

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04006

研究課題名（和文）リスク予測知識の体系化に基づく高度運転支援の個別適合シェアードコントロールの構築

研究課題名（英文）Individual Adaptive Shared Control for ADAS Based on Systematic Risk Predictive Knowledge

研究代表者

ポンサトーン ラクシンチャラーン（Raksincharoensak, Pongsathorn）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：30397012

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自動車の知能化レベルを向上させるとともに、運転の質を高めることを目的とし、潜在リスク予測型ドライバモデルを内蔵したShared Control技術の基盤構築を確立することを目指す。走行環境の文脈特徴を考慮した潜在リスクマップの理論的記述とそのリスクマップに基づく操作反力提示による協調制御の新しい概念を提案する。本研究課題は、自動車の運動という物理モデルと人間行動状態のリアルタイムセンシングと人工知能による交通文脈理解といった情報科学的モデルの融合的なアプローチで事故予防メカニズムを学術的に見出すものであり、交通事故といった社会的な問題を解決する手法でも極めて学術的である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の交通事故による死亡事故件数は減少傾向にあるものの、65歳以上の高齢運転者による事故は年々増加しており、悲惨な重大事故が多発している。高齢運転者が急速に増加していく中、高齢運転者による事故の防止と、加齢に伴う自動車の運転に不安を感じる高齢者の移動手段の確保の両立を図ることは喫緊の課題である。高齢化による交通安全の問題は、先進諸国に留まらず、今後急激に自動車の普及が進む新興国でも同様な傾向にある。日本は課題解決先進国として、科学的アプローチを提示する責務があり、本研究の社会的意義が高い。物理モデルと情報科学的モデルの融合的なアプローチで事故予防メカニズムの基盤構築も極めて学術的意義がある。

研究成果の概要（英文）：The objective of the research is to develop a human-centered advanced driver assistance system which is designed based on the key concept of experienced driver behavior modeling with risk potential prediction in order to prepare for unexpected upcoming hazardous events. In the project study, (1) to quantify the potential risk, we use the Safety Cushion Time index based on Drive Recorder data analysis and (2) to make the system be friendly to all types of drivers including elderly drivers, Advanced Human-Machine Interface called Haptic Shared Control with individual adaptation concept is studied in order to achieve high driver acceptance.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：交通安全 運転支援 自動運転 車両運動力学 リスク予測

1. 研究開始当初の背景

日本の交通事故による死亡事故件数は平成29年になり4,000名以下で減少傾向にあるものの、65歳以上の高齢運転者による第一当事者の割合は年々増加しており、悲惨な重大事故が多発している。高齢運転者が急速に増加していく中、高齢運転者による事故の防止と、加齢に伴う自動車の運転に不安を感じる高齢者の移手段の確保の両立を図ることは喫緊の課題である。高齢化による交通安全の問題は、先進諸国に留まらず、今後急激に自動車の普及が進む新興国でも同様な傾向にある。日本は課題解決先進国として、科学的アプローチを提示する責務があり、本研究の意義が高い。

通常走行時に対応する運転支援システムは先行車追従制御および車線維持支援制御で、緊急時に対応する予防安全システムは衝突回避自動ブレーキや横すべり防止装置がある(図1)。しかしながら、リアルワールドで取得した事故・ヒヤリハットデータベースを分析した結果、遮蔽物から歩行者や障害物などが出現する場合は、現行の自動ブレーキでは衝突回避性能に限界がある。もし衝突リスクが高まる前にシステムが走行状況を察知し事前に行動を再計画ができれば、重大事故を未然に防止することができる。この課題に対して申請者は、これまでの研究成果として、危険度が顕在化する前の状況において、熟練者の上手い運転を内蔵した運転支援という概念で高齢者の運転を積極的に支援する操舵・ブレーキ制御システムを開発してきた。特に、リスクポテンシャル場という概念に基づき、熟練運転者の危険予測運転を数式モデルで理論的に記述することにより、複雑な市街地走行環境において合理的な運転支援を設計し、実車とシミュレータでその有効性と事故回避性能への向上効果を検証した。

現状の自動運転技術レベルでは、市街地走行環境において完璧に安全性を確保できない。そこで、人間と自動運転システムの協調運転(Shared Control)の設計概念が注目されている。人間が受け入れやすい運転支援技術を構築するためには、ドライバとシステムが調和しやすい操作力制御方式を導入し、さらには、ドライバ個人の運転履歴、スタイルおよびリアルタイムの運転状態を把握し、それらに適合した個別適合支援を行うことが有効であろう。



