

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：62603

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20363

研究課題名（和文）階層モデルにおけるベイズ的スパース推定に対するモデル選択理論の構成

研究課題名（英文）Model selection for Bayesian sparse estimation in hierarchical models

研究代表者

坂田 綾香（Ayaka, Sakata）

統計数理研究所・数理・推論研究系・准教授

研究者番号：80733071

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では、階層ベイズ模型における推定法やモデリング法についての研究を行った。特に、確率伝搬法と呼ばれるアルゴリズムを用いて、階層ベイズ模型におけるベイズ推定の方法を検討した。本研究の結果として、階層ベイズ模型におけるハイパーパラメータ推定は、従来の確率伝搬法の枠組みに、ハイパーパラメータに関してメッセージと呼ばれる条件付き確率分布を加えることで実行できることが示された。実際にグループテストと呼ばれるスパース推定問題に適用し、高い精度で推定を達成することを示した。提案手法は、計算量、精度の観点から実用的な方法であると考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般に推定問題においては、確率変数の背後にあるマクロなパラメータを事前情報として用いる場合がある。例えばスパース推定では、 N 次元のベクトルの中に含まれる非ゼロ要素を推定したい場合、非ゼロ要素の割合が $x\%$ であるという事前知識を用いることで、非ゼロ要素の推定を効率化する。しかし、この「 $x\%$ 」という値（ハイパーパラメータ）は未知の場合が多い。理論ではハイパーパラメータが既知である設定を用いることもあるが、現実的にはハイパーパラメータも同時に推定する必要がある。本研究は、このハイパーパラメータ推定に対して、計算量と精度の観点で現実的な方法を提案し、より実用的設定のもとでの推定を実現するものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, the estimation method and algorithms for the hierarchical Bayes model is discussed. In particular, we introduce message passing algorithms for the hierarchical Bayes models. The results of this study show that hyperparameter estimation in the hierarchical Bayesian model can be performed by considering a conditional probability distribution called a message with respect to the hyperparameters, in addition to the message used in the conventional message passing algorithm. The method was applied to an estimation problem known as group testing and was shown to achieve estimation with high accuracy.

研究分野：統計物理

キーワード：階層ベイズ模型 確率伝搬法 ハイパーパラメータ推定 スパース推定

1. 研究開始当初の背景

Lasso や圧縮センシングに代表されるスパース推定は、工学分野のみならず自然科学のさまざまな分野で利用される推定法である。特に、観測数に限りがある場合に、観測データから真の信号を推定する際に有用な手法である。

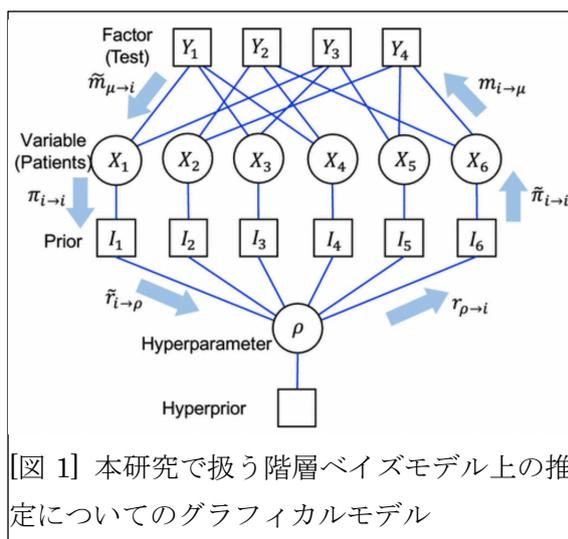
昨今では、ベイズ的定式化を用いたスパース推定が提案されており、制約付き最尤法よりも高い精度を示すことが知られている。しかし、高い精度を得るためには、モデルに含まれるハイパーパラメータを適切に決める必要がある。ハイパーパラメータ推定については、従来法では確率伝搬法に EM 法と呼ばれる推定法を組み合わせた方法が提案されていたが、計算量が大きいという欠点があった。

2. 研究の目的

本研究では、階層ベイズモデルを導入してハイパーパラメータ推定を行うことを検討した。その場合、ハイパーパラメータも一つの確率変数として扱う必要があり、これを含むように確率伝搬法を拡張する必要がある。一方で、EM 法で行われていたように、変数の推定とハイパーパラメータ推定を交互に繰り返す必要がないことから、計算量の削減が期待される。そこで本研究は、実際に階層ベイズモデルを用いたスパース推定のアルゴリズムを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

