほとんどが高速道路での自動運転を想定した取組であり、専用道路や特殊なインフラを前提とした技術開発がなされてきた。また、近年ではGoogleに代表される様な自律型の自動運転技術の開発が行われているが、そのほとんどはRTK-GPS^{*1}や全周型多層LIDAR^{*2}の様なリッチなセンサを活用したシステム構成となっており、実社会での普及にはハードルの残る研究開発となっている。一方で我々の最終的なゴールは地方の高齢者の日常的な移動の支援であり、過去の研究とはその制約条件が異なっている。具体的には、以下の様な制約条件が我々の研究の前提となる。

● 高速道路とは異なり生活道路では路車間通信のインフラは前提と出来ず、さらに地方では携帯電話網による高速



Figure 1 Equipped sensors for experimental vehicle

通信も前提とする事が出来ない。

- 本研究では事業用の自動車ではなく高齢者が個人で所有する自動車に搭載するシステムを前提とするため、リッチな特殊センサの利用は前提と出来ず、リーンなセンサ構成で多くの役割を果たすプラットフォーム開発が必要となる。
 - 高齢ドライバーの日常的な移動環境は生活道路であり、白線や横断歩道等の路面ペイントが十分に整備されておらず、擦れている場合等も想定される。
- なお本研究では、先端研究段階で用いられる過剰性能なセンサを“リッチなセンサ”として整理しており、実用化のために過剰性能ではなく、無駄を排した適正なセンサを“リーンなセンサ”として整理している。

本研究の最終的なゴールに応じたこれらの前提の基で、高齢者の生活道路での運転を支援するための知能化自動車の外界認識技術の開発を行う事が本研究の目的となる。

*1: RTK-GPS: Real Time Kinematic GPSの略。既知の座標点でのGPS情報を基にリアルタイムで測定結果を補正し、誤差を2 cm程度に収める事が可能。

*2: LIDAR: レーザー光を用いて物体を探索し、反射光によって物体までの距離を測定するセンサの総称。

リーンなセンサによる地図情報との相補的なシステムプラットフォームの開発

本研究が対象としている高齢者層に普及可能な安価なシステムを開発するためには、RTK-GPSや全周型多層LIDARの様なリッチな特殊センサではなく、多くの機能で共用可能なリーンなセンサを中心としたシステムを構築する必要がある。そこで本研究では、現時点において既にリーンなセンサや、MEMS技術等の進展によって近い将来にリーン

になる事が期待されるセンサを中心にプロトタイプ車両の開発を行った。**Figure 1**に実験車両の様子と装備している主なセンサを示す。

従来の自動運転技術と比較すると、このプロトタイプ車両はセンサ構成の点において将来の普及が期待できるという利点があるものの、外界認識性能の点において限界も存在する。そこで本研究では、リーンなセンサの性能を補足するために、地図情報とセンサが相補的に連携可能なプラットフォームを開発した^[2]。**Figure 2**にプラットフォームのコンセプト図を示す。

地図情報の利用に関しては、欧州でADAS Horizon^[3]という形での検討がこれまで行われていたが、従来技術はあくまで通常の運転支援を前提としており、自動運転を直接意識した物ではなかった。そこで本研究では、自動運転に必要な地図情報の要件を整理し、既存のADAS Horizonを拡張した。この拡張ADAS Horizonはカーナビゲーションシステムをベースに進化しているため、地図情報のデータ量が車載可能な程度までコンパクトになっており、路車間通信用インフラや高速携帯電話網が存在しない地方の生活道路での活用が期待できる。また、この拡張ADAS HorizonはカーナビゲーションレベルのGPS情報を元に、自車前方に存在する道路環境構成要素の情報を提供する機能を有しており、それらの情報を利用する事でリーンな車載センサを中心としたシステムでも走行環境を精度良く認識する事が可能となった。

道路白線以外での走路境界認識技術の開発

地方の生活道路は高速道路等とは異なり、走路境界となる白線が擦れている場合や、そもそも白線がひかれていない状況が存在する。この様な状況において知能化自動車が走路逸脱する事なく走行するためには、色の特徴以外から走

