

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760389

研究課題名(和文)階層的モード分割に基づくマルチスケール行動モデルの構築と応用

研究課題名(英文)Multi layered behavior modeling based on hierarchical mode segmentation

研究代表者

奥田 裕之 (Okuda, Hiroyuki)

名古屋大学・グリーンモビリティ連携研究センター・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、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：人間の行動を理解し、数理的にモデル化することは、自動車におけるドライバへの支援に代表される人間への支援系の設計において重要な課題である。本研究では行動にみられる階層性の数学的表現を試み、「階層的なハイブリッドシステムモデル」とその同定手法を確立した。実際に自動車運転行動に適用し、少ないモード数の抽象的な行動モデルから、多数のモードを持つ具体的な行動モデルまでをシームレスに記述可能となり、モデルの精度とパラメータ数や計算量とのトレードオフを自在に調整できる可用性の高いモデルが構築できた。

研究成果の概要(英文)：Understanding and modeling of the human behavior is the key technology to realize a human friendly human-machine collaborative system. Hierarchical structure is one of important features of the human behavior, and the mathematical representation of the human behavior considering the feature is approached in this research. Finally the hierarchical piece-wise auto-regressive and exogenous model(Hi-PWARX) and its identification algorithm was developed. Driving behavior on expressway is represented by the Hi-PWARX model and analyzed based on the obtained model parameters and the mode segmentation structure of the model. It is possible to change the abstraction level of expressing the driving behavior from the combinations of a few of abstract motions to combinations of many concrete motions, smoothly. So this model can trade off the computational burden to the model precision.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気・電子工学，制御・システム工学

キーワード：人間機械システム 行動モデル ハイブリッドシステム

1. 研究開始当初の背景

機械の高度化、情報化が進展する中、福祉・介護用ロボット、産業現場における作業アシストロボット、ドライバの高度なアシスト機能を持つ自動車等、人間の補助や人間との協調を主な目的とする機械に対する期待が高まっている。このような人間との物理的かつ情報論的なインタラクションを持つ機械を操作するためのヒューマンマシンインターフェース(HMI)の設計・評価には、これまでユーザビリティに基づく評価が主であった。しかしながら、各個人の特性を考慮した個人適合型のHMIを構築するためには、システム工学的な視点から人間の行動を定量的に解析・モデル化し、それをHMI設計に活用することが不可欠である。

観測された行動データに基づいて行動解析を行う場合、データの中にある種のモード(動的特性)の変化を見いだせる場合が少なくない。これらの変化は意図的であったり、環境変化に適応する形で自発的に引き起こされたりするが、ある種のプリミティブな動作特性とその切り替え(モード遷移)で行動を表現する考え方は、システム科学的な視点から見た場合、連続/離散ハイブリッド動的システムとして行動を捉えることに他ならない。応募者らはこの点に着目し、これまでハイブリッドシステムのシステム同定手法に立脚した行動モデル化手法を提案し、多くの成果を挙げてきた。

一方、人間行動のもう一つの特長として、その階層性が挙げられる。行動のモード分割は一種の行動の抽象化に相当するため、抽象化のレベルを可変とすることで、階層的なモード分割構造を有する行動表現が可能となる。例えば、自動車運転行動を考える場合、最上位では、運転行動が一般道走行、高速道走行に分割されており、運転行動を抽象度の高い二つのモードとして捉えられる。さらに、高速道走行は、走行車線走行と追越車線走行、一般道走行では、左折、右折、追従といった具合に、より具体的なモードとして詳細に分割されていく。このような行動の階層性は、行動を様々な抽象度で捉えることを意味し、様々な情報量(モード数に依存)を持つモデルを様々な工学的要求に応じて一貫性を維持したまま提供できる。このような階層構造の抽出は、従来でも検討されてきたが、そのほとんどが事前知識を用いてトップダウン的に作成されたものであり、行動信号に基づいたボトムアップ的な階層構造の構成手法は未だ手がつけられていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、応募者らのこれまでのハイブリッドシステムモデルに基づいた行動のモード分割手法に階層性の考え方を導入することで、複雑な行動を様々な抽象度で統一的に表現可能な新たなマルチスケール行動モ

デルの創出を主目的とする。具体的にはまず、離散モード数が固定の場合のみを取り扱っていた従来のハイブリッドシステムの同定手法を拡張し、モード分割が階層構造を持つ場合にも適用可能な新たな同定手法を構築する。次に、環境データや操作データのみに基づいたこれまでの行動モデリングに加えて、新たに視線・筋電位や脳波等の人間の内部状態を表す生体信号を観測信号として加えることで、より明確な階層構造の構築をめざす。さらには、マルチスケール行動モデルの応用として、階層的な判断モデルの構築、階層構造を持つ行動支援器の設計・実現に取り組む。特に本研究では、自動車運転行動や人間協調型ロボットをキラーアプリケーションとして提案手法の有用性を立証する。

