

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700263

研究課題名（和文） 一次視覚野情報からの視覚画像推定に付随する欠損値に関する研究

研究課題名（英文） Research on inference of visual images from incomplete neural activity data in primary visual cortex

研究代表者

井上 真郷（INOUE MASATO）

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号：70376953

研究成果の概要（和文）：

研究過程で、粗い観測画像から高精細な原画像を推定する超解像と呼ばれる問題がより本質的・一般的な課題であると分かった。以後超解像について研究し、今まで長らく未解決であった、複層 Markov 確率場を画像モデルとする Bayes 推定手法について、初めて近似的に最適解を近似的に求める手法を開発することに成功した。本手法は推定精度において、特に低ノイズの場合に既存手法を上回る性能を示した。

研究成果の概要（英文）：

In the research process, we found that super resolution technique, which infers a high resolution image from low resolution images, is more substantial and general technique of the inference of visual images from visual cortex data. Afterward, we researched the super resolution and succeeded to develop the best method in low noise level situation. The method can analytically and approximately determine the optimal estimator over the original image model of the compound Markov random field prior. Such problem had been an unsolved problem for a long time.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：確率的情報処理

1. 研究開始当初の背景

ブレイン・マシン・インターフェイスとは、人間が様々な用途の機器に対して指示を行うことを、スイッチ等の物理的な手段を用いるのではなく、脳活動を計測してその企図を読み取ることで代用しようとするものである。この分野は、ブレイン・デコーディングとも呼ばれ、用途としてはキーボード・マウ

スといった入力機器の代替に留まらず、義手・義足・人工音声等への指令といった使い方や、頭に思い描いた風景を瞬時にして読み取る等、既存の入力機器の限界を超えた用途が可能とされる。また、脳に直接刺激を与えることで、ディスプレイやスピーカーなどの出力機器の代替となるだけでなく、匂いや加速度、関節の深部覚、触覚等、ヒトの全ての

感覚をリアルに再現することが可能になるとされる。これらのことが実現できるようになれば、既存の人工内耳や人工網膜といった分野に留まらず、社会的意義は計り知れない。

これらのことを実現するに当たって、現在最も発展が望まれる分野は、計測分野であろう。脳活動を非侵襲的に計測する装置は既存のものでも、MEG, fMRI, PET, EEG, NIRS など、多種類のものがあり、分野としてかなり発展している。しかしながら、何れも大規模な装置を必要としたり、時間・空間解像度が十分でなかったりするため、ブレイン・マシン・インターフェイスという枠組みで即座に使用可能という領域までには至っていない。脳刺激に関しては、脳幹電極や、経頭蓋磁気刺激 (TMS) といった手段があるが、侵襲性の問題等から、更に数段難しい問題になっている。

一方、例えば正確簡便な計測機器が開発されたとしても、計測データは言わば脳独自の符号化・暗号化がかけられている状態であり、直ちに被験者が何を企図しているかを解釈できる訳ではない。この手の問題は、計測データを入力、企図を出力とする判別問題と解釈することができ、確率的・統計的な推論・学習・情報処理分野での重要課題である。一般的な判別問題に対してはニューラルネットワーク、サポートベクターマシン等の汎用学習機が用いられるが、企図→計測データへの確率モデルをある程度、脳・神経科学的知見から設定することができれば、学習によるモデルパラメータの推定等を減らすことができる。また、モデルパラメータの推定の際には、データ量を N 個とした時に、 $\exp(N)$ のオーダーの指数関数的計算量を要することが多い。これは、推定式に含まれる 2^N 個の項の加算や N 次元の積分が解析的に解けず、数値的に解かなければならないことに由来する。このような事情から、近似であっても、多項式時間で計算可能な解法を発見・開発することを以って、問題が解けたとされることが普通である。

また、観測データ等の実データには欠損値、外れ値が付き物である。外れ値については、推定結果の精度が落ちはするが、推定自体は可能であり、より一様分布に近い確率モデルを用いる等の対処方法があるが、欠損値については、それを扱うための特別な枠組みが必要となることが殆どである。EM アルゴリズム、変分 Bayes 法等の比較的一般的な枠組みが既に存在するが、共役事前分布を必要とする等、必ずしも万能ではなく、個別の問題に対するカスタマイズを要する。

2. 研究の目的

これまでの研究により、一次視覚野の脳活動情報を計測できたとして、視覚系を Gabor

フィルタを用いた単純なモデルで表した場合、被験者が現在見ているもの (視覚画像) を逆推定することが可能となっている。本課題ではこれを更に発展させ、得られるデータがより現実的に欠損値を多く含む場合でも適用可能な手法を開発することを目標とする。

本視覚画像推定問題は、一般に原画像の線形劣化変換にノイズが付加されたものの逆推定問題と見做すことが可能である。本課題で適切な解法を構築することができれば、これらのより一般的な問題に対しても、応用の可能性が広がると期待される。

3. 研究の方法

本研究では、上記逆推定問題を Bayes 推定の枠組みで解くことを試みる。これにより、自然画像が持つ局所的な滑らかさや、輪郭部分での不連続さが、明示的な確率分布の形で表される。同様に、Gabor フィルタによる変換や観測ノイズについても、確率モデルにより書き下す。これらにより、観測画像の生成モデルを構築することができ、事後分布という形で原画像を明示的な分布の形で求めることができるようになる。

また、原画像の事前分布にはハイパーパラメータと呼ばれる、更なるパラメータが付随するモデルもあり、このような場合は階層的な事前分布を構築しなければならない。また、ハイパーパラメータの事前分布に何を設定するかという事も問題となる。画像の事前分布モデルにも、単純なランダム Markov 確率場から、ラインプロセスを考慮した複層 Markov 確率場、各ピクセルに領域ラベルを付けるモデルなどがある。本研究ではより単純なモデルから出発し、より現実合致するであろう複雑なモデルへと研究を進めていく。