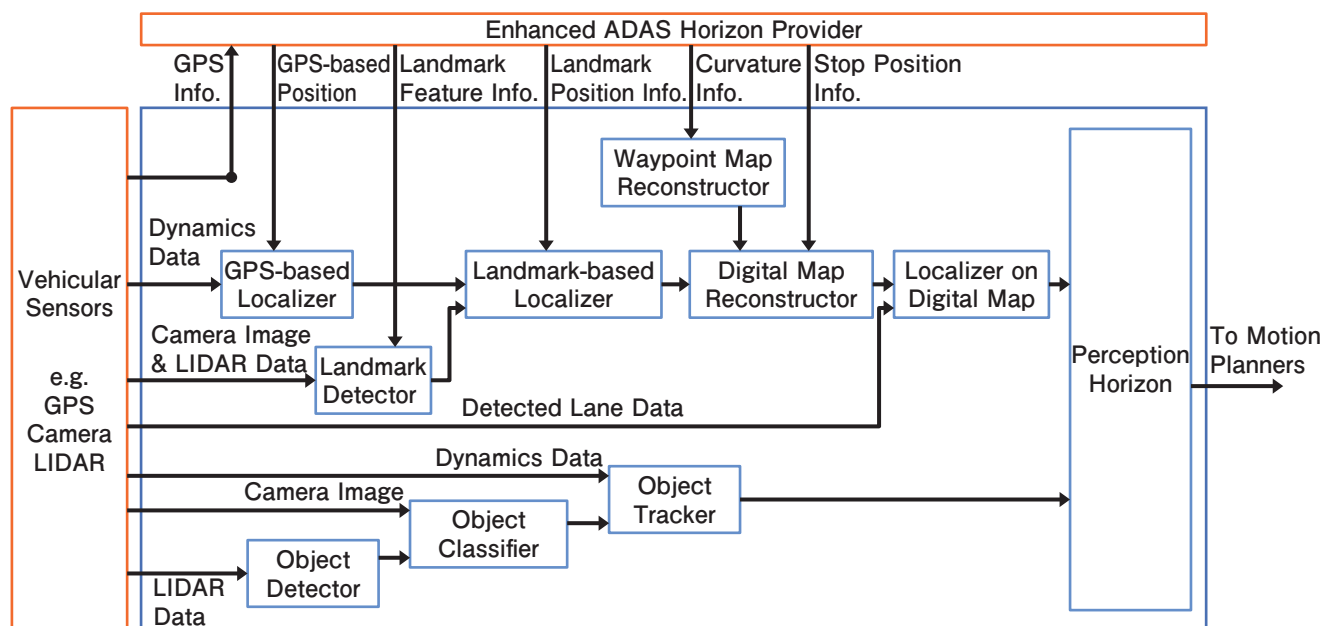


Figure 2 Conceptual schematic of perception platform complementary combined with lean sensors and digital map

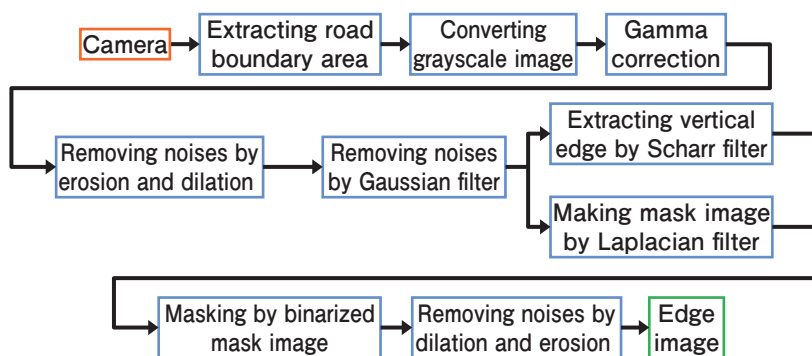


Figure 3 Flowchart of algorithm sequence for detecting road boundaries

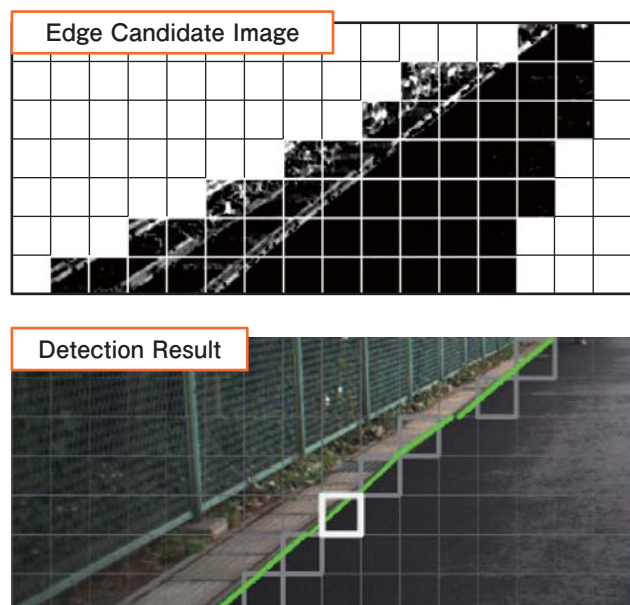


Figure 4 Detection result of road boundary without white line

路境界を認識する必要がある。そこで本研究では、走路境界の局所的及び大域的連続性に注目した走路境界認識技術を開発した^[4]。

Figure 3に走路境界検出アルゴリズムのフロー図を示す。車両前方に搭載したカメラから得られた画像に対し、エッジ検出等の8段階の処理を加える事でエッジ候補画像を作成する。Figure 4上部にエッジ候補画像の例を示す。作成したエッジ候補画像を一定サイズの矩形領域に分割し、各矩形内でのエッジ候補画素の局所的連続性に注目する事で、各矩形

内に走路境界となるエッジが含まれる信頼性を評価する。次に、各矩形のエッジ候補としての信頼性と各矩形の位置関係を基に、各エッジ候補の大域的連続性の評価を行い、最も確からしいエッジを走路境界線として算出する。Figure 4下部に検出結果の一例を示す。

本手法では、局所的連続性と大域的連続性の両方に注目しているため、例えば一部が擦れた白線の検出が可能となる事も期待され、本研究が注目している地方の生活道路での外界環境認識技術の一助となると考えられる。

擦れた停止線や横断歩道の検出技術の開発

地方の生活道路では道路の整備状況が必ずしも十分ではない場合もあり、停止線や横断歩道が擦れている場合がある。このような状況で智能化自動車が安全に停止や右左折を行うためには、これらの指示標示を適切に認識する必要がある。



Figure 5 Example of detecting damaged stop line and crosswalk

そこで本研究では、停止線や横断歩道の平均的幾何寸法と擦れに対して残存した部分の特徴に注目した検出技術を開発した。

まず、車両前方カメラの画像を基に、擦れた停止線を以下のステップで検出している。

1. 投影変換等の前処理
2. 路面と停止線間の部分エッジを検出
3. 停止線の平均的幅と部分エッジ間の距離を比較し、停止線の部分候補としての信頼性を評価
4. 信頼性の高い停止線部分間の位置関係から最終的な停止線を検出

Figure 5の下部に実際の擦れた停止線の検出の成功例を示す。従来の停止線検知手法は停止線全体としての特徴量に注目している物が多いが、本手法では部分特徴量にも注目する事によって擦れていた場合でも検出可能となった点が特色の一つである。

一方で、横断歩道の検出アルゴリズムの概要は以下の様になっている。

1. 色調の調整等の前処理
2. 横断歩道の各単一バンドの下端部検出
3. 検出されたバンドの下端部の位置関係を基に、横断歩道全体の形状を推定
4. 推定された横断歩道の両端のバンドの傾きから、横断歩道全体の位置と傾きを確認

Figure 5の上部に実際の擦れた横断歩道の検出の成功例を示す。従来の横断歩道検出技術は各バンドの幅比等に注目した手法が多いが、これらの手法ではバンドが欠落した場合等では正常に検出する事が難しく、本手法では部分特徴間の比較からこの課題を解決している。

また、前述の拡張ADAS Horizonが提供する情報を組み合わせる事で、停止線や横断歩道を誤検出した場合でもその結果を棄却する事が出来るようになり、システム全体としてより頑強な検出を行えるようになった。この地図情報からのバックアップがリーンなセンサによる外界環境認識を

実現するための鍵となっており、本研究の特色の一つとなっている。

規制速度標示や横断歩道予告等のランドマーク認識技術の開発

リーンなセンサで地図と連携した外界環境認識を行うためには、地図上のどこに自車が存在するかを認識する必要がある。その様な自己位置推定を実施する際に基準となるのが、車両から検出されるランドマークである。前述の停止線や横断歩道は一般的に活用されるランドマークであるが、これらと合わせて地方の生活道路で活用できるランドマークが、制限速度標示や横断歩道予告のひし形標示である。そして停止線等と同様に、これらのランドマークでも擦れが発生している場合があり、本研究ではランドマークの局所形状とその位置関係を元にランドマークの位置を認識する技術を開発した。実際の公道を走行中に車両前方カメラで観測された擦れた制限速度標示の一例をFigure 6の上部に示し、この標示を車両後方カメラからの画像を基に検出している様子を下部に示す。車両後方のカメラを活用して検出しているため、倒立状態の画像となっているが、制限速度標示の「4」の数字の特徴的な局所形状を検出しており、この結果から標示全体の位置の推定を行っている。また、制限速度標示以外にも横断歩道予告のひし形標示の検出に関しても同様に成功している。

