

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月27日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2012

課題番号：21700261

研究課題名（和文） 遺伝的ネットワークプログラミングによる知識発見とその応用に関する研究

研究課題名（英文） Study on Knowledge Discovery by Genetic Network Programming and Its Applications

研究代表者

間普 真吾 (MABU SHINGO)

山口大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：70434321

研究成果の概要（和文）：有向グラフ構造でプログラムを表現する遺伝的ネットワークプログラミングの学習進化アルゴリズム，およびそのデータマイニングへの応用に関する研究を行った．学習進化アルゴリズムに関しては，様々な状況に対応でき，環境変化への適応力に優れたプログラムを生成する方式を開発した．データマイニングへ応用に関しては，ネットワーク侵入検知システムを構築し高い検知率を示したほか，株式市場のトレンドに応じた売買ルールを抽出する方式を提案した．

研究成果の概要（英文）：

In this research, learning and evolution algorithms of Genetic Network Programming and its applications to data mining were studied. The proposed algorithms of learning and evolution create programs that can adapt to various situations and environmental changes. In the applications to data mining, network intrusion detection systems were created and high detection rates were shown, and rule extraction mechanisms were proposed to obtain buying and selling rules according to the trends in stock markets.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：情報システム工学

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：遺伝アルゴリズム，プログラム生成，データマイニング，学習

1. 研究開始当初の背景

生物の進化のメカニズムに基づく問題解決法が進化論的計算手法であるが，研究代表者

は有向グラフ構造を用いてプログラムを表現する遺伝的ネットワークプログラミング (Genetic Network Programming, GNP) の学習進化アルゴリズムを提案してきた。GNPは、

状況に応じた行動ルールを生成できる能力、生成されたプログラムの分かりやすさ、学習進化の性能の点で優れている。また、学術雑誌（電気学会論文誌）、進化論的計算手法に関する著名な国際会議（IEEE Congress on Evolutionary Computation, Genetic and Evolutionary Computation Conference）や国内の学術講演会等で、他機関の研究者からも GNP に関する研究発表が行われるなど広がりを見せ始めている。さらに近年、産学連携事業が活発に推進されており、ものづくりに生かせる次世代の技術開発が強く求められている。

2. 研究の目的

本課題では、これまでのシーズ研究の成果を発展させ、実用化に向けた研究開発を行っていく。研究のポイントは、1) 膨大なデータの中から有益な知識を効率よく発見する GNP を用いたデータマイニング手法の開発、および 2) 実世界の不確実性に適応でき信頼性のある意思決定システムの開発であり、あわせてネットワークの侵入検知システム（Intrusion Detection System, IDS）の構築、および株式売買システムの構築を通じて GNP の実用化に向けた研究を行う。

3. 研究の方法

(1) 遺伝的ネットワークプログラミング (GNP) の進化アルゴリズムに関する研究：

① マルチスタートノード型構造の進化に関する研究：
有向グラフ構造で表現されるプログラムをより効率的に生成するため、マルチスタートノードを導入し関数生成問題でその性能を検証した。

② オンライン適応力に優れた GNP with Reinforcement Learning の性能検証：
GNP は訓練環境でプログラムを進化させ、それを未知のテスト環境で実行させるため、環境変動に対する適応力は重要である。したがって、本研究では小型移動ロボットの行動ルール生成を例に、環境の変化にも適応できる強化学習付き GNP (GNP with Reinforcement Learning, GNP-RL) の性能検証を行った。

しかしながら、環境変化へ適応するための行動ルールの信頼性を向上させるには十分な探索を行う必要があり、適応速度が遅くなる傾向があった。一方、適応速度を上げると探索が十分に行われなくなるという問題があった。これを解決するために、二段階の強化学習を導入した新しい方式を検討した。これは、第一段階目で、複数の代替行動の中

から行動選択をすることで素早く適応することができ、代替行動も機能しなければ第二段階目でもより大きく行動系列を変更するものである。

③ 可変構造型分散 GNP に関する研究：

有向グラフ構造がもつノードの再利用機能や、状態遷移を応用し様々な問題に適用してきたが、実世界のより複雑な問題に対応するためには、多くの知識を効率よく表現できる構造としなければならない問題があった。したがって、可変型有向グラフ構造の最適化アルゴリズムに関する研究を推進し、様々な状況に対応できるプログラムの構築を行った。

