

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00231

研究課題名(和文) ドライバの視行動のモデル化に基づく運転の危険状態推定

研究課題名(英文) Estimation of risky driving situation based on driver gaze behavior modeling

研究代表者

宮島 千代美 (Chiyomi, Miyajima)

名古屋大学・未来社会創造機構・特任准教授

研究者番号：90335092

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ドライバの視線方向と周辺車の位置・危険度との関係から、視行動の安全性を定量化する手法を提案した。車線変更時の視行動について安全性の定量化を行った結果、一般ドライバに比較し、教習員の方が車線変更中に見るべき領域を見ているという結果が得られた。次に、視行動と運転操作行動の順序・共起関係をモデル化する手法を提案した。安全な車線変更と危険な車線変更をHMMを用いてそれぞれモデル化した結果、モデルのパラメータに明らかな違いがあることが分かった。また、視行動と運転操作行動の統合モデルを用いて危険な車線変更検出を行った結果、視線のみ、運転操作行動のみを用いた場合に比べ、高い検出精度が得られることを示した。

研究成果の概要(英文)：We proposed a method to quantify the safety of driver gaze behavior based on the relationship between the gaze directions and the positions and the risk levels of surrounding vehicles. Experimental results showed that driving instructors exhibit safer gaze behavior than other drivers. We also proposed a method of modeling the sequences and co-occurrence of driver gaze behavior and vehicle operation behavior. We modeled safe and risky lane change maneuvers based on gaze directions and discrete acts of vehicle operation behavior using hidden Markov models. We found that there were significant differences between the model parameters of safe and risky behavior. We then detected risky lane changes using the models. The integrated model of gaze and vehicle operation behavior achieved better risky lane change detection performance than the gaze-only and vehicle operation-only models.

研究分野：運転行動情報処理

キーワード：ドライバ 視行動 運転操作行動 危険度推定 隠れマルコフモデル 車線変更

1. 研究開始当初の背景

国内の交通死亡事故の原因は、漫然運転、脇見運転、安全不確認、動静不注意など、ドライバの視行動の問題に関係するものが全体の約4割を占めており、ドライバの視行動の変化から、不注意・注意散漫な状態を早期に検知し、事故を未然に防ぐ手段が求められる。

ドライバの開眼度や視線方向をモニタリングすることで、不注意・注意散漫状態を検出する研究は、世界で数多く行われている。ドライバの注意散漫の主な原因は、眠気や疲労、運転以外のタスクに注意が向けられること(ディストラクション)である。眠気や疲労度を検出する眼の特徴量としては、米運輸省高速道路交通安全局(NTSHA)の報告書でも紹介されているPERCLOS(Percentage of Eye Closure, ドライバの瞼が80%以上閉じている時間の割合)や、眼の瞬きの頻度等が代表的なものとして挙げられる。また、欧州Volvoの報告書では、ドライバが進行方向道路を見ている割合を表すPRC(Percent Road Center of gaze direction)が、ドライバのディストラクション状態を検出する指標として有効であることが示されている。ドライバディストラクションと不注意のテーマに特化した国際会議DDI(Driver Distraction and Inattention)が開かれるほど、国際的にも注目された研究分野と言える。上記のように、従来の研究では、開眼度や視線方向割合など、眼の状態のみに注目した手法が中心的であり、その注視対象物の危険度については重視されていない。一方で、周囲の障害物の危険度を表す指標として、周辺車の危険度を二次元マップ上に連続関数で表現したりリスクポテンシャル関数や、歩行者の歩行速度・方向を推定して、歩行者の危険度を定量化するといった研究が存在する。しかし、ドライバの視線と周辺の注視対象物の危険度との関係から、ドライバの視行動の適切度を定量化するといった研究や、ドライバの視行動と運転操作行動の関係を同時モデル化し、運転の危険状態を検出するといった研究例は少ない。

