

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25730147

研究課題名(和文) 確率的Slow Feature Analysisの構築と空間認識機能への応用

研究課題名(英文) Theoretical Study on Probabilistic Slow Feature Analysis and Its Applications to Recognition Functions

研究代表者

大森 敏明 (Omori, Toshiaki)

神戸大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10391898

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)：近年の高度な情報化や計測技術の進展により、我々が手にするデータが、高次元かつ大規模になりつつある。このような背景の下で、高次元の動画データに基づいて、システムの本質を抽出する情報工学技術の確立が求められている。本研究では、未知のシステムから観測される多次元時系列データから緩やかな変動成分の抽出を実現するとともに、多次元時系列データに隠れた潜在情報の抽出の実現や情報認識の実現を目的として、本研究課題では、Slow Feature Analysisに用いた統計的アルゴリズムに関する理論研究・アルゴリズム開発を行った。

研究成果の概要(英文)：Due to recent developments in information technology and measurement technology, the data that we deal with have become large and high-dimensional. Therefore, it becomes more important to establish information processing techniques for extracting substantial information from high-dimensional time-series data. In this study, we have proposed statistical algorithms based on slow feature analysis in order to realize extraction of latent features and information recognitions in high-dimensional time-series data.

研究分野：知能情報学，確率的情報処理，神経回路網理論，計算論の神経科学，データ駆動科学

キーワード：統計的機械学習 高次元データ駆動科学 確率的時系列解析 情報統計力学 ベイズ推論 深層学習  
ニューラルネットワーク 情報計測

1. 研究開始当初の背景

近年の高度な情報化や計測技術の進展により、我々が手にするデータが、高次元かつ大規模になりつつある。このような背景の下で、高次元の動画データに基づいて、システムの本質を抽出する情報工学技術の確立が求められている。

2. 研究の目的

未知のシステムから観測される多次元時系列データから緩やかな変動成分の抽出を実現するとともに、多次元データに隠れた潜在情報の抽出の実現や情報認識の実現を目的として、本研究課題では、Slow Feature Analysis に用いた統計的アルゴリズムに関する理論研究・アルゴリズム開発を行う。

3. 研究の方法

本研究では、Slow Feature Analysis と確率的情報処理技術を融合することにより、多次元データに潜む潜在情報を抽出する情報処理技術を構築する。

4. 研究成果

まず、Slow Feature Analysis の確率モデルにおける確率構造に注目することにより、従来法では無視されていた観測ノイズを考慮した推定方法の構築に成功した。状態空間モデルに基づいて、Slow Feature Analysis の確率的アルゴリズムを構成し、厳密計算により導出される Slow Feature Analysis の尤度関数に基づいて観測ノイズを含むパラメータを精緻に推定する方法を考案した。雑音環境下の時系列データを用いた検証により、本研究で構築した統計的アルゴリズムが、Slow Feature の抽出に有効であることを示した。近似的な取扱いを行っていた従来法との比較においても、提案法は Slow Feature の精緻な推定が可能であることを示した。さらに、Slow Feature Analysis の確率的アルゴリズムにおける潜在変数の次元数が未知である場合に適切な次元数を推定するための方法を考案し、人工データを適用することにより、その有効性を検証した。

次に、未知システムが非線形性を有する場合の統計的アルゴリズムの開発を行った。逐次モンテカルロ法を導入した確率的 Slow Feature Analysis を提案し、未知システムを支配する非線形型の状態空間モデルの推定を実現した。人工データを用いた検証において、提案する統計的アルゴリズムを用いることにより、対象のシステムが非線形性を有する場合にも、潜在ダイナミクスの抽出が実現可能であることを示した。すなわち、提案法を用いることにより、未知システムの潜在変数の推定のみならず、非線形ダイナミクスを支配する種々のハイパーパラメータも同時に推定することが可能であることを検証した。さらに、未知システムのダイナミクス構造が時間的に変動する状況下において、Slow Feature を抽出するための統計的アルゴリズムを構成し、その有効性を示した。得られた成果を関連する国際学会や国内学会で発表