また、推定量に何を選ぶかも問題であり、通常は最尤推定量、第二種最尤推定量、もしくは事後確率最大推定量を選ぶが、これについても可能ならば、コスト関数から最適な推定量を導出することを試みる。

上記の事柄を研究していく過程で、超解像と呼ばれる、粗い観測画像 (欠損値だらけと見做せる) から高精細な原画像を推定する問題が、本課題の上位課題としてより本質的かつ一般的で、難しい問題であることが分かった。また、後述するように、この課題が、ある近似を導入することで変分 Bayes 法の枠組みで解析的に解くことが可能だという事が分かった。そのため、以後こちらの問題を、原画像事前分布や観測モデルを変えつつ、Bayes 推定の枠組みで解くことを試みた。

また、変分 Bayes 法による解析解を導出後は、本手法を C#言語を用いて実装し、実画像を用いて様々な条件下での計算機実験を行う。画像処理は概して計算時間がかかること

が多いため、近年急速に整備されてきた並列計算ライブラリを活用した並列計算アルゴリズムを開発し、多コア化されたCPUを用いて計算時間の短縮を図る。このようにして、現実的な問題設定に対してどの程度本手法が有効に機能するかを検証する。また同様に、既存他手法についても、プログラムが公開されていないものについては並列計算プログラムを実装し、これらと推定精度を比較し検討する。

4. 研究成果



上より原画像，粗い観測画像（このようなものを10枚使用），推定画像（下記(3)の手法で推定）．観測画像では読めなかった文字が推定画像では読めるほどに復元できていることが分かる．



推定画像の比較．左から下記(3)の手法，最近傍補間，Kanemura等，Babacan等，下記(2)の手法．白目（強膜）と黒目（虹彩）の境目が(3)の手法では最も滑らかに推定できている．

超解像技術について，以下の成果をあげた．

(1) Bayes 推定枠組みにおいて，平均二乗誤差を最小にするような推定原画像は事後平均であることを初めて指摘した．事後平均が平均二乗誤差を最小にすることは一般的な Bayes 推定においては良く知られた結果であるが，超解像においては，これを求めることが困難だったため，事後確率最大化や第二種最尤推定などが用いられてきており，事後平均の近似解を求めるという視点は指摘されていなかった．

(2) 画像モデル（事前分布）として，因果的 Markov 確率場を採用し，これを変分 Bayes 法の枠組みで解析的かつ近似的に事後平均を求めることに成功した．本手法は，これまでの最良な方法と同等の性能を示した．

(3) 画像モデルとして標準モデルの一つで，提案以後広く使われてきたにも拘らず長らく解析的に解けていなかった，複層 Markov 確率場モデルについても，同様に変分 Bayes

法の枠組みで解析的かつ近似的に事後平均を求めることに初めて成功した．本手法は，特にノイズの少ない画像に対しては，これまでの最良の方法を上回る性能を示した．

(4) 画像モデルとして，各画素（ピクセル）に領域番号を付けることで，領域抽出（前景や背景の抽出）が可能なモデルについても，同様に変分 Bayes 法の枠組みで解析的かつ近似的に事後平均を求めることに初めて成功した．画像の領域分割手法については，超解像手法とはやや歴史が異なり，Bayes 法による様々な手法が提案されている．本課題では，これら既存手法との詳細な比較を行うまでには至らなかった．

また他に，手法において関連のある確率的情報処理に関するいくつかのテーマに取り組み，計6件の学会発表を行った．具体的には，カーネルマシン，特にRVMによる Multiple Instance Learning 問題へのアプローチ，制約充足（K-SAT）問題の有限温度での相転移現象の可視化，二項分布に基づく基底関数による混合回帰モデル，上位M個の解が得られる疎結合モデルの離散最適化手法，などである．

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9件）

① Takayuki Katsuki, Akira Torii, Masato Inoue, Posterior Mean Super-resolution with a Causal Gaussian Markov Random Field Prior, IEEE Transactions on Image Processing, 査読有, (in press), 2012.

② 勝木 孝行, 井上 真郷, 混合モデルとしての複層 Gauss-Markov 確率場による画像の修復と領域分割, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 111, No. 275, IBISML2011-75, 2011, pp. 223-230. (下記発表の予稿)

③ 勝木 孝行, 鳥居 英, 井上 真郷, 複層 Markov 確率場と線形劣化変換に対する Bayes 超解像, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 110, No. 83, NC2010-10, 2010, pp. 63-68. (下記発表の予稿)

〔学会発表〕（計10件）

① Takayuki Katsuki, Masato Inoue, Posterior mean super-resolution with a compound Gaussian Markov random field prior, IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP2012), 口頭発表, 査読有, 2012年3

月 28 日, Kyoto.

②勝木 孝行, 井上 真郷, 混合モデルとしての複層 Gauss-Markov 確率場による画像の修復と領域分割, 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), IBISML2011-11, ポスター発表, 査読無, 2011 年 11 月 10 日, 奈良.

③勝木 孝行, 鳥居 英, 井上 真郷, 複層 Markov 確率場と線形劣化変換に対する Bayes 超解像, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, NC2010-10, 口頭発表, 査読無, 2010 年 6 月 18 日, 沖縄.

[その他]

ホームページ等

http://www.eb.waseda.ac.jp/m_inoue/publications/

2010 年度に当研究室修士学生で, 上記論文, 発表の第一著者である勝木孝行が, IEEE Computational Intelligence Society Japan Chapter より Young Researcher Award を受賞した.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 真郷 (INOUE MASATO)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号 : 70376953

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし