

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：32712

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00316

研究課題名（和文）ベイズ理論による複数目的に対する効率的同時実験を可能にする新たな実験計画法の創成

研究課題名（英文）Creation of efficient simultaneous experiments for multiple objectives under Bayesian theory

研究代表者

浮田 善文（UKITA, Yoshifumi）

横浜商科大学・商学部・教授

研究者番号：70308203

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高次元データの処理を可能にする枠組みを構築し、類似する複数目的に対し、各目的に含まれる考慮すべき要因を全て調べることが可能な同時実験を提案した。また、実験計画法のモデルは全てのパラメータが独立となる直交基底関数モデルでも表現可能であるため、扱う因子数およびパラメータの次元数が非常に大きい場合のプログラミングに、伝統的なモデルと直交基底関数モデルの両方を用いる新たな方法を提案し、その特性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実験計画法において、複数目的に対して同時実験を行うことができれば、より少ない実験回数、コストでの実験の実施が期待できる。本研究で提案した同時実験により、これまでコスト面で困難と思われていた実験の実施が可能になるため、新たな応用先の開拓が期待できる。また本研究では、実験計画法のモデルを直交基底関数モデルで表現することで、他分野（機械学習分野、信号処理分野など）との関連を明らかにすることができた。これにより、関連する他分野での研究成果も利用可能となるため、学術的な意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a framework that enables the processing of high-dimensional data, and proposed simultaneous experiments for multiple similar objectives that can examine all the factors to be considered in each objective. Since the model of experimental design can also be represented by an orthogonal basis function model in which all parameters are independent, we proposed a new method that uses both the traditional model and the orthogonal basis function model for programming when the number of factors and the dimensionality of parameters to be handled is very large, and clarified its characteristics.

研究分野：機械学習，実験計画法，信号処理

キーワード：同時実験 線形基底関数モデル データ収集コスト ベイズ線形回帰 直交計画

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。

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

1 . 研究開始当初の背景

実験計画法は、もともとは農業実験から生まれたものであるが、現在では工学、生物学、医学をはじめとする自然科学の分野にも広く活用されており、様々な応用先で不可欠な手法となっている。この実験計画法については、これまで国内外で多くの研究が行われ、主要な内容はほぼ研究しつくされているととらえることができる。しかし、コスト面を考えた場合、特に医療分野を中心に、データ収集にかかるコストは依然、大きな問題となっている。実験計画法において、類似する複数目的に対して同時実験を行うことができれば、より少ない実験回数、コストでの実験の実施が可能となる。しかし、これまで同時実験を困難にしていた主な原因として、データが高次元になってしまったため、最適解の探索やデータ処理が困難となることがあげられる。このため、高次元データの処理を可能にする枠組みを構築し同時実験を可能にできれば、これまではコスト面で実験の実施が困難であった新たな応用先を開拓することが期待できる。

2 . 研究の目的

本研究では、上記背景で述べた課題を解決すべく、以下を目的とした。

- (1) 高次元データの処理を可能にする枠組みを構築し、類似する複数目的に対し、各目的に含まれる考慮すべき要因を全て調べることが可能な効率的同時実験を実施可能な新たな実験計画法を創成する。
- (2) ベイズ理論による実験計画法におけるデータ収集コスト最小化アルゴリズムの導出およびその性能評価を行う。

3 . 研究の方法

- (1) まず今回対象とする収集コストの高いデータの調査を行い、その特徴を明らかにする。次に、実験計画法と関連分野（信号処理、符号理論、学習理論）の関係に関する研究成果をさらに発展させることで、高次元データの処理を可能にする枠組みを構築する。
- (2) 構築した枠組みのもとで、実験計画法におけるコスト最小化アルゴリズムを導出し、実装のためのプログラミングを行う。さらに、実装したシステムの性能評価を行い、その特性を明らかにする。

