

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14996

研究課題名（和文）個々人に最適化された自動運転のためのドライバの視覚認知特性の解明

研究課題名（英文）Elucidation of driver's visual perception characteristics for autonomous driving optimized for individuals

研究代表者

岡藤 勇希 (Okafuji, Yuki)

立命館大学・総合科学技術研究機構・准教授

研究者番号：50843950

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）：自動車の自動運転システムでは、より一層人間の理解に基づく自動運転の構築が喫緊の課題である。そこで本研究では、機械学習を用いた手法により、個々のドライバの知覚認知特性を理解することで、運転における人間らしさを解釈し、新たな自動運転設計の指針を得ることを目的とした。本研究では、ドライバの身体的特性を考慮した深層学習モデルや、道路環境を考慮した注視推定モデルを提案し、心理学実験で得られた運転データを用いて解析した。複数の実験結果より、それらの提案手法がドライバ個々人の知覚認知特性を表現可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国内外で自動車の自動運転技術が次々と開発されており、交通事故の減少や、交通弱者に交通手段を与える等、様々な利点をもたらすとされる。その中でもLevel 3の自動運転車では、人間とシステムによる運転が行き来するため、ヒューマンエラーを起こす可能性のある人間の運転へと切り替わってしまい、交通社会全体としての安全が阻害される懸念がある。そのため、ドライバに安心感を与え、納得して自動運転技術を使用してもらうためには、人間らしさを感じさせる自動運転システムが重要である。そのため、本研究を遂行することにより、人間の運転特性の理解が得られるという学術的意義だけでなく、交通社会全体としての安全にも貢献できる。

研究成果の概要（英文）：It is an urgent task to build automatic driving of automobiles based on deep human understanding. Therefore, the purpose of this study is to understand the visual perception characteristics of individual drivers and interpret the human-similarity in driving using a machine learning method, and establish new guidelines for the design of automatic driving. In this study, we proposed a deep learning model that takes into account the physical characteristics of the driver and a gaze estimation model considering the road environment. We analyzed them using driving data obtained from psychological experiments. Several experimental results show that the proposed methods can express the perceptual cognitive characteristics of individual drivers.

研究分野：知覚心理学

キーワード：知覚認知特性 運転行動 視覚認知情報 個人特性 運転支援

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国内外で自動車の自動運転技術が次々と開発されており、交通事故の減少や、交通弱者に交通手段を与える等、様々な利点をもたらすとされる。その中でも Level 3 の自動運転車では、人間とシステムによる運転が行き来するため、ヒューマンエラーを起こす可能性のある人間の運転へと切り替わってしまい、交通社会全体としての安全が阻害される懸念がある。そのため、ドライバに安心感を与え、納得して自動運転技術を使用してもらうためには、人間らしさを感じさせる自動運転システムが重要であると共に、個々のドライバに最適化された自動運転を構築していくことが、交通社会全体としての安全になると考える。

2. 研究の目的

自動車の自動運転システムでは、より一層人間の理解に基づく自動運転の構築が喫緊の課題である。そこで本研究では、機械学習を用いた手法により、個々のドライバの知覚認知特性を理解することで、運転における人間らしさを解釈し、新たな自動運転設計の指針を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究の目的は、個々のドライバの知覚認知特性を理解することにより、運転における人間らしさを解釈し、安心を与える自動運転車設計のための新たな指針を得ることである。

- (1) ドライバの知覚認知特性の解析手法の考案：人間の知覚野を模した深層学習を用いて、ドライバが運転のために用いる知覚情報の解明を目指す。本研究では深層学習を用いてドライバの運転行動を学習し、深層学習における中間特徴量解析を応用して、ドライバの運転行動解析を行う。深層学習にドライバの身体的特性を考慮することで、より正確なドライバの運転行動を表現するモデルを構築する。直線路、曲線路、レーンチェンジ、交差点といった様々な道路環境において、実際のドライバの多量の運転行動データを用いてドライバのモデルを学習させる。モデルの中間特徴量解析によって得られた結果と、眼球運動計測装置によって計測されるドライバの注視点を用いて、ドライバの視野内の「どこの領域」の「何の情報」が運転行動に影響しているのか、重要なのかを明らかにする。
- (2) 知覚認知特性の解析手法の妥当性検討：本研究で提案する深層学習を用いた手法では、運転中における知覚画像中の情報の重要度合いを抽出している。しかし、あくまでもドライバの認知特性の示唆を得るのみであり、深層学習モデルから得られる結果と実際のドライバの知覚認知特性が一致するとは限らない。そのため、心理物理学実験を行うことによって、解析手法の妥当性を検証する。
- (3) 個々のドライバの知覚認知特性の解明：(1)、(2)によって、ドライバの知覚認知特性の解明手法が確立された後に、個々のドライバの知覚認知特性の特徴の理解を図る。一般的に、ドライバの分類として性別などの様々な特徴が挙げられるが、自動運転車に対する信頼感に対して影響する運転経験や性格分類に対する軸を設定し、それぞれの分類における運転の知覚認知特性の差異を解明する。個々のドライバの知覚認知特性を定量化し比較することで、認知特性の側面から各ドライバに対する運転の快適性や運転限界についての議論を行い、個々に最適化された自動運転システム設計の指針を得る。