2. 研究の目的

本研究では、ドライバの視行動の適切さを定量化するとともに、視行動と運転行動を同時モデル化することで、危険な運転状態を検出することを目的とする。ドライバの視線、操作行動、車両挙動、周辺環境に関わる信号を同時収録し、視線方向と注視対象物(周辺車や歩行者等)の位置との相関、注視度と注視対象物の挙動危険度との関係から、視線配分の適切さを定量化するとともに、視行動と運転行動の順序・共起関係をモデル化することで、危険運転状態を検出する手法を提案する。

本研究の特色の一つは、ドライバの視線と操作、車両挙動、周辺環境の関係を統合的にモデル化する点である。これらの運転の要素を独立にモデル化して、ドライバの状態推定や運転の評価を行うことも可能であるが、これらは密接に関係していると考えられ、統合的にモデル化することが合理的であると考えられる。本研究では、視行動と運転行動(操作や車両挙動)のモデル化することで運転を統合的にモデル化することから、運転の要素を独立にモデル化する場合に比べ、危険運転状態検出の評価実験で高い結果が得られるものと期待される。

もう一つは、実車両・実道路での運転行動を対象としている点である。ドライビングシミュレータやテストコースでの実験は、実験条件の統制をし易い、安全を確保し易いといった利点があるが、ドライバのリスクの感じ方など実際の状況との乖離が存在する。一方、実道路での実車両の運転を対象とすることは、実験の再現が難しい、十分な安全対策が必要など、チャレンジングな研究であると言える。また、実運転環境でドライバが見ている対象物を推定することは、一見簡単なようで実は難しい課題である。ドライビングシミュレータでは、視線計測器のキャリブレーションをスクリーン上で適切に行い、スクリーンに表示した映像とのマッチングを取ることによって視線の先にある対象物を推定が可能である。一方、実運転環境では、様々な奥行の周辺物が存在するため、ドライバの視線方向が正確に計測できたとしても、キャリブレーションを行った奥行以外ではカメラとの視差が一致しないため、周辺物の奥行を考慮してカメラとドライバの視差を考えた補正が必要となる。以上のように、実運転を対象とすることは困難が多く挑戦的な課題ではあるが、実際の運転支援への応用に直結することから、得られた研究成果得の意義も大きいと考えられる。

2020年までに日本政府が実現を目指すレベル3の自動運転(ドライバが自動運転を監視し、自動運転システムが機能限界に達した場合に操作介入をする)では、ドライバの行動のメインは運転操作ではなく監視行動、つまり「視行動」となることから、視行動の評価や視線と運転状況・周辺環境の関係の分析は、自動運転においても重要な研究課題となり得る。従って、本研究の研究成果は、近い将来来るべき自動運転時代におけるドライバの状態推定の研究にも繋がるものと考えられる。

3. 研究の方法

(1) 実験データ

運転信号記録デバイスと視線計測器を搭載した実験車両を用いて収集した自動車教習所の教習員5名と一般ドライバ5名の運転

データを用いる。特に、ドライバの視行動が重要となる運転状況として車線変更シーンに着目する。収録した各車線変更の危険度の ground-truth として、10 名の評価者（が前方映像を見て評価した主観危険度の正規化平均値を用いる。

(2) 領域注視度 / 危険度による視行動評価

視行動の安全性を定量化する方法として、まず、領域注視度と領域危険度の相関から安全性を定量化する方法について検討する。図 1 に示すように、自車を中心に、前方、左・右前方、左・右側方、後方、左・右後方の 8 領域に視線配分領域を分割し、ドライバの視線方向、単位時間当たりの領域停留時間や領域間の動的な移動の分布等から、ドライバの各領域の注視度 x を算出する。更に、各領域に存在する周辺車両や歩行者等の危険度を算出する。周辺車の TTC (Time to Collision) 指標から周辺車両の危険度を算出し、各領域に存在する周辺車の危険度から領域危険度 y を算出する。最後に、領域注視度と領域危険度の相関から視線配分適切度を算出する。教習員と一般ドライバの視行動の安全性を比較し、考察する。

