

令和元年6月16日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21090

研究課題名(和文) 運転における認知・判断・操作特性データベースの構築と個別化自動運転の実現

研究課題名(英文) Construction of recognition, decision and motion models and application for personalized automated driving

研究代表者

奥田 裕之 (Okuda, Hiroyuki)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：90456690

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)：人々に受け入れられやすい自動走行、運転支援の実現を目指し、多様な運転状況・ドライバの運転特性を検討可能な運転行動モデルデータベースの構築に向けた基礎技術を確立した。従来あまり注目されていなかった市街地での運転行動モデルの構築にむけた運転行動データ観測車両を整備した。多様な運転タスクに対してシステムチックな運転行動モデル構築を可能とするため、時変パラメータを持つ認知・判断・操作統合型モデルのパラメータ推定手法を提案するとともに、情報量基準をもとにモデルの入力変数を自動的に取捨選択する行動モデル構築手法を確立した。また、運転行動モデルを用いた他車に配慮する運転支援設計指針を研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動運転や運転支援を、信頼できるものとし、多くの人に受け入れられるためには、人間の運転行動の特性をよく知り、人の判断や操作の特性からかけ離れたものとしめないことが重要であり、そのためには人の多様性、運転状況の多様性を反映した運転行動のデータベースが必要となる。しかしながら、車両の位置や他車との距離などの単純なデータのみを積み重ねても、人が何を見て、判断し、どのように操作しているかを知ることは難しい。本研究ではこれらの運転データから人の行動モデルとしてのデータベースへと変換する技術を通して、人の行動の多様性を知り、車両制御へと反映するための一つの方向性を提案した。

研究成果の概要(英文)：In order to realize the human friendly automated driving and driving assistance, the fundamental system modeling techniques for the construction of the driving behavior model database were studied.

(1) The experimental vehicle was setup to observe the driving behavior in city downtown area. (2) To collect the various driving behavior model in different driving scene with various drivers, (A) the system identification technique for the hybrid dynamical system with time variant parameters based on the particle filters under the Bayes estimation, and (B) the systematic extraction method of the explanatory variables of the hybrid dynamical system, were proposed. In addition, the considerate design method of the driver assistance system for the other cars by automatic adjustment of the driving speed in lane merging on a highway lamp is proposed and tested to verify the validity of the driving behavior model aided control system design.

研究分野：知能機械，人間機械協調

キーワード：人間機械協調 制御工学 システム同定 運転行動 ハイブリッド動的システム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自動運転技術は近年、目覚ましい進歩を遂げており、交通事故による被害者低減や、過疎地の高齢者や障害者など、移動に困難を持つ人への移動手段の提供による生活の質の向上につながるとして、社会的な期待も大きい。また、自動車を運転可能な人に対しても、運転における安全性を向上するため、高度な運転知能を持つ車両による運転支援が求められている。

自動運転車両であっても、運転支援を行う車両であっても、人間を中心としたこのような機械の信頼性を向上し、人々に受け入れられるものとするためには、人間の感じ方や行動特性を工学的に捉え、設計プロセスに取り込む事が重要である。すなわち、製品を使用する行動のデータを観測した上で、データに基づく客観的なモデル化、行動解析を通し、機器設計、製品評価に活かす事が重要である。

しかしながら、従来の運転行動のモデル化には、自動運転や運転支援に利用可能なモデルの研究例が少ない、研究事例ごとに対象とされたタスクが限定されていた、多様なタスクを共通した枠組みで表現する手法がなかった、などの問題点があった。

2. 研究の目的

本研究では、運転支援や自動走行に利用可能な運転行動のモデル化を構築する。特に、人間のドライバーが持つ、認知、判断、動作、の三つの要素を明示的に表現し、これらを統合したモデルとすることで、理解しやすく、制御的にも応用が可能なモデルの構築を目指す。また、多様なドライバー、様々な運転タスクでの運転行動観測と行動のモデル化を行い、運転行動における広範なモデルセットを構築するための基礎技術を確認する。また、これらの運転行動モデルを応用した、個人適合型の自動走行、あるいは個人適合型運転支援のための制御システムの構築手法についても検討する。

