

(様式 5)

2021 年 12 月 16 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph.D. candidate)	工学府博士後期課程 機械システム工学 専攻 (major) 2016年度入学(Admission year) 学籍番号16833006 氏名 清水 司 (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク教授
論文題目 (Title)	歩行者衝突速度に基づく潜在リスクの定量化とリスク予測型運転支援への応用 Quantification of Risk Based on Collision Velocity with Pedestrians and Its Application to Risk Predictive Driver Assistance System
論文要旨（2000 字程度） (Abstract(400 words)) ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in English or in Japanese) <p>近年、国内の交通事故件数、交通死亡者数ともに減少傾向にあるが、未だ安全な交通社会が実現されてはいない。とりわけ、国内の交通死亡者数の半数以上を占める車両対歩行者・自転車事故に対する対策が必要である。このような背景の下、歩行者対応型の衝突被害軽減ブレーキの開発、普及が進んでいる。しかしながら、現状のシステムでは、駐車場、交差点などの死角からの歩行者の突然の飛び出しなどの不測の状況に対して、その効果は限定的である。このような潜在リスク場面での歩行者事故を回避したり、衝突被害を抑制したりできれば、交通事故死者数の低減につながると考えられる。そこで、本研究では、潜在リスク場面において熟練ドライバーが行っている合理的な運転戦略である先読み運転を工学的に実現する「リスク予測型運転支援システム」を実現するために、潜在リスク場面における運転行動分析、リスク指標の定量化と安全な走行軌道生成、および運転支援システム応用に関する研究を行った。</p> <p>まず、潜在リスク場面における望ましい運転（支援目標となる運転）についての知見を得るために、自動車教習所の指導員の走行および運転行動の分析、安全運転に関する行動ルールのヒアリングを行った。その結果、熟練ドライバー（指導員）は潜在リスク場面での先読み運転のために、道路環境に依存して一定の運転行動パターンを取っていることを明らかにした。また、指導員へのヒアリングから、以降のリスク指標の定量化の基本アイデアに繋がる運転行動ルール「何か出てきた時に止まれる速度、停止距離を心がけている」を得た。</p> <p>次に、潜在リスク場面において運転支援を受ける側の対象ドライバーの不安全運転についての知見を得るために、テストコースにて駐車車両通過場面における一般ドライバーの走行デ</p>	

ータを収集し、運転行動を分析した。その結果、不安運転の特徴の1つとして、駐車車両を回避するための操舵開始タイミング後のアクセルオフ遅れ、もしくは、アクセルオフ不実行に起因する減速不足により、通過時の速度が高めになることを明らかにした。また、これらの不安全行動に対して、減速支援として減速Gの印加や力覚提示を用いる運転支援デザインの提案を行った。

明らかになった一般ドライバーの不安全運転のリスクの程度を定量化するリスク指標の開発を行った。具体的には、死角からの仮想飛び出し歩行者に対してAEBが作動した際の衝突速度をリスク指標とした。このリスク指標は、従来研究でのリスク指標では満たされていなかった4つ要件を満たすものである。また、開発したリスク指標により、一般ドライバーの走行データに対して、走行時のリスクの推定および可視化を行った。

さらに、潜在リスク場面における走行状態のリスクを評価する評価関数（リスクフィールド）を提案し、それを用いて安全な走行軌道を生成することで、開発したリスク指標の妥当性の検証を行った。駐車車両側方通過時における熟練ドライバーの操作を正弦波モデル（縦・横加速度モデル）で近似し、リスクフィールドを用いて走行軌道の生成を試み、熟練ドライバーの安全な走行軌道に類似した軌道を生成することができた。

最後に、提案したリスク指標を用いて、歩行者側方通過時場面におけるリスク推定システムを構築し、提案したリスク指標のシステム応用実現性の検証を行った。FOT（Field Operational Test）で収集した実際的な走行データの車両情報、カメラ情報、LiDAR情報から歩行者通過時のリスクを推定することができた。これにより、実際的な走行環境において車載センサで得られる情報に対して援用可能であることを示した。

先読み運転の運転ルールに照らして合理的な考え（AEB作動時の衝突速度）に基づく潜在リスク場面におけるリスク指標を開発し、不安全運転を支援するシステムへの応用実現性が検証できた。従来のADASでは救えない潜在リスク場面での歩行者事故を低減するリスク予測型運転支援システムの実現に向けた貢献ができたと考える。

（英訳） ※和文要旨の場合(400 words)

In recent years, both the number of traffic accidents and the number of traffic fatalities in Japan have been declining, however a safe traffic society has not yet been realized. In particular, it is necessary to take measures against vehicle-to-pedestrian accidents, which account for more than half of the traffic fatalities in Japan. Against the background, AEB (Automatic Emergency Braking) with pedestrian detection are being developed and popularized. However, the current system has a limited effect on unexpected situations such as sudden darting out of pedestrians from blind spots behind parked vehicle intersections with poor visibility. If pedestrian accidents in such risk situations can be avoided and collision damage can be mitigated, it will lead to a reduction in the number of fatalities in traffic accidents. Therefore, in this study, in order to realize a "risk predictive driving support system" that engineeringly realizes foreseeing driving, which is a rational driving strategy performed by experienced drivers in risk situations, the research on driver behavior analysis, quantification of risk indicators, generation of safe driving trajectory, and application of driving support systems have been conducted.

First, in order to comprehend desirable driving (driving as a support target) in risk situations, we analyzed driving behavior of a driving-school instructor and interviewed rules regarding safe driving. As a result, it was clarified that the experienced driver takes a certain driving behavior pattern depending on the road environment for foreseeing driving in the risk situations. In addition, from the interviews with the instructor, we obtained the driving rule "I keep in mind the speed and distance to stop when something darts out", which leads to the basic idea of quantifying the risk index.

Next, in order to comprehend unsafe driving behavior in risk situation, we collected the driving data of the normal drivers in passing-parked-vehicle scene and analyzed driving behaviors. As a result, we found that some unsafe drivers pass by the parked vehicle at higher speed due to the insufficient deceleration caused by accelerator-off delay and the accelerator off failure. For these unsafe behaviors, we proposed a driving support design that uses haptic feedback and automatic deceleration.

We have proposed a risk index that can quantify the degree of unsafe driving. The collision velocity with activation of AEB for a virtual darting out pedestrian from a blind spot was used as a risk index. In addition, using the proposed risk index, we estimated and visualized the risk while driving in a risk situation.

Furthermore, we have proposed an evaluation function (risk field) that evaluates the risk of driving in risk situations and used it to generate a safe driving trajectory to verify the validity of the proposed risk index. We can generate a driving trajectory using a risk field, and a generated trajectory was similar to the safe driving trajectory of an experienced driver.

Finally, using the proposed risk index, we constructed a risk estimation system in a-pedestrian-passing scene, and verified the system application feasibility of the proposed risk index. We were able to estimate the risk using the vehicle information, camera information, and LiDAR information of the actual driving data collected by FOT (Field Operational Test).

In conclusion, we have developed a risk index in a risk situation based on a rational idea (collision velocity with AEB activation) and have verified the applicability to a system that supports unsafe driving. We believe that we have contributed to the realization of a risk-predictive driving support system that reduces pedestrian accidents in risk situations that cannot be saved by conventional ADAS.