

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24年 5月 21日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20360179

研究課題名（和文） 遺伝的ネットワークプログラミングと遺伝的關係プログラミングの融合に関する研究

研究課題名（英文） Research on the combination of Genetic Network Programming and Genetic Relation Programming

研究代表者

平澤 宏太郎（HIRASAWA KOTARO）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70253474

研究成果の概要（和文）：有向グラフ構造を持つ進化論的計算手法である遺伝的ネットワークプログラミング（GNP）は膨大なデータベースの中から多くの相関ルールを抽出することが可能であり、さらに遺伝的關係アルゴリズム（GRA）によって、抽出されたルールの中からより重要なルールを明確にすることが可能になった。GNP と GRA の融合方式に関する研究は、主にそれらの基本アルゴリズム、拡張アルゴリズムおよび各種応用システムの構築により行い、優れた性能を示すことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Genetic Network Programming (GNP) which is an evolutionary computation with directed graph structures can extract a large number of association rules from huge databases. In addition, Genetic Relation Algorithm (GRA) can select much more important rules from the extracted rules. In the research on the combinations of GNP and GRA, the basic algorithms, the extended algorithms and their applications were studied, and the distinguished abilities have been confirmed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2009年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：進化論的計算手法、遺伝的アルゴリズム、遺伝的プログラミング、データマイニング、相関ルール

1. 研究開始当初の背景

進化論的計算手法として自然界のシステムの適応過程をモデル化した John H. Holland の遺伝的アルゴリズム(GA)と知識表現、プログラム、概念木を扱うことが可能な John Koza の遺伝的プログラミング(GP)が著名である。GA, GP では遺伝子をストリングある

いは木構造で表現しているのに対して、研究者等は 90 年代末より有向グラフを遺伝子とする遺伝的ネットワークプログラミング (Genetic Network Programming, GNP) を提案し、その有効性の検討を行ってきた。

GNP は判定ノードと処理ノードを方向付きリンクで接続したもので、グラフ構造ゆえにノードの重複利用が可能であり、表現能力、

アルゴリズムの把握しやすさ、進化性能の点で GA, GP より優れている。又、有限オートマトン(FA)とも異なり、必要な情報を必要なときに判定するなど部分観測マルコフ環境下での進化が可能である。

科学研究費（基盤研究 B, 平成 17 年度-平成 20 年度, 遺伝的ネットワークプログラミングの学習と進化およびその応用に関する研究）では, GNP の新たな展開と GNP の応用展開に注力してきた。GNP の新たな展開では, 学習と進化の融合, マクロノード付き GNP, 可変構造型 GNP, 機能局在型 GNP, 共生進化型 GNP など GNP のアーキテクチャに関する研究を, また GNP の応用展開では, エレベータ群管理への応用, データマイニングへの応用, 株式売買戦略への応用などの研究を行い, どのような構造の GNP がどのような応用に適するのかを明らかにしてきた。また, 進化論的計算に関する著名な国際学会 (IEEE CEC, GECCO) や国内の学術講演会 (ファジシステムシンポジウム, 電気学会 C 部門大会) 等で, 他機関の研究者から GNP に関する発表が行われており, GNP の有効性が国際的に認められている。

2. 研究の目的

GNP の研究で明らかにした<真に重要な相関ルールの抽出>, <株式間の相関関係を考慮した最適化>および<個体のユニーク性を考慮した GNP の選択>には, 遺伝的関係プログラミング(GRP)が特に有向であるとの着想に至った。

従って, 本研究では上記着想のもとに遺伝的関係プログラミング(GRP)の構成に関する研究, 遺伝的ネットワークプログラミング(GNP)と遺伝的関係アルゴリズム(GRA)の融合方式に関する研究, および遺伝的ネットワークプログラミング(GNP)と遺伝的関係アルゴリズム(GRA)の融合方式の応用に関する研究を行う。

3. 研究の方法

(1) データマイニングに関する研究

① 有向グラフ GRA と無向グラフ GRA に関する研究:

状態間の相関ルール (前件部→後件部) が確信度を持つ場合に有効な有向グラフ GRA と状態間に距離を定義できる場合に有効な無向グラフ GRA の研究を行った。

② ファジメンバーシップ関数を導入したルール抽出法の提案:

