

令和 6 年 5 月 1 日現在

機関番号：23604

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20258

研究課題名（和文）日常の運転行動に基づくドライバの認知機能検査システムの開発

研究課題名（英文）Development of Evaluation System of Driver's Cognitive Ability based on Driving Behavior

研究代表者

橋本 幸二郎（Hashimoto, Kohjiro）

国立諏訪東京理科大学・工学部・講師

研究者番号：00756588

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：高齢ドライバの主な事故要因は認知能力低下であり、この早期発見が求められている。既存研究より認知能力の評価指標は提案されているものの、シミュレータ利用を前提としており実運転時においては適用できない。その理由は場面検出問題にある。評価指標を算出するためには、運転中に直面する様々な場面から認知能力評価可能な場面が検出できないといけない。そこで本研究では、運転中に直面する認知能力評価可能な場面の検出手法を提案した。本手法は教師ありの深層学習に基づくアプローチを採用し、既存の場面検出手法に比べ高い検出精度を確認した。また、ドメイン適応技術を応用し、シミュレータデータを用いた場面検出手法も提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の自動車には車載カメラ、CANが搭載されており、運転中の走行映像及び操作情報の取得が可能である。本研究は、こうして得られる一連の運転行動データの中から高度な認知を要求する場面を検出する手法を提案したものである。これにより、既存の認知能力評価指標を用いることができ、実運転データに基づくドライバの認知能力評価が可能となる。これにより、高齢ドライバに限らず、運転能力低下の早期発見が可能となり、交通事故の未然防止が期待できる。

研究成果の概要（英文）：The main cause of accidents among elderly drivers is a decline in cognitive abilities, and early detection of this decline is needed. Although assessment indices for cognitive abilities have been proposed based on existing research, they are designed for use with simulators and cannot be applied during actual driving. The reason for this is the scene detection problem. To calculate assessment indices, it is necessary to detect scenes from various situations encountered while driving that allow for the evaluation of cognitive abilities. Therefore, this study proposes a method for detecting scenes during driving that allow for the evaluation of cognitive abilities. This method adopts a supervised deep learning approach and confirms higher detection accuracy compared to existing scene detection methods. Additionally, domain adaptation techniques are applied, and a scene detection method using simulator data is also proposed.

研究分野：機械学習、画像処理、データマイニング

キーワード：自動車の運転場面検出 運転行動データ分析 深層学習

1. 研究開始当初の背景

高齢者の交通事故の主因は認知能力の低下によるものであり、事故防止に向けドライバの能力低下の早期発見が課題となっている。2017年3月の道路交通法改定にて、75歳以上のドライバに対して認知機能検査が義務付けられた。しかし、現状の検査方法では事前練習や対策で高得点をとることができ、適切に評価できるとは言えない。今では臨床診断、神経心理学的検査、運転シミュレータ検査等のアプローチから検査方法が研究されてきているが、未だゴールドスタンダードな検査方法は確立されていない。

一つの結論として複数の検査の組み合わせが有効であると報告されているが、疲労の観点から一日に複数の検査を行うことは好ましくない。また、近年の Virtual Reality 技術の向上から運転シミュレータを利用した検査研究が散見される。しかし、短時間での検査を想定しており、被験者はその場のみの優等生的な運転を実行できてしまう。それ故、普段の運転こそ真の運転能力を判断する重要な根拠になると言える。

すなわち、普段の運転行動に対して既存の複数検査を実施することで認知能力の評価が可能になると考える。普段の運転行動を評価するデバイスとして、スマートフォンの運転診断アプリが登場している。自動車へ搭載が容易であれば普及しやすく、またアップデート機能があれば複数検査を実施することも可能である。しかし、その多くは加速度センサの情報のみを利用したものであり、車体の挙動評価を行っているに過ぎない。認知能力は、ドライバの認知対象と操作の関係から評価されるものであり、現状これを普段の運転から評価するデバイスは実用化されていない。

