

令和 3 年 6 月 29 日現在

機関番号：20103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00128

研究課題名(和文)交通プローブ情報の共有のための運転行動の時系列性を考慮した車両挙動分析手法

研究課題名(英文)A method to analyze vehicle behaviors considering time-series of driving actions for sharing traffic probe information

研究代表者

白石 陽 (Shiraishi, Yoh)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授

研究者番号：90396797

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、交通プローブ情報の共有に向けて、ドライバーの運転行動の時系列性を考慮した車両挙動分析手法を提案することである。車両挙動に関わる時系列センサデータを収集し、SAX (Symbolic Aggregate Approximation) を適用して文字列化を行い、運転行動に対応する特徴的な部分文字列を抽出することで分析を行う。成果として、右左折、車線変更、停止などの典型的な車両挙動の分類において提案手法が有効であること、また、SAXにより適切なデータ抽象度を調整することでドライバーの分類にも適用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

本研究は、時系列のセンサデータを文字列に変換することで、自然言語処理技術を適用可能なデータ分析基盤を提供しており、ITS分野における車載センサデータ処理のための新たな枠組みを提案している。提案手法は、都市交通における快適な運転支援や円滑な交通流を実現するための要素技術として位置付けられるが、車載スマートフォンだけでなく、車載ネットワークから得られるセンサデータも分析対象とすることで、よりドライバーに適した情報提供が可能になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This research aims to propose a method to analyze vehicle behaviors considering time-series of driver's actions for sharing traffic probe information. This method collects sensor data related to vehicle behaviors, converts the sensor data into character string by applying SAX (Symbolic Aggregate Approximation), and analyzes them by extracting characteristic substrings corresponding to driving actions. The research results show that the proposed method is effective in classifying typical vehicle behaviors such as turning left and right, changing lane and stopping, and it can also be applied to driver classification by adjusting the appropriate data abstraction level by SAX.

研究分野：高度道路交通システム (ITS)

キーワード：プローブ情報システム 参加型センシング 車両挙動データ分析 運転行動 時系列センサデータ 文字列化

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

高度道路交通システム (ITS : Intelligent Transport Systems) の分野において、道路交通情報を収集するための「プローブ情報システム」の研究が盛んに行われている。車両の位置情報や速度情報に基づく渋滞情報の共有はもちろん、渋滞画像の共有、路面の凹凸状況の共有など様々な取り組みが行われている。また、センサネットワークの研究の流れとして、人や車、自転車などのモビリティ (移動体) に搭載されたセンサを利用し、対象エリア内のセンサ情報を網羅的かつリアルタイムに収集する枠組みである「参加型センシング」の研究も盛んに行われており、交通分野での適用例も多い。このような大量の車両から道路交通情報を収集・蓄積し、カーナビゲーション向けの情報として加工し、ドライバーに提供することで効果的な運転支援が期待できる。研究代表者らも、車載スマートフォンのセンサを活用したプローブ情報システムに関する研究として、車載スマートフォンのセンサを活用し、車線変更地点の検知や対向車線の渋滞検知、路面状況の検出のための手法を提案している。

しかし、多数の車両からの収集結果や検知結果を点データとして地図上に表示したり、ヒートマップのように可視化したとしても、必ずしも、それらの情報が各ドライバーにとって有益な情報になるとは限らない。例えば、車線変更地点の共有は、その後の走行車線を決定する上で有用な情報となり得るが、どの地点から車線変更を行えば良いかどうかは、ドライバーの運転特徴に依存し、緩やかに車線変更を行うドライバーもいれば、そうでないドライバーも存在する。したがって、交通プローブ情報を集合知として共有・活用する場合には、ドライバーの運転特徴の違いを考慮できることが望ましい。これにより、ドライバーに共通の情報を共有するだけでなく、ドライバーの運転特徴に合わせた情報提供が期待できると考える。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、交通プローブ情報の共有のための運転行動の時系列性を考慮した車両挙動分析手法を提案することである。本研究では、右左折や車線変更などの車両挙動を複数の運転行動 (例えば、加減速、右寄せ、右折待ち) から構成される系列と捉える。具体的には、車両挙動に関わるセンサデータを収集し、収集した時系列センサデータを文字列に変換し、運転行動に対応する特徴的な部分文字列を抽出することで、車両挙動の分析を行う。