3. 研究の方法

様々な運転シーンをターゲットに、運転行動データの収集を実施する。この運転行動のデータベースは、下記の様々な解析のベースとなる。そのうえで、認知モデルを統合した、認知・判断・操作統合型行動モデルとその同定手法の確立を目指す。特に、判断、動作についてはこれまでにもシステム同定手法の適用例があるが、認知、すなわち行動のための必要な情報について、行動データからボトムアップに推定する手法について研究を進める。

行動モデルの構築手法が確立されたら、様々な運転シーンにおける収集データにもとづいて、行動モデルの同定手法を適用することで、多様な運転タスクに関する行動モデルのデータベースを構築する。得られた行動モデルデータベースを用いた行動解析を進めつつ、自動走行や、運転支援などの実アプリケーションへの応用も目指し、提案手法の有用性を確認する。

4. 研究成果

(1) まず、運転データを観測するために、運転行動観測用のシステムの整備を行った。実環境（行動）での運転データを観測するための装置として、図1の運転行動観測用車両を整備した。車両には屋根上に3D Lidar とカメラを有しており、GNSS による自車の位置計測、さらには OBD ポートから車両情報を読み取ることで、統合的なデータ観測を行う。データ観測のためのソフトウェアプラットフォームとしては、Robot Operating System(ROS)上に構築されたデータ観測環境を採用した。従来、有償・無償により手に入る運転走行データは、初期の自動運転を意識したものが多く、高速道路での走行データがほとんどであったため、市街地での、より低速かつ他車両が接近した状況での運転データを充足するため、本実験システムを利用し、市街地における運転行動データを収集した。運転計測データの収集実験は本年度以降も継続予定である。

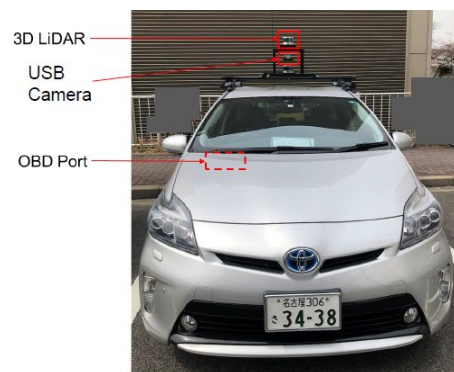


図1. 実環境運転データ計測用車両

(2) 認知、判断、動作を明示的に考慮した、ハイブリッド動的システムとしての運転行動を構築するための、新しい手法について検討した。具体的には、運転行動中のドライバーモデルのゆっくりとしたパラメータ変化を、ベイズ推定と時間平滑化の観点から実時間で求める手法の確立、赤池情報量(AIC)を導入したモデル選択を用いた、可変構造型のハイブリッド動的システムモデルの構築手法の確立、を行った。

項目では、時変のパラメータを持つ、ハイブリッド動的システムを仮定し、これらのパラメータが一定のダイナミクスをもって変化することを前提として、特殊なパーティクルフィルタを用いることでそのパラメータの推定に成功した。

図2に、数値例によるパラメータ推定結果をしめす。この結果は、

$$f(x) = \begin{cases} \theta^1(k)^\top \begin{bmatrix} x(k) \\ 1 \end{bmatrix} & \text{if } \mu(k) = 1 \\ \theta^2(k)^\top \begin{bmatrix} x(k) \\ 1 \end{bmatrix} & \text{if } \mu(k) = 2 \end{cases}$$

なるシステムのパラメータ推定を行った結果である。赤線に示された真のパラメータに対して、青線は時間軸平滑化を用いない場合、黒線は時間軸平滑化を用いた場合の結果である。図の最下段は、ハイブリッド動的システムにおいてアクティブされているモードを示しており、 $\mu=1$ の間の²は、および $\mu=2$ の間の¹は観測に現れないためパラメータ推定が原理的に不可能である一方、そのほかの区間ではなめらかに真のパラメータを推定できていることがわかる。本手法を用いることで、時間や運転状況により変化するドライバを表現するモデルを獲得できたうえ、時々刻々変わる運転タスクのハイブリッド動的システムモデルのパラメータを、データベース化するための基礎技術として確立できた。[雑誌論文]