申請者はこの理由を情報抽出技術の欠如とコスト問題にあると考える。例えば、図1はブレーキを踏んだ瞬間の走行画像である。この運転場面では、認知対象とブレーキ操作の関係から時空間認知機能の評価できる。しかし、出現している様々な物体の中からこの認知対象を適切に検出できなければ誤った評価が行われる。他にも、認知機能には注意分配認知機能、プランニング認知機能とあり、それぞれ評価に必要な場面と物体が存在する。以上から、普段の運転から認知能力を検査するためには、走行映像等のセンシング情報から評価に必要な運転場面と認知対象の検出が必要になる。しかし、現状、この評価に必要な情報を検出する手法は検討されていない。また、認知機能の評価するため、自動運転車のような複数の高額なセンサが必要になると普及が困難となる。この導入コスト問題が実用化に至らない理由と考える。



図1：時空間認知機能の評価可能な場面

2. 研究の目的

本研究の目的は、自動車に外付け可能な認知能力の検査器を開発し、普段の運転中に認知能力の検査を可能にすることである。ただし、検査方法に関しては様々な先行研究において評価指標が提案されていること、そして複数の評価を組み合わせることで能力評価が有効であることが報告されていることから、それら検査方法を実運転行動に転用する仕組みを構築することが目的の達成に繋がる。それ故、研究期間内における研究目的は、その転用する仕組みを構築することと設定している。具体的には、車載センサの運転情報から検査に必要な運転場面を検出する方法、およびそれを低コストに導入する方法を確立する。

ドライビングシミュレータを用いた検査方法では、予め認知能力の評価可能な場面をシミュレータ上で設計し、評価指標算出に必要な情報の計測が可能となっている。一方、実運転下においては、所望する場面以外にも様々な場面に直面し、かつ出現する物体も様々である。すなわち、実運転下で直面する場面の中から、既存検査方法で定義された運転場面を検出かつ評価指標算出に必要な物体の特定が可能となれば、その情報を用いて既存検査方法による認知能力評価が可能となる。それ故、実運転下における検査に必要な運転場面検出手法を確立する。

ただし、運転場面のセンシングにおいて、自動運転車両のような高額なセンサが複数必要となる方法論では導入コストがかかり、実用には至らない。それ故、ここでは一般的な自動車に搭載されている車載カメラ、Controller Area Network(CAN)より得られる情報を用いた方法論を確立する。

3. 研究の方法

まずは運転場面の検出手法を検討する。場面検出問題をパターン認識問題に帰着させ、機械学習ベースの方法論を採用した。すなわち、検出したい場面とそうでない場面のデータを収集し、2クラス分類器を生成する。ただし、認知能力の検査方法に関する研究では、様々な場面を定義しており、確立した認知機能評価可能場面は存在しない。それ故、これからも認知機能の評価に有効な場面が確立されることを想定し、任意の運転場面を検出できる方法を提案する。すなわち、検出したい場面が任意に定義された場合に、その場面のデータとそうでない場面のデータが収

集できればその場面の検出器を生成できる手法を提案する。この問題に対しては、細かな特徴抽出ルールの記事が不要な深層学習技術を採用する。ただし、ここでは運転場面を、道路情報、出現物体、操作情報で構成されると考え、検出したい場面に対して、これら3要素の照合処理による場面検出を実現する。

走行映像に対しては物体検出及び物体追従処理を行い、最終的にはグリッド特徴と呼ぶ出現物体の移動及び自車両との距離を表現するベクトルに変換する。そして、走行映像で道路情報を表現、グリッド特徴ベクトルで出現物体を表現、アクセル量、ブレーキ量、ハンドル角で操作情報を表現すると捉える。そして、マルチモーダル深層学習モデルを提案し、この3種類の情報に基づく場面検出器の生成手法を提案する。