3. 研究の方法

本研究では、行動信号・生体信号からなる観測信号に対して階層的モード分割を適用することでマルチスケール行動モデルを創出する。また、その有用性を自動車運転行動や人間機械協調型ロボットへの適用を通して立証する。これを実現するためには、(1)マルチスケール行動モデルの数理表現、および同定手法の整備、(2)生体信号の観測と、これを含めた行動モデルの構築手法の確立、(3)マルチスケール行動モデルを用いた行動解析手法、および行動支援器やHMIの設計手法の考案、(4)実際の自動車や人間機械協調ロボットとの協調における実証、の5項目に取り組む必要がある。まず、平成23年度に項目(1)に取り組み、24年度には(2)(3)に取り組み、25年度にはこれらの成果を受けて実システムへ適用し、提案モデルの有用性を実証する。

4. 研究成果

(1) 1年目

連続・離散ハイブリッドシステム(以下ハイブリッドシステム)の同定手法に立脚した行動のモード分割手法を拡張し、人間行動に見られる階層性を表現するための階層的なモード分割構造を有するモデルである「マルチスケール行動モデル」の構築を目指し、以下の2つの項目について研究を実施した。

一つ目は、マルチスケール行動モデルを数学的に記述するための理論面からの整備である。従来型のハイブリッドシステムでは、システムの状態空間を一定の数の部分空間に切り分け、それぞれに異なる動特性を付与したモデルである区分的ARXモデルが用いられているが、これは階層性の表現は不可能であった。本研究では、システムの状態空間の分割を階層的に行うというアイデアを提案し、さらに、連続的な状態空間を分割する決定木(Decision Tree)の新しい数学的記述法を提案することで、階層的なモード分割構造を数学的に矛盾なく記述することに成功した。

二つ目は、本行動モデルのシステム同定手法についての理論構築である。従来型のハイブリッドシステムの同定手法では、各観測データ点付近の局所的な動特性を表現する特徴量を基に、k-means クラスタリング手法によりシステム同定を行ったが、本研究では新たに階層的クラスタリング手法を導入し、各モードごとの階層的な類似性を定量化し、階層構造の構築を可能とした。さらには、各観測データ点の特徴量に関する信頼度を、パラメータの分散として考慮することで、観測データのアウトライアに対してロバストなシステム同定を可能とする手法を提案し、システム同定の精度向上も達成された。

(2) 2年目

本年度は自動車運転中のドライバの行動に対して行動解析を行うためのツールとして、新しい行動モデルの理論的な整備を行った。一般に、行動の数理モデルを構築する際には、そのモデルの入力となる変数を如何に必要十分に選択するかが第一の鍵となる。研究者は、データクラスタリングの技術に基づく行動の階層的モデル構築に取り組んできたが、本手法が対象とする、多様な状況を含むような行動データをモデル化するには特にこの変数選択が問題となる。すなわち、状況が変化するにつれて必要となる入力変数が異なる場合がある。例えば、追い越し時には右レーンを走行する車両までの車間距離が必要だが、前方車を追従するに当っては不要となる場合等である。

このような問題に対して、本年度の研究では可変変数型区分線形モデルを提案し、理論的整備を行った。本モデルは、複数の線形モデルを内部に持ち、それらを状態の部分空間毎に割り当て、切り替えながら時間発展するモデルである。本年度は、上記モデルの提案に加え、その同定手法をも確立した。

本モデルを同定するにはまず、一連の状況で必要となりうる大規模な変数集合をあらかじめ用意しておき、ある時刻 t 付近の局所的なダイナミクス、すなわちドライバの行動を表現する入出力関係において不要となる変数を、情報量基準を基に取舍選択することで、時刻 t 付近においてドライバが使用している変数を抽出する。その後、これらの利用変数を元に一連の行動を分節化することで、分割された各モードごとに異なる入力変数を用いた線形モデルを同定することが可能となる。

実際に、仮想的に作成したシステムモデルから生成した数値例を対象に入出力構造とパラメータ推定を行った結果、全体の 90% 程度のデータ点において正しく構造、およびパラメータが推定されていることが確認され、その有用性を確認した。

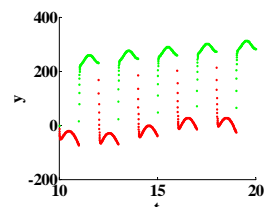


図1 入力異なる二つのダイナミクスによるハイブリッドシステムの例

(3) 3年目

本研究では、人間の行動の特徴の一つである動作の階層性に着目し、抽象化レベルを可変とした階層的なモード分割構造を有する行動表現を可能とする「マルチスケール行動モデル」の創出を目指し研究を行っている。本年度は、階層的な行動モデルを構築する際に大きな問題となったモデルの複雑さを解決するために、モデル選択手法の導入に注力した。