実世界の問題を解決するために多様なルールを表現する場合、ある程度の大きさのプログラム構造が必要となる。しかし、大きな構造の問題点として、訓練データへの過剰適応、進化の過程での構造の大きな変化、構造の一部分のみが最適化され大部分が最適化されない、などがある。これを解決するために、分散型 GNP の研究を行ってきた。具体的には、大きな構造を複数のグループ（サブプログラム）に分割し、各グループ間の接続関係を進化させる方式である。しかしながら、この方式は同ノード数のサブプログラムに分割するのみで、問題に応じたプログラムサイズの調整ができなかった。したがって、プログラムサイズ可変型アルゴリズムを提案し性能向上を図った。プログラム構造を表現する遺伝子の中に、所属するサブプログラム番号を記憶する場所を用意し、プログラムサイズ可変型進化を可能にする交叉および突然変異オペレータを導入した。

(2) データマイニング（ルール抽出アルゴリズム）に関する研究：

① ネットワーク侵入検知システムに関する研究：
GNP によるデータマイニング方式をネットワーク侵入検知システム (IDS) に応用し不正アクセス検知率に関する分析を行った。本研究では、次の 2 方式について検討した。まず、既知の不正アクセスのパターンを GNP によるデータマイニングで抽出した後、新しいアクセスが正常アクセスであるか既知の不正アクセスであるかを抽出されたルールに基づいて分類する方式 (misuse detection) を提案した。次に、正常アクセスのパターンを学習し正常アクセス領域を生成した後、新しいアクセスが正常か不正かを分類する方式 (anomaly detection) を提案した。

GNP によるデータマイニング手法は、データベースから統計的に有意な多くのルールを抽出することが可能であるが、それらを利

用して新しいデータの分類を行う際、真に必要なルールを選択すること（ルールの剪定）で分類精度を向上させることが可能となる。したがって、ネットワーク侵入検知システムにおいて、検知率や正常アクセス誤認識率、不正アクセス誤認識率等を用いた指標に基づいて、必要なルールを選択する手法を提案した。

② GNP with Rule Accumulation (GNP-RA) の株式売買モデルへの展開：

GNP-RA は GNP のプログラムが抽出する行動ルールをプールし、ルールプールの情報に基づいて行動決定をする手法であるが、これを株式売買モデルへ展開するためのアルゴリズムの改良を行った。まず訓練データで、上昇トレンドと下降トレンドの判定を行い、それぞれに対応する買いルールと売りルールを抽出する。テストシミュレーションでは、トレンドを判定し、対応するルールに基づいて売買決定を行う。また、ルール抽出に強化学習を導入し、多くの有用なルールを抽出することを試みた。

4. 研究成果

(1) 遺伝的ネットワークプログラミング (GNP) のアルゴリズムの拡張に関する研究：

① マルチスタートノード型構造の進化に関する研究：

GNP の有向グラフ構造は、多数の判定ノードと処理ノードが方向付きリンクで接続されたものであり、ノードの重複利用が本来的に可能である。本研究では1個のグラフ構造内で、複数のスタートノードから開始される複数の独立したノード遷移が実行されることによって解の探索が効率的に行われた。また、木構造で解を表現する遺伝的プログラミングは一般に1個体から1個のプログラムを生成するが、マルチスタートノードを持つ GNP ではノードの再利用が可能であり、1個体から複数のプログラムを効率的に生成することができた。さらに、生成された複数のプログラムの適合度の標準偏差を計算することで広域探索と局所探索のバランスを調整することができた。関数生成問題で性能評価を行ったところ、マルチスタートノードなしの方式と比較して関数の表現能力が優れていることが明らかになった。

② オンライン適応力に優れた GNP with Reinforcement Learning の性能検証：

移動ロボットのベンチマークテストで実験を行ったところ、従来の GNP では、環境変化が大きくなるにつれて性能低下が顕著であったが、GNP-RL はオンライン学習によるプ

ログラムの適応機能によって性能低下を低減し、継続稼働が可能であることが分かった。また、二段階方式の強化学習方式が従来手法と比較して性能が優れていることを明らかにした。

