

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23651162

研究課題名（和文） 双対制御論的アクティブ・セーフティ技術の提案と開発

研究課題名（英文） Development of dual control theoretic active safety technology

研究代表者

稲垣 敏之 (INAGAKI TOSHIYUKI)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：60134219

研究成果の概要（和文）：車線逸脱防止のための車両安全制御を例に取り上げて、車両挙動の情報のみに基づいてドライバーが状況認識不全状態にあるか否かの判定と車両の安全制御という2つの目的をひとつの制御で達成する双対制御論的なアクティブ・セーフティ技術のプロトタイプを構築した。

ここで開発した双対制御論的システムでは、数秒後に車線を逸脱することが予測されたとき、車両がかるうじて車線内に留まることができる程度の操舵制御を「第1段目の安全制御」とすることによって、ドライバーが状況把握と制御実行に利用できる時間を創出する。その際、ドライバーが自らの操舵で車両を車線中央に戻すことができれば、システムは「ドライバーの状況認識は良好である」と判定し、それ以降は主導的な制御は行わない。

一方、一定時間内にドライバーの反応が見られないときは、システムは、「ドライバーの状況認識は不全である」と判定するとともに、「第2段目の安全制御」として、車両を車線中央に戻す操舵制御を行う。

本研究では、上記の性質を持つ、車線逸脱防止のための双対制御論的なアクティブ・セーフティシステムの構築手順を明らかにするとともに、その有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：The aim of this research is to propose and develop an active safety system of a dual control type for preventing lane departure incidents and accidents. The developed system has the following features:

- (1) When the system anticipates, based on data obtained through monitoring the vehicle's behavior, that the host vehicle may be departing from the lane in a few seconds, it applies the least possible *steering control of the first stage* so as to keep the vehicle in the current lane.
- (2) If the driver initiates his/her steering control immediately after the system's steering control of the first stage, the system determines that the driver's situation awareness is maintained at an appropriate level and it does not intervene into the driver's control.
- (3) If the driver does not initiate his/her steering control even when some seconds have passed since the system applied the steering control of the first stage, the system determines that the driver lacks a proper level of situation awareness due to some reasons, such as sleepiness, internal/external distraction, or incapacitation, and then it applies the *steering control of the second stage* so as to bring the vehicle to the center of the lane.

The steering control of the first stage has two purposes; (a) to judge whether the driver's situation awareness is appropriate or not, and (b) to prevent the host vehicle

from departing from the current lane. Thus the steering control has *dual control theoretic* characteristics. This study has developed a method to implement such a dual control theoretic active safety technology for lane departure prevention.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：システム安全工学

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：双対制御・アクティブセイフティ・車両安全確保・低覚醒状態検出・ヒューマンエラー

1. 研究開始当初の背景

居眠り運転は、他者を巻き込んでの事故になる可能性が極めて高い。そのため、自動車安全における古くからの懸案であった。運転者が居眠り等の低覚醒状態にあることを知る方法としては、つぎの3種類がある。

(1) エキスパートによる運転者の顔表情評定に基づいて判定するもの（たとえば、北島他、日本機械学会論文集，63(613)，3059-3066（1997）等）

(2) 運転者の生体情報に基づいて判定するもの（たとえば、T. Ranney, et al., NHTSA Driver distraction Research (2000)、T. Inagaki, Ann. Review in Control, 32, 253-261 (2008) 等)

(3) 運転席のシートにかかる圧力分布の特徴に基づいて判定するもの（たとえば、伊藤他、自動車技術会論文集，41(1)，35-42 (2010) 等)

これらは、実験室レベルではある程度の有効性が認められているものの、実世界における有用性の観点からは、必ずしも十分なものではない。

実際、(1) は、顔表情評定者の主観的判断に左右されるという欠点を持つことに加え、顔表情評定を行う複数人のエキスパートの役割を果たす画像理解プログラムの開発が必要になる。また、(2) や (3) は、生理特性の個人差に影響を受けるため、運転者すべてに対して有効であると認定できるほどの一定の判定能力が保証されていない。また、

(2) では運転者にセンサを装着させる必要があるが、そのことも、当該技術の実用化への障害となっている。

2. 研究の目的

自動車運転者が低覚醒状態にあることを知るために国内・国外で採られている手法（すなわち、顔表情評定に基づく方法、生体情報を用いる方法、座席やシートベルトにかかる圧力分布を用いる方法）には、上記のように、実世界での有効性が保証できないという大きな問題があった。

本研究は、その問題を解消すべく、車両制御につかう客観情報のみを用いて、(i) 運転者が低覚醒状態にあるか否かの判定と、(ii) 車両の安全確保、という2つの目的をひとつの制御で達成させることができる双対制御論的なアクティブ・セイフティ技術の実現を目的とする。

上記の2つの目的をひとつの制御で達成させるためのポイントは、制御を2段に分ける点にある。1段目では必要量に足りない制御を行い、不足分を運転者に対応させる。もし運転者が対応しないときは「運転者は低覚醒状態にある」と判定し、1段目の制御の不足を補う2段目の制御をシステムが実行する。

なお、2段の制御のうちの1段目に不足分を残すことは、運転者を制御ループ内に留めるもの (human-in-the-loop) として、シス

テムへの「過度の依存」の抑制するための手法 (T. Inagaki, HMAT 2010 Workshop (keynote lecture)) を研究している過程で着想を得た。

