

機関番号：33919

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500169

研究課題名（和文） 周辺車両ドライバの状態推定

研究課題名（英文） Driver state estimation of surrounding vehicles

研究代表者

山田 啓一（YAMADA KEIICHI）

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：50394705

研究成果の概要（和文）：周辺車両ドライバの状態に応じた運転支援システムのコンセプトを提案し、そのようなシステムが周辺車両ドライバの状態に適応的ではない従来型のシステムと比べ、より効果的に運転支援が行えることを明らかにした。そして、そのようなシステムを実現するための要素技術として、後続車両の車両挙動からその車両を運転するドライバの反応時間や不注意運転傾向の度合いを推定する手法などを提案した。

研究成果の概要（英文）：The concept of a driving support system that is adaptive to the following vehicle driver state was proposed and it was shown that the system is more effective compared to the one that is not adaptive to the driver state. Also, to realize such a system, methods for estimating the reaction time and the degree of "Negligent driving tendency" of a following vehicle driver from the behavioral information of the vehicle were proposed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：情報センシング，ITS，運転支援システム

1. 研究開始当初の背景

安心・安全な社会実現に向けて、交通事故死傷者数の削減が重要課題となっている。交通事故死傷者数削減のためには、道路側の各種施策に加え、車両側では「衝突安全技術」「衝突回避技術」「予防安全技術」が必要とされる。ドライバの運転を支援する運転支援システムは、「予防安全技術」の代表的なもので、研究機関や自動車メーカーによって活発な研究開発が行われており、その一部はすでに実用化されている。

これらの精力的な取り組みによって交通事故による死亡者の数は減少しつつあるが、

相変わらず交通事故の件数や負傷者数は増加の傾向にある。交通事故死傷者数をさらに削減していくためには、運転支援システムの高度化が必要とされる。

運転支援システムは、車両、道路およびドライバの状態に応じてドライバの運転を支援するもので、運転支援システムが扱うドライバの状態としては、ドライバの意識低下が代表的なものである。現在では、自車のドライバの状態に応じて支援を行う運転支援システムも実用化されはじめている。

今後必要とされる高度な運転支援システムの実現には、自車両ドライバのみならず、

周囲の車両のドライバ（さらには歩行者）の状態や意図、行動も考慮することが不可欠であると考えられる。これは例えば、実際のドライバは、周囲車両のドライバや歩行者の意図、特性、個性などに注意を払い常にその行動予測をおこないながらそれらの周囲の状況に応じた運転していることから明らかである。

2. 研究の目的

本研究は、周辺車両ドライバの状態や意図を推定し行動を予測する技術および、これら推定情報に基づく適応的な運転支援方法についての研究を目的としたものである。そしてこの成果を用いて自車ドライバおよび周辺車両のドライバ（さらには路上の歩行者）の状態に応じて高度な運転支援を行う技術を実現し、ひいては交通事故件数の大幅な低減に寄与することを目的としたものである。

本研究の期間においては、周辺車両のうち後続車両を対象とし、後続車両ドライバの状態や意図を推定し行動を予測する技術およびそれに基づく運転支援について研究し、その可能性と有効性を明らかにすることを目的とした。また周辺車両ドライバとして交差点における対向車両ドライバを取りあげ、対向車両ドライバの行動を予測する技術についても研究を行った。具体的には、(1)周辺車両ドライバの状態に応じた支援システムのコンセプト、(2)後続車両ドライバの反応時間の確率分布の推定法、(3)後続車両ドライバの不注意運転傾向の推定法、および(4)交差点における対向車両の通常の右折行動からの逸脱の検出法について研究を行った。

3. 研究の方法

(1) 周辺車両ドライバの状態に応じた支援システム

周辺車両ドライバの状態に応じた支援システムのコンセプトとその有効性を、後方プリクラッシュセーフティシステムを仮定したシミュレーション計算により検討した。すなわち、後続車両ドライバの反応時間の確率分布に応じて自車両システムの動作を適応的に決定することにより、後続車両ドライバの状態を考慮しない場合と比べ、より効果的なシステムが実現できるかをシミュレーション計算によって検討した。

