

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700233

研究課題名(和文)ノンパラメトリックベイズ理論に基づく生成的二重分節解析器

研究課題名(英文)Generative double articulation analyzer based on nonparametric Bayesian approach

研究代表者

谷口 忠大(Taniguchi, Tadahiro)

立命館大学・情報理工学部・准教授

研究者番号：80512251

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、当初の目的の通り、この動素へ符号化し、さらに単位動作へとチャンク化するという二つのプロセスを完全な単一の生成モデルとしてノンパラメトリックベイズ理論に基づき統一することに成功した。また、効率的なサンプリングアルゴリズムを構築した。また、二重分節解析技術を非分節動作時系列データに適用し、さまざまな応用成果をあげることができた。本研究において人間の非分節動作時系列データに関しては、自動車運転挙動の時系列を対象として研究を行った。

研究成果の概要(英文)：In this project, we successfully developed a nonparametric Bayesian double articulation analyzer. The analyzer integrates two inference processes which were previously treated as different learning processes. One is a segmentation process and the other is a chunking process. To develop the learning method, we proposed an integrated generative model and derived efficient blocked Gibbs sampling procedure. In addition to that, we developed various methods related to driver support system by using a double articulation analyzer.

研究分野：創発システム論

キーワード：機械学習 時系列解析 ノンパラメトリックベイズ

1. 研究開始当初の背景

多くの言語や記号の表現としての音声発話や動作系列のような時系列データには二重分節構造が含まれるといわれる。二重分節構造とは古くから言語学において指摘されていた構造で、音声言語においては連続的な音声時系列情報は音素（音素記号）、単語という形で二重に分節される。ここで重要な点は音素という意味を付与されない有限個の単純なパターンの組み合わせにより、単語という意味を付与される無限個のパターンが生成されることである。単語は通常基本となる音素の並びにより作られ、また単語の並びは文法を持って確率的にはあるが、規則的に並べられることで文を形成する。

記号創発研究では上記のような人間や動物が記号や言語をボトムアップに学習・適応、もしくは進化の過程において獲得するものと捉え、その獲得の仕組みやプロセスについて学術的に解明することを目的としている。計算機による言語の取り扱い、歴史的には、ルールベースのものが主流であったところから、ニューラルネットワークや隠れマルコフモデル(HMM)などの教師あり学習を用いたものが主流となってきた。しかし、教師あり学習の枠組みでは人手によりラベルをつけた大量のコーパスが必要なことから、動物の記号や、少数の言語、また、発達・進化のプロセスについての議論が困難であった。近年、計算機・機械学習技術の発展もあり、教師なし学習を用いた連続情報からのボトムアップな記号・言語の獲得・創発が注目されてきている。このような背景の下、申請者は言語獲得、概念形成や動作単位の獲得プロセスを表現する機械学習のモデルについて研究、提案を行なってきた。これらの成果は多くの学術論文をはじめ、単著「コミュニケーションするロボットは創れるか」(NTT出版)においても一連の研究として報告している。人間や動物の記号獲得過程の構成論的表現が得られるとともに、その統計的分析手法の開発、また、自動的に言語獲得や動作獲得を行うロボットの開発を目指してきた。

2. 研究の目的

本研究は、二重分節構造に着目しつつ、教師なし学習によるボトムアップな記号獲得の計算論をノンパラメトリックベイズ理論に基づき革新的に発展させる事を目指す。本研究では、動作の時系列データを、動素へ符号化しさらに単位動作へとチャンク化するという、二つのプロセスを同時に解く問題を考える。これまでは二つのプロセスを分割して扱わざるを得なかった為に、局所解に陥っていた。この二つのプロセスを完全な単一の生成モデルとしてノンパラメトリックベイズ理論に基づき統一する。これによって動素獲得という要素から単位動作をボトムアッ

プに獲得することが同時に最適化されるため、二重分節構造に基づく連続データの自然なチャンク化が実現することになる。

申請者は既にノンパラメトリックベイズ理論に基づく入れ子 Pitman-Yor 言語モデルと sticky HDP-HMM という拡張された HMM を使い、動素数が未知、かつ単位動作の種類が未知の条件下で効率的に単位動作を学習する手法を提案していた。このモデルを基に研究を発展させることで、完全にベイズな生成モデルとしての二重分節解析器を提案することを目指した。