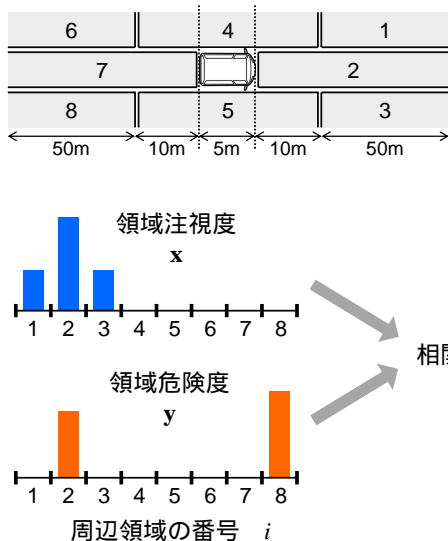


図 1: 周辺 8 領域の定義と領域注視度・危険度の相関による視行動の安全性定量化

(3) 視行動・運転行動のモデル化と危険検出

ドライバの視行動と運転操作行動を離散的なイベントの時系列のマルチストリームとして表現する。ドライバの視行動については、視線方向に基づき「右ミラーで右後方車を確認する」「スピードメータを見る」などの離散的な視行動イベントの時系列として表した。一方、運転操作行動については、図 2 に示す操作信号・車両挙動の分布に基づき量子化し、「アクセルを弱く踏み込む」「右方向へ素早く移動する」等の離散イベントの時系列として表した。

図 3 は右車線変更時の視行動・運転行動を

合計 4 つの離散行動イベントの時系列として表現した例である。離散隠れマルコフモデルを用いて、これらの離散イベント時系列をモデル化すれば、あるドライバの車線変更時の行動パターンを統計的に表現することが可能である。危険度の ground-truth を基に、安全・危険な運転行動のモデルを構築し、学習後のパラメータを比較することでモデルの表現力を評価する。また、視行動・運転行動の統合モデルに基づき、危険な運転車線変更を検出する実験を行い、視行動のみ、運転行動のみのモデルで検出した場合と検出精度を比較し、統合モデルの有効性について検討する。

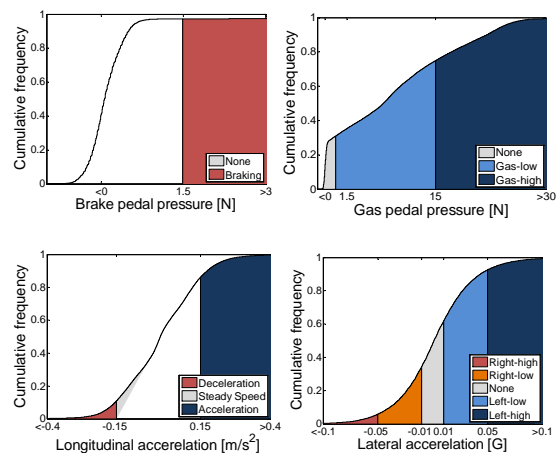


図 2: 運転信号の累積分布と離散イベント (左上: ブレーキ踏力, 右上: アクセル踏力, 左下: 前後加速度, 右下: 左右加速度)

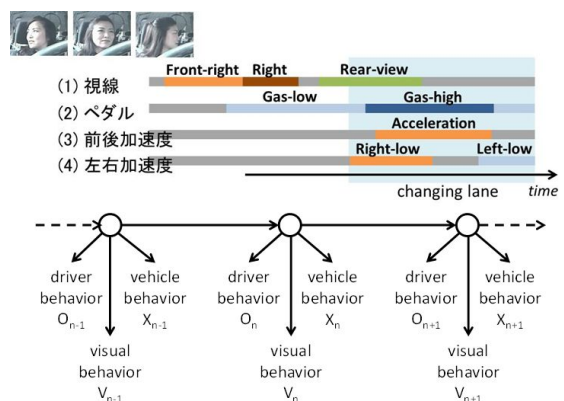


図 3: 離散隠れマルコフモデルに基づく視行動と運転操作行動の同時モデル化

4. 研究成果

領域注視度と領域危険度の相関に基づき、視行動の安全性の定量化を行った結果を図 4 に示す。定量化の結果、教習員 5 名の相関係数は平均 0.34、一般ドライバ 5 名の平均は 0.29 となり、一般ドライバに比較し、教習員

