

先読み運転を可能にするスーパーバイザ型運転支援の提案と実車実証

二宮 芳樹¹⁾ 竹内 栄二郎¹⁾ 山口 拓真¹⁾ 新村 文郷¹⁾ 吉原 佑器¹⁾ 赤木 康宏²⁾ 川西 康友¹⁾
松林 翔太¹⁾ 三輪 和久¹⁾ 出口 大輔¹⁾ 早川 聡一郎³⁾ 鈴木 達也¹⁾ 村瀬 洋¹⁾

Supervisory Driver Assistance System for Proactive Driving and Its Implementation

Yoshiki Ninomiya Eijiro Takeuchi Yamaguchi Takuma Shinmura Fumito Yuki Yoshihara Yasuhiro Akagi Yasutomo Kawanishi
Shota Matsubayashi Kazuhisa Miwa Daiske Deguchi Soichiro Hayakawa Tatsuya Suzuki Hiroshi Murase

Abstract This paper presents a supervisory driver assistance system for proactive driving which projects future potential collisions. There are two major points in our approach, one is vehicle's driving intelligence modeling driver instructor's proactive driving and the other is assistance method modeling driver instructor's coaching. An experimental vehicle has implemented to confirm real-time performance of this driver assistance system. Evaluation results show understandability and effectiveness of this system.

KEY WORDS: Proactive Driving, Driver Assistance System, Elderly driver, Driver Model, HMI

1. ま え が き

高齢化社会の課題は、いつでもどこでも使えるモビリティの確保である。日本では地方や都市周辺でも自家用車の依存度が高く、安全に運転し続けるための運転支援や、高齢者の移動のための自動運転技術への期待が高まっている。

自動車の運転支援では緊急自動ブレーキや逸脱防止などのシステムの市場導入が進んでいる。これらは追突、逸脱事故への効果は高いが、高齢者に特有の出会い頭や歩行者飛び出し事故に対する効果は十分とは言えない。出会い頭や歩行者飛び出し事故では、危険が顕在化、すなわち障害物が観測され、衝突可能性が高いと判断されるタイミングでの衝突時間が短いため、自動ブレーキの効果が少ない。出会い頭や歩行者飛び出し事故に対する対策として「先読み運転」が提案されている。これは危険が顕在化する前、すなわち潜在危険時に危険を予測する運転行動であり、基本的には危険を予測してそれに対する構えとして、事前の減速や危険要因（ハザード）との通過マージン取りなどの運転行動となる。

先読み運転支援は、車側で先読み運転を行動生成できるシステムを構築し、ドライバに対して情報提示、動作指示、介入制御を行うことによってドライバと車両一体で先読み運転を実現するものになる。

このような先読み運転を行わせるための運転支援のコンセプトやその要素技術の研究は従来から行われてきたが、これまで決定版となるコンセプトの提案や実車実装・評価は達成されていない(1)。

名古屋大学 COI プログラムでは、これまで、先読み運転をモデル化するために、運転指導員の運転解析を行い(2)。

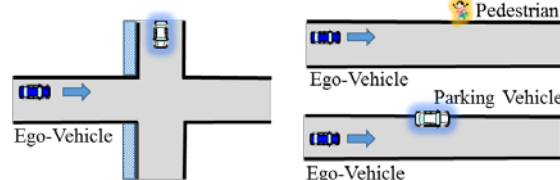
1)名古屋大学(464-8601 名古屋市中種区不老町) 2)東京農工大学() 3)三重大学

見通しの悪い交差点での不可観測潜在危険に対する行動のモデル化(3)、路側の歩行者の危険度に関する属性認識(4)、先読み運転軌跡の生成法(5)(6)、スーパーバイザ型の運転支援法の提案(7)を行ってきた。本報告では先読み運転支援コンセプトの明確化と実車実装した結果を示す。