これを実現することによって未知数の単位動作や語彙を事前知識が全くない状態で、自発的に記号獲得を行う人工知能やロボットを開発することが可能となる。また、二重分節構造を含んだ記号創発のプロセスをエージェントシミュレーションにより実験することを可能にすることを目指す。

3. 研究の方法

本研究では

- (1) 隠れ入れ子 Pitman-Yor 言語モデルの開発、及び効率的サンプリングアルゴリズムの開発
- (2) 二重分節解析器の開発、及び効率的サンプリングアルゴリズムの開発
- (3) 人間の非分節動作時系列データからの単位動作抽出に対する有効性の検証
- (4) ラベル付けされていない音声データからの語彙獲得に対する有効性の検証

を順次行う。申請者はこれまで教師なし学習に基づき非分節な動作データを動素に分割し、そののちにこれら連結し、単位動作を抽出するという二段階の教師なし学習器を開発してきた。本研究ではノンパラメトリックベイズ理論により完全に統合された生成モデルとしての二重分節解析器を開発し、その実データ解析への有用性を明らかにする。

4. 研究成果

本研究では、当初の目的の通り、この動素へ符号化し、さらに単位動作へとチャンク化するという二つのプロセスを完全な単一の生成モデルとしてノンパラメトリックベイズ理論に基づき統一することに成功した。また、効率的なサンプリングアルゴリズムを構築した。また、二重分節解析技術を非分節動作時系列データに適用し、さまざまな応用成果をあげることができた。本研究において人間

の非分節動作時系列データに関しては、自動車運転挙動の時系列を対象として研究を行った。

(1) 自動車運転の時系列データへの二重分節解析の応用

二重分節解析器は音声言語が持つ「単語」「音素」「音声データ」の二層の階層構造を時系列データに仮定し、事前に単語のリストも音素のモデルも持たずに、その数と遷移確率も含めて推定するノンパラメトリックベイズ法に基づく教師なし学習の機械学習手法である。要素技術としては隠れマルコフモデルのノンパラメトリックベイズ拡張である無限隠れマルコフモデルと、自然言語処理分野で提案されたベイズ教師なし形態素解析手法を用いている。本研究ではこの手法を運転行動の時系列データに適用し人間の運転の文脈に沿った変化点抽出、チャンク抽出が行えることを示した。また、この変化点抽出の応用としてドライブレコーダーにより記録された動画をドライバの認識する文脈の変化点に注目して自然に動画要約する手法を開発した。

ベイズ二重分節解析によりドライバの運転行動が分析され、文脈と運転の時系列の構造が明らかになれば、それをドライバの運転意図変化の予測に用いることも可能である。そこで、本研究ではベイズ二重分節解析器を予測モデルに拡張し、既存手法を上回る文脈の予測長を得ることを示した。また、今後、どのようなタイミングで文脈の変化が生じるかを時間軸上の無限混合ポアソン分布により推定する手法を提案し、その有効性を示した。これは、知的な自動車が「ドライバがいつ運転行動を変化させるのか?」「どのような変化の可能性があるか?」を純粹にベイズ統計に基づいて教師なし学習により推定する世界初のモデルとなっている。

ベイズ二重分節解析器は知的自動車のドライバの運転行動を理解させる糸口を与える。ドライバの運転行動はある程度の時間区間によって「ひとまとまり」の意味を持つが、この時間長は一定ではなく、状況によって揺らぐ。この「ひとまとまり」をチャンクとして教師なし学習で抽出するのがベイズ二重分節解析器である。申請者らはそれぞれのチャンクの適切さを評価し、そのまとまりを自動車自身に理解させるために、運転行動のトピックモデリングを行い、二重分節解析器により抽出されたチャンクがまとまりのよいチャンク抽出を行っていることを示した。また、このようなモデリングに基づき、自動的にドライブレコーダーにより取得された運転動画にアノテーションを付与する技術を開発した。また、これらに Web API などから取得される周辺情報を重ね合わせることで、ドライブレコーダーから得られた記録をドライバに可読性の高い図式化された文書として提供する技術を開発した。

(2) ノンパラメトリックベイズ二重分節解析器のモデル化とサンプリングアルゴリズムの開発

本研究では二重分節構造を持つ時系列データの完全な生成モデルを構成した。具体的には Hierarchical Dirichlet Process Hidden Semi Markov Model (HDP-HSMM) を拡張することにより二重分節構造を有する時系列データを生成する生成モデルを提案した。

