

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330285

研究課題名(和文) 情報統計力学的アプローチによる医用画像のベイズ統合

研究課題名(英文) Bayes integration of medical image with statistical mechanical approach

研究代表者

庄野 逸 (Shouno, Hayaru)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・教授

研究者番号：50263231

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、再構成モデルから得られる情報をベイズ的なアプローチに基づいて統合し、低侵襲で鮮明な画像を得るための再構成アルゴリズムを構築することを旨とした。理論的な成果としてはポアソン過程を観測過程とした画像修復問題に対して近似アルゴリズムを開発して評価を行った。実践的な成果としては実際のPET撮像器から得られたデータに対して再構成画像の評価を行った。その結果として我々のベイズアプローチが有効であることを示すことに成功した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we apply a Bayes approach for medical image reconstruction problem. We develop several reconstruction algorithm, from theoretical and practical viewpoints. From the theoretical viewpoint, we solve a image reconstruction problem under the Poisson observation process with a Gaussian Markov random field prior. Also from the practical viewpoint, we apply our Bayes approach to reconstruct the positron emission tomography (PET) for the real device. As the result, we confirm the Bayesian approach is effective when we construct the model based on the fact. On that basis, we should consider several approximation for the effective calculation. The more difficult problem is to assume shape of the prior. Deciding the prior model is the our future work.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：情報統計力学 ベイズ推定 医用画像 ノイズ除去

### 1. 研究開始当初の背景

医用画像では撮像対象の物理的、生理的特性に応じて様々な撮像装置(モダリティ)が診断に用いられる。例えば X 線 CT 画像は、体外から X 線を投影し、得られたデータから画像を再構成することで X 線の透過率を画像化したものであり、臓器の形態や輪郭などが比較的是っきりとわかる形態画像として再構成される。一方 PET (陽電子放射断層撮影) と呼ばれる装置では、体内にマーカーと呼ばれる放射性物質を投与し、マーカーが発する放射線データから、体内でのマーカー濃度を画像化する。PET は一般に信号対ノイズ比 (S/N 比) が悪いので、臓器の輪郭などは不明瞭なものの、どこにマーカーが集中しているかを判定することで、癌などの腫瘍を発見するのに役立つ機能画像を再構成する。これらの異なる撮像装置にはそれぞれの長所や短所がある。例えば X 線 CT は短時間で撮像が済み比較的鮮明な画質が得られる反面、機能的な異常を発見することは困難である。一方の PET ではマーカーの集中度合いから機能画像を得ることはできるが、鮮明な画像を得ることは被曝量を抑えたままでは困難である。X 線 CT 画像や PET 画像は体内を透過してきた観測データを計算機で再構成処理することで得られる。再構成法にはフーリエ変換を用いた FBP 法や、最尤推定を用いた手法などが提案されているが、これらの手法において低 S/N 比の観測データから再構成を行った場合、アーチファクトと呼ばれるノイズを発生させる場合がある。これを防ぐためには S/N 比を高める必要があるが、被曝量増加などのリスクを伴う。我々は既にベイズ手法を FBP 法に対して適用し一定の成果を上げていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、このような複数の再構成モデルから得られる情報をベイズ的なアプローチに基づいて統合し、低侵襲で鮮明な画像を得るための再構成アルゴリズムを構築することを目的とした。ベイズアプローチでは、観測データにノイズなどの不確実性が残る場合でも、事前分布と呼ばれる情報を再構成時に導入することによってノイズの除去等の処理を行うことが可能となる。ベイズアプローチにおいて事前分布は重要な役割を持つ。事前分布は“画像らしさ”を確率分布の形で定式化したものであり、ユーザーが任意にデザイン出来る。一般の画像処理において、事前分布は画像の滑らかさを定式化したマルコフ確率場 (MRF) などが提案されており、信号処理などの分野を中心に活発な議論がなされている。我々が既に提案している FBP 法に対するベイズ手法は、単一の撮像モデルに対して事前分布を設計した手法であるが、これが PET 等の他モダリティにおいてどの程度の意味を持ちうるのかを評価することまでを含めて研究目的とした。

### 3. 研究の方法

研究当初としては X 線 CT 画像から得られた知識を、情報統計力学的な確率の記述として表し、この知識表現を PET 画像の再構成などの別のモダリティに取り込むことを狙いとしていた。このため研究方法として以下のような二つのステージに分けて研究を遂行した。

(1) 研究前半では、X 線 CT 画像のような形態情報と、PET 画像のような機能画像などの複数モデルの統合を想定した上で、各撮像装置の原理と特徴的なノイズに関する考察及び、解析的もしくは近似的に取り扱うことが可能な確率モデルを中心に扱った。特に理論解析をメインに行い、アルゴリズムの計算速度、近似手法の導入による評価を執り行った。このような解析可能なモデルを取り扱うことで、低 S/N 比条件のもとでのノイズ発生メカニズムとその定量的な評価を行った。