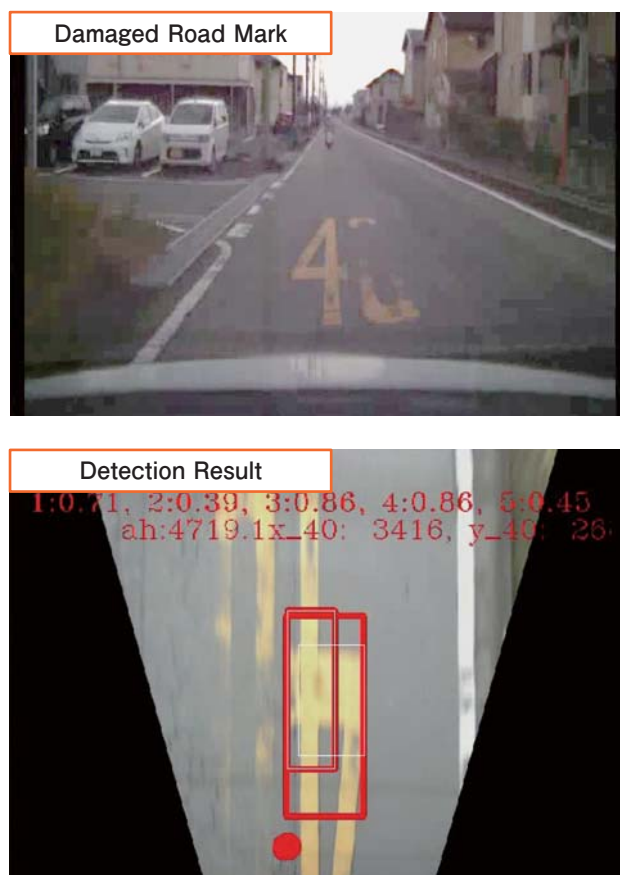


Figure 6 Example of detecting damaged road mark (speed limit)

本手法では注目すべき局所形状を意図的に分散させる手法を採用しており、その結果として擦れだけではなく構造物等の影による路面明度の変化にも頑強な性能を有している。この様に擦れや影等の実路での検出の課題を克服している点が、従来手法と比較した際の本手法の特徴となる。

おわりに

ここまで述べてきた様に、本研究では「リーンなセンサ構成」で「生活道路」を対象とした外界認識技術の開発に取り組んでいる。具体的には、全周多層型LIDARやRTK-GPS等の市販車への装備が難しいセンサ類を使わず、また路車間通信の専用インフラや高速携帯通信網も利用していない。そのため、本研究で開発中の技術が十分に成熟した後は安価に市販車へ搭載する事が可能となり、本研究が想定している高齢者層にも比較的容易に入手可能なシステムの一部となる事が期待できる。また、路面の擦れ等を考慮し、生活道路を対象とした技術開発を行っているため、高齢者の生活環境で実際に使用可能なシステムとなる事が期待できる。これらをまとめると、地方での高齢ドライバの日常的な移動を支えるという最終的なゴールに対して、本研究は実際の社会へ展開可能なアプローチで技術開発に取り組んでいると考える。そして、このような方針の継続によって、高齢者の安全な移動を支援し、外出に伴う諸活動を促進し、活力あふれる高齢社会実現の一助となる事を期待したい。

謝辞

本研究は筆者が所属する東京大学高齢社会総合研究機構、および東京大学新領域創成科学研究科人間環境学専攻鎌田研究室の支援のもとで実施された研究です。鎌田教授のご指導や研究室の学生の皆様のご協力に厚く御礼申し上げます。また、本研究は科学技術振興機構(JST)戦略的イノベーション創出推進プログラムの研究プロジェクト「高齢者の自立を支援し安全安心社会を実現する自律運転知能システム」の一環として行なったものであり、関係各位に深謝いたします。

参考文献

- [1] 内閣府, “平成28年版高齢社会白書”, (2016).
- [2] T. Ito, M. Mio, K. Tohriyama, & M. Kamata, (2015). Novel Map Platform Based on Primitive Elements of Traffic Environments for Automated Driving Technologies. Proc. of FAST zero 2015.
- [3] V. Blervaque, K. Mezger, L. Beuk, & J. Loewenau: ADAS Horizon - How Digital Maps can contribute to Road Safety: Advanced Microsystems for Automotive Applications 2006, pp.427-436 (2006).
- [4] T. Ito, Y. Mouri, & M. Kamata, (2014). Recognition of Driving Environment on Community Roads for Predictive Vehicle Controls. Proc. of FISITA 2014.



伊藤 太久磨

Takuma ITO

東京大学 高齢社会総合研究機構
特任研究員
博士(工学)