ただし、前述の方法論は教師あり学習である為、予め正例データを集める必要がある。しかし、収集される運転行動データは膨大であり、その中から正例データを見つけることは困難である。また所望する場面が含まれている保証もない。そこで本研究では、ドライビングシミュレータで収集された正例データを用いる方法論を提案する。具体的には、シミュレータより収集される正例データに対してドメイン適応を適用し、実運転行動データのドメインに近づける。こうして得られる正例の疑似実運転行動データと実運転中に収集される実運転行動データを学習データに用いた場面検出器の生成手法を提案する。

これにより、運転場面検出器はドライビングシミュレータの計測データからの構築を可能とする。すなわち、認知能力を評価する際、検出すべき場面及びその評価指標を適宜アップデートすることが可能になる。

4. 研究成果

図2に提案したモデル構造を示す。アンサンブル学習の一種であるスタッキング構造を採用しており、Base Modelにて場面を構成する道路情報、出現物体情報、操作情報を評価し、Meta Modelにて最終的な検出結果を出力する。センシング情報は車載カメラの走行映像、CANより抽出される操作データ(アクセル量、ブレーキ量、ハンドル角)である。走行映像に対しては物体検出及び物体追従処理、グリッド特徴量変換が行われ、走行映像、グリッド特徴、操作データがそれぞれ3要素を表現しているとみなしている。

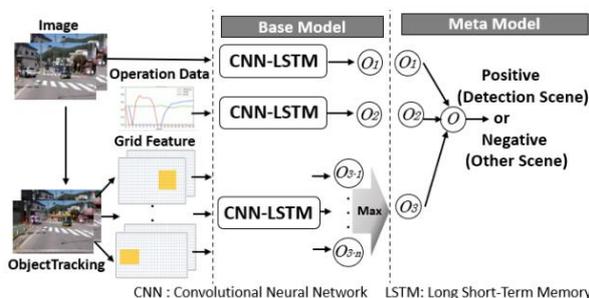


図2: 運転場面検出器のモデル構造

このモデルの学習方法は、正例データ(検

出したい場面のデータ)と負例データ(その他の場面データ)を集め、教師あり学習を行う。まずは実運転行動データを用いてモデルを学習させ、その検出精度を評価した。表1はその結果である。比較手法としているのは、類似研究より提案されているモデル構造を用いた場合のモデルである。ここでは検出したい場面を4パターン定義しており、例えばScene1は交差点右折時において、対向車が通過した後に右折行動をとった場面である。それぞれの場面に対する適合率と再現率を示している。適合率に対してはほぼ90%の精度を出しており、間違った場面検出が少ないことがわかる。再現率については70%ほどの精度であり、まだ改善の余地がある。しかしながら、認知能力評価を行う際は間違った場面で評価してしまうことが問題となることから、適合率を高めることが重要となる。提案手法では90%ほどの適合率を算出していることから運転場面検出手法としての実用性の可能性は示せたと考える。

次に、教師あり学習の問題点である事前のデータ収集問題を解決する。ここでは正例データを集めることが困難であることから、正例データに対してはドライビングシミュレータから収集する。そして、収集されたシミュレータデータを用いた場面検出手法を提案する。

表1 既存手法と提案手法の検出精度の比較

定義場面(固定環境, 出現物体, 操作行動)	手法	適合率	再現率
Scene1 (交差点, 対向車, 右折)	既存	0.573	0.761
	提案	0.874	0.776
Scene2 (交差点, 歩行者, 右折)	既存	0.947	0.818
	提案	0.984	0.924
Scene3 (交差点, 対向車と歩行者, 右折)	既存	0.317	0.679
	提案	0.950	0.679
Scene4 (直線道路, 前方停止車両, 停止)	既存	0.775	0.984
	提案	0.935	0.892