4 . 研究成果

本研究で得られた主な研究成果は以下の通りである。

- (1) 近年、ベイズ理論による機械学習分野では多くの研究成果が得られており、これらの成果は他分野で応用されることが期待されている。実験計画法においても、正規直交基底による関数の表現を導入することで、ベイズ理論による機械学習分野での成果を利用することが可能となることを示した。次に、機械学習と同様に、ベイズ線形回帰モデルを定式化し、事後分布が解析的に得られることを示した。さらにモデルを完全にベイズ的に取り扱うために、超パラメータに対しても事前分布を導入し、エビデンス近似が可能であることを示した。
- (2) 関連する複数目的に対して、個別に実験を行う場合と同時実験を行う場合それぞれの実験回数について比較検討を行った。これにより、効率的な同時実験の実施には、複数目的間の関連の度合いが重要であることが明らかとなった。
- (3) 実用面でも広く利用されている直交計画について、複素数を用いる基底関数に適用する場合の性質を明らかにした。さらにこれまでに知られている直交計画の最適性が複素空間でも同様に成り立つことを示した。
- (4) 一般に大規模な同時実験により、データ収集コストを下げることは可能となるが、求めるパラメータの数は多くなる。そこで、複素空間上のモデルを導入することにより、今回のパラメータ数の多い大規模な同時実験においても、フーリエ変換を利用した効率の良いパラメータ推定が可能であることを示した。また、複素空間上の線形基底関数モデルに対するプログラミングを実施することで、新たにパラメータ間の関係などの性質を明らかにすることができた。
- (5) 類似する複数目的に対し、各目的に含まれる考慮すべき要因を全て調べることが可能な同時実験を提案した。まず、実験計画法のモデルについて考えると、これまで広く用いられている伝統的なモデルは、パラメータが実数値で各要因の効果が分かりやすいが、パラメータ間に制約がおかれているという特徴がある。同時実験を行う場合、従来に比べ扱う因子数が非常に大きくなるため、プログラミングを考えるとパラメータ間の制約は無いほうが望ましい。ここで、実験