項目では、ハイブリッド動的システムにおける入力変数（説明変数）をできる限り未知とし、データからボトムアップに知る方法を構築するため、赤池情報量基準（AIC）を導入して説明変数を検証する手法を確立した。問題の複雑さを低減するため、ハイブリッド動的システムモデルにおけるモードは既知とし、各モードにおいて説明変数の候補となる変数ごとにAICを算出することで、過学習を防ぎつつ、行動達成に必要な情報を抽出した。多様な運転状況においてそれぞれに適した運転行動モデルを手動で作成することは、それらの中間的な運転状況も存在しうることを考慮すると困難であり、運転行動観測において取得しうる情報からモデルに用いる情報を自動的に取捨選択できる本手法は、行動モデルのデータベースを構築するための必須技術であると言える。本研究の成果は現在、論文としてまとめ、国際会議に投稿中である。

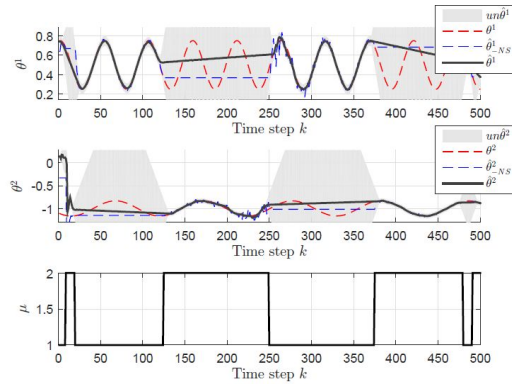


図2 時変ハイブリッド動的システムモデルのパラメータ推定例

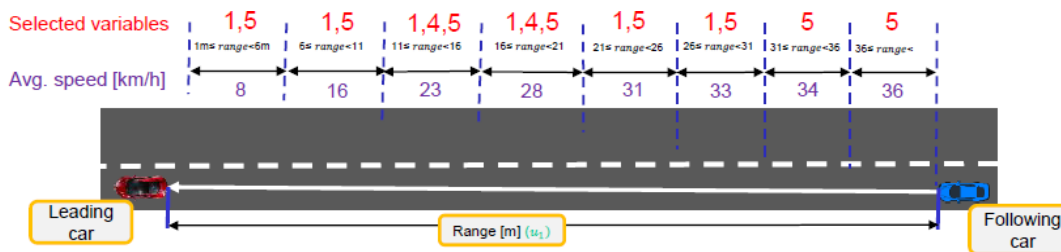


図3 前方車追従行動における変数選択

- 1：車間距離、2：相対速度、3：自車躍度、
4：衝突時間の逆数、5：車頭時間、6：先行車加速度

(3) 上記のように、行動モデルのデータベースを構築するための基礎的研究を進める一方で、具体的な運転状況を選定したうえでの、行動モデルのデータベース化と、それらのモデルを活用した運転支援（部分的自動走行）の研究も行った。

具体的には、高速道路における合流シーンを想定し、申請者がこれまでの研究にて獲得した合流車側の運転行動モデルをもとに、状態フィードバックとモデル予測制御を組み合わせることで、他車への配慮を行いながら合流するための速度制御手法について提案した。[雑誌論文]

本線側を走行する車両を走行するドライバの運転行動モデルに含まれる、判断、動作のモデルを、合流車の車速制御に用いて、モデル予測的に用いることで、他車両の判断や動作を考慮した制御を達成する。この際、どの車両の間に入るか、を決定するため、他車両の判断の曖昧さを定量化する「判断のエントロピー」を本線側ドライバモデルに内在する判断モデルから予測、計算し、これを最小化するような場所に向けて合流速度調整を行う手法を提案した。また、実際にその車間に合流するための最適走行速度を求めるため、種々の拘束条件（加速度の限界など）を考慮可能な非線形最適制御を適用し、高速に解を得ることに成功した。