3. 研究の方法

上記の目的を実現するために、つぎの3つの達成目標を設定して研究を進めた。

【目標1】上記の機能をもつ双対制御論的システムの記述モデルを構築し、運転者の状況認識不全状態の検知とシステムによる安全制御の有効性を確率論的に証明する。

【目標2】システムによる制御を2段に分ける際の1段目と2段目への制御量配分と2段の制御間の時間差設定を、反力フィードバックの知覚性、可オーバーライド性などの観点から最適化する手法を開発する。

【目標3】双対制御システムをドライビングシミュレータ上に構築して認知工学的実験を行い、提案システムの有効性を検証する。

4. 研究成果

まず、目標1について述べる。システムによる制御を2段に分け、1段目で行う制御量を本来必要な制御量の $\alpha\%$ 、2段目で行う制御量はその残余分 $(1-\alpha)\%$ とし、2段の制御間の時間差をT秒、運転者が1段目の制御を正しく知覚して自ら制御を加える確率をp、システムの制御を運転者が正しくオーバーライドできる確率をqとしたとき、これらの間には依存関係が生まれる。

たとえば、1段目の制御が運転者にとって明確に知覚できるほど大きい(α が大きい)ときは、それに基づいて運転者自身が自ら制御を加えることができる可能性(p)が高まる。しかし、システムによる状況判断が誤っているケースであったなら、運転者がシステムによる「不適切な制御」をオーバーライドしようと思っても、システムの制御が大きいため、オーバーライドが適時・適切に行えないことがある(qが小さくなる)。そこで、このような相互作用を記述できるように、運転者とシステムがたがいの行動の結果を検知して自らの行動を決める包括的機能モデルを構築し、基本的特性を解析した。

つぎに、目標2について述べる。システムによる制御を2段に分けたとき、必要な制御量を1段目と2段目にどのように分担させればよいか(α の設定)、2段の制御にどれだけの時間差(Tの設定)を設けるかは、システムと運転者の相互作用の成否を支配し得る要因である。さらに、1段目の制御入力の形状の選択にも影響を受ける可能性が予想された。そこで、1段目の安全制御として、4種類のカテゴリの操舵制御入力を設定したうえで、車両が車線を逸脱していく状況設定の各々に対して、車両に対する1段目の安全制御がどのようなものであるべきか、運転者が反応しなかった場合の2段目の安全制御をいつどのように実行すべきかを、机上計算とコンピュータシミュレーションを用いて解析した。

さらに、目標3を達成し、双対制御論的システムの設計ガイドラインを策定するためのデータを得るべく、第1段目の安全制御として4種類のカテゴリの操舵制御入力を設定し、ドライビングシミュレータを用いて各操舵制御入力の認知工学的特性を明らかにした。また、センサの誤作動による不必要な安全制御が第1段目および第2段目で作動した場合、ドライバーがそれらを正しく検知でき、不要制御入力を大きな負担なしにオーバーライドできるか否かを検証・評価した。さらに、それらの知見を取りまとめ、車両モデルの厳密化ならびに操舵制御の実時間計算を可能にするための技法を開発した。

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1件)

- ① T. Inagaki and T.B. Sheridan, Authority and Responsibility in Human-Machine Systems: Probability theoretic validation of machine-initiated trading of authority, Cognition, Technology & Work Vol. 14, pp. 29-37, 2012, 査読有
10.1007/s10111-011-0193-4

〔学会発表〕（計 6 件）

- ① 松原史浩, 伊藤誠, 稲垣敏之, 車線逸脱防止とドライバーモニタリングを同時に行う双対制御的運転支援システムの構築について, 計測自動制御学会 第40回知能システムシンポジウム, 2013年03月14日, 京都工芸繊維大学 (京都)
- ② 石川諒, 伊藤誠, 稲垣敏之, 時系列を考慮した2段階の眠気レベル推定, 計測自動制御学会 第40回知能システムシンポジウム, 2013年03月14日, 京都工芸繊維大学 (京都)
- ③ 石川諒, 伊藤誠, 稲垣敏之, ドライバの覚醒度低下に伴う生体指標・運転行動・主観評価の変化と相互関係, 電子情報通信学会 安全性研究会, 2012年05月24日, 機械振興会館 (東京)
- ④ 齊藤拓也, 伊藤誠, 稲垣敏之, 運転時の車外環境がステアリング操作に及ぼす影響, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会, 2012年11月22日, ウィルあいち (名古屋)
- ⑤ 稲垣敏之, A S V の基本理念と運転支援の考え方について, 第5期先進安全自動車推進計画運転支援設計分科会 (招待講演), 2012年3月8日, 主婦会館 (東京)
- ⑥ T. Inagaki, Technological and legal considerations for the design of interactions between human driver and advanced driver assistance systems, NeTWork Workshop 2011: Control and accountability in highly automated system (招待講演), 2011年9月29日, Abbeye de Sorreze (フランス)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲垣 敏之 (INAGAKI TOSHIYUKI)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号: 60134219

(2) 研究協力者

松原 史浩 (MATSUBARA FUMIHIRO)
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・博士前期課程
齊藤 裕一 (SAITO YUICHI)
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・博士後期課程