の方が車線変更中に見るべき領域を見ているという結果が得られた。

次に、ドライバの運転中の視行動と運転操作行動をそれぞれ離散的なイベントの時系列として表現し、離散隠れマルコフモデルを用いてこの離散イベントの時系列をモデル化し、ドライバの車線変更時の行動パターンを統計的に表現した。

10名の評価者による車線変更危険度のground-truthを基に、安全・危険な車線変更行動のモデルをそれぞれ構築した。安全な車線変更行動のモデルの学習には危険度下位5%の車線変更データを、危険な車線変更行動のモデルの学習には、危険度上位5%のデータを用いた。学習に用いたデータの教習員・一般ドライバのデータ数の内訳を表1に示す。危険と判断された車線変更シーンの数は、一般ドライバに比べて教習員の方が少ないことがわかる。

安全な車線変更と危険な車線変更の学習後のモデルのパラメータを図4で比較する。図4より、安全な車線変更モデルについては、右を見て、正面を見て、右を見るという繰り返し周囲を確認する視行動の特徴や、緩やかに加速度が変化するという特徴が見られた。一方、危険な車線変更のモデルについては、繰り返しの周囲確認行動の特徴ははっきりと見ることができず、急な前後左右の加速度変化がパラメータの特徴として表れた。

表1: モデルの学習に用いた危険・安全上位5%の車線変更件数の内訳

	右車線変更		左車線変更	
	危険	安全	危険	安全
教習員	5	10	8	14
一般	20	15	17	11
合計	25	25	25	25

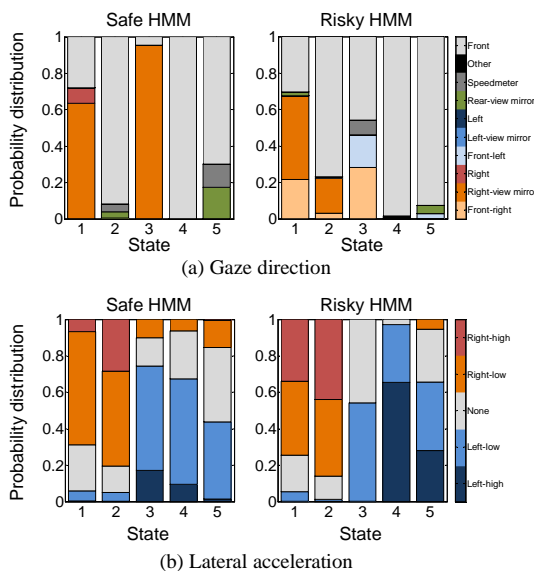


図4: 安全モデルと危険モデルの視線と横加速度のモデルパラメータの比較

次に、視行動・運転操作行動の統合モデルに基づき、危険な運転状態を検出する手法について検討した。危険行動モデルと安全行動モデルに対する尤度比を危険度と定義し、危険な車線変更を検出した。クロスバリデーションの評価において、誤検出率10%で危険度の閾値を設定した場合の検出率を図5に示す。右車線変更については88%、左車線変更については84%の検出率を得た。また、左右どちらの車線変更についても、視線と運転操作行動の統合モデルを用いた場合に、視線のみ、運転操作行動のみを用いた場合に比べ、高い検出精度が得られることを確認した。

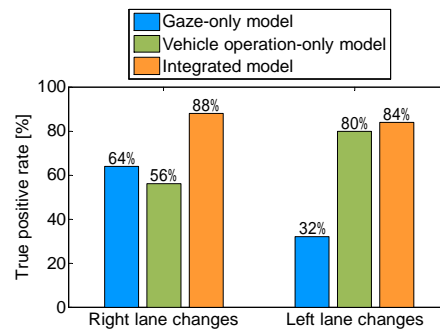


図5: 安全モデルと危険モデルの視線と横加速度のモデルパラメータの比較

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

C. Miyajima and K. Takeda, "Driver-behavior modeling using on-road driving data," *IEEE Signal Processing Magazine*, 査読有, 33(6), 14–21, Nov. 2016, DOI: 10.1109/MSP.2016.2602377