本研究では、ドライバーの運転特徴を考慮するために、運転行動の時系列性に着目する。例えば、車両が右折を行う場合、その事前行動としては、減速を行った上で、右に車を寄せ、対向車の通過を待った後で、右折動作を行う (図 1)。また、初心者ドライバーと運転経験豊富なドライバー、あるいは、その地域の道路に精通しているドライバーと不慣れなドライバーでは、車両の走行速度、各運転行動にかかる時間やタイミングも異なると考える。このような運転行動の時系列性を考慮することで、ドライバーの運転特徴を抽出することができれば、ドライバーごとに適切な情報提示を行い、快適な運転支援と円滑な交通流の実現が期待できる。

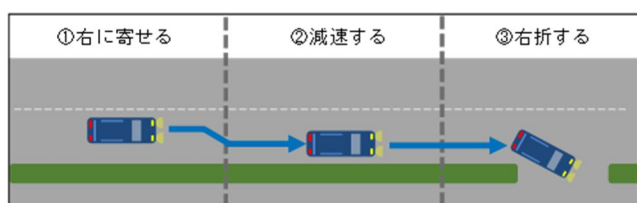


図 1 「右折」挙動の運転行動の系列



図 2 車載スマートフォンの設置

## 3. 研究の方法

本研究では、車載スマートフォンのセンサを利用し、車両挙動に関わるセンサデータを収集する。そして、運転行動の時系列性を考慮するために、車両挙動を複数の運転行動から構成されるものとみなし、SAX (Symbolic Aggregate Approximation) というデータ抽象化手法を利用して、時系列センサデータを文字列に変換し、特徴的な部分文字列を抽出することで、車両挙動の分析を行う。以下、提案手法の特徴を述べる。

### (1) 車載スマートフォンによる車両挙動センサデータの収集

本研究では、ドライバーの運転操作の結果である車両挙動に着目し、車両挙動センサデータを分析対象とする。加速度センサや角速度センサ、GPS など各種センサを搭載しているスマートフォンを車載し、車両挙動に関わるセンサデータを収集する。スマートフォンを車両のダッシュボード上に設置し、センサの軸を車両の進行方向と合わせることで、車両の前後左右のセンサデータの変化を捉えることができる (図 2)。また普及率の高いスマートフォンの利用を想定するこ

とで、多数のドライバーの協力が期待できる。

## (2) 運転行動の時系列性への着目

本研究では、車両挙動が複数の運転行動から構成されると考え、車両挙動を構成する運転行動の出現頻度や出現パターンに着目する。これにより、停止や右左折、車線変更時のセンサデータだけでなく、それらの車両挙動に至るまでの運転行動にも着目することで、ドライバーの運転特徴を考慮した分析手法の実現を目指す。車両挙動の例としては、直進、停止、右/左折、車線変更などが挙げられる。本研究では、これらの車両挙動をペダル操作による加減速や、ハンドル操作による右/左折といったドライバーの一連の運転行動の時系列の結果として成り立つと考えられる。

## (3) SAX (Symbolic Aggregate Approximation) に基づく文字列化処理

本研究では、時系列データの抽象化手法である SAX (Symbolic Aggregate Approximation) を利用する。SAX は、センサデータ値に境界を設定し、境界ごとに異なる文字を割り当てることで、時系列のセンサデータを文字列に変換する(図3)。SAX のパラメータである文字の種類(表現文字種類)を変化させることで、変換後のデータの抽象度を調整することができる。文字種類を少なくすれば、抽象度の高いデータを表現することができ、文字種類を多くすれば、詳細なデータを表現することができる。SAX を利用することで、ノイズ除去やデータ容量の削減という効果が期待できる。さらに、SAX により変換されたセンサデータは、文字列として表現されるため、文字列処理や文字列マッチングなどの自然言語処理技術が適用可能となる。本研究では、ランレングス符号化や N-gram などの技術を利用することで、運転行動に対応する特徴的な部分文字列を抽出し、運転行動の出現頻度や出現パターンを考慮した分析を行う。

