

平成 22 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2009

課題番号：18360191

研究課題名（和文） 機能局在と階層構造を有するシステムの知的構成に関する研究

研究課題名（英文） Study on Hierarchical and Function Localized Brain-like Systems

研究代表者

古月 敬之（FURUZUKI TAKAYUKI (HU JINGLU)）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：50294905

研究成果の概要（和文）：

本研究では、連続および離散複雑システムの共通の特質である機能局在と階層構造を、連続と離散システム上に統一した概念で、学習と進化により知的に構成する基本技術の開発とその応用展開を行った。具体的に、教師あり学習と教師なし学習および強化学習を融合した自己組織化階層型機能局在学習ネットワークと遺伝子をネットワーク化した機能局在型進化的計算アルゴリズム（GNP）を構築し、それをベースにして大規模複雑なシステムの予測・制御やバイオデータの分類などへの応用展開を行った。

研究成果の概要（英文）：

Function localization and layer structure are two basic features of complex systems. In this research, we developed two hierarchical function localized brain-like systems: one is Self-organizing function localized learning system with supervised learning, unsupervised learning and reinforcement learning; the other is function localized genetic network programming. And the developed systems are applied to prediction, control and classification of complex systems.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
平成 19 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
平成 20 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
平成 21 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

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：学習、階層構造、機能局在、進化、脳モデル、データ分類、時系列予測

## 1. 研究開始当初の背景

ハーバート・A・サイモンが名著“システムの科学”で述べているように、複雑なシステムの特徴は各種の機能がシステム内に局

在する機能局在と全体システムが上位・下位のサブシステムよりなる階層構造である。従来、複雑システムのモデルとして連続システムについては大脳・小脳をモデル化した人工

ニューラルネットワーク、また、離散システムについては複数のエージェントの協調作業により作業全体の効率化を図るマルチエージェントシステム等が提案されているが、複雑システムの本質である機能局在と階層構造を同時に考慮していない。

## 2. 研究の目的

人工ニューラルネットワークおよびマルチエージェントシステムにおいて、複雑システムの本質である機能局在と階層構造を同時に考慮して知的なシステムを構成することを目指して、本研究では、連続および離散複雑システムの共通の特質である機能局在と階層構造を、連続と離散システム上に統一した概念で、学習と進化により知的に構成する基本技術を開発する。さらに、これらの基本技術をベースにして、大規模複雑なシステムの予測・コントロールやバイオデータの分類などへの応用展開を行う。

## 3. 研究の方法

機能局在階層構成による複雑システムの知的構成に関する研究では、連続・離散両システムに共通なシステム構成に関する概念の構築、連続システムの機能局在・階層構造を学習により構築する基本技術、離散システムの機能局在・階層構造を進化により構築する基本技術およびこれ等の応用研究等を多岐にわたって行う必要となっている。具体的に、まず、教師あり学習と教師なし学習および強化学習を融合した自己組織化階層型機能局在学習ネットワークと遺伝子をネットワーク化した進化的計算アルゴリズム(GNP)を基本要素として利用し、連続・離散両システムに適用可能な機能局在と階層構造の基本方式の検討を行い、それから、機能局在モジュールの自立とモジュール間の相互作用、および下位構造と上位構造の機能分担と情報交換に焦点をあて機能局在構成および階層構成を具体化する。さらに、これによって構成した知的システムを連続システムおよび離散システムのコントロール・予測・分類などの展開技術を開発する。

## 4. 研究成果

当初の計画の通り、研究が順調に進展してきて、研究の目的を達成して、次の研究成果を上げている。

(1) 教師あり学習と教師なし学習および強化学習を融合した自己組織化階層型機能局在学習ネットワークについて、下記の技術を開発し、その有効性を確認した。 脳の Cell assembly 現象をモデル化し、複数個のモジュールネットワークを動的にオーバーラッピングすることにより連続系システムの機能局在を実現する技術を開発した； 脳の機能局在をモデル化し、基本ネットと制御ネットの階層構成により連続系複雑システムの構築技術を開発した； 小脳、大脳および大

脳基底における異なる学習モデルを統合化し、機能局在・階層構成の連続系複雑システムを知的に構築するための教師あり学習、教師なし学習および強化学習からなる Brain-like 学習技術を開発した。