本提案モデルでは、隠れ状態で表わされる観測データ区間が、その状態に対応する left-to-right の隠れ状態遷移を持つ HSMM を持つと仮定しモデル化を行った。これは HDP-HSMM の拡張モデルになっている。それゆえに、HDP-HSMM に対して提案されていた効率的サンプリングアルゴリズムである Backward filtering-forward sampling アルゴリズムを拡張することで得ることが出来た。

また、導出したノンパラメトリックベイズ二重分節解析器を人工時系列データ、人間の母音のみで作成された音声時系列データに適用し、その有効性を示した。

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 5 件)

中村友昭, 長井隆行, 船越孝太郎, 谷口忠大, 岩橋直人, 金子正秀, マルチモーダル LDA と NPVLM を用いたロボットによる物体概念と言語モデルの相互学習, 人工知能学会論文誌, 査読有, Vol.30 (3), 498-509 .(2015)

谷口彰, 吉崎陽紀, 稲邑哲也, 谷口忠大, 自己位置と場所概念の同時推定に関する研究, システム制御情報学会論文誌, 査読有, Vol.27 (4), pp.166-177 .(2014)
Tadahiro Taniguchi, Shogo Nagasaka, Kentaro Hitomi, Kazuhito Takenaka, and Takashi Bando , Unsupervised Hierarchical Modeling of Driving Behavior and Prediction of Contextual Changing Points, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 査読有, Vol. PP, 1-15.(2014)

Tatsuya Hirose, Tadahiro Taniguchi , Abstraction Multimodal Low-Dimensional Representation from High-Dimensional Posture Information and Visual Images, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.25 (1), 80-88 .(2013)

谷口忠大, 山下 元気, 長坂 翔吾, 坂東 誉司, 竹中 一仁, 人見 謙太郎, 運転時系列のベイズ二重分節解析によるチャン

ク抽出, 計測自動制御学会論文誌, 査読有, Vol.49 (11), pp.1047-1056 .(2013)

[学会発表](計 17 件)

Tomoaki Nakamura, Takayuki Nagai, Kotaro Funakoshi, Shogo Nagasaka, Tadahiro Taniguchi and Naoto Iwahashi, Mutual Learning of an Object Concept and Language Model Based on MLDA and NPYLM, 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'14), Sep 14 2014, Chicago IL, (USA).

Liu Hailong and Taniguchi Tadahiro, Feature extraction and pattern recognition for human motion by a deep sparse autoencoder, The 14th IEEE International Conference on Computer and Information Technology, Sep 12 2014, Xian, (China).

中島 諒, 谷口 忠大, 長坂 翔吾, ノンパラメトリックベイズ二重分節解析器を用いた母音列からの教師なし語彙獲得, 第32回日本ロボット学会学術講演会, 2014年9月6日, 九州産業大学, (福岡県).

Shogo Nagasaka, Tadahiro Taniguchi, Kentarou Hitomi, Kazuhito Takenaka and Takashi Bando, Prediction of Next Contextual Changing Point of Driving Behavior Using Unsupervised Bayesian Double Articulation Analyzer, 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'14), June 11 2014, Dearborn Michigan, (USA).

HaiLong Liu, Tadahiro Taniguchi, Toshiaki Takano, Yusuke Tanaka, Kazuhito Takenaka and Takashi Bando, Visualization of Driving Behavior Using Deep Sparse Autoencoder, 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'14), June 11 2014, Dearborn Michigan, (USA).

Takashi Bando, Kazuhito Takenaka, Shogo Nagasaka, Tadahiro Taniguchi, Generating Contextual Description from Driving Behavioral Data, 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'14), June 10 2014, Dearborn Michigan, (USA).

長坂翔吾, 谷口忠大, ノンパラメトリックベイズ二重分節解析器に関する研究, 2014年度人工知能学会全国大会, 2014年5月12日, ひめぎんホール, (愛媛県).

Takashi Bando, Kazuhito Takenaka, Shogo Nagasaka, Tadahiro Taniguchi, Drive Annotation Via Multimodal Latent Topic Model, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Nov 5 2013, 東京ビックサイ

ト, (東京都).

Tomoaki Nakamura, Takaya Araki, Takayuki Nagai, Shogo Nagasaka, Tadahiro Taniguchi, Naoto Iwahashi, Multimodal Concept and Word Learning Using Phoneme Sequences with Errors, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Nov 4 2013, 東京ビックサイト, (東京都).