連続値属性を含むデータベースからルール抽出する際、ファジメンバーシップ関数

を利用することによって、Sharp boundary 問題を解決するルール抽出法を検討した。

③ Estimation of Distribution Algorithm (EDA)を用いたデータマイニング手法の提案:

従来の交叉や突然変異による進化ではなく、確率モデルによる GNP の進化方法を提案した。

(2) GNP の新方式に関する検討

① サブルーチン付き GNP: 有向グラフ構造で表現される本体プログラムとは別に有向グラフ構造を用意しサブルーチンとして進化させる方式を開発した。

② 並列 GNP: 複雑なタスクを処理するために、2つの大きな機能に分割し並列動作する方式を開発した。また、複数の GNP の処理が競合したときの効率的な解決法について検討した。具体的には、競合が発生したときに優先すべき処理を決定するシステムを強化学習によって構築した。

③ 分散 GNP: プログラムの構造を複数個に分割し、プログラム間の遷移ルールを進化によって自動的に獲得する方式を提案した。

(3) 各種アプリケーションに関する研究

① 交通流予測問題: 過去の交通データから将来の渋滞等を予測する方式を提案した。

② ①では、交通流のクラス分けを離散的 (Low, Middle, High) に予め分割して予測を行ってきたが、②ではそれを拡張し、交通流の具体的な値 (連続値) の予測が可能なシステムをニューラルネットワークと融合することで構築した。

③ ポートフォリオ構築問題: 利益、リスク、流動性のバランス考慮した銘柄選択が可能な方式

④ 株式のトレンド予測と売買意思決定を行う GNP の構築: 株式のトレンド予測を専門に行う control GNP と売買を専門に行う operational GNP を構築し、それぞれを進化させることでトレンド予測と売買決定を協調して行うモデルを構築した。

4. 研究成果

(1) GNP の新方式に関する研究

① サブルーチン付き GNP: 株式売買シミュレーションに応用し、プログラムサイズが同じ条件のもとで、サブルーチン付き GNP

がサブルーチン無しの GNP と比べて利益率が上回ることが分かった。

② 並列 GNP：エージェントの行動系列生成に関するベンチマーク問題で、逐次機能切換え型の GNP と比べて並列 GNP がよい性能を示すことが分かった。

(1) データマイニングに関する研究

① GNP と GRA の融合方式を分類問題に適用し性能評価を行ったところ、GNP のみを利用したデータマイニングより精度が向上することを明らかにした。

② ファジイメンバーシップ関数を導入した GNP によるデータマイニングにより、ルール抽出の効率が向上するとともに、データの分類精度が向上した。

(2) 交通流予測問題

① EDA に基づく相関ルール抽出により、予測に必要な時系列ルールが従来手法と比べてより多く抽出できることが明らかになった。

② データベースに存在する属性の中から、ルール抽出に有効な属性を選択・蓄積する Attribute Accumulation メカニズムを提案し、GNP による交通流予測に応用し、高い予測精度を実現した。

(3) ポートフォリオ構築への応用

① 1つの銘柄を1つのノードに対応させ、銘柄間の相関係数を接続の強さと定義することによって、より利益率の高い銘柄選択が可能になる手法を提案した。

② 株式、債券、為替等を組み合わせたポートフォリオ構築を目的として、GRA と GNP を融合する方式を開発した。第一段階では、GNP がリターン、リスク、流動性を考慮して asset 選択を行う。第二段階では、GRA を用いて、第一段階で選択された asset 間の beta 値等に基づいて最終的なポートフォリオを構築した。本研究分野における様々な従来手法との比較で、提案手法の優位性を検証した。

(4) 本研究課題の成果について、国内外における位置付けとインパクト、今後の展望

① 本研究で構築した GNP と GRA によるデータマイニング方式は、膨大な属性の中から、適切な属性とその関係のみを独自の進化論的計算手法によって求める点が独創的である。

また、研究成果は以下のような価値がある。

② 時系列ルール、相対的ルール、例外的ルール等の相関ルールの抽出が可能になる。

③ 株式売買戦略においては実用的なポートフォリオ構築が可能になる。

④ 自動車のナビゲーションシステムにおいて、道路ネットワークの将来の渋滞予測が可能になり、環境に配慮したシステムの構築も可能になる。

⑤ グラフ構造の遺伝子を活用した実用的進化論的計算手法を確立する点で、当該分野の発展に貢献できると考えている。

⑥ 今後は、膨大なデータベースから多くのルールを抽出し、システムの安心・安全を維持するメカニズムの構築を進めていきたいと考えている。具体的には、大きな問題が発生する前の兆候を検知するネットワークセキュリティシステムや、自動車の故障検知、金融市場のトレンド予測等への応用可能性を検討する。