(2) 研究の後半では、前半の結果を踏まえてベイズ的な画像統合を行った。PET 撮像は、半減期といった薬剤特性と、薬剤投与後の観測時刻によって S/N 比が変化する。観測対象が観測時間内に変化しないという前提条件を考えるのであれば、良 S/N 比から悪 S/N 比に変化していく中で、撮像結果がどのように変化が起こるのかを知ることができる。そこで東京都健康長寿研究所との協同で実機 PET 観測を行い、観測データからの再構成にベイズアプローチを導入して再構成を行い、従来手法との比較を行うことを盛り込んだ。

### 4. 研究成果

前半部分の研究成果としては、理論的な成果が挙げられる。問題を単純化するために、撮像装置としては通常の CCD カメラなどで用いられる格子型の観測デバイスを想定した。次に観測過程としてポアソン観測を仮定した。通常の画像処理などでは、白色雑音 (ガウス観測) が仮定されることが多いが、ガウス観測は画像の明暗コントラストに関わらずノイズ強度が一定なので、比較的光子が多く落ちてくるような状況での観測過程である。我々が対象とした PET 観測や X 線 CT 観測での観測過程は光子量が比較的小さく、丁度夜間撮影のような状況での撮影と似ている。このような状況では、ノイズは各観測素子に落ちてくる光子量に依存したポアソン過程となる。このような状況下で、増感操作を行うと画像中の暗い部分に存在するノイズが増幅され、ブツブツとした質感となってしまう。そこで我々は、ポアソン過程を観測過程としてモデル化を行った。ポアソン過程をそのままモデルとすると離散的な取り扱いが必要となるため、取り扱いを簡単にするために、一旦、ベルヌーイ過程としてポアソン過程を

書き直し、ベルヌーイ過程の母数を推定するという手法に落とし込んだ。ベルヌーイ過程に現れる母数の非線形関数は対称性を持つことが分かったので、この非線形関数に対して二次関数で上界を与えることを近似モデルとして考えた。このような取り扱いをすることで、分布の下界がガウス関数で記述できるようになるため、従来のガウス分布を用いたベイズアプローチの手法が適用可能になった。その上でスケールの小さい画像に対して推定を行い、S/N 比の向上を確認した。図1は、ポアソンノイズ画像からの画像修復を行った結果を示している。図中第1列が原画像、第2列がポアソンノイズを重畳させた画像、第3列以降が幾つかの再構成手法を適用した結果で、今回の手法は右端の再構成結果となる。

後半部分の研究としては、前半の研究を拡張し、計算アルゴリズムの改良と実機画像の評価を主に行った。前半の研究成果からポアソン過程の元でも、従来のベイズアプローチが再構成アルゴリズムとして適用可能なことが分かったが、適用する場合には期待値最大化 (Expectation Maximization: EM) アルゴリズムと呼ばれる繰り返し手法を用いる必要があり、その繰り返しステップ内で、期待値を導出するために画像スケールの逆行列を求める必要が出てきた。このためスケールの大きい画像に対しての適用が困難であった。そこで、逆行列を求める代わりに、統計物理的なアプローチで用いられるビリーフプロパゲーション (BP) 法を用いることを提案した。BP 法を用いることで、計算時間を画像スケールの線形オーダーにまで削減することに成功した。一方 BP 法を導入したことにより、近似的な計算になってしまうため、画質評価を行ったが、殆ど劣化することが無いことが解った。

一方、PET 画像のデータ取得も積極的に進め、東京都健康長寿医療センター研究所とのコラボレーションを進め、脳を模したホフマンファントムと呼ばれる擬似的な撮像対象を用いた計測を行った。このようなファントムを用いることで、実機の中でどのように画像信号が劣化するかを評価した。その結果、情報統計力学等で用いられるマルコフ確率場をもちいた事前情報は、PET 観測時間中の大凡中程度までは、従来手法に比べて良好な再現性を持っていることが分かったが、ノイズ強度が強くなる観測時間最後の方になると、事前情報の影響が強くなりすぎて画像そのものが平坦になりすぎることが判明してきた。図2はホフマンファントムを東京都健康長寿医療センターに設置されている PET 撮像機から得られたデータを再構成した結果である。図中、第1列が原画像となるホフマンファントムの断面図、第2列がFBP法と呼ばれる手法によって再構成された画像、第3列が我々の手法であるFBP-Bayes手法を用いて

再構成させた画像であり、各行が観測時間の違いを表している。

これらの成果を受けて、現在の別研究プロジェクトとして、東京都健康長寿医療センターと共に積極的なコラボレーションを行い、新たな画像の事前情報を設計するプロジェクトを推進している。