Takashi Bando, Kazuhito Takenaka, Shogo Nagasaka and Tadahiro Taniguchi, Road Context Estimation from Driving Behavior, FAST-zero'13, Sep 23 2013, 名古屋大学, (愛知県).

Kazuhito Takenaka, Takashi Bando, Shogo Nagasaka, and Tadahiro Taniguchi, Contextual Segmentation for Drive Image Sequences based on Multimodal Topic Model(), SICE Annual conference 2013, Sep 16 2013, 名古屋大学, (愛知県)

Takashi Bando, Kazuhito Takenaka, Shogo Nagasaka, Tadahiro Taniguchi, Unsupervised drive topic finding from driving behavioral data, 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, June 24 2013, Gold Coast, (Australia).

Shogo Nagasaka, Tadahiro Taniguchi, Genki Yamashita, Kentarou Hitomi, and Takashi Bando, Finding meaningful robust chunks from driving behavior based on double articulation analyzer, IEEE/SICE Intl Symposium on System Integration 2012 (SII 2012), Dec 18, 2012, 九州大学, (福岡県).

Kazuhito Takenaka, Takashi Bando, Shogo Nagasaka, Tadahiro Taniguchi, Drive Video Summarization based on Double Articulation Structure of Driving Behavior, ACM Multimedia 2012, Nov 1 2012, 東大寺文化センター, (奈良県).

Kazuhito Takenaka, Takashi Bando, Shogo Nagasaka, Tadahiro Taniguchi, Kentarou Hitomi, Contextual Scene Segmentation of Driving Behavior based on Double Articulation Analyzer, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2012 (IROS 2012), Oct 10 2012, Vilamoura, (PORTUGAL).

Takaya Araki, Tomoaki Nakamura, Takayuki Nagai, Shogo Nagasaka, Tadahiro Taniguchi, Naoto Iwahashi, Online Learning of Concepts and Words Using Multimodal LDA and Hierarchical Pitman-Yor Language Model, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2012 (IROS 2012), Oct 8 2012, Vilamoura,

(PORTUGAL).

Tadahiro Taniguchi, Shogo Nagasaka, Kentarou Hitomi, Naiwala P. Chandrasiri, and Takashi Bando, Semiotic Prediction of Driving Behavior using Unsupervised Double Articulation Analyzer, 2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, June 6 2012, Alcalade Henares, (SPAIN).

〔図書〕(計 2 件)

谷口忠大, 記号創発ロボティクス 知能のメカニズム入門, 講談社, 240p. (2014)

谷口忠大, イラストで学ぶ人工知能概論 (KS 情報科学専門書), 講談社, 256p. (2014)

〔産業財産権〕

出願状況(計 5 件)

名称: ダイジェスト映像生成装置
発明者: 竹中一仁, 坂東誉司, 谷口忠大
権利者: 株式会社デンソー・学校法人立命館
種類: 特許
番号: 特願 2015-047506
出願年月日: 2015 年 3 月 10 日
国内外の別: 国内

名称: 運転支援情報生成装置、運転支援装置
発明者: 竹中一仁, 坂東誉司, 江川万寿三, 谷口忠大, 田中雄介
権利者: 株式会社デンソー・学校法人立命館
種類: 特許
番号: 特願 2015-025676
出願年月日: 2015 年 2 月 12 日
国内外の別: 国内

名称: 運転コンテキスト情報生成装置
発明者: 坂東誉司, 竹中一仁, 谷口忠大
権利者: 株式会社デンソー・学校法人立命館
種類: 特許
番号: 特願 2014-117883
出願年月日: 2014 年 6 月 6 日
国内外の別: 国内

名称: 運転シーンラベル推定装置
発明者: 坂東誉司, 竹中一仁, 谷口忠大, 長坂翔吾
権利者: 株式会社デンソー・学校法人立命館
種類: 特許
番号: 特願 2013-117226
出願年月日: 2013 年 6 月 3 日
国内外の別: 国内

名称: 運転シーン認識装置

発明者: 坂東誉司, 竹中一仁, 江川万寿三, 谷口忠大, 長坂翔吾, 人見謙太郎, ナイワラ
パティランネヘラーゲ チャンドラシリ
権利者: 株式会社デンソー・学校法人立命館
種類: 特許
番号: 特願 2012-123542
出願年月日: 2012 年 5 月 30 日
国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.em.ci.ritsumeai.ac.jp/publication>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 忠大 (TANIGUCHI, Tadahiro)
立命館大学・情報理工学部・准教授
研究者番号: 80512251