(2) 遺伝子をネットワーク化した進化的計算アルゴリズム(GNP)について、次の技術を開発し、その有効性を明らかにした。 GNPの中にオーバーラップする複数モジュール GNP を内蔵し、これらが相互作用するスイッチング機構を持つ機能局在型の離散システムを構築する技術を開発した； 上位システムを実現する GNP と下位システムを実現する GNP がデータを介して情報交換する階層構造の離散系複雑システムを構築する技術を開発した； 強化学習技術を取り入れた機能局在・階層構成の離散系複雑システムを知的に構築するための GNP の Brain-like な学習・進化アルゴリズムを開発した。

(3) 開発した機能局在と階層構成を特徴とする知的システムを連続システムおよび離散システムのコントロール・予測・分類などの展開技術を開発した。 時系列予測への応用について、複雑な時系列予測や大規模なデータ分類を対象とするマルチサポートベクターマシン(SVM)システムを開発した。複数個の SVM からなる階層型 SVM ネットワークの知的構成技術や出力ベースの領域分割技術などを開発した。雑音が多くてランダムに近い為替レートや株価指数などの実時系列の予測で提案 SVM ネットワークの有効性を明らかにした。 タンパク質の機能分類への応用について、階層型自動修正技術を有するマルチラベル分類システムを開発した。クラス間の不均衡による分界線のオフセットの自動修正技術と SVM 快速学習のための訓練データ削減技術や多クラス・多ラベルの誤分類校正技術などを開発し、ベンチマック問題を通してその有効性を明らかにした。 タンパク質の構造予測への応用について、改良型分布推定アルゴリズム EDA を提案した。改良型 Backtracking 個体修復技術と EDA のための改良型タンパク質構造の評価技術やボルツマンマシンを用いた適応型 Niching 技術などを開発し、ベンチマック問題を通してその有効性を明らかにした。 また、人事評価システム、株銘柄の評価システムへの応用技術や、医療画像の情報検出・分類への応用技術なども開発した。

## 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 65 件)

01 Y.Cheng, L.Wang and J.Hu, "A Two-step Scheme for Polynomial NARX Model Identification Based on MOEA with

- Pre-screening Process", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, 6(3), 2011. (査読付)
- 02 J.Zhang, J.Hu and H.Zhu, "Contour Extraction of Glomeruli by Using Genetic Algorithm for Edge Patching", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, 6(3),2011. (査読付)
- 03 B.Li, Q.Wang and J.Hu, "Feature Subset Selection: A Correlation-Based SVM Filter Approach", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, 6(2), 2011. (査読付)
- 04 L.Wang, Y.Cheng and J.Hu, "A Quasi-ARX Neural Network with Switching Mechanism to Adaptive Control of Nonlinear Systems", *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, 3(4), 2010. (査読付)
- 05 B.Chen and J.Hu, "A Hybrid EDA for Protein Folding Based on HP Model", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, 5(4), 2010. (査読付)
- 06 J.Zhang and J.Hu, "Color Quantization Based on Hierarchical Frequency Sensitive Competitive Learning", *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 14(4), 375-381, 2010. (査読付)
- 07 B.Chen, L.Ma and J.Hu, "An Improved Multi-label Classification Method Based on SVM with Delicate Decision Boundary", *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol.6, No.4, 1605-1614, 2010. (査読付)
- 08 L.Wang, Y. Cheng and J.Hu, "Nonlinear Adaptive Control Using a Fuzzy Switching Mechanism Based on Improved Quasi-ARX Neural Network", in *Proc of IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'10)*(Barcelona), July 2010. (査読付)
- 09 G.Sun, J.Hu and G.Wu, "A Novel Frequency Band Selection Method for Common Spatial Pattern in Motor Imagery Based Brain Computer Interface", in *Proc of IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'10)* (Barcelona), July 2010. (査読付)
- 10 B.Chen, W.Gu and J.Hu, "An Improved Multi-label Classification Based on Label Ranking and Delicate Boundary SVM", in *Proc of IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'10)*(Barcelona), July 2010. (査読付)
- 11 B.Chen and J.Hu, "An Adaptive Niching EDA Based on Clustering Analysis", in *Proc. of IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'10)* (Barcelona), July 2010. (査読付)
- 12 Y.Chen and J.Hu, "eSBH: An Accurate Constructive Heuristic Algorithm for DNA Sequencing by Hybridization", in *Proc. of the 10th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (IEEE-BIBE2010)* (Philadelphia), May 2010. (査読付)
- 13 J.Zhang, J.Hu and H.Zhu, "Extraction of Glomeruli Using a Canny Operator with a Feedback Strategy", *JAMIT Medical Imaging Technology*, 28(2), 127-134, 2010. (査読付)
- 14 B.Chen and J.Hu, "A Novel Clustering Based Niching EDA for Protein Folding", in *Proc. of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009)* (India), 12, 2009, pp.748-753. (査読付)
- 15 Y.Cheng, L.Wang and J.Hu, "A Two-step Method for Nonlinear Polynomial Model Identification Based on Evolutionary Optimization", in *Proc. of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC2009)* (India), 12, 2009, pp.613-618. (査読付)
- 16 B.Zhou and J.Hu, "A Dynamic Pattern Recognition Approach Based on Neural Network for Stock Time-Series", in *Proc. of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC2009)* (India), 12, 2009, pp.1552-1555. (査読付)
- 17 L.Wang, Y.Cheng and J.Hu, "Adaptive Control for Nonlinear Systems Based on Quasi-ARX Neural Network", in *Proc. of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC2009)* (India), 12, 2009, pp.1548-1551. (査読付)
- 18 Q.Wang, B.Li and J.Hu, "Feature Selection for Human Resource Selection Based on Affinity Propagation and SVM Sensitivity", in *Proc. of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC2009)* (India), 12, 2009, pp.31-36. (査読付)

