

確率場による高次元データ解析

研究代表者 石川 博
(基幹理工学部 情報理工学科 教授)

1. 研究課題

画像や音声データのように物理世界をセンシングして得られる高次元実データから意味情報を引き出すことは長年の努力を跳ね返してきたが、例えば画像中の物体や状況などを人間のように認識させることは、ロボットの能力向上に不可欠で、介護などの労働力不足が予想される日本における社会的必要性の高い技術である。本プロジェクトでは、高階・多層確率場を主な道具として、既存の情報技術で実現困難な「認識」という現象の数学的モデルを構築することをめざしている。そのための研究項目として、トップダウン認識モデルによる確率場の動的生成、確率場最適化の高度化と応用実用化、多層モデルが高性能を示す原因の解明、高階・多層モデルの関係の検討などがある。

2. 主な研究成果

本年度の研究においてこれら各項目について研究を実施し、確率場の応用へ向けた研究では医用画像の領域分割アルゴリズム等の成果を得た。そして特に、高階・多層モデルの関係の研究から導かれて、確率場最適化の高度化について次のような成果を得た。本プロジェクトの最終目標は、高階・多層確率場を主な道具として、既存の情報技術で実現困難な「認識」という現象の数学的モデルを構築することである。そのための研究項目別の目標として、トップダウン認識モデルを構築し、それにより確率場を動的生成すること、高階確率場の最適化を高度化し、実用化を目指した応用アルゴリズムを開発すること、多層モデルを用いた機械学習の方法がいくつかの人工知能のタスクにおいてなぜ高い性能を示すのか、その理由を明らかにすること、そしてトップダウンモデルと高階および多層モデルの関係について検討し、確率場と他手法のハイブリッド手法を開発することがある。これらの目標へ向けて、次の各項目について研究を実施した。

(a) トップダウンモデルと確率場生成

主に理論的になるこの研究では、まずパターンの理論を見直すと共に、ディープラーニングのモデルとの関係を考察している。また、医用画像セグメンテーションをテストケースとし、与えられたCT画像に応じて高階確率場のエネルギーを生成する方法を、多臓器セグメンテーションの応用において試みたところ効果があった。この研究の成果は国際会議MVA2015で発表した。

(b) 高階確率場の最適化の高度化・実用化

高階確率場の応用として、動画画像セグメンテーションアルゴリズムおよび点対応アルゴリズムについて、それぞれの最先端の研究を凌駕する性能をめざし研究を行った。動画画像セグメンテーションにおいては、ビデオの多数のフレームに渡るスーパーピクセルの一連のつながりをノードとするグラフ上のエネルギーの最小化により前景と背景をより正確に分類する方法を開発した。点対応においては2枚の画像の特徴点間の対応に高階エネルギー

を定義し、これを融合移動アルゴリズムにより最小化する方法を開発した。また、応用としては他に、上記のとおり医用画像セグメンテーションにおける応用アルゴリズムを開発した他、線形回帰による小惑星姿勢自動推定³⁾およびCNNとSVMによるランドサット衛星画像中の地物認識アルゴリズムを開発し比較した。これらも国際会議MVA2015で発表した。

