

令和元年6月13日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00299

研究課題名(和文) 交通流映像とセルオートマトンに基づく新たなドライバモデリング手法の確立

研究課題名(英文) New Driver Modeling Method Based on Traffic Flow Data and Cellular Automata

研究代表者

山崎 啓介 (Yamazaki, Keisuke)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：60376936

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)：運転行動のモデリング技術として渋滞や交通流の数値モデルであるセルオートマトンを用いる新たな手法を構築した。セルオートマトンの統計的表現を見出すことで定点観測カメラ映像など容易に収集できるデータから走行中の車両の運転行動を推定することが可能となった。さらにセルオートマトンの最適化に車載センサーデータを用いることで、異なる2種類の自動車関連データを融合したモデリング手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

セルオートマトンは交通シミュレーションに用いられる代表的なモデルであるが、実際のデータを再現するためのモデル設定を行う体系的な方法は存在しなかった。本研究はセルオートマトンの統計モデルとしての性質を明らかにすることにより、統計的手法を用いて数学的な保証のあるモデル最適化を実現することが可能になった。またドライバの挙動をモデル化することは自動運転や運転補助システムでは必要不可欠な技術であるが、これを安価に収集可能な定点観測カメラ映像から行うことが可能になった。

研究成果の概要(英文)：A new method to model driving behavior has been established based on cellular automata, which are mathematical model expressing traffic flows. This method enables us to estimate the driving properties from the movie data of traffic flows. Moreover, we have proposed a method to combine the flow data with the sensor data of vehicles such as velocity, acceleration, angles of steering wheel, through the cellular automata.

研究分野：数理統計学

キーワード：ベイズ統計 シミュレーション学習 学習理論 応用代数幾何学 潜在変数推定 モデル選択

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

1. 研究開始当初の背景

近年、高度道路交通システム (ITS) の推進により交通管理や安全運転のための情報処理技術が急速な発展をみせている。中でも運転行動を模すドライバモデルは、運転補助システムや自動運転システムに応用されており、そのモデリング手法の確立が望まれている。

通常のドライバモデリングでは、自動車に搭載されたセンサーから速度、加速度、エンジン回転数など運転行動を記録したデータを取得し、それを基にモデルが構成される。しかしながら、センサーデータの取得にはテストドライバーによる複数回の走行が必要である。ドライバーの個性や道路状況の多様性に適応できる汎用なモデルを構成するためには、データ取得に多くの時間と費用を要することが問題である。

2. 研究の目的

本研究では車両群の流れを表すデータとセルオートマトン (CA) 交通流モデルを用いて、「速度制御規則を模倣するドライバモデル」を構築する手法の確立を目指す。つまり従来手法に必須であった車載センサーを一切用いず、多数の車両が走行している状況を記録した動画データからドライバモデルを構築する。CA 交通流モデルのパラメータは加速や減速のタイミングを表現しており、それらを動画から抽出することで個々の車両のドライバモデルが構築できる。ドライバモデリングを統計的パラメータ推定問題に帰着することで定量的評価が可能なモデル構築法を実現する。

3. 研究の方法

交通流の映像からドライバモデルを構築するために、動画の撮影、CA 交通流モデルのパラメータ推定およびその評価の手順で研究を進める。初年度はデータベースの整備として動画の撮影と前処理を行う。同一箇所に対し天候や車両密度など異なる撮影条件の下でデータを集める。次年度以降でパラメータ推定と評価を行う。異なる速度制御規則を有する2つのセルオートマトンを用いる。数理統計学を活用しモデルの誤差を算出することで、各動画に最適なオートマトンを定量的に決定する。撮影条件に対する速度制御規則の違いを考察し、道路状況に適応可能な汎用性の高いドライバモデル構築法を確立する。