- 19 Q.Wang, B.Li and J.Hu, "Human Resource Selection Based on Performance Classification Using Weighted Support Vector Machine", *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 13(4), 407-417, 2009. (査読付)
- 20 J.Zhang and J.Hu, "An Automatic Segmentation Technique for Color Images Based on SOFM Neural Network", in *Proc. of International Joint Conference on Neural Networks* (Atlanta), June 2009, pp.3528-3533. (査読付)
- 21 B.Li, Q.Wang and J.Hu, "A Fast SVM Training Method for Very Large Datasets", in *Proc. of International Joint Conference on Neural Networks* (Atlanta), June 2009, pp.1784-1789. (査読付)
- 22 J.Ma, J.Zhang and J.Hu, "Glomerulus Extraction by Using Genetic Algorithm for Edge Patching", in *Proc. 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation* (CEC'09) (Trondheim), 5, 2009, pp.2474-2479. (査読付)
- 23 B.Chen, L.Li and J.Hu, "A Novel EDAs Based Method for HP Model Protein Folding", in *Proc. 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation* (CEC'09) (Trondheim), 5, 2009, pp.309-315. (査読付)
- 24 J.Zhang and J.Hu, "Automatic Segmentation Technique for Color Images", *ICGST International Journal on Graphics, Vision and Image Processing* (GVIP), 9(3), 41-49, 2009. (査読付)
- 25 J.Zhang and J.Hu, "Renal Biopsy Image Segmentation Based on 2-D Otsu Method with Histogram Analysis", *JAMIT Medical Imaging Technology*, 27(3), 185-192, 2009. (査読付)
- 26 J.Zhang, Q.Zhang and J.Hu, "RGB Color Centroids Segmentation (CCS) for Face Detection", *ICGST International Journal on Graphics, Vision and Image Processing* (GVIP), 9(2), 1-9, 2009. (査読付)
- 27 B.Chen, J.Hu, L.Duan and Y.Gu, "Network Administrator Assistance System Based on Fuzzy C-means Analysis", *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 13(2), 91-96, 2009. (査読付)
- 28 W.Dou, J.Hu, K.Hirasawa and G.Wu, "Distributed Multi-Relational Data Mining Based on Genetic Algorithm", in *Proc of IEEE Congress on Evolutionary Computation* (CEC2008) (Hongkong), 6, 2008, pp.744-750. (査読付)
- 29 Y.Chen, J.Hu, K.Hirasawa and S.Yu, "Solving Deceptive Problems Using A Genetic Algorithm with Reserve Selection", in *Proc of IEEE Congress on Evolutionary Computation* (CEC2008) (Hongkong), 6, 2008, pp.884-889. (査読付)
- 30 嶋田・間普・森川・平澤・古月, "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関連ルールの抽出", *電気学会論文誌 C*, 128(5), 795-803, 2008 (査読付)
- 31 間普・平澤・島山・古月, "Actor-Criticを用いた遺伝的ネットワークプログラミングの小型移動ロボットの行動生成における性能評価", *計測自動制御学会論文集*, 44(4), 343-350, 2008 (査読付)
- 32 Y.Chen, J.Hu, K.Hirasawa and S.Yu, "Multiple Sequence Alignment Based on Genetic Algorithms with Reserve Selection", in *Proc. of 2008 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control* (ICNSC2008) (Sanya), 4, 2008, pp1512-1516. (査読付)
- 33 B.Li, J.Hu and K.Hirasawa, "An Improved Support Vector Machine with Soft Decision-Making Boundary", in *Proc. of the IASTED Inter. Conference on Artificial Intelligence and Applications* (AIA2008) (Innsbruck), 2, 2008, pp.40-45. (査読付)
- 34 T.Sasakawa, J.Hu and K.Hirasawa, "A Brainlike Learning System with Supervised, Unsupervised, and Reinforcement Learning", *Electrical Engineering in Japan*, 162(1),32-39, 2008. (査読付)
- 35 B.Li, J.Hu and K.Hirasawa, "Support Vector Machine Classifier with WHM Offset for Unbalanced Data", *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 12(1), 94-101, 2008. (査読付)
- 36 Y.Chen, J.Hu, K.Hirasawa and S.Yu, "Performance Tuning of Genetic Algorithm with Reserve Selection", in *Proc. of IEEE Congress on Evolutionary Computation* (CEC2007) (Singapore), 9, 2007, pp.2202-2209. (査読付)