[学会発表](計12件)

N. Bao, C. Miyajima, A. Tamamori, E. Takeuchi, and K. Takeda, "Estimating subjective driving risk feeling using random forest," 電子情報通信学会総合大会, 2018年3月20日, 2018 (東京電機大学(東京))

C. Miyajima and K. Takeda, "Developing driving behavior database for naturalistic driving study," *IEEE 2017 International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC'17)*, Oct. 17, 2017 (Yokohama, Japan)

N. Bao, C. Miyajima, E. Takeuchi, K. Takeda, S. Honda, T. Yoshitani, and M. Ito, "Estimating risk levels perceived by individuals for lane change scenes," *4th International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero traffic accidents (FAST-zero '17)*, 6 pages,

Sept. 19, 2017 (Nara, Japan)

Y. Sheng, Y. Li, C. Miyajima, E. Takeuchi, K. Takeda, S. Honda, T. Yoshitani, and M. Ito, "Estimation of driver's risk feeling toward driving environment using neural network" 4th International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero traffic accidents (FAST-zero '17), 6 pages, Sept. 19, 2017 (Nara, Japan)

C. Miyajima, Y. Sheng, and K. Takeda, "Estimation of risk as perceived by individual drivers," The Second Seminar on JSPS Core-to-Core Program, Aug. 2017 (Bangkok, Thailand)

宮島 千代美, "大規模運転データの収集とその活用," 電子情報通信学会 2017 年総大会, 2017 年 3 月 25 日 (名城大学 (愛知県・名古屋市))

B. Naren, C. Miyajima, E. Takeuchi, K. Takeda, "Analysis of individual risk perception during highway lane-change scenes," 情報処理学会第 79 回全国大会, 2017 年 3 月 16 日 (名古屋大学 (愛知県・名古屋市))

D. Hayashi, C. Miyajima, and K. Takeda, "Analysis of driver workload when using speech interfaces," ASA and ASJ 5th Joint Meeting, Nov. 28, 2016 (Honolulu, USA)

林 大貴, 坪井 優幸, 宮島 千代美, 石黒 祥生, 武田 一哉, "瞬目の点過程表現による同乗者の不安状態検出," 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, 2016 年 9 月 22 日 (北海道大学 (北海道・札幌市))

C. Miyajima, K. Sakoyama, and K. Takeda, "Tracking driver's observation using local feature matching and optical flow," IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2015), pp. 479-482, Dec. 12, 2015 (Nagoya, Japan)

M. Tsuboi, C. Miyajima, and K. Takeda, "Driving scene classification using vehicle motion estimated with smartphone," 7th Biennial Workshop on Digital Signal Processing for In-Vehicle Systems, 2 pages, Oct. 15, 2015 (San Francisco, USA)

C. Miyajima, S. Yamazaki, T. Bando, K. Hitomi, H. Terai, H. Okuda, T. Hirayama, M. Egawa, T. Suzuki, and K. Takeda, "Analyzing driver gaze behavior and consistency of decision making during automated driving," IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV '15), pp. 1293-1298, July 1, 2015 (Seoul, Korea)

〔図書〕(計 1 件)

C. Miyajima, M. Mori, T. Hirayama, N. Kitaoka, and K. Takeda, "Integrated modeling of driver gaze and vehicle operation behavior during lane changes," Vehicle Systems and Driver Modeling - DSP, Human-to-Vehicle Interfaces, Driver Behavior, and Safety, H. Abut, et al. eds., (Book Chapter), Chap. 9, pp. 133-141, De Gruyter, Sept. 2017

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

宮島 千代美 (MIYAJIMA, Chiyomi)
名古屋大学・未来社会創造機構・特任准教授

研究者番号: 90335092

(2) 研究分担者

武田 一哉 (TAKEDA, Kazuya)
名古屋大学・未来社会創造機構・教授
研究者番号: 20273295