

Society 5.0を支える革新的コンピューティング技術  
2018年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書
-----------------

本村 真人

東京工業大学 科学技術創成研究院  
教授

学習/数理モデルに基づく時空間展開型アーキテクチャの創出と応用

## § 1. 研究成果の概要

確率的セルラオートマタ(SCA)に基づくアニーリング方式・チップに関して, IEEE JSSC で論文発表するとともに, その収束性・実行効率向上の研究を推進した(発表準備中). また, 決定森に関しては, ExtraFerns (CANDAR2020), 閾値共有アーキテクチャ(ARC2020), Stochastic Decision Forest (発表準備中), 事前領域分割に基づく推論高速化(発表準備中)など, アーキテクチャ視点での並列化・軽量化・高速化の研究に取り組んだ.

高信頼性・安全性の学習手法学習として, 整数計画法を用いた反実仮想説明の生成手法と, その因果推定を用いた拡張手法, 多様な解候補の列挙手法を開発し, トップ AI 会議 IJCAI2020 に 1 件と AAAI2021 に 2 件が採択された. 実世界の構造データに対する組合せ最適化について各種の効率良い解法を開発し, 当該分野の第一級の学術誌と国際会議で発表した.

再生可能エネルギーのナノグリッド群を電気自動車でネットワーク化する自立型地産地消エネルギーシステム最適化問題の例を数学的に定義し, プログラミングコンテストを開催した. 参加登録者数 1716 名(約 687 名が海外)と大盛況であった. また, 過去のコンテスト成果を活かして, アニーリングマシンのグラフ埋込みアルゴリズム(17 年度課題)が学術誌 Springer Soft Computing に採択され, 買物支援サービス(19 年度課題)における時空間最適化技術を国際会議 NOLTA2020 で発表した.

複数のスピンの同時に反転しうる SCA に関し, 高温相での混合時間や, 対数温度スケジュールによる基底状態の探索可能性を証明し, 論文を公開. 結合定数の桁切りや, 複数のスピンを間引く摂動に対し, 誤差の範囲で基底状態が不変であるための十分条件を導き, 論文を公開した.

## § 2. 研究実施体制

### (1) アーキテクチャグループ

- ① 研究代表者: 本村 真人 (東京工業大学科学技術創成研究院、教授)
- ② 研究項目
  - ・ アンサンブル・オンライン学習エッジアクセラレータ
  - ・ 多目的エネルギー最小化エンジン

### (2) 機械学習グループ

- ① 主たる共同研究者: 有村 博紀 (北海道大学大学院情報科学研究科、教授)
- ② 研究項目
  - ・ 高精度アンサンブル-オンライン学習 HW の研究開発
  - ・ 高信頼性・安全性の学習アルゴリズムの研究開発
  - ・ 時空間展開型-機械学習 HW の自動運用技術・応用技術

### (3) 社会応用アルゴリズムグループ

① 主たる共同研究者: 湊 真一 (京都大学情報学研究科、教授)

#### ② 研究項目

- ・ アニーリング計算の応用展開・評価
- ・ 次世代アニーリング計算モデル
- ・ 時空間展開 HW-SW 統合アルゴリズム
- ・ 時空間展開型-最適化問題応用

### (4) 数理科学グループ

① 主たる共同研究者: 坂井 哲 (北海道大学大学院理学研究院、教授)

#### ② 研究項目

- ・ 最適グラフ埋め込み指導原理
- ・ 確率セルラオートマタ(SCA)型高速サンプリング理論
- ・ 対結合ゆらぎ基底状態安定性理論
- ・ 数理モデル社会展開

### 【代表的な原著論文情報】

[1] Kasho Yamamoto, Kazushi Kawamura, Kota Ando, Normann Mertig, Takashi Takemoto, Masanao Yamaoka, Hiroshi Teramoto, Akira Sakai, Shinya Takamaeda-Yamazaki, and Masato Motomura, "STATICA: A 512-Spin 0.25M-Weight Annealing Processor with an All-Spin-Updates-at-Once Architecture for Combinatorial Optimization with Complete Spin-Spin Interactions", IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 56, no. 1, pp. 165-178, Jan. 2021.

[2] M. Maekawa, A. Nakamura, M. Kudo, "Data-Dependent Conversion to a Compact Integer-Weighted Representation of a Weighted Voting Classifier", Proc. of ACML2020, 2020.

[3] Kentaro Kanamori, Takuya Takagi, Ken Kobayashi, Hiroki Arimura, "DACE: Distribution-Aware Counterfactual Explanation by Mixed-Integer Linear Optimization", Proc. the 29th International Joint Conference on Artificial Intelligence and the 17th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-PRICAI 2020), January 2021.

[4] Kentaro Kanamori, Takuya Takagi, Ken Kobayashi, Yuichi Ike, Kento Uemura, Hiroki Arimura, "Ordered Counterfactual Explanation by Mixed-Integer Linear Optimization", Proceedings of the 35th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2021), February 2021.

[5] Bruno Hideki Fukushima-Kimura, Satoshi Handa, Katsunori Kamakura, Yoshinori Kamijima, Akira Sakai, "Mixing time and simulated annealing for the stochastic cellular automata (SCA)." <https://arxiv.org/abs/2007.11287>