③ 可変構造分散型 GNP に関する研究：

提案手法をマルチエージェントのベンチマーク問題であるタイルワールドに応用し性能評価を行ったところ、様々な状況に対応できるプログラムが効率的に生成できることが分かり、サイズ固定型 GNP を比較して適合度の点で優れていることが明らかになった。

(2) データマイニング (ルール抽出アルゴリズム) に関する研究：

① ネットワーク侵入検知システムに関する研究：

Misuse detection, anomaly detection とともに高い検知率を示すことがわかった。特に、anomaly detection では、未知の不正アクセスも正常アクセスからのずれを計算することで検知が可能となった。また、多くのルールの中から有効なルールを選択する方式を導入し、検知率が向上することを明らかにした。

② GNP with Rule Accumulation (GNP-RA) の株式売買モデルへの展開：

強化学習付き GNP-RA が、強化学習なしの GNP-RA と比べて抽出ルール数が3倍程度多くなった。テストシミュレーションの結果、提案手法は、強化学習なしの GNP-RA, Rule Accumulation を行わない従来の強化学習付き GNP, Buy&Hold と比較して最も良い利益率を示した。

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)

[雑誌論文] (計4件)

- ① S. Mabu, A. Tjahjadi and K. Hirasawa, Adaptability Analysis of Genetic Network Programming with Reinforcement Learning in Dynamically Changing Environments, Expert Systems with Applications, 査読有, Vol. 39, pp. 12349-12357, 2012
- ② S. Mabu, F. Ye and Kotaro Hirasawa, An Explicit Memory Scheme of Genetic Network Programming, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, Vol. 16, pp. 851-863, 2012

- ③ S. Mabu, K.Hirasawa, Efficient Program Generation by evolving Graph Structures with Multi-Start Nodes, Applied Soft Computing, Applied Soft Computing, 査読有, Vol. 11, pp. 3618-3624, 2011
- ④ S. Mabu, C.Chen, N.Lu, K.Shimada, K.Hirasawa, An Intrusion Detection Model Based on Fuzzy Class Association Rule Mining Using Genetic Network Programming, IEEE Trans.on Systems, Man, and Cybernetics, Part C : Applications and Reviews Vol. 41, 査読有, pp. 130-139, 2011

[学会発表] (計 9 件)

- ① S. Mabu, A Variable Size Mechanism of Distributed Graph Programs for Creating Agent Behaviors, 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, カンクン (メキシコ)
- ② 間普真吾, 分散型有向グラフ構造の共進化による株式売買モデル, 平成 24 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2012 年 9 月 7 日, 弘前大学 (弘前市)
- ③ S. Mabu, Rule Accumulation Method Based on Credit Genetic Network Programming, 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2012 年 6 月 15 日, ブリスベン (オーストラリア)
- ④ S. Sendari, Fuzzy Genetic Network Programming with Reinforcement Learning for Mobile Robot Navigation, 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2011), 2011 年 10 月 11 日, アンカレッジ (アメリカ)
- ⑤ S. Mabu, Enhanced Rule Extraction and Classification Mechanism of Genetic Network Programming for Stock Trading Signal Generation, ACM Genetic and Evolutionary Computation Conference 2011 (GECCO2011), 2011 年 7 月 14 日, ダブリン (アイルランド)
- ⑥ S. Mabu, Pruning Generalized Rules for Stock Markets Accumulated by Genetic Network Programming with Rule Accumulation, 2011 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2011), 2011 年 6 月 8 日, ニューオリンズ (アメリカ)
- ⑦ S. Mabu, Evaluation on the Robustness of Genetic Network Programming with Reinforcement Learning, 2010 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2010 年 10 月 12

- 日, イスタンブール (トルコ)
- ⑧ S. Mabu, Classification Based on A Multi-Dimensional Probability Distribution and Its Application to Network Intrusion Detection, IEEE World Congress on Computational Intelligence, 2010 年 7 月 23 日, バルセロナ (スペイン)
- ⑨ S. Mabu, Evolving Plural Programs Using Genetic Network Programming with Multi-Start Nodes, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2009 年 10 月 12 日, サンアントニオ (アメリカ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

間普 真吾 (SHINGO MABU)
 山口大学・大学院理工学研究科・助教
 研究者番号：70434321

(2) 研究分担者

()
 研究者番号：

(3) 連携研究者

()
 研究者番号：