するとともに、誌上発表論文として公表した。さらに、多次元データに隠れた潜在情報の抽出を実現するための確率的時系列解析手法を進展させるとともに、動画データに対して Slow Feature Analysis を適用することによって、行動認識を行うためのアルゴリズムの開発を中心に研究を行った。実際の動画データを用いた検証により、提案アルゴリズムを用いることで、異なる動作を行う人物を含む動画データからの行動認識が、高い精度で実現されることを示した。さらに、近年の神経回路網理論に関する進展に基づいて、構築したアルゴリズムを改良し、更なる情報認識性能の向上を実現するとともに、実データを用いてその有効性を示した。関連する多次元時系列データの解析技術や静止画像データや動画データからの情報抽出技術・情報認識技術に関する研究開発の成果について、国内会議や国際会議にて発表を行うとともに、学術論文や学会誌の解説論文として公表した。加えて、これらの研究成果について、国内会議や国際会議における招待講演を行った。関連する多次元時系列処理技術に関して、国内会議や国際会議より優秀発表賞等を受賞した。

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17件)

- (1) Hiroaki Inoue, Toshiaki Omori, "Bayesian Estimation of Neural Systems using Particle-Gibbs", ACM International Conference Proceeding Series (Proceedings of International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence), pp. 68-73 (2017) 査読有
- (2) Seiya Yabuuchi, Toshiaki Omori, "Nonparametric Estimation for Membrane Resistances Distributed Non-Uniformly in Neurons", ACM International Conference Proceeding Series (Proceedings of International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence), pp. 51-56 (2017) 査読有
- (3) Toshiaki Omori, Tatsu, Kuwatani, Atsushi Okamoto, Koji Hukushima, "Bayesian Inversion Analysis of Nonlinear Dynamics in Surface Heterogeneous Reactions", Physical Review E, Vol. 94, pp. 033305-1-11 (2016) 査読有
- (4) Toshiaki Omori, Koji Hukushima, "Extracting Nonlinear Spatiotemporal Dynamics in Active Dendrites Using Data-driven Statistical Approach", Journal of Physics: Conference Series,