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)

[雑誌論文] (計 22 件)

1. Y. Chen and K. Hirasawa, A Portfolio Selection Using Genetic Relation Algorithm and Genetic Network Programming, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 6, No. 5, pp. 403-413 (2011)
2. X. Li, S. Mabu, H. Zhou, K. Shimada and K. Hirasawa, Analysis of Various Interestingness Measures in Class Association Rule Mining, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (SICE JCMSI), Vol. 4, No. 4 (2011)
3. Y. Xing, S. Mabu, L. Yuzhu and K. Hirasawa, Multi-Order Rules Extraction by Genetic Network Programming with Rule Accumulation and its Application to Stock Trading Problems, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 15, No. 5, pp. 515-524 (2011)
4. Y. Yang, S. Mabu, J. Li and K. Hirasawa, Genetic Network Programming-Sarsa with Subroutines for Trading Rules on Stock Markets, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 15, No. 5, pp. 488-494 (2011)
5. N. Lu, S. Mabu and K. Hirasawa,

- Integrated Rule Mining Based on Fuzzy GNP and Probabilistic Classification for Intrusion Detection, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 15, No. 5, pp. 495-505 (2011)
6. E. Gonzales, S. Mabu, K. Taboada, K. Shimada, K. Hirasawa, Efficient Pruning of Class Association Rules Using Statics and Genetic Relation Algorithm, *SICE JCMSI*, Vol.3, No. 5, pp. 336-345 (2010)
 7. G. Yang, S. Mabu, K. Shimada and K. Hirasawa, EvoCMAR: A New Evolutionary Method to Directly Mine Association Rules for Classification, *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 5, No. 5, pp. 574—585 (2010)
 8. X. Li, S. Mabu, H. Zhou, K. Shimada, K. Hirasawa, Genetic Network Programming with Estimation of Distribution Algorithms for Class Association Rule Mining in Traffic Prediction, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 14, No. 5, pp. 497-509 (2010)
 9. V. Parque, S. Mabu, K. Hirasawa, Evolving Asset Portfolios by Genetic Relation Algorithm, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 14, No. 5, pp. 464-474 (2010)
 10. K. Taboada, S. Mabu, E. Gonzales, K. Shimada and K. Hirasawa, Mining Fuzzy Association Rules: A General Model Based on Genetic Network Programming and its Applications, *IEEJ Transactions on Electrical and electronic Engineering*, Vol. 5, No. 3, 343-354 (2010)
 11. E. Gonzales, K. Taboada, S. Mabu, K. Shimada, K. Hirasawa: "Combination of Two Evolutionary Methods for Mining Association Rules in Large and Dense databases" *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics* Vol.13, No.5. 561-572 (2009)
 12. L. Wang, S. Mabu, F. Ye, S. Eto, X. Fan, K. Hirasawa: "Genetic Network Programming with Rule Accumulation and Its Application to Tile-World Problem" *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics* Vol.13, No.5. 551-572 (2009)
 13. Y. Yang, S. Mabu, K. Shimada, K. Hirasawa: "Intertransaction Class Association Rule Mining Based on Genetic Network Programming and Its Application to Stock Market Prediction" *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration* Vol.3, No.1. 50-58 (2010)
 14. G. Yang, K. Shimada, S. Mabu, K. Hirasawa: "A Nonlinear Model to Rank Association Rules Based on Semantic Similarity and Genetic Network Programming" *IEEJ Transactions on Electrical and Electronics Engineering* Vol. 4, No. 2. 248-256 (2009)
 15. F. Ye, L. Yu, S. Mabu, K. Shimada, K. Hirasawa: "Genetic Network Programming with Rules" *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics* Vol. 13, No. 1. 16-24 (2009)
 16. H. Zhou, W. Wei, K. Shimada, S. Mabu, K. Hirasawa: "Time Related Association Rules Mining with Attributes Accumulation Mechanism and its Application to Traffic Prediction" *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics* Vol 12, No. 5. 467-478 (2008)
 17. W. Wei, H. Zhou, K. Shimada, S. Mabu, K. Hirasawa: "Comparative Association Rules Mining Using Genetic Network Programming (6NP) with Attributes Accumulation Mechanism and its Application to Traffic Systems" *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics* Vol. 12, No. 4. 393-403 (2008)
 18. Y. Chen, S. Mabu, K. Shimada, K. Hirasawa: "Trading Rules on Stock Markets Using Genetic Network Programming with Sarsa Learning" *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics* Vol. 12, No. 4. 383-392 (2008)
 19. Y. Chen, S. Mabu, K. Shimada, K. Hirasawa: "Real Time Updating Genetic Network Programming for Adapting to the Change of stock Prices" *IEEJ Trans. EIS* Vol. 129, No. 2. 344-354 (2009)