4. 研究成果

- (1) ドライバの知覚認知特性を理解するために、人間の身体的特性（知覚むだ時間、神経筋のダイナミクス）を考慮した深層学習モデルを提案した（図1）。提案モデルがドライバの認知特徴を正しく反映できるかを確認するために、ドライビングシミュレータを用いて人間の操舵行動を計測して、そのデータを提案モデルに学習させた。学習させたモデルにおける、中間特徴量を解析した結果を図2に示す。結果より、白線上と手前のテクスチャ上に、操舵行動を誘発するために重要な情報が含まれていることが確認できる。この結果を、ドライバの注視点と重ね合わせた結果、視野 20 度を超えると重要な情報が段々と減少していることが確認できた。つまり人間のドライバは、視野 20 度以内の情報を操舵制御に利用している。これらの結果は、従来の心理学実験の結果から知られている知見と一致していることが分かっている。

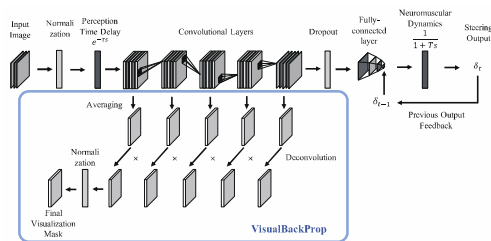


図1 提案モデル

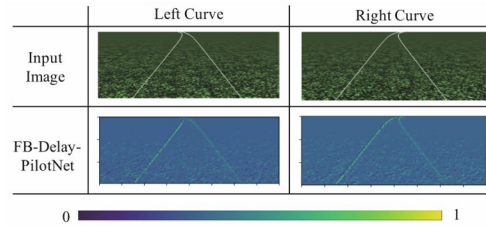


図2 操舵モデルにおける特徴量マップ

- (2) 操舵行動の解析と同じく、ドライビングシミュレータを用いて人間の加減速行動を計測して、提案モデルを学習させた。学習させたモデルにおける、中間特徴量を解析した結果を図3に示す。操舵制御の時とは違い、カーブの奥の白線上に重みが集中していることが分かる。これは、Extended Tangent Point (ETP) と呼ばれる地点で、従来からの実験でも速度制御のために重要な点とされている。特徴量解析でETPが重要であることを示すために、様々な代表点と比較した結果、他の代表点よりもETP周辺の情報が多く用いられていることが確認できた。操舵制御と同様に、速度制御でもドライバーの特性を反映できることが確認された。

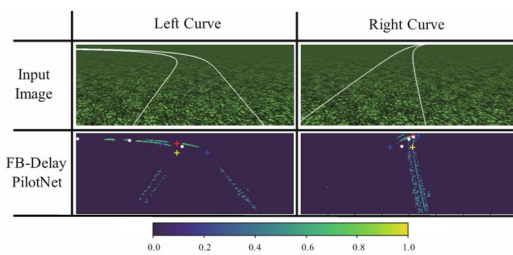


図3 加減速モデルにおける特徴量マップ

- (3) 人間の身体的特性を考慮した深層学習モデルが、従来から知られる結果と同じ結果を示すだけでなく、新たな環境下で新たな特性を抽出するためには、提案モデルの運転特徴量の認識精度を評価する必要がある。そこで本研究では、複数のドライバーを用いた認知特性の解析の比較をするだけでなく、数理モデルを用いた擬似的な運転データを生成することで、モデル結果の信頼性を定量評価する手法を提案した。その結果、擬似的な運転データを学習したモデルは、実際のドライバーの認知特性と異なることを示すことにより、提案手法の妥当性を検証した。
- (4) 従来から行われている心理学実験では、ドライバーの注視行動は道路形状のみに影響されると仮定される研究がほとんどであった。それに対して本研究では、車外環境中の物体や、道路形状に対する車両状態がドライバーの注視行動に影響していると仮定を立てて、心理学実験を通して検証した。その結果として、注視行動は環境中の物体や車両状態に依存して決定されることが判明した。また、車外環境中にある全ての物体に対して Potential Attention を生成することで、Potential Attention の組み合わせでドライバーの注視行動の推定が可能となることが示された(図4)。これらの提案モデルを他の手法と比較することで、人間の認知特性を正しく表現可能なことを検証すると同時に、提案モデルを個々人の運転行動に最適化させることで、個々人の視覚認知特性を理解できることを示した。