当初の研究計画では、人間の内部状態を表す生体信号を観測信号として加えることで、より明確な階層構造の構築をめざしていたが、行動信号に加えて環境信号や生体信号など、複数の情報を利用するにあたり、モデル中に含まれるパラメータが膨大になることに伴い、行動モデル構築の際のモデル精度の向上が困難となることが明らかとなった。そこで、モデルを構築する際に、行動を記述するために必要な入出力関係のみを抽出し、パラメータを削減するため、情報量に基づくモデル選択手法をマルチスケール行動モデルに適用する手法の確立を目指し、研究を進める事とした。

具体的には、マルチスケール行動モデルにおける各モードのダイナミクスを記述する際のモデル選択問題と、モードを切り換えるための判別条件を記述する際のモデル選択問題、の二つを解決する必要があった。

の問題に対しては、あらたに、モードごとに回帰変数の次元が異なるハイブリッドシステムモデルを提案、その同定手法を確立することで、モデルの記述能力をできるだけ落とさず、パラメータ数を大幅に削減することができた。

の問題に対しては、問題を簡単化してモードの切り換えの生起確率をモデル化する際の変数選択問題を考え、高速道路を走行する際の追い越し行動データに対して適用することで行動決定のために重要な変数のみを抽出し、パラメータ数の少ない判断モデルを構築した。たとえば、追い越しを行う際には、自車と周辺車両との間で、各車両への車間距離や相対速度、衝突余裕時間など、様々な説明変数が定義できるが、

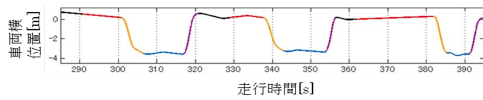


図1 観測した高速道路走行における
追い越し行動データ

そのような変数を 20 個以上定義した中で
追い越し後の復帰のタイミングを判断する
条件を、ロジスティック回帰モデルにより
モデル化し、必要な説明変数を検証した結
果、わずか二つの変数のみが抽出され、そ
れらの係数から被追い越し車と十分な距離
を確保しなければ復帰ができない事、後方
から車両が接近していればそれに応じて早
いタイミングで復帰しようとする事を示す
判断条件が推定された。これは定性的な復
帰行動の理解とも合致する結果である。

また、このように変数の削減を行ったモ
デルにあるにも関わらず、追い越しや復帰
のタイミングの推定成功率は 90%程度と
高く、判断条件を表現するのに重要な変数
は適切に選択されていることが確認された。

このような統計的手法を応用したモデル
選択の技術は、理論的に良く研究、検討、
されているものの、動的なシステムと離散
的なシステムを含んだハイブリッドシステ
ムの推定に応用した例は見られず、構造を
ボトムアップに獲得できる点においては世
界で類をみない試みであった。
ただし、当初の計画にあった、これらの結
果を利用して生体信号を取り込んだマルチ
スケール行動モデルの構築には至っておら
ず、今後の継続研究が望まれる。

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0件)

[学会発表](計5件)

E.Konaka, H.Okuda, T.Suzuki,
“Hierarchical PWARX Modeling of Obstacle
Avoidance and Steering Skill of Human
Driver”, Proc. of SICE Annual Conference,
MoBT4.4, pp.1437-1442, Sep.14-17, 2013,
査読有

山口 拓真, 黒川 景亮, 奥田 裕之, 稲垣
伸吉, 鈴木 達也, 早川 聡一郎, “確率的推
論を用いたドライバの視線移動による潜在
的リスク認知の評価”, 日本機械学会ロボテ
ィクス・メカトロニクス講演会 '12, 1P1-E03,
pp. 1-4, (2012.5.27-29)

Kenta Maeda, Eiji Konaka, Hiroyuki Okuda,
Tatsuya Suzuki “Hierarchical modeling of
obstacle avoidance and steering
behavior,” 19th World Congress on

Intelligent Transport Systems and
Services, AP-00072, pp.1-8, Oct. 22-26,
2012, 査読有

前田健太, 小中英嗣, 奥田裕之, 鈴木達也,
“人間が操作する四輪車両の操舵技能の同
定”, 平成 24 年電気学会全国大会講演論文集,
第 3 巻, pp. 119-120, 2012.

奥田裕之, 田崎勇一, 稲垣伸吉, 鈴木達
也, “階層的 PWARX モデルを用いた運転行動
のマルチスケール解析”, 計測自動制御学会
第 5 0 回離散事象システム研究会, pp. 29-34,
(2011.12.9)

[図書](計1件)

Okuda, A. Nakano, T. Suzuki, S. Hayakawa,
S. Inagaki, “Multilayer Modeling of
Driver Behavior Based on Hierarchical Mode
Segmentation”, Digital Signal Processing
for In-Vehicle Systems and Safety,
Springer, pp. 57-72(Jan. 2012),
ISBN:9781441996060

6. 研究組織

(1)研究代表者

奥田 裕之 (OKUDA, Hiroyuki)
名古屋大学・グリーンモビリティ連携研究
センター・特任助教

研究者番号：90456690

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

該当なし