2. 運転支援コンセプトと処理概要

2.1 先読み運転を可能にするスーパーバイザ型運転支援

先読み運転のターゲットとする交通状況は、出会い頭衝突と飛び出し衝突である(図1)。それぞれ、見通しの悪い交



1) Encountered Collision 2) Running-out Collision

Figure 1. Target traffic sample scene

差点での側方接近車や路側の歩行者、駐車車両という潜在ハザードが存在するシーンであり、前者は不可観測潜在ハザード、後者は可観測潜在ハザードと考えられる。先読み運転は、出会い頭の場合は、潜在ハザードが顕在化しても衝突が避けられる減速行動であり、飛び出しの場合は減速と通過マージンを大きくとる行動となる。先読み運転を実現する方法としては、スーパーバイザ型と呼ぶ方式を提案している。これは基本的にはドライバが運転する中で、運転指導員が助手席に乗っているかのようにアシストして先読み運転に誘導するものになる。基本構成は運転の主体となる認知・判断・操作を行うドライバの運転と、認知・判断・操作を車側で実現する車両システムが生成する先読み運転を比較し、先読み運転に

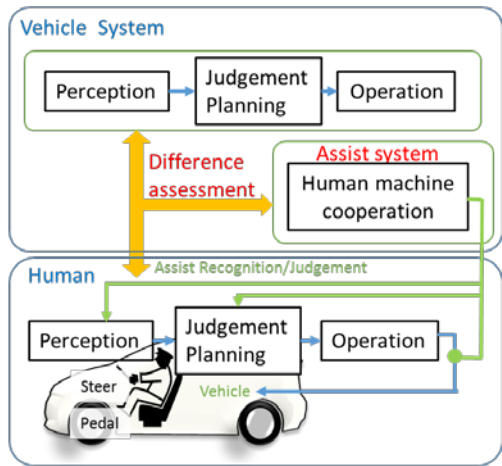


Figure 2. Block diagram of the proposed ADAS

近づくように、情報提示、操作誘導、介入制御を行うことによって誘導するシステムとなる（図2）。

アプローチの特徴は、車両システムの先読み運転を指導員の運転のモデル化、先読み運転への誘導を指導員の指導法のモデル化により実現した点である。指導員、すなわちスーパーバイザをモデル化したと意味で、スーパーバイザ型運転支援と称している。

2.2 実験システム

運転支援及び走行データ収集に用いた実験システム（車両）を図3に示す。外界センサとして、高解像度カメラ、高解像度LiDAR、GNSSを備える。



Figure 3. Experimental vehicle

指導員の運転や指導をモデル化するために、運転指導員と運転指導員が指導した際の高齢者の運転データをこの実験システムを用いて約3000km収集している(2)。

2.3 指導員運転のモデル化

車両システムによる指導員運転のモデル化の処理の流れを示す。環境理解は、走路認識を高精度地図と高解像度LiDARの照合、移動物認識をLiDARの物体検出とカメラの物体検出及び識別結果の融合で実現する。

状況判断・行動計画は環境理解の結果の道路、移動物情報に基づき、可観測潜在ハザードである路側の静止歩行者や不可観測潜在ハザードである見通しの悪い交差点の側方接近者の存在と動きを予測する先読み運転の中核的な処理となる。

この方法として、二つの方法を比較検討している。一つはリスクポテンシャル法で、潜在ハザードからリスクポテンシャルと称する場を生成し、車両の横方向位置と縦速度の関数を指導員の運転と一致するようにパラメータ調整して軌跡を生