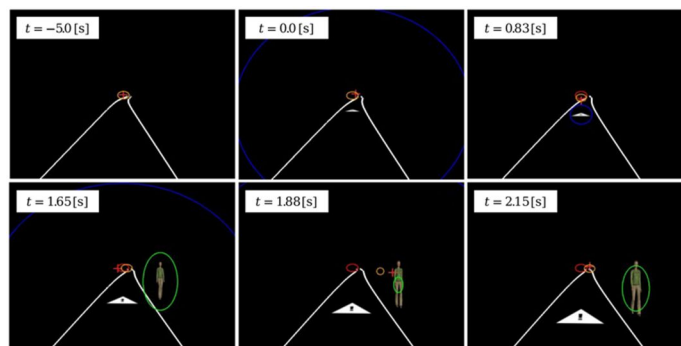


図4 ドライバーの注視点(赤十字)と注視点の推定(オレンジ丸)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 山口 遊、岡藤 勇希、和田 隆広、村上 一臣、石田 裕之	4. 巻 52
2. 論文標題 路面描画に影響されるドライバの注視特性の検証	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自動車技術会論文集	6. 最初と最後の頁 1137～1142
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11351/jsaeronbun.52.1137	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 Okafuji Yuki, Sugiura Toshihito, Osugi Ryusei, Zhang Chenkai, Wada Takahiro	4. 巻 9
2. 論文標題 A Machine Learning-Based Approach to Analyze Information Used for Steering Control	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 94239～94250
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2021.3093337	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 尾杉 竜正、岡藤 勇希、和田 隆広	4. 巻 52
2. 論文標題 深層学習を用いた車両の速度制御に関するドライバの認知特性の解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自動車技術会論文集	6. 最初と最後の頁 355～362
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11351/jsaeronbun.52.355	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 Okafuji Yuki, Fukao Takanori	4. 巻 11
2. 論文標題 Theoretical interpretation of drivers' gaze strategy influenced by optical flow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1～14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-82062-1	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 Zhang Chenkai, Okafuji Yuki, Wada Takahiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Reliability Evaluation of Visualization Performance of Convolutional Neural Network Models for Automated Driving	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Automotive Engineering	6. 最初と最後の頁 41 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20485/jsaeijae.12.2_41	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 Yamaguchi Yu, Okafuji Yuki, Wada Takahiro, Murakami Kazuomi, Ishida Hiroyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Estimation of Drivers' Gaze Behavior by Potential Attention When Using Human?Machine Interface	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 16723 ~ 16734
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3192859	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 Zhang Chenkai, Deguchi Daisuke, Okafuji Yuki, Murase Hiroshi	4. 巻 11
2. 論文標題 More Persuasive Explanation Method for End-to-End Driving Models	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 4270 ~ 4282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2023.3235739	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 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 藤本遼太, 岡藤勇希, 松村耕平
2. 発表標題 インタラクシオンゲームを用いた自動運転中におけるドライバの周辺環境の注意力の向上
3. 学会等名 第196回 ヒューマンコンピュータインタラクシオン研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡藤勇希, 山口遊, 和田隆広, 村上一臣, 石田裕之
2. 発表標題 Potential Attentionを用いたHMI使用時のドライバの注視推定
3. 学会等名 自動車技術会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤智樹, 岡藤勇希, 和田隆広
2. 発表標題 主成分分析を用いたドライバの注視位置推定
3. 学会等名 自動車技術会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口遊, 岡藤勇希, 和田隆広, 村上一臣, 石田裕之
2. 発表標題 路面描画に影響されるドライバの注視特性の検証
3. 学会等名 自動車技術会春季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 C. Zhang, Y. Okafuji, T. Wada
2. 発表標題 Evaluation of Visualization Performance of CNN Models using Driver Model
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Okafuji, T. Sugiura, T. Wada
2. 発表標題 Preliminary Investigation of Visual Information Influencing Driver's Steering Control based on CNN
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Okafuji, T. Wada, T. Sugiura, K. Murakami, H. Ishida
2. 発表標題 Drivers' Gaze Behaviors are Influenced by Vehicle Position
3. 学会等名 64th Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society, Virtual Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡藤勇希, 和田隆広, 村上一臣
2. 発表標題 予測-車線維持を考慮したポテンシャルによるドライバの注視行動の理解
3. 学会等名 自動車技術会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾杉竜正, 岡藤勇希, 和田隆広
2. 発表標題 深層学習を用いた車両の速度制御に関するドライバの認知特性の解析
3. 学会等名 自動車技術会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉浦敏仁, 岡藤勇希, 和田隆広
2. 発表標題 Convolutional Neural Networkを用いたドライバ操舵に影響する視覚情報の理解
3. 学会等名 自動車技術会春季大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福西誠樹, 岡藤勇希, 松村耕平
2. 発表標題 指導する情報量が初心者のスポーツ走行学習に与える影響の評価
3. 学会等名 自動車技術会秋季大会学生ポスターセッション
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------