

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25540102

研究課題名(和文) 離散凸性に基づく整数パラメータ正則化学習によるハードウェア・フレンドリな機械学習

研究課題名(英文) Hardware-friendly machine learning with integer-parameter regularized learning based on discrete convexity

研究代表者

河原 吉伸 (Kawahara, Yoshinobu)

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号：00514796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：基礎となる整数パラメータ上での正則化学習アルゴリズムについて検討を行い、いくつかの異なるアプローチについて定性的な比較検討を進めた。しかし本課題は極めて挑戦的なものでもあるため、当初予想していなかったような理論的問題や、計算機上での検証段階における予想以上の計算時間などで十分な性能を得るのが困難であるなどの事態が生じたため、現状では論文としてまとめる程度の成果には至っていない。一方このような考察から得られた代替的アイデアとして、データ中の変数が持つ構造的情報を学習に用いることにより実装レベルで効率的な計算へと帰着できる枠組みを構築する、という点についてその枠組みの構築と有用性検証を実施した。

研究成果の概要(英文)：We have made a study regularized learning algorithms over integer parameters, and compared several different approaches for that. However, currently, theoretical problems that we did not expect have been revealed, and the computational costs for carrying out those with computers have been revealed. Based on these considerations, as another option, we have considered an approach where learning is performed with structural information among parameters in data. And, we confirmed it could be useful for the purpose of this research project.

研究分野：機械学習

キーワード：機械学習

1. 研究開始当初の背景

近年のデータ解析/情報処理技術に対するニーズの多様化を背景に、高度な知能情報処理を実現するアルゴリズム体系である機械学習は、益々その重要性を高める研究領域の一つである。

これまで一連の機械学習アルゴリズムの開発は、汎用計算機上への実装を前提に行われてきた。しかし昨今の情報機器の多様化やネットワーク技術の広がりに伴う機器の専用化を鑑みると、組込みシステムなどのリソースが限られたハードウェア上においても、機械学習の機能を安価に実現できれば、社会的に大きな利便性の向上が得られる可能性がある。

一般に限られたリソースで高い性能を実現するためには、そのアプリケーションが許容する範囲で精度を調整し、アルゴリズムを簡素化する必要がある。

現状では、浮動小数点演算の整数計算による代用や数値表現のビット数の提言など、開発現場で多大な時間と労力を費やし実装・評価を繰り返すことで調整するしか方法がない。

一方、これまで機械学習の理論/アルゴリズム体系の発展においては、凸解析がその理論的基盤として中心的役割を果たしてきた。さらに昨今では、離散関数における凸性に関する理論体系である離散凸解析の整備も進みつつある。

連続と離散における凸性は、組合せ的構造のため異なる点もあるが共通する概念で成り立っており、連続/離散間の類推が可能な場合も多い。

また研究代表者はこれまで、離散凸性を用いた機械学習アルゴリズムに関する研究を行ってきたという研究的経緯もある。

2. 研究の目的

上記の背景から本研究課題は、上記のような現状のアルゴリズム簡素化の手段をアルゴリズム・レベルで調整可能とし、限られたリソース上で機能を実現可能な機械学習の枠組み構築を目的とするものである。

具体的には、離散凸解析に基づき整数パラメータ上での機械学習アルゴリズム体系を構築し、それを基にして上記簡素化手段をアルゴリズム・レベルで実現する、というものである。

そして当初目標としては、構築したアルゴリズムをハードウェア実装の上、性能検証までを行い得られた枠組みの実用性検証までを行うというものである。

3. 研究の方法

上記の研究目的の下、離散凸解析に基づいた整数パラメータによる正則化学習の枠組み構築を進めた。

その理論的、あるいはアルゴリズム部分の検討においては、代表者に加えて連携研究者で離散数学が専門の永野氏との協議により進める。

そして得られた学習の枠組みは、当初計画においては、FPGAを用いてハードウェア実装し、その有用性検証のための実験的検証を進める予定となっていた。

これに関しては、ハードウェアが専門の研究分担者である山際氏の協力の下に進めるというものである。

4. 研究成果

本研究では、上記のような目的の下、まず基礎となる整数パラメータ上での正則化学習アルゴリズムについて検討を行い、いくつかの異なるアプローチについて定性的な比較検討を行った。