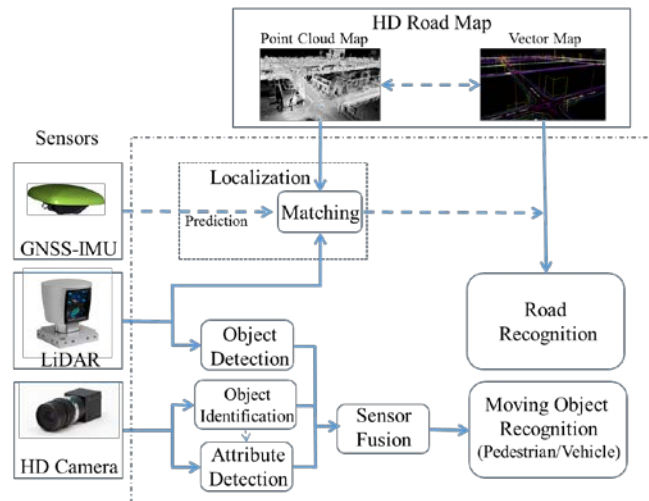


Figure 4. Block diagram of the perception module

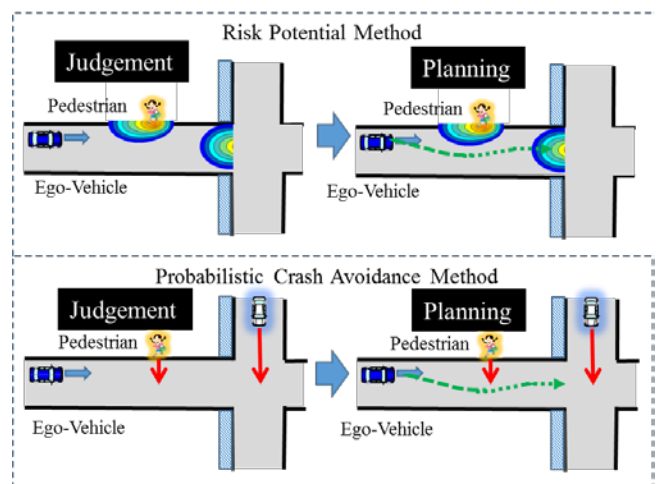


Figure 5. Two different approaches for judgement & planning

成する方法である。もう一つは確率的な衝突回避法で、死角の車両を存在するものと確率的にモデル化し、そのモデルの動きや歩行者の動きを予測し、衝突しない軌跡を生成する方法である。

2.4 指導法のモデル化

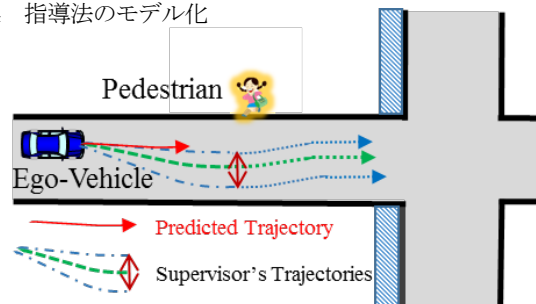


Figure 6. Assist concept of supervisory system

指導員の指導法は、連続的な指示や修正は行わず、ハザードの情報提示でまず気づきを与え、さらに操作誘導し、最後は安全の担保をするために制動や操舵による介入制御を行う。このコンセプトをモデル化する。指導実施は、車両システムで算出される指導員の軌跡に許容範囲を設け、高齢ドライバーの予想軌跡がこの許容範囲を逸脱する場合に指導を行う。許容範囲は、安全と指導効果などを考慮して設定する。指導員による指導は身振り、音声、補助ブレーキ介入、操舵介入で行うが、スーパーバイザ型運転支援では車両の既存デバイスである表示、音声、介入制動・操舵の利用に加えて、指導段階や操舵法を指示する LED 表示やペダル・操舵の振動の利用も検討する。図 7 に情報提示、操作誘導、介入制御の段階毎の各デバイスの動作例を示す。