(2) 後続車両ドライバの反応時間の確率分布の推定法

ドライビングシミュレータを用いた被験者実験により運転行動データを収集し、そのデータの解析により、車両ドライバの反応時間と車両挙動との関係を調査した。さらに、一般道路を一般ドライバが走行したときの

運転行動データについても解析を行い、ドライバの反応時間と車両挙動との関係について解析を行った。これらの解析結果に基づき、後続車両の車両挙動からその車両ドライバの反応時間の確率分布を推定する手法を検討した。

(3) 後続車両ドライバの不注意運転傾向の推定法

被験者実験により安全運転自己診断 SAS806 質問紙で測定される不注意運転傾向・運転軽視傾向の度合いと、ドライビングシミュレータでのドライバの様々な車両挙動の尺度との関係を調査した。そしてこの実験データを解析することにより、車両挙動からドライバの不注意運転傾向・運転軽視傾向の度合いを推定する方法を検討した。

(4) 交差点における対向車両の通常の右折行動からの逸脱の検出法

ドライビングシミュレータを用いた被験者実験によって交差点における運転行動データを収集した。そしてそのデータの解析により、対向車線を走行する車両のドライバが実行しようとしている運転行動が、その状況における通常の運転行動から逸脱しているかどうかを、その車両挙動から検出する手法を検討した。

4. 研究成果

(1) 周辺車両ドライバの状態に応じた支援システム

後続車両ドライバの反応時間の確率分布に応じて適応的に動作を変化させることにより、より効果的な運転支援システムが実現できることを明らかにした。

いま、運転支援システムとして、後方プリクラッシュセーフティシステムを想定する。後続車両ドライバの状態を考慮しない場合、同システムは、後続車両の自車両に対する TTC が所定の閾値以下になったときに作動するものとする。一方、後続車両ドライバの状態を考慮する場合は、後続車両ドライバの状態に応じて、TTC の閾値を適応的に変化させるものとする。ここで、後続車両ドライバの状態として、そのドライバの突発事象に対する反応時間 RT を考える。同反応時間は、ドライバの意識低下に伴い増加するが、後続車両の車両挙動（横方向変移の所定周波数帯のスペクトル値）から推定できるものとする。いま、後続車両ドライバの RT の確率密度を $p(RT)$ 、後続車両の自車両に対する TTC の確率密度を $p(TTC)$ 、ある瞬間の TTC の観測値が TTC であったときに後続車両が自車両に衝突する確率を $p(C|TTC)$ とする。このとき、システム動作の閾値を、後続車両ドライバの推定 $p(RT)$ に応じて変化させた場合と、ドラ

イバの状態によらず変化させない場合とについて、システムの未動作率と誤動作率をシミュレーションにより求めた。その結果、後続車両ドライバの反応時間の確率分布に応じて自車両システムの動作を適応的に決定することにより、後続車両ドライバの状態を考慮しない場合と比べ、より効果的なシステムが実現できることが示された。

(2) 後続車両ドライバの反応時間の確率分布の推定法

後続車両の車両挙動からその車両を運転するドライバの反応時間の確率分布を推定する手法を提案した。

まずドライビングシミュレータを用いた実験により、後続車両の横方向変位の周波数スペクトルの情報から、その車両ドライバの先行車急減速に対する反応時間の確率分布を推定できる可能性を明らかにした。次に、一般道路を一般ドライバが実車両で走行したときのドライバの反応時間と車両挙動あるいは操舵との関係を統計的に解析した結果から、車両の横方向変位の時間微分あるいは操舵角の周波数スペクトルから、その車両を運転するドライバの反応時間の確率分布を予測できることを見出した。