20. E. Ohkawa, Y. Chen, Z. Bao, S. Mabu, K. Shimada, K. Hirasawa: "Buying and selling stocks of Multi Brands Using Genetic Network Programming with Control Nodes" 電気学会論文誌 C Vol. 128, No. 12. 1811-1819 (2008)
21. 間普真吾, 陳艷, 平澤宏太郎: "フラグノートおよび重要度指標の調整を用いた遺伝的ネットワークプログラミングによる株式売買ルールの生成" 電気学会論文誌 C Vol. 128, No. 8. 1462-1469 (2008)
22. 嶋田香, 間普真吾, 森川英治, 平澤宏太郎, 古月敬之: "遺伝的ネットワークプログラミングによる不完全データベースからのクラス相関ルールの抽出" 電気学会論文誌 C Vol. 128, No. 5. 795-803 (2008)

[学会発表] (計 37 件)

1. H. Zhou, S. Mabu, K. Shimada and K. Hirasawa, Traffic Prediction using Time Related Association Rules and Vehicle Routing, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, アンカレッジ (アメリカ), 2011/10/10
2. Y. Gu, S. Mabu, Y. Yang, J. Li, and K. Hirasawa, Trading Rules on Stock Markets Using Genetic Network Programming- Sarsa Learning with Plural Subroutines, SICE Annual Conference, 東京, 2011/09/14
3. V. Parque, S. Mabu and K. Hirasawa, Guided Genetic Relation Algorithm on the Adaptive Asset Allocation, SICE Annual Conference, 東京, 2011/09/14
4. Y. Yang, S. Mabu, Y. Gu and K. Hirasawa, Multi-Subroutines in Genetic Network Programming-Sarsa for Trading Rules on Stock Markets, SICE Annual Conference, 東京, 2011/09/14
5. V. Parque, S. Mabu and K. Hirasawa, Genetic Network Programming with Changing Structures for a Novel Stock Selection Model, ACM Genetic and Evolutionary Computation Conference 2011, ダブリン (アイルランド), 2011/07/13
6. X. Li, S. Mabu and K. Hirasawa, Use of Infeasible Individuals in Probabilistic Model Building Genetic Network Programming, ACM Genetic and Evolutionary Computation Conference 2011, ダブリン (アイルランド), 2011/07/14
7. X. Li, B. Li, S. Mabu and K. Hirasawa, A Novel Estimation of Distribution Algorithm Using Graph-based Chromosome Representation and Reinforcement Learning, IEEE Congress on Evolutionary Computation, ニューオリンズ (アメリカ), 2011/06/06
8. V. Parque, S. Mabu, K. Hirasawa, Variable Size Genetic Relation Algorithm for Portfolio Diversification, SCIS&ISIS, Okayama, Japan, 2010/12/10
9. R. Nohmura, H. Zhou, S. Mabu, K. Hirasawa Fuzzy Class Association Rule Mining for Traffic Prediction using Genetic Network Programming with Multi-Branch and Full-Path, SCIS&ISIS 2010, Okayama, Japan, 2010/12/10
10. Y. Yang, J. Li, S. Mabu and K. Hirasawa GNP-Sarsa with Subroutines for Trading Rules on Stock Markets, 2010 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Istanbul, Turkey, 2010/10/12
11. V. Parque, S. Mabu and K. Hirasawa Asset selection in global financial markets using Genetic Network Programming, 2010 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Istanbul, Turkey, 2010/10/11
12. Y. Zhang, X. Li, Y. Yang, S. Mabu, Y. Jin, K. Hirasawa, Functionally Distributed Systems Using Parallel Genetic Network Programming, SICE Annual Conference 2010, Taipei, Taiwan, 2010/08/21
13. V. Parque, S. Mabu, K. Hirasawa Enhancing Global Portfolio Optimization using Genetic Network Programming, SICE Annual Conference 2010, Taipei, Taiwan, 2010/08/21
14. E. Gonzales, S. Mabu, K. Taboada, K. Hirasawa, Web Mining using Genetic Relation Algorithm, SICE Annual Conference 2010, Taipei, Taiwan, 2010/08/20
15. X. Li, S. Mabu, H. Zhou, K. Shimada, K. Hirasawa, Analysis of Various Interesting Measures in Classification Rule Mining for Traffic Prediction,

