

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：10104

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18120

研究課題名（和文）画像の構造を考慮した確率的画像処理理論の体系化

研究課題名（英文）Probabilistic Image Processing Theory Considering Image Structure

研究代表者

片岡 駿（Kataoka, Shun）

小樽商科大学・商学部・准教授

研究者番号：50737278

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）：本研究計画では画像構造を考慮した確率的画像処理の方法論の構築を目的として、機械学習の考え方と確率的画像処理の考え方を融合する研究を主に進めてきた。機械学習の考え方を確率的画像処理に応用するにあたっては対象とするデータの数が問題となる。機械学習の方法は大量データの存在を仮定しているが、画像処理で使用するのは処理対象となる画像1枚である。そのため、本研究計画では大量データから得られた機械学習の学習結果を処理対象となる画像の処理に特化した確率的画像処理の方法に変換する方法を提案し、数値実験により提案法の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究計画では確率的画像処理の機械学習の融合について取り組んだ。機械学習の方法は深層学習の方法を中心に様々な分野で成果を挙げているが、機械学習の問題設定を他の分野にそのまま持ち込んだ形が多く、機械学習の考え方の取り入れて分野を進展させていく取り組みはそこまで多くは行われていない。本研究で得られた結果は、機械学習の方法を画像処理に直接適用するのではなく、機械学習の考え方を画像処理の分野に応用する一つの例として今後の確率的画像処理分野の発展に貢献するものと考えている。

研究成果の概要（英文）：In this project, we consider the fusion of probabilistic image processing and machine learning. The main difficulty of applying machine learning concept to probabilistic image processing is a size of the dataset. Many machine learning methods assume a large data set, but the data in image processing is only one image to be processed. Therefore, we consider the method that converts machine learning result into a probabilistic image processing method.

研究分野：確率的情報処理

キーワード：確率的画像処理 確率的グラフィカルモデル マルコフ確率場

## 1. 研究開始当初の背景

深層学習に代表される機械学習技術の劇的な発達により、様々な分野で機械学習の方法が検討されるようになった。この流れを受け、画像処理の分野でも機械学習の利用が検討され、ニューラルネットワーク等の深層学習技術を中心とした機械学習の方法が画像処理の分野でも注目を集めている。しかしながら、現状行われている研究の多くは単純に画像処理の問題設定に機械学習の方法を当てはめているものが多く、画像処理というドメインに特化した画像処理と機械学習の融合研究はそれほど多くは無かった。本研究計画は、画像処理の問題意識と機械学習の考え方を融合し、新しい画像処理の方法論が構築できないかという考えのもとで発案されたものである。

伝統的な確率的画像処理の分野では、マルコフ確率場というグラフ構造上の確率モデルを用いて画像処理が行われている。この方法は画像処理の問題に存在するノイズ等の不確実さを数理的に正しく扱うことができる反面、画像処理の処理結果がどのような確率モデルを使用したのかに強く依存してしまう側面が存在する。画像処理に使用する確率モデルは適用する画像処理問題の問題設定を反映するようにモデル化したものであり、問題設定を上手く反映できなければ良好な画像処理結果が得られないのである。現状の確率的情報処理の考え方において、最もモデル化の難しい部分は画像を表現するマルコフ確率場のグラフ構造の設定である。現在の確率的画像処理の手法では4近傍の正格子や8近傍のグラフ構造が主に用いられており、このグラフ構造のもとで様々な研究が進められている。しかしながら、マルコフ確率場のグラフ構造は画像中の物体の存在に関連するものであり、このような4近傍や8近傍のグラフ構造を用いることが適切とは限らない。実際に、このようなグラフ構造を用では物体間の境界部分を上手く処理できないことが知られている。マルコフ確率場を用いた確率的画像処理の方法論では、処理対象の画像に合わせてマルコフ確率場のグラフ構造を設定できることが理想である。そこで、本研究ではデータの構造推定という機械学習の方法論を参考に、処理対象の画像からマルコフ確率場のグラフ構造を推定して画像処理を行うという新しい確率的画像処理の方法論の構築を目指す。

## 2. 研究の目的

本研究計画の最終的な目的は、処理対象の画像から確率モデルのグラフ構造を推定して画像処理を行うという新しい確率的画像処理の方法論を構築することである。しかしながら、この目的を達成するためには、クリアしなければならないサブ課題がいくつか存在する。最大の問題は処理対象の画像から大量のパラメータを推定できるのかという問題である。一般に、機械学習の技術が提供する方法は大量データの使用を前提としたものであり、本研究計画のような1枚画像を対象にすることは本来考えられていない。機械学習分野で提案された構造推定に関する方法も各リンク関係をパラメータとして表現し、大量データの使用を前提として各パラメータを推定していくものである。そのため、本研究計画で考えるグラフ構造を推定する問題も、単純に機械学習の分野で提案された構造推定の方法を適用するのではなく、1枚画像でも効率的にグラフ構造を推定できる方法を改良・開発する必要がある。他にも効果的な近似アルゴリズムの開発も必要である。一般に、確率モデルを用いた確率的画像処理の方法は組み合わせ爆発による計算困難の問題を抱えており、画像処理課題に合わせて確率モデルを設計するだけでは目的の画像処理が実行できないのである。そのため、実際に確率的画像処理の方法を行うためには、現実的な時間内で画像処理を実行する近似アルゴリズムが必要となる。本研究計画ではグラフ構造の推定や実際の画像処理を行うための効果的な近似アルゴリズムの開発も並行して進めていく。