4. 研究成果

(1) 交通流データベース作成

交通流の映像からドライバモデリングを構築するため、まずは高速道路の映像を記録したデータベースの作成に取り組んだ。場所は東名高速町田 IC 付近の 500m の範囲であり、上りと下りあわせて 6 車線を見下ろす画角を設定した。撮影条件として午前中、午後、夕刻の 3 種類の時間帯と、晴れ、雨、雨上がりの 3 種類の天候について撮影を行った。動画は 1 ファイルあたり 3 分程度、計 50 ファイルとなった。

(2) ベイズクラスタリングについての理論構築

モデリングに必要な手法であるベイズクラスタリングについての理論解析を行った。人手でクラスタラベルを付加した場合の半教師あり学習のためのクラスタリングの精度の計算、特定の車両について推定を行った場合の精度の計算、さらにモデルとして準備したクラスタ数が実際に必要な数より大きい場合の精度の計算などを行った。またドライバモデルの基礎となる確率セルオートマトンを自然言語処理で用いられる Latent Dirichlet Allocation (LDA) を基に拡張した。この拡張により天候の違いなどで大きく運転法が異なる複数のデータセットに対応したモデリングが可能であることを実験的に示した。さらに運転方法の候補が複数ある場合、実際に走行している車両がどの運転方法に従うかを統計的に判定する手法を提案し、円周上を走る実車データに適用し有用性を確認した。

(3) 速度制御規則の推定

Totally Asymmetric Simple Exclusion Process (TASEP) と Zero Range Process と呼ばれる 2 種類のモデルについて速度制御規則の推定アルゴリズムについて検討を行った。双方のモデルにおいて実際の交通流を模倣する際に重要となるのは運転方法の異なるドライバーの種類がデータ中にいくつ混在しているか、その数を知ることである。各ドライバーの種類に異なるパラメータを割り当てることで精緻なモデリングが可能となる。クラスタリングの手法を応用することで種類数を推定する課題に取り組んだ。特にベイズクラスタリングの適用に注力し ZRP において変分ベイズ法を用いてパラメータを高精度・高速に求めるアルゴリズムを考案した。さらに円状サーキットを走行する実車データに関して、ZRP と TASEP のモデル選択を行い、データの分析を行った。具体的にはベイズ統計における周辺尤度を用いて定量的に優位なモデルの選択を行った。データはナゴヤドームでの渋滞形成実験のものを使用した。コース上の車両数が異なるいくつかのデータがあるが、その全てにおいて ZRP が選択された。これは車間距離に応じた運転をしていることを統計的に示すものである。車両数が多くなるほど ZRP の優位性が大きくなることから、密度の増加に応じて前方車両を意識した運転をすることが示唆された。上記のモデル選択ではベイズクラスタリングの手法を用いているが、その基礎的な理論において、データセットを追加したときのクラスタリング精度について解析を行った。

(4)交通流モデルの拡張

セルオートマトンの形状とアルゴリズムの関係を調査するため、3次元セルオートマトンへの拡張を行った。3次元空間での渋滞としてドローンのモデルを提案し、飛行データからドローンの飛行規則のクラスタリングを行うアルゴリズムを提案した。

(5)車載センサーデータと交通流データを融合させるドライバモデリング手法

本研究の開始当初は車載センサーデータの短所を補う目的で交通流データを用いたモデリング手法を検討してきた。交通流のモデルであるCAは速度制御規則を有するため、実車での走行時における車載センサーデータがあれば、それを直接用いることで規則の同定を行うことが可能である。この性質を利用し、車載センサーデータから交通流モデルであるCAを最適化するアルゴリズムを提案した。多様なドライバの属性や経路に対するセンサーデータのデータベースが存在するため、本研究で考案されたCAの最適構造設計手法やパラメータ手法を駆使することで、センサーデータを基にした道路のセグメンテーションやドライバの分類を行うアルゴリズムを提案した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 9件)

Keisuke Yamazaki, Yoichi Motomura, "Hidden Node Detection between Observable Nodes Based on Bayesian Clustering", *Entropy*, 21, 2019

Keisuke Yamazaki, "Bayesian estimation of multidimensional latent variables and its asymptotic accuracy", *Neural Networks*, 105, pp. 14-25, 2018