図1 リスク予測運転支援システムの位置づけ

2. 研究の目的

本研究では、自動車の知能化レベルを向上させるとともに、運転の質(Quality of Drive, QoD)を高めることを目的とし、潜在リスク予測型ドライバモデルを内蔵したShared Control技術の基盤構築を確立することを目指す。走行環境の文脈特徴(Driving Contextual Features)を考慮した潜在リスクマップの理論的記述とそのリスクマップに基づく操作反力提示による協調制御(Haptic Shared control)の新しい概念を提案する。

本研究課題は、自動車の運動という物理モデルと人間行動状態のリアルタイムセンシングと人工知能による交通文脈理解といった情報科学的モデルの融合的なアプローチで事故予防メカニズムを学術的に見出すものであり、交通事故といった社会的な問題を解決する手法でも極めて学術的である。

3. 研究の方法

3年間の研究期間で研究目的を達成するための実施内容は以下の通りであった。

(1) 交通文脈理解による潜在リスク

リスク予測技術：市街地の交通文脈から起こりうる被害の確率（リスク）を合理的に予測する手法を提案した。具体的には、本学所有するドライブレコーダのヒヤリハットデータベース（130,000件のビッグデータ）を使用し、文脈とリスクの大きさとの因果関係を解析し、理論的にリスクの定量化を行った。

(2) ドライバ運転状態を考慮した

リスク予測の進化：(1)に加えて、運転に対する注意力が低下した場合、同じ走行場面においてリスクがより高まるので、運転行動状態を加味したリスクの定量化を行った。正常時や異常時の運転行動の変化にどのように現れるかを見出す運転検知手法を開発した。

(3) **個別適合シェアード・コントロールの設計(Individual Adaptive Shared Control)**：人間機械協調の進化として、ペダルとステアリングの触覚的な反力制御系を施し、制御パラメータをリアルタイムの運転状況と個人の運転状態に適合するシェアード・コントロールシステムを開発した。受容性の高い運転支援の設計基盤を確立した。

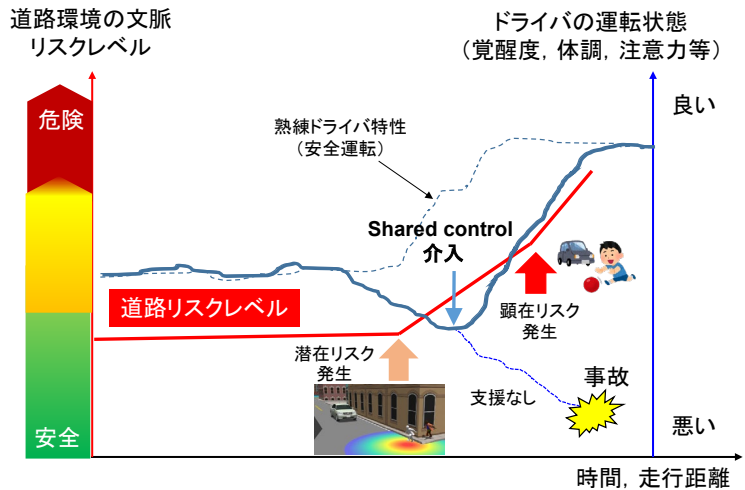


図2 リスク予測による事故回避性能向上

4. 研究成果

交通文脈理解

本稿における調査は、東京農工大学スマートモビリティ研究拠点で運用されるヒヤリハットデータベース（約 11 万件のニアミス・事故データを有す）に基づかれた。タクシーに搭載されたドライブレコーダは、前後加速度が $-0.45 G$ を超えるとき、その検出より以前の 10 秒間と、検出後の 5 秒間の計 15 秒間の映像、ならびに車両操作の情報等を自動的に記録する。また、計測されたイベントは、オフラインにて、「アノテーション」と呼ばれる質的データを評定者によって付加され、また主観的方法に基づき時間的切迫度に基づく「ヒヤリハットレベル（高・中・低）」も同様に付加されている⁽¹⁾。なお、本稿では、主観的方法で評価された「ヒヤリハットレベル」は、危険度推定における教師データに採用しなかった。

不確実性を有する、具体的には死角を含む場面を走行するとき、熟練ドライバーは、現在の走行環境の文脈を過去に経験したカテゴリーを参照し、またはより手がかりとなる情報を収集することなどによって、運転の文脈に応じて走行速度を下げる防衛的な運転（危険予測運転）を行う。ここで、歩行者が物陰から飛び出すイベントが発生する状況を考えてみよう。図3の (a) は、「減速行動」という戦術をとらないドライバーの例を示し、また (b) は、「減速行動」の戦術をとるドライバーの例である。なお、ドライバー（または歩行者）から認識できる死角の領域は、両者の幾何学的な位置関係から定義されうることから、車両がある特定の位置に達したとき、歩行者が飛び出す仮定をおく（これについては、観測データに基づき、本節の後半において考察する）。死角から歩行者が飛び出すとき、(b) のドライバーは、(a) のドライバーの例と比較して、衝突を回避するうえで十分な停止距離を確保できる。すなわち、「減速行動」の戦術をとることによって、回避のために利用可能な「追加の制動距離」を得ることは明らかである。

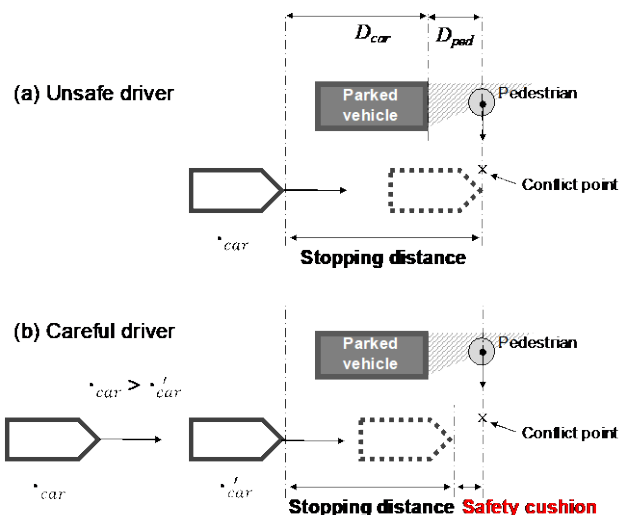


図3 Description of Safety cushion

本研究では、この追加の制動距離のことを「セーフティクッション」と呼び、このセーフティクッションは、潰せることができる仮想のクッションである。別の表現をとると、このクッションを潰すことで、(b)のドライバは、(a)のドライバと比較して、より緩やかな減速度で衝突を回避可能である。すなわち、セーフティクッションを創ることは、「ヒヤリハット（ニアミス）事象の低減」に繋がりうる。より一般的なリスク指標である衝突余裕時間（TTC）が、現実には歩行者が飛び出した際の余裕時間を意味することに対して、セーフティクッションは、歩行者が飛び出すより以前に、「確実に歩行者が飛び出すであろうこと」を仮定した際の安全マージンである。したがって、走行環境文脈と運転行動状態に基づく危険度推定モデルの構築を通じて、安全性と受容性を両立できる適切なセーフティクッションを創ることが要求される。

リスク適応型シェアードコントロールの設計

提案する制御システムのブロック線図を図4に示す。本システムは、以下の流れで制御が行われる。

- ① 環境情報からリスクポテンシャル場 U_{risk} を生成。
- ② リスクポテンシャル最適化制御による規範経路計画と規範操舵角 δ_{sw}^* の算出。
- ③ 走行環境中の平均リスクポテンシャルを算出して支援レベル w_{sr} を決定。
- ④ 規範操舵角 δ_{sw}^* と支援レベル w_{sr} から操舵支援トルク T_a を発生させる。

支援トルクはステアリングホイールを介して触覚情報としてドライバに伝わり、操舵するべき方向を教示する。

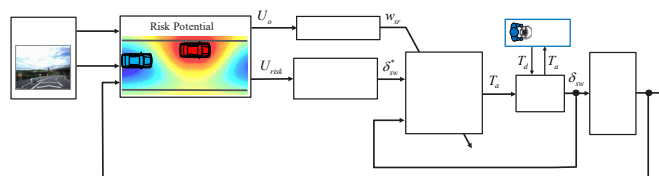


図4 Block diagram of adaptive haptic shared control system

リスクポテンシャル場の生成では、先行研究⁽²⁾⁽³⁾を参考に、駐車車両回避時のリスクポテンシャル場 U_{risk} を図5のように設計した。 U_{risk} は、本線中心ポテンシャル U_r 、道路境界ポテンシャル U_l 、および駐車車両ポテンシャル U_o の重ね合わせにより表現する。

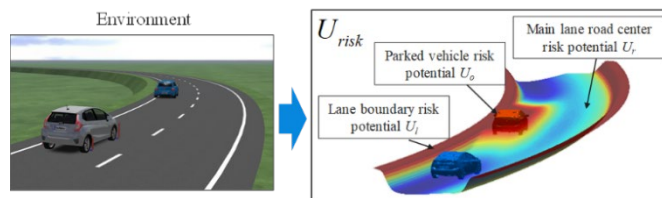


図 5 Generation of risk potential field in parked vehicle avoidance scenario on curved path

図 6 にシミュレーション結果を示す。提案するリスク適応制御は駐車車両の 50 m 手前付近からリスクがあると評価しており、支援レベル固定の制御と同じタイミング(175 m 付近)で回避のための支援トルクが発生しているのが分かる。また、直線区間では w_{sr} を 0 とすることで、ドライバーとのトルク干渉が発生しておらず、制御なしのドライバーと同じ運転行動を行えている。以上のことから、提案手法はリスクに応じて適切に操舵支援レベルを変化させ、従来手法よりもドライバー主体の運転を実現できると考えられる。