- Vol. 699, pp. 012011-1-8 (2016) 査読有
- (5) 大森敏明, 「回帰問題への機械学習的アプローチ～スパース性に基づく回帰モデリング～」, システム制御情報学会誌, Vol. 59, pp. 151-156 (2015) 招待論文, 査読有
- (6) Atsushi Okamoto, Tatsu Kuwatani, Toshiaki Omori, Koji Hukushima, “Free-energy Landscape and Nucleation Pathway of Polymorphic Minerals from Solution in a Potts Lattice-gas Model”, Physical Review E, Vol. 92, pp. 042130-1-10 (2015) 査読有
- (7) Shinichi Kataoka, Toshiaki Omori, “Simultaneous Estimation of Hodgkin-Huxley Neuronal Dynamics and Network Connectivity Based on Bayesian Statistics”, Proceedings of 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 812-818 (2015) 査読有
- (8) Hiroaki Inoue, Toshiaki Omori, “Statistical Estimation of Neural System Using Calcium Imaging”, Proceedings of 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 819-826 (2015) 査読有
- (9) Yotsukura Shimpei, Toshiaki Omori, Kenji Nagata, Masato Okada, “Sparse Estimation of Spike-Triggered Average”, IPSJ Transaction on Mathematical Modeling and Its Applications, Vol. 7, pp. 15-21 (2014) 査読有
- (10) 大森敏明, 海馬錐体細胞における電気特性の不均一性分布と細胞内信号伝播の連関, 日本神経回路学会誌, Vol. 21, pp. 115-121 (2014) 査読無, 招待論文
- (11) Toshiaki Omori, “Estimating Nonlinear Spatiotemporal Membrane Dynamics in Active Dendrites”, Neural Information Processings, Vol. 1, pp. 27-34 (2014) 査読有
- (12) Akihito Takeuchi, Toshiaki Omori, “Estimation of Hyperparameters in Probabilistic Slow Feature Analysis”, Proceedings of Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 1606-1608 (2014) 査読有
- (13) Takafumi Shimamoto, Toshiaki Omori, Toru Aonishi, Seiichi Ozawa, “Simulation for Effect of Extracellular Electric Field on Neuronal Response”, Proceedings of Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 1614-1616 (2014) 査読有
- (14) Toshiaki Omori, Toru Aonishi, Masato Okada, “Statistical Estimation of Non-Uniform Distribution of Dendritic Membrane Properties”, Advances in Cognitive Neurodynamics, Vol. 3, pp. 649-655 (2013) 査読有
- (15) Toshiaki Omori, “Extracting Latent Dynamics from Multi-dimensional Data by Probabilistic Slow Feature Analysis”, Neural Information Processing, Vol. 3, pp. 108-116 (2013) 査読有
- (16) 大森敏明, 「ビッグデータの利活用と機械学習」, 電気学会誌, Vol. 133, pp. 633-633 (2013) 査読無, 招待論文
- [学会発表](計46件)
- (1) Hiroaki Inoue, Toshiaki Omori, “Bayesian Estimation of Neural Systems using Particle-Gibbs”, International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence, Kowloon (Hong Kong) 2017年3月26日
- (2) Seiya Yabuuchi, Toshiaki Omori, “Nonparametric Estimation for Membrane Resistances Distributed Non-Uniformly in Neurons”, International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence, Kowloon (Hong Kong) 2017年3月26日
- (3) 大森敏明, 「神経樹状突起における電氣的応答特性の抽出～データ駆動型アプローチによるダイナミクス推定～」, 北海道大学大学院理学研究院 数学部門, 北海道大学電子科学研究所附属 社会創造数学研究センター クロスボーダーシンポジウム, 北海道大学札幌キャンパス(北海道・札幌市) 2017年1月8日 [招待講演]
- (4) Toshiaki Omori, Koji Hukushima, “Bayesian Inversion Analysis of Dendritic Nonlinear Dynamics”, Cell Symposia: Big Questions in Neuroscience, San Diego (United States of America) 2016年11月11日
- (5) 四木悠貴, 大森敏明, 「自己符号器型 Slow Feature Analysis に基づく動画像からの行動認識」, 2016年電子情報通信学会総合大会, 九州大学伊都キャンパス(福岡県・福岡市) 2016年3月16日
- (6) 岸本大輝, 大森敏明, 「時空間自己回帰モデルのスパース推定に基づく時間的超解像」, 2016年電子情報通信学会総合大会, 九州大学伊都キャンパス(福岡県・福岡