- 37 S.Eto, S.Mabu, K.Hirasawa and J.Hu, "Genetic Network Programming with Control Nodes", in Proc. of IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2007) (Singapore), 9, 2007, pp.1023-1028, (査読付)
- 38 間普・平澤・古月, "強化学習と重要度指標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モデル", 電気学会論文誌 C, 127(7), 1061-1067, 2007. (査読付)
- 39 Y.Chen, J.Hu, K.Hirasawa and S.Yu, "GARS: An Improved Genetic Algorithm with Reserve Selection for Global Optimization", in Proc. of Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO2007), (London), 7, 2007, pp. 1173-1178. (査読付)
- 40 J.Hu, T.Sasakawa, K.Hirasawa and H.Zheng, "A Hierarchical Learning System Incorporating with Supervised, Unsupervised and Reinforcement Learning", LNCS 4491: *Advances in Neural Network - ISNN 2007* (Nanjing), Part I, 5, 2007, pp.403-412 (査読付)
- 41 江藤・畠山・間普・平澤・古月, "重要度指標付き Genetic Network Programming における機能切り替えについて", 情報処理学会論文誌, 47(9), 2860-2868, 2006. (査読付)
- 42 笹川・古月・平澤, "教師あり学習・教師なし学習・強化学習を複合した brain-like 学習システム", 電気学会論文誌 C, 126(9), 1165-1172, 2006. (査読付)
- 43 S.Eto, S.Mabu, K.Hirasawa and J.Hu, "Realizing Functional Localization Using Genetic Network Programming with Importance Index", *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 10(4), 555-566, 2006. (査読付)
- 44 T.Sasakawa, J.Hu and K.Hirasawa, "Performance Optimization of Function Localization Neural Network by Using Reinforcement Learning", in Proc. of International Joint Conference on Neural Networks (Montreal), 8, 2005, pp.1314-1319 (査読付)
- 45 B.Li, J.Hu, K.Hirasawa, P.Sun and K.Marko, "Support Vector Machine with Fuzzy Decision-Making for Real-world Data Classification", in Proc. of International Joint Conference on Neural Networks (Vancouver), 7, 2006, pp.1314-1319 (査読付)

〔図書〕(計2件)

- 01 Benhui Chen and Jinglu Hu, "Protein Structure Prediction Based on HP Model Using an Improved Hybrid EDA", in book entitled *Exploitation of Linkage Learning in Evolutionary Algorithms - AL03*, Y.P. Chen Eds, pp.193-214, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2010.
- 02 古月 敬之, 線形特性を有するニューラルネットワーク, 「ニューラルネットワーク計算知能」(渡辺桂吾編著), 森北出版株式会社(東京), 27-49, 2006

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

.氏名: 古月 敬之 (FURUZUKI Takayuki (HU J.))

.所属研究機関: 早稲田大学

.部局: 理工学術院

.職名: 教授

.研究者番号: 50294905

### (2) 連携研究者

.氏名: 平澤 宏太郎 (HIRASAWA Kotaro)

.所属研究機関: 早稲田大学

.部局: 理工学術院

.職名: 教授

.研究者番号: 70253474

.氏名: 間普 真吾 (MABU Shingo)

.所属研究機関: 早稲田大学

.部局: 理工学術院

.職名: 助教

.研究者番号: 70434321

.氏名: 嶋田 香 (SHIMADA Kaoru)

.所属研究機関: 早稲田大学

.部局: 理工学術院

.職名: 客員研究員

.研究者番号: 20454100