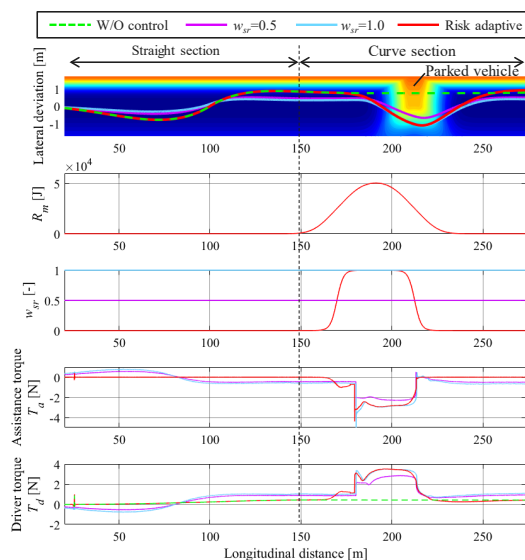


図 6 Comparison of Fixed and Risk-Adaptive shared control in parked vehicle avoidance scenario

以上より、リスクポテンシャル場を用いた規範経路計画とリスク評価手法を提案し、リスクに応じて支援レベルを変化させるリスク適応型ハプティック・シェアードコントロールを構築した。また、カーブ中の駐車車両回避場を対象としたシミュレーションにより、提案手法が支援レベル一律の従来の運転支援システムと比較してよりドライバー主体の運転を実現できる可能性を示唆した。

<引用文献>

- ① 藤田光伸, 道辻洋平, 小竹元基, 鎌田実, 永井 正夫: ドライブレコーダを用いたヒヤリハット分析に関する研究(第 2 報)-収集データによる分析手法とデータベースの構築-, 自動車技術会論文集, Vol.38, No.4, pp.145-150 (2007).
- ② 井上慎太郎ほか 3 名, DYC と操舵支援による人間機械協調型運転支援システム に関する研究 (第 2 報), 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿 集, CD-R(2016).
- ③ 佐藤大介, “動的リスクポテンシャル場を用いた高速道路合流時の運動計画と制御”, 東京農工大学修士論文, (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yuichi Saito and Pongsathorn Raksincharoensak	4. 巻 21
2. 論文標題 Effect of risk-predictive haptic guidance in one-pedal driving mode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cognition, Technology & Work	6. 最初と最後の頁 671-684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10111-019-00558-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 有田俊作, ボンサトーン・ラクシンチャラーンサク	4. 巻 85.878
2. 論文標題 クロソイド曲線による初期と終端の曲率が指定可能な経路生成手法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 19-0090
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.19-00090	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuichi Saito, Ryoma Yoshimi, Shinichi Kume, Masahiro Imai, Akito Yamasaki, Takuma Ito, Shintaro Inoue, Tsukasa Shimizu, Masao Nagai, Hideo Inoue, Pongsathorn Raksincharoensak	4. 巻 77
2. 論文標題 Effects of a driver assistance system with foresighted deceleration control on the driving performance of elderly and younger drivers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour	6. 最初と最後の頁 221-235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trf.2020.12.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Pongsathorn Raksincharoensak
2. 発表標題 Risk Predictive Driver Assistance System towards Zero-Traffic Accidents
3. 学会等名 2020 4th CAA International Conference on Vehicular Control and Intelligence (CVCI), Hangzhou, China, 18-20, December, 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Sekimoto, Shintaro Inoue and Pongsathorn Raksincharoensak
2. 発表標題 Adaptive Haptic Shared Control in Steering Operation for Curved Path Tracking Assistance
3. 学会等名 5th International Symposium on Future Active Safety Technology Towards Zero-Traffic-Accidents (FAST-zero '19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinichi Kume, Yuichi Saito, Hideo Inoue and Pongsathorn Raksincharoensak
2. 発表標題 Safety Cushion_Estimation of Potential Risk Based on Driving Context and Driver Behavior Sensing
3. 学会等名 5th International Symposium on Future Active Safety Technology Towards Zero-Traffic-Accidents (FAST-zero '19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 (5)齊藤裕一, 久米伸一, 渡部裕葵, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク
2. 発表標題 走行環境の文脈とドライバ行動の状態に基づく潜在危険度推定
3. 学会等名 計測自動制御学会, システム・情報部門学術講演会 (SSI 2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	齊藤 裕一 (Yuichi Saito)	筑波大学・システム情報系・助教 (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------