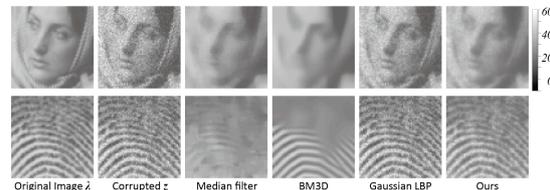


図1: ポアソン画像の再構成

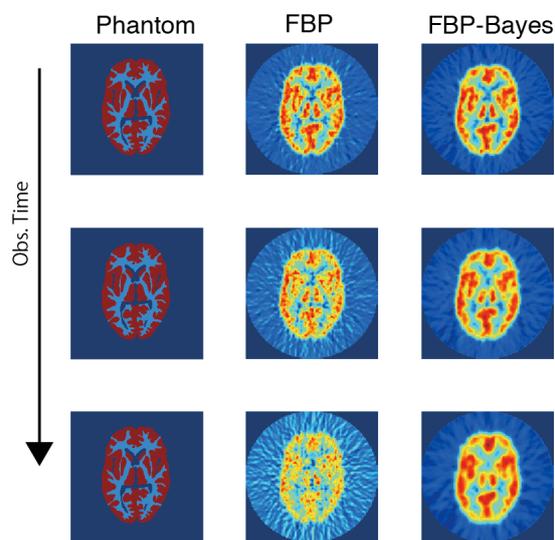


図2: 実機を用いた PET 画像再構成

## 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)

- ① L. Yibing, F. Qiang, Y. Fang, H. Shouno, Dark channel prior based blurred image restoration method using total variation and morphology, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 査読有り, 4, pp.177-184, 2015 DOI: 10.1109/JSEE.2015.00042
- ② H. Shouno, Bayesian Restoration for Poisson Corrupted Image using a Latent Variational Method with Gaussian MRF, *情報処理学会誌: 数値モデル化と応用*, 査読有り, Vol. 8 (1), pp. 62-71, Mar. (2015)
- ③ A. Li, H. Shouno, Dictionary-Based Image Denoising by Fused-Lasso Atom

Selection, Mathematical Problems in Engineering, 査読有り, Vol. 2014 (2014), Article ID 368602, 10 pages, Aug. (2014),  
<http://dx.doi.org/10.1155/2014/368602>

- ④ Y. Ohno, K. Nagata, H. Shouno, M. Okada. Distribution estimation of hyperparameters in Markov random field models, J. Phys. A: Math. Theor., 査読有り, 47, 045001, Jan. (2014)
- ⑤ H. Sasaki, M.U. Gutmann, H. Shouno, A. Hyvärinen. Correlated Topographic Analysis: Estimating an Ordering of Correlated Components. Machine Learning, 査読有り, 92: 285-317, Apr. (2013)

[学会発表] (計 8 件)

- ① H. Shouno, S.Kido, Semi-supervised based learning for Idiopathic Interstitial Pneumonia on High Resolution CT images, In Proc PDPTA' 15, Vol.1, pp.270-275, Las Vegas, USA. Jul. (2015)
- ② N. Iida, H. Shouno, M. Sakata, Y. Kimura: Quantitative Evaluation of Reconstructed Image with Filtered Back Projection Bayes Method, In Proc. PDPTA' 15, Vol.1, pp.324-329, Las Vegas, USA. Jul. (2015)
- ③ K.Hara, D. Saito, H. Shouno, Analysis of function of rectified linear unit used in deep learning, In Proc. of IJCNN 2015, 8pages, Kilarney, Ireland Jul. (2015)
- ④ K.Fukushima, H. Shouno, Deep convolutional network neocognitron: Improved Interpolating Vecto, In Proc. of IJCNN 2015, 8pages, Kilarney, Ireland Jul. (2015)
- ⑤ H. Shouno: Acceleration of Poisson Corrupted Image Restoration with Loopy Belief Propagation: In Proc. PDPTA' 14, Vol.1 pp.165-170, Las Vegas, USA. Jul. (2014)
- ⑥ H. Sasaki, M. U. Gutmann, H. Shouno, A. Hyvärinen: Estimating Dependency Structures for non-Gaussian Components with Linear and Energy Correlations. In Proc. AISTATS' 14, 2014, Reykjavík, Iceland, Apr. (2014)

- ⑦ H. Sasaki, M.U. Gutmann, H. Shouno, A. Hyvärinen, Estimating Dependency Structures for non-Gaussian Components, NIPS 2013 Deep Learning workshop. Paper ID 38, Lake Tahoe, NV. USA. Dec. (2013)

- ⑧ H. Shouno, M. Okada. Poisson observed image restoration using a latent variational approximation with Gaussian MRF: In Proc. PDPTA' 13, Vol.1 pp.201-208, 2013. 07.22-25, Las Vegas, USA. Jul. (2013)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://daemon.inf.uec.ac.jp/ja/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

庄野 逸 (SHOUNO, Hayaru)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号 : 50263231