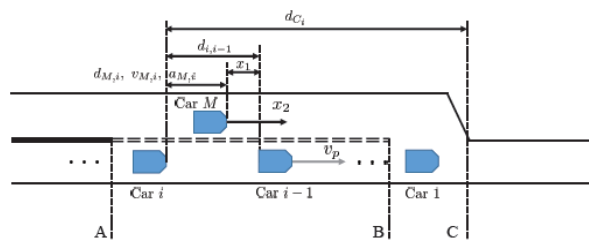


図4 合流シーンと、他車に配慮した合流のための行動モデルに用いる各種変数

また、このほかにも、ドライビングシミュレータを用いた、1. 狭路におけるすれ違い行動、2. 障害物回避行動、3. ワインディング路の走行、4. VR空間上に参加した歩行者を含む交差点通過行動、の観測などを行い、ハイブリッド動的システムとして運転行動を表現し、理解することの利点を確認、同様にシステムチックな方法で行動を数理表現できることを確認した。さらには、これらの運転行動データや運転行動モデルを活用して、他車の行動モデルを陽に用いたモデル予測を用いることで、他車に配慮した交差点通過速度を実現する制御手法なども検討した。現在、米国カリフォルニア大学バークレー校と共同して、第三者視点のビデオ映像を用いた運転行動取得技術の採用を検討しており、今後も、運転行動データの取得とこれらを用いた運転行動モデルのパラメータセットの拡大を図る予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計17件、含 査読有 国際会議)

Anh Tuan Tran, Masato Kawaguchi, Hiroyuki Okuda, Tatsuya Suzuki, "A model predictive control-based lane merging strategy for autonomous vehicles", 2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), (採択済み)

Srishti SINHA, Hyuntai CHIN, Hiroyuki OKUDA, Tatsuya SUZUKI, "Energy evaluation of CACC and ACC system in auto mixed platoon", Journal of Arid Land Studies, Vol. 28, No. S, pp.159-162, 2018,
DOI: 10.14976/jals.28.S_159

Thomas WILHELEM, Hiroyuki OKUDA, Tatsuya SUZUKI, "Identification of Time-Varying Parameters of Hybrid Dynamical System Models and Its Application to Driving Behavior", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E100-A, No.10, pp.2095-2105, 2017.
DOI: 10.1587/transfun.E100.A.2095

Hiroyuki Okuda, Kota Harada, Tatsuya Suzuki, Shintaro Saigo, Satoshi Inoue, "Design of Automated Merging Control by Minimizing Decision Entropy of Drivers on Main Lane", 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), MoDT5.3, pp.640-646, 2017
DOI: 10.1109/IVS.2017.7995790

古賀 あやめ, 奥田 裕之, 田崎 勇一, 鈴木 達也, 原口 健太郎, 康 子博 "運転個性を反映したモデル予測型自動運転システム: 評価関数推定手法の提案", 自動車技術会論文集, Vol. 47, No. 6, pp. 1431-1437, 2016,

DOI: <https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.47.1431>

ほか, 12件

〔学会発表〕(計4件)

原田 晃汰, 奥田 裕之, 鈴木 達也, 西郷 慎太郎, 井上 聡, "本線走行車の合流受容性を考慮したモデル予測型合流車速制御手法の提案", 自動車技術会学術講演会 2017年秋季大会, No.171-17, p. 1576-1581, 10/11-13(10/13), グランキューブ大阪, 大阪, 2017

杉江 信人, 古賀 あやめ, 奥田 裕之, 鈴木 達也, 舩越 勲, 原口 健太郎, "モデル予測制御を用いた自動走行の実験的検証 -連続変形法を用いた非線形 MPC における制御性能評価-", 自動車技術会学術講演会 2017年秋季大会, No.114-17, p.59-64, 10/11-13(10/11), グランキューブ大阪, 大阪, 2017

澤田 圭佑, 神谷 貴文, 山口 拓真, 奥田 裕之, 鈴木 達也, "PWARX モデルによるインタラクションを含む対向車とのすれ違い行動のモデル化", 自動車技術会学術講演会 2017年秋季大会, No.171-17, p. 1582-1587, 10/11-13(10/13), グランキューブ大阪, 大阪, 2017

陳 ヒョンテ, 奥田 裕之, 鈴木 達也, 手動走行車が混在したモデル予測型 CACC における予測モデルの比較, 自動車技術会 2016年秋季大会 学術講演会, No. 219, pp.1-6, 10/19 ~ 21, 2016, 札幌コンベンションセンター

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:

出願年：
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1)研究分担者
なし

(2)研究協力者
なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。