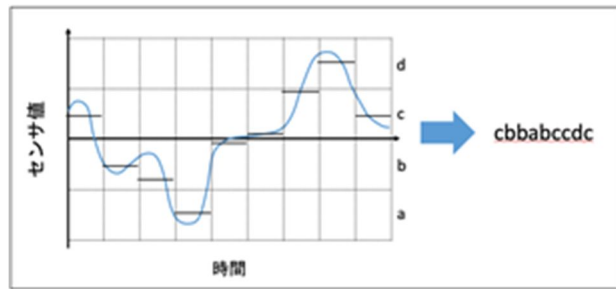


図3 SAXによる文字列化

## 4. 研究成果

### (1) SAX に基づく運転行動の出現頻度に着目した車両挙動分析手法

運転行動の時系列性を考慮した車両挙動分析手法の提案を行った[1]。提案手法では、まず、車載スマートフォンから収集したセンサデータに SAX を適用することで、時系列センサデータを文字列(センサデータ文字列)へ変換する。次に、このセンサデータ文字列に対して、ランレングス符号化を行い、数値成分を除去した文字列に対して N-gram を適用することで、車両挙動における各運転行動を部分文字列として抽出する。この手法では、ランレングス符号の文字成分に着目することで「出現頻度」の観点から特定の車両挙動を構成する運転行動に該当する部分文字列を抽出している。最後に、N-gram によって抽出した部分文字列を用いて、各車両挙動に対する BoW (Bag of Words) モデルを作成する。BoW モデルとは、文章中に含まれる各単語の出現頻度により、文章を表現するという自然言語処理で用いられるモデルである。本研究では BoW モデルを用いることで、各車両挙動を、運転行動に対応する各部分文字列の出現頻度の分布により表現する。

車載スマートフォンを用いて走行時の加速度・角速度センサデータを収集し、代表的な車両挙動(直進、右折、左折、右車線変更、左車線変更)の分類実験を行った。実験の結果、左右方向の動きに関する角速度センサデータに基づく車両挙動分類において、特徴量の次元数を削減しながらも高精度に車両挙動を分類できており、提案手法が車両挙動推定に対して有効であることを示した(図3)。

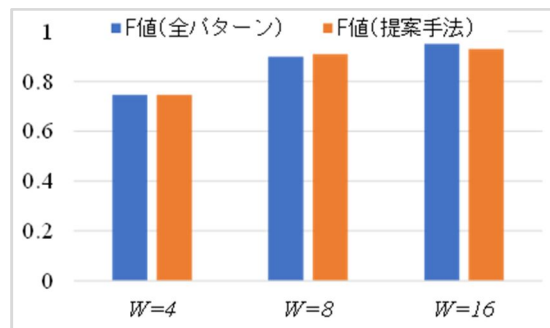


図3 車両挙動分類の精度比較

図3のWは表現文字種類を表しており、「提案手法」は特徴的な部分文字列で BoW を構成した場合、「全パターン」はすべて部分文字列で構成した場合であり、提案手法により抽出された特

徹的な部分文字列から構成される BoW モデルによる車両挙動推定が実現可能であることを示している。

## (2) MDL 原理を用いた車両挙動データの特徴抽出手法

前述の提案手法[1]では、センサデータの文字列化の過程でランレングス符号化を行うが、ランレングス符号の文字成分に着目し、数値部分を考慮しないため、ドライバーの個人差によって発生するような運転行動の変動時間の違い(例えば、緩やかな車線変更なのか、急激な車線変更なのか)を区別することができない。そこで、MDL (Minimum Description Length) 原理に着目した特徴抽出手法の提案を行った[2]。運転行動の変動時間(すなわち、部分文字列の時間長)を考慮することができれば、個人の運転特性を考慮した車両挙動分析が期待できる。車両挙動を構成する運転行動によるセンサデータの変動部分は、直進部分やノイズによるセンサデータの変動部分と比較して、該当する部分文字列の時間長が長い傾向が見られるため、部分文字列の時間長を考慮することは効果的であると考えられる。

提案手法では、ランレングス符号文字列に出現する各部分文字列に対して、MDL 原理に基づいた記述長 DL (Description Length) による評価を行うことで、部分文字列の「時間長」と「出現頻度」を考慮し、車両挙動の特徴として抽出すべき部分文字列の抽出を行う。MDL 原理とは、多くの工学の分野で適用が可能なデータ圧縮の原理であり、データ圧縮においては、データを圧縮する際に用いるモデルの記述長と、そのモデルにより圧縮されたデータの記述長の和から成り立つ符号語長を最小にするモデルを選択する、というものである。記述長 DL が最小となる部分文字列は、元の文字列を最も圧縮できる部分文字列を示す。