シミュレータのデータと実運転データではドメインが異なることから、そのまま教師あり学習をした場合、正例を正しく検出できないことが想定できる。機械学習の分野においてはこの場合、ドメイン適応を適用する。すなわち、一方のドメインのデータをもう一方のドメインのデータに近づける処理である。ただし、ドメイン適応技術は、両ドメインにおいてクラス分類が行われていることを前提とする場合が多い。対して、本研究の場合、実運転で収集されるデータは一連の運転行動データであり、グルーピングされたデータではない。それ故、本研究では運転行動データに対するクラスタリング手法を提案した。提案手法はCoupled-GP-HSMMに基づく手法であり、データ間の相関関係を評価しながら、自動分節化及びクラスタリングを実現する。例として図3に運転中のハンドル角データをクラスタリングした結果を示す。大きく4クラスに分かれ、それぞれハンドルを中央(下図の0.5付近)に維持する操作(クラス7,8)、ハンドルを左に切る操作(クラス2)、ハンドルを右に切る操作(クラス4)を表している。このクラスタリング手法を収集した運転行動データに対して適応することで、ドメイン適応に必要なクラス分類を実現した。

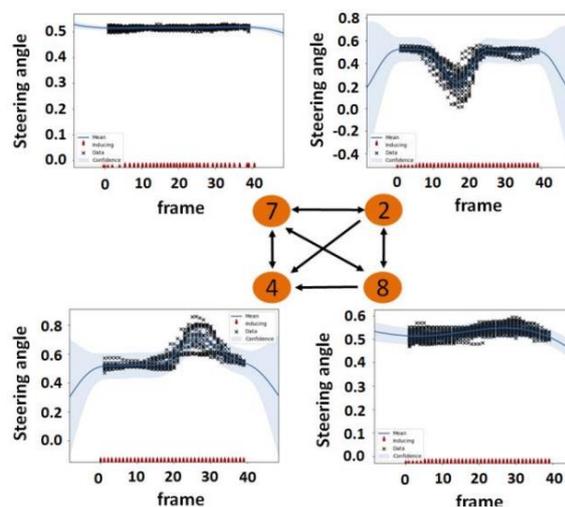


図3:ハンドル角のクラスタリング結果

実運転行動データ及びシミュレータデータに対してクラスタリング手法を適用し、予めデータ群内をクラス分けしておく。ここではシミュレータデータで得られるクラスが実運転行動データで得られるクラスの一部と仮定し、PDANN (Partial Domain Adversarial training of Neural Networks) を適用する。こうして得られる符号化器を図1のモデルに組み込むことでシミュレータデータを用いた場面検出器を学習させることができる。

表2にシミュレータデータにドメイン適応を適用した場合の場面検出精度を示す。ここでは、実運転行動データのみで場面検出器を生成した場合(表2のReal)、正例にシミュレータデータを直接用いて場面検出器を生成した場合(表2のSim)、シミュレータデータにドメイン適応を適用し場面検出器を生成した場合(表2のDA)での各検出器の精度比較を示している。シミュレータデータを直接用いる場合(表2のSim)では、場面検出は一度も生じなかった。それ故、適合率、再現率は0.0を示している。一方、ドメイン適応を適用することにより場面検出精度が向上していることが確認できる。しかしながら、実運転行動データのみの場合の検出器の精度には届いておらず、ドメイン適応手法に改善が必要と考える。

以上より研究期間内における主な成果は以下の通りである。任意の運転場面検出手法を提案した。これは検出したい運転場面を道路情報、出現物体、操作情報の3要素で定義した場合、その場面を検出する方法論になっている。それ故、認知機能評価可能な場面を定義することで目的とする場面検出を実現できる。学習データに実運転行動データを用いる場合、その検出精度は適合率で90%ほどである。次に、場面検出器を生成する際にシミュレータデータを活用する方法を提案した。これにより、シミュレータ上で再現した運転場面を実運転下から検出を可能とすることから、適宜、認知能力評価に必要な検出場面及び評価指標の更新を可能にする。ただし、検出精度は70%程度であることから、今後改善する必要がある。

表2 ドメイン適応を適用した際の検出精度

定義場面(固定環境, 出現物体, 操作行動)	手法	適合率	再現率
Scene1 (交差点, 対向車, 右折)	Real	0.874	0.776
	Sim	0.000	0.000
	DA	0.752	0.642
Scene2 (交差点, 歩行者, 右折)	Real	0.984	0.924
	Sim	0.000	0.000
	DA	0.839	0.774
Scene3 (交差点, 対向車と歩行者, 右折)	Real	0.950	0.679
	Sim	0.000	0.000
	DA	0.877	0.639
Scene4 (直線道路, 前方停止車両, 停止)	Real	0.935	0.892
	Sim	0.000	0.000
	DA	0.857	0.712

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kohjiro Hashimoto, Daichi Yanagihara, Hiroshi Kuniyuki, Kae Doki, Yuki Funabora, Shinji Doki
2. 発表標題 Study on a Detection Method of Driving Scenes Using Driver's Operation Data and In-Vehicle Camera Videos
3. 学会等名 2nd IEEE Industrial Electronics Society Annual Online Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kohjiro Hashimoto, Daichi Yanagihara, Hiroshi Kuniyuki, Kae Doki, Yuki Funabora, Shinji Doki
2. 発表標題 Acquisition of Association Rules between a Situation and an Operation of Driving Behavior by using Time Series Clustering based on Coupled-GP-HSMM
3. 学会等名 2nd IEEE Industrial Electronics Society Annual Online Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kohjiro Hashimoto, Daichi Yanagihara, Hiroshi Kuniyuki, Kae Doki, Yuki Funabora, Shinji Doki
2. 発表標題 Clustering Method of Driving Scenes based on Road Shape by using Road Map Images
3. 学会等名 4th IEEE International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋本幸二郎、柳原大地、國行浩史、道木加絵、舟洞佑記、道木慎二
2. 発表標題 道路マップ画像を用いた道路形状に着目した運転場面クラスタリング
3. 学会等名 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柳原大地、橋本幸二郎
2. 発表標題 相互Attentionを用いたマルチモーダルモデルによる実運転行動データからの運転場面検出の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柳原大地、橋本幸二郎
2. 発表標題 物体追跡に基づく物体の動き特徴量を用いた運転場面検出手法の提案
3. 学会等名 電気学会電子・情報・システム部門大会講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kohjiro Hashimoto, Daichi Yanagihara, Hiroshi Kuniyuki, Kae Doki, Yuki Funabora, Shinji Doki
2. 発表標題 Study on Clustering Method of Driving Behavior Data Based on Variational Auto Encoder and Coupled-GP-HSMM
3. 学会等名 IEEE 20th International Conference on Industrial Informatics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松永大河, 武藤銀ノ丞, 柳原大地, 橋本幸二郎
2. 発表標題 Coupled-GP-HSMMを用いた自動車の運転行動データの場面クラスタリング手法の検討 - 道路勾配とブレーキ操作の関係での評価 -
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武藤銀ノ丞, 松永大河, 柳原大地, 橋本幸二郎
2. 発表標題 教師あり学習に基づく任意の運転場面検出手法の提案とシミュレーションデータの適用性評価
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋本幸二郎, 松永大河, 柳原大地, 國行浩史
2. 発表標題 運転場面抽出のための道路マップ画像に対する特徴量変換手法の検討
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柳原大地, 橋本幸二郎
2. 発表標題 任意の自動車運転場面を検出するためのLSTMを用いたアンサンブル学習の検討
3. 学会等名 電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本幸二郎, 柳原大地, 國行浩史, 道木加絵, 舟洞佑記, 道木慎二
2. 発表標題 Coupled-GP-HSMMに基づく自動車の運轉行動データに対する状況と操作間の相関ルール抽出手法
3. 学会等名 電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳原大地、竹内智哉、橋本幸二郎
2. 発表標題 LSTMを用いた自動車の実運転行動データからの任意の運転場面検出手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会 第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹内智哉、柳原大地、橋本幸二郎
2. 発表標題 GP-HSMMを用いた自動車の運転行動データのクラスタリング手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会 第84回全国大会
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