- 市) 2016年3月16日
- (7) 岡田裕幸, 大森敏明, 「スパース性に基づくスイッチング状態空間モデルの推定」, 2016年電子情報通信学会総合大会, 九州大学伊都キャンパス(福岡県・福岡市) 2016年3月16日
- (8) Toshiaki Omori, Koji Hukushima, “Extracting Nonlinear Spatiotemporal Dynamics in Active Dendrites Using Data-Driven Statistical Approach”, International Meeting on High-Dimensional Data Driven Science (HD3-2015), Mielparque Kyoto(京都府京都市) 2015年12月15日 [招待講演]
- (9) 大森敏明, 「データ駆動型アプローチに基づく時空間ダイナミクスの推定」, 計測自動制御学会 システム・情報部門 自律分散システム部会 第57回自律分散システム部会研究会「大規模システムのダイナミクス予測と制御に向けて」静岡大学浜松キャンパス(静岡県・浜松市) 2015年12月1日 [招待講演]
- (10) Shinichi Kataoka, Toshiaki Omori, “Simultaneous Estimation of Hodgkin-Huxley Neuronal Dynamics and Network Connectivity Based on Bayesian Statistics”, 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, Mokpo National University, Mokpo(Korea) 2015年11月16日
- (11) Hiroaki Inoue, Toshiaki Omori, “Statistical Estimation of Neural System Using Calcium Imaging”, 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, Mokpo National University, Mokpo(Korea) 2015年11月16日
- (12) 片岡真一, 大森敏明, 「ベイズ統計に基づく神経細胞の電気回路モデルとネットワーク結合の同時推定」, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会, 中央電気倶楽部(大阪府・大阪市) 2015年5月21日
- (13) 井上広明, 大森敏明, 「カルシウムイメージングによる神経システムの統計的推定」, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会, 中央電気倶楽部(大阪府・大阪市) 2015年5月20日
- (14) 島本貴文, 大森敏明, 青西亨, 小澤誠一, 「細胞外電場が神経細胞の非線形電位応答に及ぼす影響のシミュレーション解析」, 第7回定量生物学の会年会, 九州大学筑紫キャンパス(福岡県・福岡市) 2015年1月11日-12日
- (15) Toshiaki Omori, “Extracting Spatiotemporal Dynamics of Neural Systems: Computational and Statistical Approach”, UC San Diego x Kobe University Joint Research Kick-off Symposium, Kobe University, (兵庫県・神戸市) 2015年2月5日 [招待講演]
- (16) Akihito Takeuchi, Toshiaki Omori, “Estimation of Hyperparameters in Probabilistic Slow Feature Analysis”, Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, Kitakushu International Conference Center(福岡県・北九州市) 2014年12月5日
- (17) Takafumi Shimamoto, Toshiaki Omori, Toru Aonishi, Seiichi Ozawa, “Simulation for Effect of Extracellular Electric Field on Neuronal Response”, Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, Kitakushu International Conference Center(福岡県・北九州市) 2014年12月5日
- (18) 竹内章人, 大森敏明, 「確率的 Slow Feature Analysis におけるハイパーパラメータ推定」, 第58回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都テルサ(京都府・京都市) 2014年5月23日
- (19) 島本貴文, 大森敏明, 青西亨, 小澤誠一, 「細胞外電場がニューロンの電位応答に与える影響のシミュレーション」, 第58回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都テルサ(京都府・京都市) 2014年5月23日
- (20) 大森敏明, 「脳神経システムにおける電気特性分布を統計的に推定する~データ駆動型アプローチによる時空間ダイナミクス抽出~」, 定量生物学の会第6回年会, 大阪大学銀杏会館(大阪府・吹田市) 2013年11月23日-24日
- (21) 萬田暁, 北園淳, 大森敏明, 岡田真人, 「スパースな局在興奮を持つ神経回路モデルの統計力学」電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 東北大学(宮城県・仙台市) 2013年11月22日
- (22) 大森敏明, 「イメージングデータからの脳神経ダイナミクスの抽出~状態空間モデルに基づく動態推定~」科学研究費補助金 新学術領域研究「スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成」ミニキックオフシンポジウム, 文部科学省・生命動態システム科学推進拠点事業「核内クロマチン・ライブダイナミクスの数理研究拠点」合同シンポジウム, 広島大学(広島県・広島市) 2013年10月8日 [招待講演]
- (23) 四倉晋平, 大森敏明, 永田賢二, 岡田真人, 「スパーストリガー平均のスパース

ス推定について」2013年度人工知能学会  
全国大会，富山国際会議場（富山県・富  
山市）2013年6月6日

(24) 島本貴文，大森敏明，青西亨，小澤  
誠一，「樹状突起における電気特性の不  
均一性による情報電波の向上」，第57回シ  
ステム制御情報学会研究発表講演会，兵  
庫県民会館（兵庫県・神戸市）2013年5  
月17日

(25) 朝野侑希，永田賢二，岡田真人，大  
森敏明，「汎化性能に基づく確率的 Slow  
Feature Analysis の次元選択」，第57回  
システム制御情報学会研究発表講演会，  
兵庫県民会館（兵庫県・神戸市）2013年  
5月17日

〔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：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
<http://www2.kobe-u.ac.jp/~omoritos/>  
<http://researchmap.jp/omori/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大森 敏明（OMORI, Toshiaki）  
神戸大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：10391898

### (2) 研究分担者

（ ）

研究者番号：

### (3) 連携研究者

（ ）

研究者番号：

### (4) 研究協力者

（ ）