

令和元年6月21日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16354

研究課題名(和文)人工適応型エージェントモデルのための進化計算手法の開発およびその応用研究

研究課題名(英文) Evolutionary computational method for artificial adaptive agents and applications

研究代表者

林田 智弘 (Hayashida, Tomohiro)

広島大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20432685

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、(i)ニューラルネットワークの構造最適化手法の開発、(ii)クラシファイアシステムの改良、(iii)応用研究に関する研究成果を上げた。具体的には、(i)ではニューラルネットワークに対する構造最適化手法を拡張することで、主にDNNを対象とした探索的なニューラルネットワークの構造最適化手法を開発した。(ii)ではいくつかのクラシファイアシステムに関して、人工適応型エージェントの意思決定機構として応用可能なシステムへと改良した。(iii)では電力市場に関するシミュレーション分析や構造最適化されたDNNの音声データ識別タスクへの適用研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、現実問題への応用には多くの計算コストが要求される、機械学習あるいは人工知能を主に対象としている。計算コストの削減や応用可能な問題を広げるために主に、深層学習(Deep Learning)を含めたニューラルネットワークおよびクラシファイアシステムを基礎とするシステムを開発した。本研究の成果により、計算コストを抑えることができ、例えばこれまで汎用的な計算機での実装が難しかった問題に対して、機械学習などの技術を応用可能となったと言える。

研究成果の概要(英文)：This research results on (i)development of structural optimization method of neural network, (ii)improvement of classifier system, (iii)application corresponding to some problems in the real world. Specifically, (i) has developed an exploratory neural network structure optimization method mainly for DNN by extending the structure optimization method for neural networks. (ii) has improved some classifier systems into systems that can be used as decision-making mechanisms for artificial adaptive agents. (iii) has conducted simulation analysis on the electricity market and applications of the classification problems corresponding to the speech data using the DNN with optimized structure.

研究分野：機械学習手法の応用研究

キーワード：ニューラルネットワーク クラシファイアシステム 構造最適化 エージェントベースシミュレーション

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ニューラルネットワークは、人間の脳内での情報処理機構を模倣してつくられた工学モデルであり、ネットワーク状に接続された多数の演算ユニットから構成され、ネットワークの構造やユニット間の接続重みなどによってその機能特性が決定されるため、これらを適切に設定することで、任意の連続関数に対する高い近似能力を持つことが知られている。

これまでに、ニューラルネットワークの適用事例が数多く報告されており、文字認識や音声認識、文法推定などのデータ分類問題に対して Feedforward Neural Network (FNN) が適用され、その有用性が報告されている (Rajavelu et al. (1989), Vries and Principe (1990) など)。また、ニューラルネットワーク内部での情報のフィードバックを考慮した Recurrent Neural Network (RNN) が、株価予測、気象予測などの時系列データに対する高精度な予測能力を持つことが報告されている (Chow and Leung (1996), Prokhorov et al. (1998) など)。これらの研究では、非線形実数値関数の近似であれば FNN、時系列データの予測であれば RNN などのように、対象によってネットワークの種類を適切に選択する必要があることが示唆されている。さらに、ニューラルネットワークの予測能力や分類能力を最大限引き出すには、ユニット間の接続重み、学習ルール、ネットワーク構造などを最適に設定する必要がある。

対象問題に対応した適切なネットワーク構造を決定するためには、多くの調整時間が必要であり、進化計算手法によりネットワークの適切な構造を発見する手法 (Cellier and Nebot (2004), Delgado et al. (2008) など) や、接続重みを含めたネットワーク構造を遺伝的アルゴリズムにより探索的に学習する構造最適化手法 (Stanley and Miikkulainen (2002) など)、ユニット間の伝達関数の最適化手法 (Mani (1990)) などが提案されている。研究代表者は、RNN に対するタブー探索に基づく探索的な構造最適化手法を開発し、時系列データを用いた数値実験により、それまでの既存手法に比べて予測誤差を半数以下に改善することに成功している。