3. 共同研究者

望月義彦 (情報理工学科・助教)
 飯塚 里志 (基幹理工学研究科・次席研究員)
 シモセラ エドガー (基幹理工学研究科・次席研究員)
 小山田 雄仁 (鳥取大学 助教)
 中村 良介 (産業技術総合研究所 主任研究員)
 杉本 晃宏 (国立情報学研究所 教授)
 北村 嘉郎 (富士フイルム)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- [1] Yoshiro Kitamura, Yuanzhong Li, Wataru Ito, and Hiroshi Ishikawa, "Data-Dependent Higher-Order Clique Selection for Artery-Vein Segmentation by Energy Minimization", *International Journal of Computer Vision*, vol 117, Issue 2, pp. 142-158, 2016. (First published electronically on September 14th, 2015.)
- [2] Tsutomu Inoue, Yoshiro Kitamura, Yuanzhong Li, Wataru Ito, and Hiroshi Ishikawa, "Psoas major muscle segmentation using higher-order shape prior", *MICCAI Workshop on Medical Computer Vision: Algorithms for Big Data (MICCAI-MCV 2015)*, 2015.
- [3] Tomohiro Ishii, Yoshihiko Mochizuki, Hidemoto Nakada, Ryosuke Nakamura, and Hiroshi Ishikawa, "Surface Object Recognition with CNN and SVM in Landsat 8 Images", *Proceedings of the 14th IAPR Conference on Machine Vision Applications (MVA)*, 2015.
- [4] Naoki Kobayashi, Yuji Oyamada, Yoshihiko Mochizuki, and Hiroshi Ishikawa, "Three-DoF Pose Estimation of Asteroids by Appearance-based Linear Regression with Divided Parameter Space", *The 14th IAPR Conference on Machine Vision Applications (MVA)*, 2015.
- [5] Minato Morita, Asuka Okagawa, Yuji Oyamada, Yoshihiko Mochizuki, and Hiroshi Ishikawa, "Multiple-Organ Segmentation Based on Spatially-Divided Neighboring Data Energy", *Proceedings of the 14th IAPR Conference on Machine Vision Applications (MVA)*, 2015.
- [6] Asuka Okagawa, Yoshihiko Mochizuki, Yuji Oyamada, and Hiroshi Ishikawa, "Multi-Organ Segmentation by Minimization of Higher-Order Energy for CT Boundary", *Proceedings of the 14th IAPR Conference on Machine Vision Applications (MVA)*, 2015.
- [7] Edgar Simo-Serra and Hiroshi Ishikawa, "Fashion Style in 128 Floats: Joint Ranking and Classification using Weak Data for Feature Extraction", *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2016)*. To appear.
- [8] Edgar Simo-Serra, Satoshi Iizuka, Kazuma Sasaki, and Hiroshi Ishikawa, "Learning to

Simplify: Fully Convolutional Networks for Rough Sketch Cleanup", ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH), 2016. To appear.

- [9] Satoshi Iizuka, Edgar Simo-Serra, and Hiroshi Ishikawa, "Let there be Color!: Joint End-to-end Learning of Global and Local Image Priors for Automatic Image Colorization with Simultaneous Classification", ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH), 2016. To appear.

4.2 総説・著書

石川博, "コンピュータービジョンの数理", 数学, 第 67 巻第 2 号, pp. 190-202, 岩波書店.

4.3 招待講演

2015/10/15 「ビジョンにおける離散最適化」第 27 回 RAMP シンポジウム (RAMP2015) 静岡大学

2015/11/12 「ビジョンにおけるマルコフ確率場の最大事後確率推定」, Tutorial of Markov Random Field Modeling (MRFModeling) 早稲田大学

2015/11/24 "Higher-Order Graph Cuts and Medical Image Segmentation", The workshop on mathematical and computational methods in biomedical imaging and image analysis (MCBMIA2015), University of Auckland

2015/11/27 「グラフカット: 2 次劣モジュラ関数最小化でどこまでやれるか」第 18 回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2015) つくば国際会議場

2016/3/23 "MAP Estimation of Markov Random Fields With Some Applications in Medical Imaging", Probabilistic Graphical Model Workshop: Sparsity, Structure and High-dimensionality, 統計数理研究所

4.4 受賞・表彰

4.5 学会および社会的活動

国際会議実行委員長, "14th IAPR International Conference on Machine Vision Applications", 2015 年 5 月、東京

シンポジウム開催 「確率場と深層学習に関する第 1 回 CREST シンポジウム」2016 年 1 月 13 日、東京

5. 研究活動の課題と展望

本プロジェクトの最終目標は、高階・多層確率場を主な道具として、既存の情報技術で実現困難な「認識」という現象の数学的モデルを構築することである。これらの目標へ向けて、引き続きディープラーニングモデルに内在する対称性とトップダウン認識モデルとの関連を考察し、CNN を一般化した多層モデルの動的生成を試行する。

- ・エネルギー最小化による 3 次元復元アルゴリズムの開発
- ・多層モデルのより少ない教師データによる効率的学習方法の模索
- ・多層モデルのグラフィクスへの応用