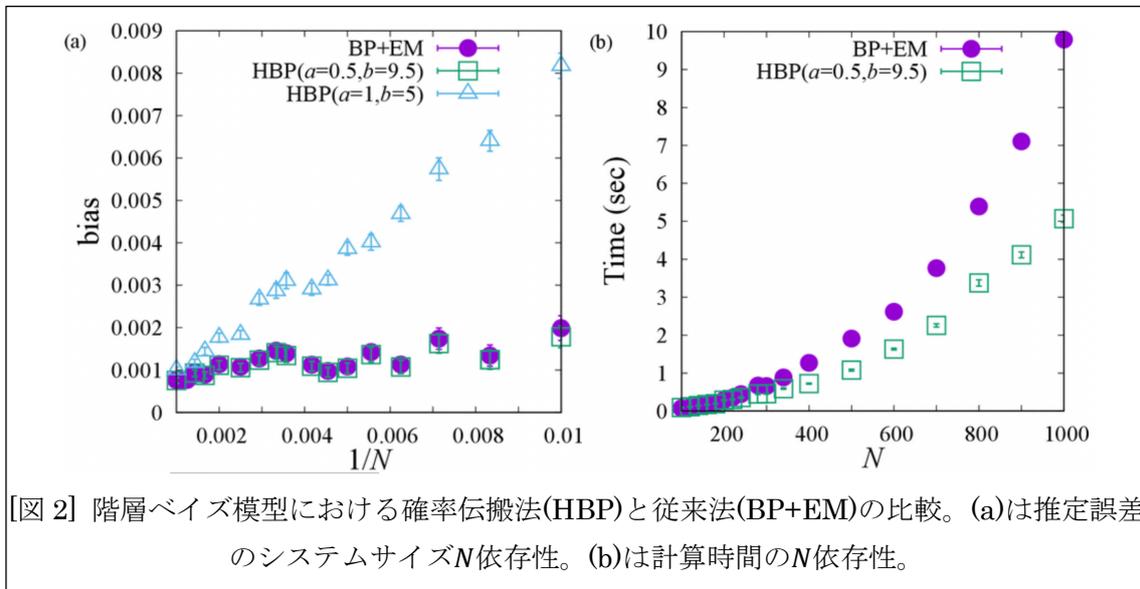
本研究では、真の信号のゼロ/非ゼロがベルヌーイ分布で与えられる設定を扱った。このベルヌーイ分布に含まれるベルヌーイ変数(非ゼロの確率)がハイパーパラメータに対応する。ハイパープライヤーとしてベータ分布を導入し、ベルヌーイ分布を変数とハイパーパラメータの相互作用と解釈することで、確率変数とハイパーパラメータを扱うグラフィカルモデルを構成した。このグラフィカルモデルのもと、確率伝搬法を実装して、変数とハイパーパラメータを同時に推定するアルゴリズムを構成した。



[図 1] 本研究で扱う階層ベイズモデル上の推定についてのグラフィカルモデル

4. 研究成果

構成したアルゴリズムは、実際にグループテストと呼ばれるスパース推定問題に適用した。その結果、十分高いハイパーパラメータ推定性能を示すことが明らかとなった(下図 a)。更に従来法と比較して計算量が大幅に削減されることが示された(下図 b)。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Ayaka Sakata	4. 巻 89
2. 論文標題 Bayesian Inference of Infected Patients in Group Testing with Prevalence Estimation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 84001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.89.084001	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 Ayaka Sakata	4. 巻 103
2. 論文標題 Active pooling design in group testing based on Bayesian posterior prediction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 22110
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevE.103.022110	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 Tomoyuki Obuchi and Ayaka Sakata	4. 巻 52
2. 論文標題 Cross validation in sparse linear regression with piecewise continuous nonconvex penalties and its acceleration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	6. 最初と最後の頁 414003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1751-8121/ab3e89	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15件（うち招待講演 7件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 坂田綾香
2. 発表標題 確率的推定に基づく適応的グループテスト
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ayaka Sakata
2. 発表標題 Active pooling design in group testing based on Bayesian posterior prediction
3. 学会等名 ISM-Bristol Joint Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂田綾香
2. 発表標題 ベイズ予測分布に基づく適応的グループテスト
3. 学会等名 IBIS2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂田綾香
2. 発表標題 Dimensional reduction in evolving spin-glass model
3. 学会等名 大阪大学大規模計算科学部門セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂田綾香
2. 発表標題 確率伝搬法を用いた非凸制約最小化によるスパース信号復元
3. 学会等名 電子情報通信学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂田綾香
2. 発表標題 グループテストにおけるベイズ推定と能動的テスト法に対する統計力学的アプローチ
3. 学会等名 JPSJフレンドシップミーティング（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂田綾香
2. 発表標題 非凸スパース正則化による信号復元とアルゴリズム軌道の制御
3. 学会等名 日本統計学会春季大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂田綾香、樺島祥介
2. 発表標題 クエリを用いた能動学習のアルゴリズムと性能解析
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayaka Sakata and Tomoyuki Obuchi
2. 発表標題 Approximation of cross-validation error for linear regression with piecewise continuous nonconvex penalties
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小淵智之、坂田綾香
2. 発表標題 区分的連続非凸正則化付き線形回帰の近似的交差検証法とスピングラス転移
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小淵智之、坂田綾香
2. 発表標題 区分的連続非凸正則化付き線形回帰の近似的交差検証法とスピングラス転移
3. 学会等名 IBIS2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂田綾香
2. 発表標題 ランダム系の統計力学としてのグループテスト：ROC解析と感染者特定
3. 学会等名 統計物理と統計科学のセミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂田綾香、金子邦彦
2. 発表標題 アロステリック効果の進化モデルと次元圧縮仮説
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂田綾香、小淵智之
2. 発表標題 非凸スパース正則化による信号復元とアルゴリズム軌道の制御
3. 学会等名 IBIS2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayaka Sakata
2. 発表標題 Statistical physics for the Bayesian statistical decision: an application to Group Testing
3. 学会等名 東京大学 知の物理学研究センター ipi セミナー (招待講演)
4. 発表年 2022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