- SICE Annual Conference 2010, Taipei, Taiwan, 2010/08/20
16. C. Chen, S. Mabu, C. Yue, K. Shimada, K. Hirasawa: "Network Intrusion Detection using Fuzzy Class Association Rule Mining Based on Genetic Network Programming" IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2009, San Antonio, USA, 2009/10/12
 17. V. Parque, S. Mabu, K. Hirasawa: "Global Portfolio Diversification by Genetic Relation Algorithm" ICROS-SICE International Joint Conference 2009, Fukuoka, Japan, 2009/08/19
 18. X. Li, S. Mabu, H. Zhou, K. Shimada, K. Hirasawa: "Genetic Network Programming with Estimation of Distribution Algorithms, and its Application to Association Rule Mining for Traffic Prediction" ICROS-SICE International Joint Conference 2009, Fukuoka, Japan, 2009/08/20
 19. E. Gonzales, S. Mabu, K. Taboada, K. Shimada, K. Hirasawa: "Class Association Rule Mining with Correlation Measures using Genetic Network Programming" ICROS-SICE International Joint Conference 2009. (20090820). Fukuoka, Japan
 20. Y. Wang, S. Mabu, F. Ye, K. Hirasawa: "Rule Accumulation Method with Modified Fitness Function based on Genetic Network Programming" ICROS-SICE International Joint Conference 2009, Fukuoka, Japan, 2009/08/19
 21. Y. Gong, S. Mabu, C. Chen, Y. Wang, K. Hirasawa: "Intrusion Detection System Combining Misuse Detection and Anomaly Detection Using Genetic Network Programming" ICROS-SICE International Joint Conference 2009, Fukuoka, Japan, 2009/08/20
 22. C. Yue, S. Mabu, Y. Chen, Y. Wang, K. Hirasawa: "Agent Bidding Strategy of Multiple Round English Auction based on Genetic Network Programming" ICROS-SICE International Joint Conference 2009, Fukuoka, Japan, 2009/08/20
 23. B. Li, S. Mabu, K. Hirasawa: "Automatic Program Generation with Genetic Network Programming for Tile-world" SICE SSI 2009, 横浜, 2009/11/24
 24. E. Gonzales, K. Taboada, K. Shimada, S. Mabu, K. Hirasawa: "Evaluating Class Association Rules using Genetic Relation Programming" IEEE Congress on Evolutionary Computation 2008, 香港, 2008/06
 25. Y. Chen, S. Mabu, K. Shimada, K. Hirasawa: "Construction of Portfolio Optimization System using Genetic Network Programming with Control Nodes" ACM Genetic and Evolutionary Computation Conference 2008, アメリカ, 2008/06
 26. W. Wei, H. Zhou, M. K. Mainali, K. Shimada, S. Mabu, K. Hirasawa: "Traffic Flow Prediction with Genetic Network Programming" SICE Annual Conference 2008, 東京, 2008/08
 27. H. Zhou, W. Wei, M. K. Mainali, K. Shimada, S. Mabu, K. Hirasawa: "Class Association Rules Mining with Time Series and Its Application to Traffic Load Prediction" SICE Annual Conference 2008, 東京, 2008/08
 28. K. Taboada, E. Gonzales, K. Shimada, S. Mabu, K. Hirasawa: "Discovering Fuzzy Classification Rules using Genetic Network Programming" SICE Annual Conference 2008, 東京, 2008/08
6. 研究組織
 (1)研究代表者
 平澤 宏太郎 (早稲田大学)
 理工学術院 教授
 研究者番号 : 70253474
- (2)研究分担者 ()
 研究者番号 :
- (3)連携研究者
 間普 真吾 (早稲田大学)
 理工学術院 助教
 研究者番号 : 70434321