計画法のモデルは全てのパラメータが独立となる直交基底関数モデルでも表現可能であるため、扱う因子数およびパラメータの次元数が非常に大きい場合のプログラミングに、伝統的なモデルと直交基底関数モデルの両方を用いる新たな方法を提案し、その特性を明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 浮田善文	4. 巻 56
2. 論文標題 直交計画を用いた複数モデルの同時実験に関する研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 横浜商大論集	6. 最初と最後の頁 pp. 1-25
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 山口純輝, 風間皐希, 鎌塚明, 齋藤翔太, 松嶋敏泰	4. 巻 J103-A
2. 論文標題 拡張直交配列を用いた混合水準の実験計画法に関する一考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌(A)	6. 最初と最後の頁 pp. 17-24
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 -
1. 著者名 Jun Yoshizawa, Shota Saito, Toshiyasu Matsushima	4. 巻 E102-A
2. 論文標題 Variable-Length Intrinsic Randomness on Two Performance Criteria based on Variational Distance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 pp. 1642-1650
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transfun.E102.A.1642	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 -
1. 著者名 Ukita Yoshifumi	4. 巻 22
2. 論文標題 A Note on the Evidence Approximation in Bayesian Experimental Design Models Based on an Orthonormal System	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Signal Processing	6. 最初と最後の頁 pp. 307-314
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2299/jsp.22.307	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yoshifumi Ukita	4. 巻 51
2. 論文標題 A Note on Bayesian Experimental Design Model Based on an Orthonormal System	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 横浜商大論集	6. 最初と最後の頁 pp. 1-10
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 浮田善文, 齋藤友彦, 松嶋敏泰
2. 発表標題 直交計画を用いた実験における複素空間での計算の高速化に関する一考察
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤田光明, 齋藤友彦
2. 発表標題 仮想スタンプラリーを用いたオンラインイベント アクセス解析によるユーザの行動分析
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤雄一, 澤田光明, 齋藤友彦
2. 発表標題 データの可視化を用いた野球観戦システム
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshifumi Ukita
2. 発表標題 A Note on Computer Programming in Complex Space for Simultaneous Experiments
3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshifumi Ukita, Toshiyasu Matsushima
2. 発表標題 A Study on Simultaneous Experiments for Related Linear Models based on an Orthonormal System
3. 学会等名 Bayes on the Beach 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshifumi Ukita, Tomohiko Saito
2. 発表標題 A Note on the Posterior Variance in Linear Basis Function Models for Experimental Designs
3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiko Saito, Yoshifumi Ukita, Toshiyasu Matsushima, Shigeichi Hirasawa
2. 発表標題 A Heuristic Algorithm for the Construction of 2-level Linear Unequal Error Protection Codes
3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浮田善文, 松嶋敏泰
2. 発表標題 複素空間での直交計画の最適性に関する一考察
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 Yuta Nakahara, Toshiyasu Matsushima
2. 発表標題 A Stochastic Model of Block Segmentation Based on the Quadtree and the Bayes Code for It
3. 学会等名 2020 Data Compression Conference (DCC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Nakahara, Toshiyasu Matsushima
2. 発表標題 Bayes Code for 2-dimensional Auto-regressive Hidden Markov Model and Its Application to Lossless Image Compression
3. 学会等名 2020 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kairi Suzuki, Akira Kamatsuka, Toshiyasu Matsushima
2. 発表標題 Optimal Estimating of the Magnitude of the change for Sources with Piecewise Constant Parameters under Bayesian Criterion
3. 学会等名 Bayes on the beach 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Nakahara, Toshiyasu Matsushima
2. 発表標題 Covariance Evolution for Spatially ``Mt. Fuji'' Coupled LDPC Codes
3. 学会等名 2019 IEEE Information Theory Workshop (ITW) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shota Saito, Toshiyasu Matsushima
2. 発表標題 Non-Asymptotic Fundamental Limits of Guessing Subject to Distortion
3. 学会等名 2019 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 天野祐貴, 齋藤翔太, 松嶋敏泰
2. 発表標題 潜在変数に非正規分布を仮定した回帰モデルにおけるベイズ基準の下最適な予測に対する近似手法
3. 学会等名 第42回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江崎泰志, 中原悠太, 松嶋敏泰
2. 発表標題 関数類似度の提案と基準関数との類似度が高い深層ネットワークの存在比率の近似計算
3. 学会等名 第42回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤翔太, 松嶋敏泰
2. 発表標題 Evaluation of Error Probability of Classification Based on the Analysis of the Bayes Code
3. 学会等名 第42回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 シーン誠, 鎌塚明, 松嶋敏泰
2. 発表標題 ベイズ規準の下で最適な平均処置効果の推定
3. 学会等名 第42回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鎌塚明, 風間臯希, 吉田隆弘, 松嶋敏泰
2. 発表標題 セキュアな再生成符号に基づく分散ストレージシステムにおける秘匿情報検索
3. 学会等名 第42回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土橋那央, 齋藤翔太, 松嶋敏泰
2. 発表標題 決定木モデルにおける集団学習法の考えを用いたベイズ最適な分類の近似アルゴリズム
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村山春香, 齋藤翔太, 中原悠太, 松嶋敏泰
2. 発表標題 クラスター説明変数と回帰説明変数により表現された線形回帰モデルにおけるベイズ最適な予測の近似手法
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshifumi Ukita
2. 発表標題 A Note on Simultaneous Experiments for Related Multiple Models based on an Orthonormal System
3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiko Saito, Toshiyasu Matsushima, Shigeichi Hirasawa
2. 発表標題 Linear Programming Bounds for multi-level Unequal Protection Codes
3. 学会等名 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.2913-2918 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koki Kazama, Akira Kamatsuka, Takahiro Yoshida, Toshiyasu Matsushima
2. 発表標題 A Note on a Bound on the Rate of a Locally Recoverable Code with Multiple Recovering Sets
3. 学会等名 2018 International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA), p.520 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshifumi Ukita
2. 発表標題 A Note on the Posterior Distribution of Bayesian Experimental Design Models Based on an Orthonormal System
3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshifumi Ukita, Shunsuke Horii and Toshiyasu Matsushima
2. 発表標題 A study on analytical properties of Bayesian experimental design model based on an orthonormal system
3. 学会等名 Bayes on the Beach 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浅葉海, 齋藤翔太, 堀井俊佑, 松嶋敏泰
2. 発表標題 潜在変数に階層モデルを仮定したベイズ独立成分分析
3. 学会等名 電子情報通信学会情報論的学習理論と機械学習研究会 (IBISML)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河野浩和, 齋藤翔太, 松嶋敏泰
2. 発表標題 真のパラメトリックモデルが未知のベイズ予測分布のmisspecifiedな場合の性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論研究会 (IT)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤翔太, 松嶋敏泰
2. 発表標題 正值の歪み超過確率を許容した可変長有歪み情報源符号化における符号語長のキュムラント母関数
3. 学会等名 第40回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉澤潤, 齋藤翔太, 松嶋敏泰
2. 発表標題 正值の変動距離を許容した可変長intrinsic randomness問題
3. 学会等名 第40回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 風間皇希, 鎌塚明, 松嶋敏泰
2. 発表標題 ランク誤りを考慮したcoded computationに関する一考察
3. 学会等名 第40回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中原悠太, 松嶋敏泰
2. 発表標題 富士山型空間結合符号の重み分布に関する一考察
3. 学会等名 第40回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomohiko Saito, Katsuyuki Umezawa, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa and Shigeichi Hirasawa
2. 発表標題 Collection and Analysis of the History of Brain Wave during Programming Language Learning for High School Students
3. 学会等名 2018 Hawaii International Conference on Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋篤史, 浮田善文
2. 発表標題 効率的な情報収集と配信を支える技術
3. 学会等名 平成29年度横浜商科大学公開講座「最新の情報技術と私たちの暮らし」(招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 横浜商科大学公開講座委員会(編集), 柳田義継, 永松陽明, 浮田善文, 高橋篤史, 吉田隆弘, 金森孝浩, 可児滋	4. 発行年 2018年
2. 出版社 南窓社	5. 総ページ数 162
3. 書名 最新の情報技術と私たちの暮らし(横浜商科大学公開講座)	

〔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
研究分担者	齊藤 友彦 (SAITO Tomohiko) (50464798)	湘南工科大学・工学部・准教授 (32706)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	松嶋 敏泰 (MATSUSHIMA Toshiyasu) (30219430)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	

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