## 3. 研究の方法

従来の確率的画像処理の方法論に機械学習の方法を組み合わせることで、目的の課題を解決する確率的画像処理の方法論へと徐々に拡張していく。まず最初に、簡単な機械学習の方法と確率的画像処理の方法の融合から研究課題に取り組んでいく。これは、画像処理を行う確率モデルのパラメータ推定の問題に、機械学習の考え方を取り入れていくというものである。簡単な状況下で機械学習の方法と確率的画像処理の方法が融合できなければ、それ以上の融合研究を進めることは難しい。そのため、まずは従来の確率的画像処理に用いられる確率モデルのパラメータ推定法と機械学習の考え方を融合することから行っていく。その後、機械学習の構造推定の

考え方を確率的画像処理の確率モデルに取り込んでいき、確率モデルを徐々に拡張していくことで、最終的な目標である処理対象の画像に特化したグラフ構造を推定して目的の画像処理を行う確率モデルを構築していく。また、各モデルの拡張に合わせて、効果的な近似計算アルゴリズムの開発も並行して行っていく。確率モデルを用いた画像処理の方法には計算困難の問題があるため、問題設定を上手く反映した確率モデルが設計できても、その確率モデルを用いて効果的な近似計算アルゴリズムが開発できるかは別問題である。場合によっては、モデル自体は問題設定を上手く表現できているが、現実的な時間内ではどのような方法を用いても良好な画像処理結果が得られないといった場合もある。そのため、各モデルの拡張に合わせて、効果的な近似計算アルゴリズムの開発も並行して行っていく。

#### 4. 研究成果

確率的画像処理に用いられる確率モデルのパラメータ推定と機械学習の方法論を融合する研究では、一定の成果を得ることができた。機械学習の提供するパラメータ推定の方法は様々なデータに対してもそれなりに動作するという汎化性能を目指したパラメータであるが、確率的画像処理の確率モデルに必要なのは処理対象の画像の処理に特化したパラメータである。そこで、本研究では機械学習で得られた汎化性能の高いパラメータから、目的の画像の処理に特化したパラメータを推定することを考えた。最適パラメータが予め分かっている人工的な問題設定でのシミュレーション実験を行ったところ、提案したパラメータ推定の方法は従来の確率的画像処理のパラメータ推定法よりも高速に最適なパラメータを推定可能なことが確認できた。提案したパラメータ推定の方法は、最適なパラメータが機械学習の方法で得られたパラメータの近くに存在していることを仮定しているが、機械学習の方法で得られたパラメータが最適なパラメータの位置からある程度離れてしまっているという状況下でシミュレーション実験を行ったところ、パラメータの推定にある程度時間がかかってしまうが、このような状況下でも提案手法が最適パラメータを推定できることも確認できた。本研究では2値画像という、非常に単純な画像形式で研究を進めてきたが、より一般的な画像形式への拡張も容易に行えると考えられる。本研究の結果は電子情報通信学会の研究会であるシステム数理と応用研究会で「機械学習結果を利用した確率的情報処理法に関する一検討」のタイトルで発表され、技術研究報告としてその成果を公開している。

確率的画像処理の効果的な近似アルゴリズムの研究では、確率的画像処理の理論的な計算オーダーを  $O(NL^2)$  から  $O(NL \log(L))$  まで削減し、画像処理を高速に実行するための効率的な計算法を提案した。ここで、 $N$  は画像のサイズであり、 $L$  は画像の諧調値である。確率伝搬法を用いた確率的画像処理の方法では、画像処理を実行するために理論的には  $O(NL^2)$  のオーダーの計算回数が必要である。本研究では多くの確率的画像処理で使われている確率モデルの関数の形に注目すると、確率伝搬法の計算方法が畳み込みの構造になっていることを指摘し、この計算部分に高速フーリエ変換の方法を用いることで、確率伝搬法を用いた画像処理の理論的な計算回数を  $O(NL^2)$  から  $O(NL \log(L))$  まで削減することに成功した。数値シミュレーションによる検証では提案した確率伝搬法の計算方法が、従来の計算方法に比べて大幅に計算時間を短縮できていることを確認した。本研究の結果は Springer の学術雑誌 “The Review of Socionetwork Strategies” に “Bayesian Image Denoising with Multiple Noisy Images” のタイトルで掲載され査読付き論文としてその成果を公開している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kataoka Shun, Yasuda Muneki	4. 巻 13
2. 論文標題 Bayesian Image Denoising with Multiple Noisy Images	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Review of Socionetwork Strategies	6. 最初と最後の頁 267 ~ 280
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12626-019-00043-3	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3件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Shun Kataoka
2. 発表標題 Neural network and its variants
3. 学会等名 The 34th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片岡 駿
2. 発表標題 確率的情報処理への統計物理学的手法の応用
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片岡 駿
2. 発表標題 機械学習結果を利用した確率的情報処理法に関する一検討
3. 学会等名 システム数理と応用研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 片岡 駿、大関 真之、安田 宗樹、田中 和之、照井 伸彦、小谷 元子、赤間 陽二、花輪 公雄	4. 発行年 2018年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 264
3. 書名 画像処理の統計モデリング	

〔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
---------	---------