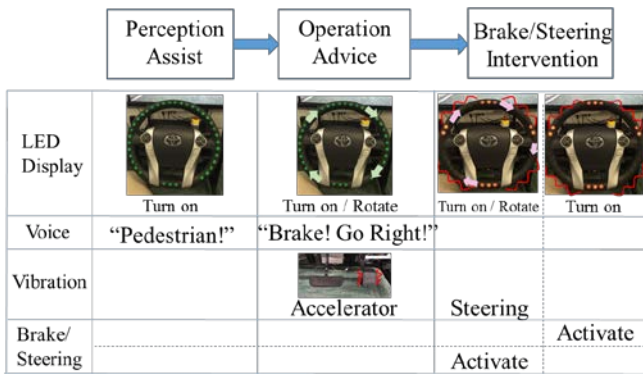


Figure 7. HMI Process Flow

3. 実験

2.1 実験方法

提案するスーパーバイザ型運転支援を実車とドライビングシミュレータ上で実装した。実車は図3の車両システム上に、2台のPCを用いて、指導員の運転の生成処理と介入制御を含む指導の処理をそれぞれ1台のPCで実現した。実車実験は、模擬市街路として利用できる豊田市交通安全学習センターの約150mの直線路を用いた。この直線コースで40km/hで車両

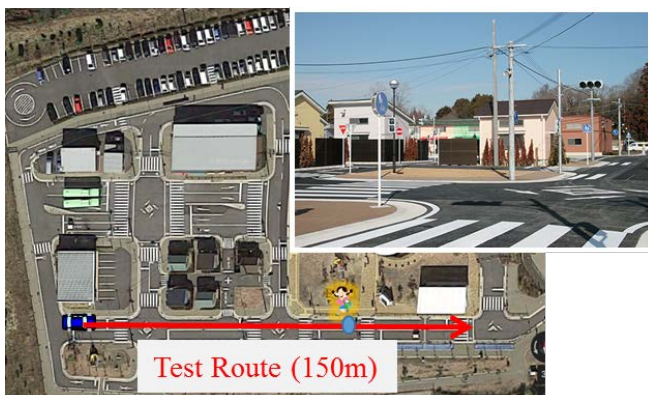


Figure 8. Experimental test course

を走行させ、支援なし、支援あり（リスク小：歩行者が車両方向に正対）、支援あり（リスク大：歩行者が横断方向）を

比較体験評価した。

2.2 実験結果

指導員のモデル化処理の動作結果を図9に示す。LiDARの距離データから Point Cloud Map と照合して位置推定し、その結果から Vector Map を重畳表示して道路構造を把握するとともに物体認識を行った結果と、Camera 画像からの歩行者認識



a) LiDAR Based Moving Object Detection Result & Overlapped Vector Map



b) Image Based Moving Object Detection Result

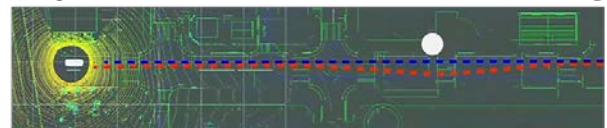
Figure 9. Output examples of perception module



a) Gap between Vehicle & Pedestrian in case of Normal Driving



b) Gap between Vehicle & Pedestrian in case of Predictive Driving



c) Trajectories in case of Normal & Predictive Driving

Figure 10. Trajectories of normal driving (in blue) vs predictive driving (in red)

結果である。指導員が運転した場合の先読み軌跡の例を図10に示す。歩行者を検出し、リスクを判断して先読み軌跡を生成し、歩行者との通過マージンを取った運転が実現できていることが確認できる。次に高齢者の運転が範囲を超えて、制御介入が入る場合の、運転支援車の横位置、操舵角、車速、加減速を結果の一例を図11に示す。歩行者の60m手前で操舵介入、20m手前で制動介入が作動した場合である。