「右折」の車両挙動時のセンサデータを対象とした基礎実験を行い、部分文字列の出現頻度と時間長の観点において、特徴的な部分文字列を抽出できることを示した。具体的には、右折時のセンサデータ(Y 軸角速度、Z 軸加速度)から車両挙動に関する特徴抽出を行った。その結果、左右方向の移動を表す Y 軸角速度からは、「右寄せ」、「右折」に該当する部分文字列、前後方向の移動を表す Z 軸加速度からは、「減速」に該当する部分文字列を、それぞれ「時間長」と「出現頻度」の観点から各車両挙動の特徴として抽出すべき部分文字列として抽出することができた。

## (3) SAX に基づくドライバーの運転特徴抽出手法

ドライバーの運転特徴によって、車両挙動に関するセンサデータの変動は異なる可能性があるため、ドライバーの運転特徴を考慮した車両挙動分析を実現できれば、交通プローブ情報を共有する上でも有効である。例えば、停止の車両挙動を考えると、ポンピングブレーキ操作を行うドライバーも存在すれば、急激なブレーキ操作を行うドライバーも存在し、同一の車両挙動であってもセンサデータの変動傾向は異なり、センサデータ文字列から抽出できる特徴も異なると考えられる。そこで、SAX に基づくドライバーの運転特徴抽出手法を検討した[3]。

提案手法では、車載したスマートフォンからセンサデータを収集し、そのセンサデータに SAX を適用することで文字列に変換する。変換した文字列をランレングス符号化することにより、車両挙動の変化情報である文字成分、車両挙動の変化に要した時間情報である数値成分、データ計測時からの時間情報である累積和の3つの要素で車両挙動を表現する。最後に、基準文字を基に部分文字列を抽出し、文字成分、数値成分、累積和などの要素を用いて車両挙動データの分析を行う。

停止の車両挙動を対象として、ブレーキ操作の特徴が異なる複数の被験者から走行データを収集し、分析を行った。分析の結果、SAX の表現文字種類が多いほど、各ドライバーの属性ごとに異なる特徴が現れ、SAX を用いた車両挙動データ分析が運転特性の抽出に有効であることが示唆された。また、表現文字種類を増やしデータ抽象度を上げることで、ドライバーの分類に有効であることを示した。本研究の提案手法により、車両挙動分類を行った上で、ドライバーの運転特性や運転傾向を把握できれば、プローブ情報に対するラベル付けが可能となり、都市センシングデータ基盤としての有効活用が期待される。

発表実績：

[1] 横山 達也, 白石 陽, 交通状況把握のための運転行動の時系列性を考慮した車両挙動分析手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 1, pp. 87-100 (2019).

[2] 横山 達也, 白石 陽, MDL 原理を用いた車両挙動データからの特徴抽出手法の提案, 第 26 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 97-107 (2018).

[3] 岩崎 賢太, 白石 陽, SAX を用いたブレーキ操作時の運転特性の抽出, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム論文集, pp. 1111-1119 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 横山 達也, 白石 陽	4. 巻 60
2. 論文標題 交通状況把握のための運転行動の時系列性を考慮した車両挙動分析手法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 87 ~ 100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岩崎賢太, 白石陽
2. 発表標題 自動運転の安心感向上に向けたドライバの運転特性の抽出手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS) 研究会第79回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩崎賢太, 白石陽
2. 発表標題 ドライバの運転特性の抽出に向けたSAXを用いた車両挙動データの分析
3. 学会等名 情報処理学会第82回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoh Shiraishi, Yusuke Takeyasu
2. 発表標題 A Method for Estimating Road Situations Based on Bicycle Behavior Sensing towards Recommendation of Comfortable Route
3. 学会等名 International Workshop on Informatics (IWIN2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山 達也, 白石 陽
2. 発表標題 MDL原理を用いた車両挙動データからの特徴抽出手法の提案
3. 学会等名 第26回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武安 裕輔, 白石 陽
2. 発表標題 自転車の障害物回避挙動検出における異常検知に基づく障害物回避区間の抽出手法の検討
3. 学会等名 第26回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山達也, 白石陽
2. 発表標題 交通状況把握のための運転行動の時系列性を考慮した車両挙動分析手法
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02017) シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 武安裕輔, 白石陽
2. 発表標題 自転車の障害物回避挙動検出手法における速度変化特徴の有効性の検討
3. 学会等名 情報処理学会高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS) 研究会第71回研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅一生, 横山達也, 白石陽
2. 発表標題 車載カメラ画像を用いた路面標示劣化度合い推定手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS) 研究会第71回研究発表会
4. 発表年 2017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