これらの結果に基づき、後続車両の横方向変位の時間微分あるいは操舵角の周波数帯スペクトルから、その車両を運転するドライバの反応時間の確率分布 $p(\tau_{RT})$ を予測する次のような手法を提案した。反応時間 τ_{RT} の確率分布 $p(\tau_{RT})$ の関数形式を仮定し、車両の横方向変位の時間微分等のスペクトルからこの確率分布関数のパラメータを推定する。いま確率分布 $p(\tau_{RT})$ の形として正規分布を仮定すると、そのパラメータである平均 μ_{RT} および標準偏差 σ_{RT} はスペクトルの関数と考えることができる。いま車両横変位の時間微分あるいは操舵角のスペクトル値と μ_{RT} および σ_{RT} の関係を学習用の事例から事前に推定しておく。そして新たに観測されたスペクトルが与えられたとき、そのスペクトルから、このモデルを用いて、その車両ドライバの反応時間の確率分布 $p(\tau_{RT})$ を予測する。

今後の課題として、天候、道路環境、車速、車間距離などの要因が及ぼす影響の検討、高齢者を含むより幅広い年齢層のドライバや直線区間以外での運転行動についての解析などが挙げられる。

(3) 後続車両ドライバの不注意運転傾向の推定法

後続車両の車両挙動からその車両を運転するドライバの不注意運転傾向の度合いを推定する手法を提案した。

SAS806 質問紙で測定される不注意運転傾向・運転軽視傾向の度合いと、ドライビング

シミュレータでのドライバの様々な車両挙動の尺度との関係の解析から、「不注意運転傾向」の度合いは TTC(Time To Collision) の最小値 (TTCmin) の平均と相関があることを明らかにした。次にこの結果に基づき、自車減速時における後続車両の自車両に対する TTCmin から、後続車両ドライバが「不注意運転傾向」の高いドライバであるか否かを推定する方法を提案した。提案手法を 12 名の実験データについて評価した結果、9 名について平均 3.5 回の TTCmin の観測で正しく推定された。推定精度は、条件がコントロールされたドライビングシミュレータ上のデータにおいて正解率 75% で必ずしも高いとはいえないが、本研究の結果は、車両挙動から後続車両ドライバの不注意運転傾向を推定できる可能性を示したものとして、意義あるものと考えられる。さらに、一般道路における実車の走行データを分析からも、本手法が実車へ適用できる可能性を示唆する結果が得られた。本研究においては、車間距離、ブレーキ量、ブレーキ回数、TTCmin について「不注意運転傾向」との相関を調べ、その結果最も相関が高かった TTCmin を指標とした。本研究で扱った TTCmin は車両の縦方向の挙動に関する情報であるが、他の可能性として、走行中の車両横方向変移量やその周期のような車両の横方向の挙動に関する情報も指標として併せて利用できる可能性があると考えられる。

(4) 交差点における対向車両の通常の右折行動からの逸脱の検出法

交差点における対向車線を走行する車両のドライバが実行しようとしている右折運転行動が、その状況における通常の運転行動から逸脱しているか否かを、その車両挙動から検出する 2 種類の手法を提案した。

本研究ではまず、状況ごとに通常の運転行動をモデル化することにより、観測された運転行動の通常からの逸脱を検出する手法を提案した。対象とする車両挙動データに対する尤度が最も高いモデルを、そのドライバが実行しようとしている運転行動であると予測するが、いずれのモデルに対する尤度も低い場合には、そのドライバが実行しようとしている運転行動は通常から逸脱していると予測する。学習および予測には、過去一定時間の車両挙動データを使用する。

しかしながらこの提案手法は対象とする状況が複雑となった場合に適用が困難となる課題があることが分かったため、この課題を解決するため、より複雑な場面に適用できるように改良した手法を提案した。これは、運転行動が観測されたときの状況がその運転行動が観測される通常の状況から逸脱していることを検出することにより、その運転

行動の事故に至る可能性を予測する。この提案手法は、原理的にモデル数が状況の多様さに依存しないので、状況が多様になってもモデル数が増大することがない特長がある。ドライビングシミュレータを用いた実験により提案手法の有効性を確かめた。