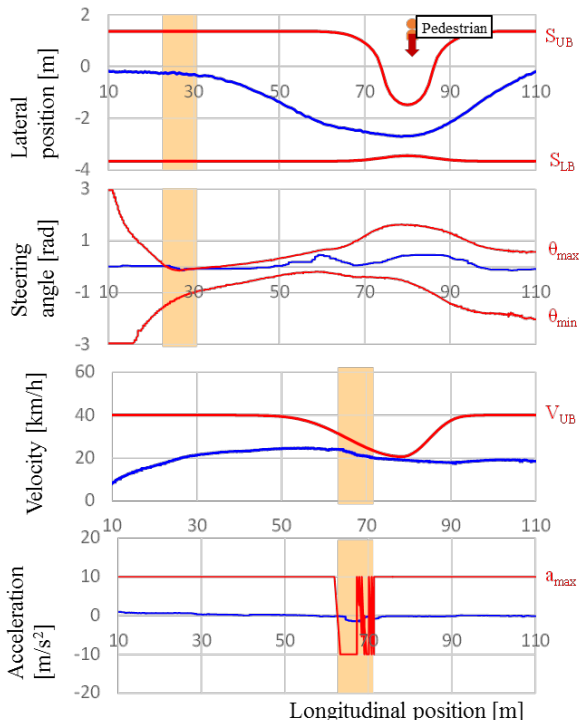


Figure 11. Experimental results showing braking and steering intervention

4. 評価結果

支援なし、二種類の支援ありの実走行を自動車関係の技術者25名にシステムコンセプトの理解度に関するアンケート調査を行い、5点満点で平均4.3という結果になった。情報提示、操作誘導、介入制御による指導法には、多くの評価者から今後の課題ありとの指摘があった、

また、ドライビングシミュレータ(12)を使った80人(高齢者と若手それぞれ約40名)による主観評価実験も実施している。こちらでは指導法での情報提示と操作誘導の有無、指導頻度の大小で評価群を分けて評価を実施し、情報提示と操作誘導有り、指導頻度小が最も高い評価値を得た。情報提示と操作誘導有り、指導頻度小の群では、評価項目である有効さ、効率、満足度、意図の理解、違和感のなさの全てで、5点満点で3.5以上(標準誤差0.2以下)の結果を得た(8)。

5. まとめ

運転指導員の運転と指導をモデル化したスーパーバイザ型運転支援を提案、実車実装し、先読み運転が実現できることをテストコースで確認できた。また、アンケートによる主観評価を行い、支援コンセプト全体と指導のモデル化に関する



Figure 12. Driving simulator utilized for the study

る前向きな結果を得た。今後は、支援システムの対応シーン拡大、指導員運転のモデル化の般化性、ロバスト性に関する評価と改良、指導のモデル化に関する詳細な評価と改良が必要になる。

謝辞

本研究は文部科学省名古屋 COI プログラムの中で実施した。

参考文献

- (1)大濱吉紘, 國分三輝) 樋口 和則: 運転指導員の確率的知識モデルに基づいた走行環境の危険判定法, 2008年秋季大会 学術講演会講演予稿集, pp. 7-12. (2008)
- (2)吉原佑器, 竹内栄二郎, 二宮芳樹: 住宅街路における運転指導員と高齢者ドライバの運転行動データ収集と解析〜高齢者に適合した規範運転モデルの構築に向けて〜, 2015年春季大会学術講演会講演予稿集, S241, pp. 1241-1246. (2015)
- (3)E. Takeuchi, et al.: Blind area traffic prediction using high definition maps and LiDAR for safe driving assist, IEEE ITSC, (2015)
- (4)F. Shinmura, et al.: Pedestrian orientation classification utilizing single-chip coaxial RGB-ToF camera, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, p. 7-11 (2015)
- (5)Y. Akagi, et al.: Stochastic driver speed control behavior modeling in urban intersections using risk potential-based motion planning framework, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, p. 368-373 (2015)
- (6)Y. Yoshihara, et al.: Accurate analysis of expert and elderly proactive driving at priority intersection based on high-precision drive recorder,
- (7) T. Yamaguchi, et al.: Driver Assistance Control based on Model Predictive, TRB Annual Conference (2016) Computation of Constraint Satisfaction, {IEEE Conference on Intelligent Transport Systems}, pp. 1304-1310 (2015)
- (8)松林翔太, et. al.: 運転支援方法とユーザビリティ・行動変容の関係に関する実験的検討, 日本認知科学会 第33回大会, 2016/9/16~18 (2016)