Deep Neural Network (DNN) は入力層と出力層、およびそれらの間の多数の層から構成される。これまでにいくつかの種類が提案されており、例えば、入力データの次元圧縮や特徴量抽出が可能な 2 層構造の Restricted Boltzmann Machine (RBM) を中間層として、出力層を FNN とした Deep Belief Network (DBN) は、入力データの特性を表す「特徴量」が各層において自動的に生成される特徴を持つ。DBN は画像データに対する分類問題に適用され、きわめて高いパフォーマンスを持つことが報告されている。適切に学習された DNN を用いることで、抽出された特徴量に基づいて、高精度にデータの分類や予測ができることが報告されている (Zeiler and Fergus (2013) など)。一般に多層構造である DNN は膨大な数のユニットから構成されるため、ユニット間の接続重みの学習だけでも多くの計算が必要であるが、コンピュータの処理速度や記憶容量が近年飛躍的に向上したことや、コンピュータネットワークの発展により、オンラインで接続された複数台のコンピュータを用いた並列計算により、ビッグデータなどの大きなデータセットに対する DNN の応用が試みられている。

2. 研究の目的

FNN や RNN などのニューラルネットワークでは、入出力関係のみを教師信号としてネットワークの学習を行うため、中間層での計算過程を解釈することは難しい。一方、上述のとおり、DNN の中間層は入力データに対する特徴量抽出の機構を持っており、その仕組みは人間の脳内での情報処理機構に近く、自律的な人工適応型エージェントの意思決定機構として採用すれば、ゲーム理論や意思決定に関する分野での興味深い知見の発見が期待される。膨大な数のユニットから構成される DNN には、不要なユニットも多く含まれると考えられ、これまでに研究代表者が開発してきたニューラルネットワークの構造最適化手法を応用し、DNN の構造を最適化することで、学習および計算過程の効率化が可能となる。

一方、部分観測マルコフ決定過程などで定義されるような離散的な環境では、ニューラルネットワークのような連続空間上の非線形写像ではなく、エージェントが離散的に行動ルールを獲得するクラシファイアが適している。研究代表者はこれまでにクラシファイアシステムの開発および改良に関する研究も行っており、本研究ではクラシファイアシステムのさらなる改良も行い、人工適応型エージェントの意思決定機構の応用研究を行う。

申請者は、ゲーム理論や電力市場に関するエージェントベースシミュレーション分析において、これまでに多くの研究で、NN、クラシファイアシステム、遺伝的アルゴリズムなどの機械学習の仕組みを用いた人工適応型エージェントが用いており、その有用性を確認している。本研究での提案手法を実装したエージェントモデルによって、社会システムに関するより有意義なシミュレーション分析を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

「(i) ニューラルネットワークの構造最適化手法の開発」、「(ii) クラシファイアシステムの改良」、「(iii) 応用研究」の順に研究を進めた。平成 28 年度にタブー探索法や遺伝的アルゴリズムなどの進化計算手法に基づく (i) ニューラルネットワークの構造最適化手法の開発を行った。平成 29 年度以降は、部分観測マルコフ決定過程などの離散的環境におけるエイリアス問題に対応した (ii) クラシファイアシステムの改良を行った。さらに、本研究の提案手法を用いた人工適応型エージェントを設計し、(iii) 応用研究として、申請者が長期間専門的に研究を行っているゲーム理論や、平成 28 年から完全自由化する日本の電力市場を対象としたエージェ

ントベースシミュレーション分析を行う。エージェントモデルには、(i)、(ii) で開発した手法を活用した。

4. 研究成果

(i) ニューラルネットワークの構造最適化手法の開発

申請者がこれまでに開発してきたニューラルネットワークに対する構造最適化手法を拡張することで、主に DNN を対象とした探索的なニューラルネットワークの構造最適化手法を開発した。

(ii) クラシファイアシステムの改良

XCS (eXtended Classifier System) や ACS (Anticipatory Classifier System) などのクラシファイアシステムに関して、主に後述のエイリアス問題を解決することにより、人工適応型エージェントの意思決定機構として応用可能なシステムへと改良する。