今後の課題として、より早期により精度よく逸脱を検出するための改良や、より複雑な状況における逸脱の検出の検討、実環境下の道路を実車両で走行したデータを用いた本手法の実環境への適用可能性の評価および改良が挙げられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 林 紀典, 山田啓一, 運転行動が観測されたときの状況の通常からの逸脱の検出による交差点における右折行動の事故に至る可能性の予測, 電気学会論文誌 C, Vol. 131, No. 7, 2011 (掲載決定) [査読有]
- ② 林 紀典, 細江尚樹, 山田啓一, 交差点における対向車両の通常の右折行動からの逸脱の検出, 自動車技術会論文集, Vol. 41, No. 3, pp. 767-773, 2010 [査読有]
- ③ 紀平和俊, 山田啓一, 車両挙動からの後続車両ドライバの不注意運転傾向の推定, 電気学会論文誌 C, Vol. 130, No. 6, pp. 1003-1009, 2010 [査読有]
- ④ 福岡広晃, 白井 悠, 紀平和俊, 山田啓一, 周辺車両ドライバの状態に応じた支援システム - 後方ブリクラッシュセーフティシステムでのシミュレーション -, 自動車技術会論文集, Vol. 40, No. 3, pp. 933-938, 2009 [査読有]

[学会発表] (計12件)

- ① 高木伸哉, 山田啓一, ドライバの反応時間の車両挙動からの予測に関する検討, 自動車技術会学術講演会, 20115104, 2011年5月18日, パシフィコ横浜
- ② Hiroaki Fukuoka, Yuu Shirai, Keiichi Yamada, "Driving Support System Adaptive to the State of Surrounding Vehicle Drivers", Proc. of 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV2009), pp. 1215-1220, June 3-5, 2009, Xi'an, China [査読有]
- ③ Toshinori Hayashi, Keiichi Yamada, "Predicting Unusual Right-turn Driving Behavior at Intersection", Proc. of 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV2009), pp. 869-874, June 3-5, 2009, Xi'an, China [査読有]
- ④ 福岡広晃, 白井悠, 山田啓一, 「周辺車両ドライバの状態に応じた支援システム」, 平成21年度電気関係学会東海支部連合大会講

演論文集, O-267, 2009年9月11日, 愛知工業大学

- ⑤ 林 紀典, 細江尚樹, 山田啓一, 「交差点における対向車両の右折行動の通常からの逸脱の検出」, 自動車技術会学術講演会前刷集 (2009年秋季大会), No.111-09, pp. 5-8, 20095507, 2009年10月8日, 仙台国際センター
 - ⑥ 白井悠, 紀平和俊, 福岡広晃, 山田啓一, 「後続車両ドライバの反応時間の推定」, 平成20年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, O-402, 2008年9月19日, 愛知県立大学
 - ⑦ 紀平和俊, 白井悠, 福岡広晃, 山田啓一, 「後続車両ドライバの運転挙動からの運転タイプの推定」, 平成20年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, O-401, 2008年9月19日, 愛知県立大学
 - ⑧ 福岡広晃, 紀平和俊, 白井悠, 山田啓一, 「後続車両ドライバの状態に応じた運転支援システム」, 平成20年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, O-403, 2008年9月19日, 愛知県立大学
 - ⑨ 林紀典, 山田啓一, 「隠れマルコフモデルを用いた交差点における右折車両ドライバの行動意図の推定」, 平成20年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, O-235, 2008年9月19日, 愛知県立大学
 - ⑩ 内田和宏, 長島裕也, 山田啓一, 「相前後して走行するドライバ間の運転行動の相互作用」, 平成20年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, O-400, 2008年9月19日, 愛知県立大学
 - ⑪ 福岡広晃, 白井悠, 紀平和俊, 山田啓一, 「周辺車両ドライバの状態に応じた支援システム」, 自動車技術会学術講演会前刷集 (2008年秋季大会), No.145-08, pp. 19-23, 20085664, 2008年10月24日, 名古屋国際会議場
 - ⑫ 内田和宏, 長島裕也, 紀平和俊, 山田啓一, 「ドライバ間の運転行動の相互作用」, 第7回 ITS シンポジウム 2008 Proceedings, 2-C-03, 2008年12月5日, 日本大学津田沼キャンパス
- ## 6. 研究組織
- (1) 研究代表者
山田 啓一 (YAMADA KEIICHI)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号: 50394705