Keisuke Yamazaki, "Effects of Additional Data on Bayesian Clustering", *Neural Networks*, 94, pp. 86-95, 2017

Keisuke Yamazaki, "Asymptotic Accuracy of Bayes Estimation for Latent Variables with Redundancy", *Machine Learning*, 102, 1-28, 2016

中村文士, 山崎啓介, "変分ベイズ法による多種粒子 ZRP の統計的推測について", *日本応用数理学会論文誌*, 26(3), pp.268-85, 2016

Keisuke Yamazaki, "Accuracy Analysis of Semi-supervised Clustering when the Class Balance Changes", *Neurocomputing*, 160C, pp.132-140, 2015

Keisuke Yamazaki, "Accuracy of Latent-Variable Estimation in Bayesian Semi-Supervised Learning", *Neural Networks*, 69, pp.1-10, 2015

Keisuke Yamazaki, "Asymptotic Accuracy of Bayesian Estimation for a Single Latent Variable", *Neural Networks*, 69, pp.11-19, 2015

Keisuke Yamazaki, "On the Optimal Hyperparameter Behavior in Bayesian Clustering", *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.19 No.6, pp.818-824, 2015

[学会発表](計 15件)

Takafumi Kajihara, Motonobu Kanagawa, Keisuke Yamazaki, Kenji Fukumizu, "Kernel Recursive ABC: Point Estimation with Intractable Likelihood", *International Conference on Machine Learning*, 2018

木佐森慶一, 山崎啓介, "カーネル平均埋め込みによる尤度なし関数を用いた共変量シフト下での回帰手法", *情報論的学習理論ワークショップ*, 2018

山崎啓介, 藤田桂英, "マルチエージェント自動交渉における調停プロトコルとベイズ統計の関係", *情報論的学習理論ワークショップ*, 2018

Daichi Yanagisawa, Keisuke Yamazaki, "Detecting Competitive Behaviors In Conflicts", *Traffic and Granular Flow '17*, 2017.

Keisuke Yamazaki, Yoichi Motomura, "Hidden Node Detection between Two Observable Nodes Based on Bayesian Clustering", *Advanced Methodologies for Bayesian Networks*,

2017

柳澤大地, 山崎啓介, “退出過程における強引なエージェントの識別方法”, 数理学会学会大会, 2016.

山崎啓介, 本村陽一, “運転行動におけるタスクモデリング”, 日本行動計量学会第44回大会, 2016.

山崎啓介, “三次元確率セルオートマトンによるドローン交通流モデル”, IBIS2016 ワークショップ, 2016.

須貝将士, 山崎啓介, “車載センサーデータを用いた運転タスクラベリング”, IBIS2016 ワークショップ, 2016.

山崎啓介, 本村陽一, “運転支援システムのための形式文法による運転行動のタスクラベリング”, 人工知能学会社会におけるAI研究会, 2016.

松儀良広, 岡田将吾, 新田克己, 山崎啓介, “インタラクティブ発表場における発表者と聴衆の行動分析”, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム, 2016.

中村文士, 山崎啓介, “交通流映像からの速度決定則のモデル化とグループ分け”, 電子情報通信学会 ITS 研究会, 2015.

山崎啓介, “LDA を用いたセルオートマトンによる交通流の分析”, 電子情報通信学会 IBISML 研究会, 2015.

梶大介, 山崎啓介, “セルオートマトンを用いた自律的な車線変更モデルによる交通流最適化の研究”, 電子情報通信学会 IBISML 研究会, 2015.

山崎啓介, “統計的モデル選択による TASEP と ZRP の比較”, 第21回交通流と自己駆動粒子系のシンポジウム, 2015.

〔図書〕(計 1 件)

山崎啓介, サイエンス社、数理科学 56 号、特集「機械学習の数理」“交通の数理と機械学習”, 2018、(担当 38 ~ 43 ページ)

〔産業財産権〕

該当なし

〔その他〕

6. 研究組織

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。