(iii) 応用研究

(1) ゲーム理論に関わるシミュレーション分析

構造最適化された DNN を、ゲーム理論に関わるシミュレーション分析のための人工適応型エージェントモデルに応用することで、効率的に分析を進めるとともに、開発手法の有用性を検討する。

(2) 電力市場に関するシミュレーション分析 申請者がこれまでに行ってきた、電力市場に関するシミュレーション分析へ応用する。具体的には、発電業者および電力需要者に対応するエージェントの意思決定機構として採用した分析を行う。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

1. 林田 智弘, 山本 透, 木下 拓也, 西崎 一郎, 関崎 真也, 平塚 尚人, リカレントニューラルネットワークを用いたシステム変動検出手法の提案, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), 137, pp. 242-248, 2017. 査読有.
2. Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki, Shinya Sekizaki and Shunsuke Koto, Cooperative particle swarm optimization in distance-based clustered groups, Journal of Software Engineering and Applications (JSEA), 10, pp. 143-158, 2017. DOI: 10.4236/jsea.2017.102008 査読有
3. Tomohiro Hayashida, Toru Yamamoto, Takuya Kinoshita, Ichiro Nishizaki, Shinya Sekizaki and Naoto Hiratsuka, System change detection method using recurrent neural networks, Electronics and Communications in Japan, 101, pp. 39-46, 2017. DOI: 10.1002/ecj.12020 査読有
4. 関崎 真也, 西崎 一郎, 林田 智弘, クラシファイアシステムを用いた競争環境下における電力小売事業者群のエージェントベースシミュレーション, システム制御情報学会論文誌, 30, pp. 467-479, 2017. 査読有.
5. Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki, Shinya Sekizaki, Masanori Nishida and Murman Dwi Prasetyo, Structural optimization of deep belief network by evolutionary computation methods including Tabu search, Transactions on Machine Learning and Artificial Intelligence, 6, pp. 69-80, 2018. DOI: 10.14738/tmlai.61.4048 査読有
6. 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, 武内 宏明, エイリアス状態のある POMDP に対する予測的クラシファイアシステムの改良, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), 30, pp. 658-665, 2018. 査読有
7. Hiroyuki Yamamoto, Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki, Shinya Sekizaki, Hypervolume-based multi-objective reinforcement learning: interactive approach, Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 4, pp. 93-100, 2019. DOI: 10.25046/aj040110 査読有

[学会発表](計28件)

1. 林田 智弘, 山本 透, 木下 拓矢, 西崎 一郎, 関崎 真也, 水口 拓也, PID 制御系のシステム変動検出および分類のためのニューラルネットワークの開発, 電気学会研究会資料・制御研究会「制御理論・制御技術一般」, 2019.

2. Masato Ono, Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki and Shinya Sekizaki, Development of rational decision making procedure based on additive multi-attribute utility function using strict preference information, 2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2018), 2018.
3. Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki, Shinya Sekizaki, and Yuki Ogasawara, Development of a classifier system for continuous environment using neural network, 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018), 2018.
4. 山本 浩之, 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, 強化学習に基づく最適経路発見問題における対話型多目的意思決定手法の開発, 電気学会研究会資料・システム制御合同研究会「制御工学と機械学習の最新動向」, 2018.
5. 水口 拓也, 林田 智弘, 山本 透, 木下 拓矢, 西崎 一郎, 関崎 真也, リカレントニューラルネットワークを用いた制御系のシステム変動分類, 電気学会研究会資料・システム制御合同研究会「制御工学と機械学習の最新動向」, 2018.
6. 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, 小池 翔馬, POMDP のためのニューラルネットワークを用いたクラシファイアシステムの開発, 第 62 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2018.
7. 水口 拓也, 林田 智弘, 山本 透, 木下 拓矢, 西崎 一郎, 関崎 真也, RNN の構造選択を用いたパフォーマンス駆動型の設計, 電気学会研究会資料・制御研究会「制御理論・制御技術一般(スマートシステムと制御技術シンポジウム 2018)」, 2018.
8. 大石 竜平, 西崎 一郎, 林田 智弘, 関崎 真也, 統計的潜在意味解析を用いた電力消費者の電力消費行動の特徴抽出手法の提案, 第 22 回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会, 2017.
9. 安達奨悟, 関崎 真也, 西崎一郎, 林田 智弘, 自律エージェントを用いた電力市場シミュレータの構築, 中国・四国地区 SSOR (Summer Seminar in Operations Research), 2017.
10. 古見耕次郎, 西崎一郎, 関崎 真也, 林田 智弘, サプライチェーンにおける共同生産に対するゲーム論的考察, 中国・四国地区 SSOR (Summer Seminar in Operations Research), 2017.
11. 石川 裕也, 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, Deep Belief Network の構造最適化手法の改良, 2017 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会, 2017.
12. 山本 浩之, 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, 意思決定者の選好を考慮した対話型多目的強化学習手法の開発, 2017 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会, 2017.
13. 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, 武内 宏明, エイリアス状態のある部分観測マルコフ決定過程に対する予測的クラシファイアシステムの学習過程の効率化, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2017.
14. Murman Dwi Prasetyo, Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki, and Shinya Sekizaki, Deep belief network optimization in speech recognition, the 2nd International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (SIET 2017), 2017.
15. Shogo Nishiyama, Shinya Sekizaki, Ichiro Nishizaki and Tomohiro Hayashida, Analysis of cooperative structure of demand response and market strategy of aggregator based on payoff allocation, 2017 IEEE 10th International Workshop on Computational Intelligence & Applications (IWCI A 2017), 2017.