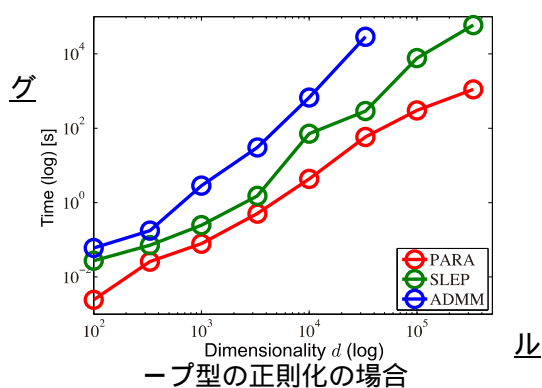
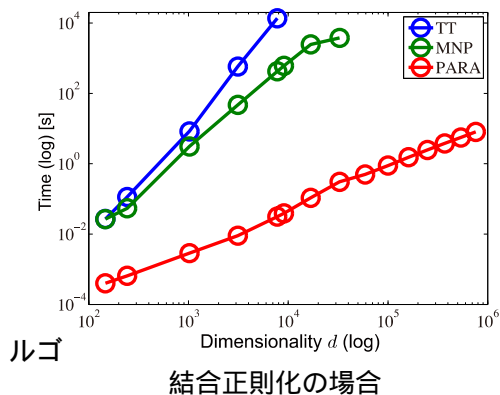
しかしながら本課題は極めて挑戦的なものでもあるため、当初予想していなかったような理論的な問題や、計算機上での検証段階において、予想以上に計算時間がかかり十分な性能を得るのが困難であるなどの事態が生じたため、現状では論文としてまとめる程度の成果には至っていない。

今後これらの検討により得られた知見を元に、さらに理論的な検討を行い、実用的な枠組みを得るための方法を構築していきたいと考えている。

一方、このような考察から得られた一つの代替的アイデアとして、データ中の変数が持つ構造的な情報を学習に用いることにより、実装レベルで効率的な計算へと帰着できる枠組みを構築するというものである。

具体的には、データ変数間にグラフ表現される平滑性やグループ構造、あるいは階層的構造がある場合には、これらを劣モジュラ性(離散凸性的一种と見なせる)を介して正則

化学習として定式化することで、効率的なア



リズムや実装が知られる最大流計算へと帰着することができる(発表論文[1~7])。

例えば、上図はこのような方法で得られたアルゴリズムを用いた場合の計算時間の比較例である。

なお、PARA が提案手法、その他は既存の代表的な手法による結果である。

著しい計算時間の減少が実現されていることが分かるが、これに加えて重要な点は、この計算に用いられる最適化アルゴリズムが手続き的に極めてシンプルな最大流計算に帰着されていることである。

従って、本研究課題で目的とするような組み込みシステムなどの限られたリソースのハードウェアにおいても性能を確保しつつ実装可能な枠組みであると言える。

現状ではここまでの検証は行えなかったが、今後さらなる検証を進めていく予定である。

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)

[査読付き論文](計 7 件)

1. H. Wang, Y. Kawahara, C. Weng, and J. Yuan, "Representative selection with structured sparsity," *Pattern Recognition*, **63**: 268-278, 2017.
2. B. Xin, Y. Kawahara, Y. Wang, L. Hu, and W. Gao, "Efficient generalized fused Lasso and its applications," *ACM Trans. on Intelligent Systems and Technology*, **7**(4): 60:1-60:22, 2016.
3. K. Takeuchi, Y. Kawahara, and T. Iwata, "Higher order fused regularization for supervised learning with grouped parameters," in *Proc. of the 2015 European Conf. on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases*, pp. 577-593, 2015.
4. K. Nagata, Y. Kawahara, T. Washio, and A. Unami, "Toxicogenomic Prediction with Graph-based Structured Regularization on Transcription Factor Network," *Fundamental Toxicological Sciences*, Vol.3 No.2, pp.39-46, 2016.
5. C. Azencott, D. Grimm, M. Sugiyama, Y. Kawahara, and K. Borgwardt, "Efficient network-guided multi-locus association mapping with graph cuts," *Bioinformatics*, Vol.29, No.13, pp.i171-i179, 2013.
6. M. Sugiyama, C. Azencott, G. Dominik, Y. Kawahara, and K. Borgwardt, "Multi-task feature selection with multiple networks via maximum flows," in *Proc. of the 2014 SIAM Conf. on Data Mining (SDM'14)*, pp.199-207, 2014.
7. K. Nagano, and Y. Kawahara, "Structured convex optimization under submodular constraints," in *Proc. of the 29th Ann. Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI'13)*, pp.459-468, 2013.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

河原吉伸 (KAWAHARA, Yoshinobu)
大阪大学産業科学研究所

研究者番号：00514796

(2)研究分担者

山際伸一 (YAMAGIWA, Shinichi)
筑波大学システム情報工学系
研究者番号：10574725

(3)連携研究者

永野清仁 (NAGANO, Kiyohito)
群馬大学社会情報学部
研究者番号：20515176