16. Hiroyuki Yamamoto, Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki and Shinya Sekizaki, Development of interactive multi-objective reinforcement learning considering preference structure of a decision maker, 2017 IEEE 10th International Workshop on Computational Intelligence & Applications (IWCIA2017), 2017.
17. Murman Dwi Prastio, Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki and Shinya Sekizaki, Structural optimization of deep belief network theorem for classification in speech recognition, 2017 IEEE 10th International Workshop on Computational Intelligence & Applications, 2017.
18. Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki, Shinya Sekizaki and Hiroaki Takeuchi, Improved anticipatory classifier system with internal memory for POMDPs with aliased states, the 21st International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2017), 2017.
19. 林田 智弘, 山本 透, 木下 拓矢, 西崎 一郎, 関崎 真也, 水口 拓也, 機械学習に基づく時系列データの特徴抽出手法の提案および安定的システム制御のための検討, 電気学会研究資料・制御研究会, 2017.
20. 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, 趙 思蒙, 粒子間ユークリッド距離に基づく個体分類を用いた協調型粒子群最適化手法の改良, 日本オペレーションズ・リサーチ学会・2017年春季研究発表会, 2017.
21. 水口拓也, 林田 智弘, 山本透, 木下拓矢, 西崎一郎, 関崎 真也, RNN を用いたオフライン学習に基づくパフォーマンス駆動型制御系の提案, 中国・四国地区 SSOR (Summer Seminar in Operations Research), 2017.
22. 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, クラスタリングを用いたクラシファイアシステムの改良, 第 30 回人工知能学会全国大会, 2016.
23. 幸 哲也, 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, エイリアス状態を含む連続値環境に適用可能なクラシファイアシステムの開発, 2016 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会, 2016.
24. Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki, Shinya Sekizaki and Shunsuke Koto, Distance-based clustering of population and intergroup cooperative particle swarm optimization, 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2016), 2016.
25. Tomoharu Hasegawa, Tomohiro Hayashida, Ichiro Nishizaki, and Shinya Sekizaki, Agent-Based simulation of trust games for communication and information, 2016 IEEE 9th International Workshop on Computational Intelligence & Applications (IWCIA2016)(国際学会), 2016.
26. 趙 思蒙, 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, クラスタリングを用いた粒子群最適化手法の改良, 平成 28 年度 日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会, 2016.
27. 松田 智裕, 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, 被験者実験におけるネットワーク形成過程に関する逆強化学習に基づく分析, 平成 28 年度 日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会, 2016.
28. 林田 智弘, 西崎 一郎, 関崎 真也, 西田 昌憲, データ分類のための Deep Belief Network に対する構造最適化手法の提案, 第 60 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2016.

〔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
なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。