

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：23901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500181

研究課題名(和文)自己・他者学習機能を有す脳情報処理模倣型統合システムとその応用

研究課題名(英文)An Integrated System Mimicking Brain Information Processing with Learning Functions for Self and Others, and Its Application

研究代表者

小林 邦和 (Kobayashi, Kunikazu)

愛知県立大学・情報科学部・准教授

研究者番号：40263793

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、先ず他者の状態や行動の予測を行う状態・行動予測モデル、他者の行動政策の推定を行う政策推定モデル、他者の行動意図の推定を行う意図推定モデル、複数の感覚刺激の中から特定の刺激のみに着目する注意生成モデル、ヒトの情動を模倣した情動生成モデルをそれぞれ構築した。次に、それらのモデルと学習・推論システムを統合し、マルチエージェントシステムにおける協調行動の創発を指向した脳情報処理模倣型統合システムを開発した。同時に計算機シミュレーションとロボット実験により、本システムの性能評価を行った。なお、成果は、学術論文23編、学会発表(国際会議、国内会議)69編、図書6冊として公表した。

研究成果の概要(英文)：This study developed the following five models: (1) a state-action prediction model which predicts other's state and action, (2) a policy estimation model which estimates other's action policy, (3) an intention estimation model which estimates other's intention, (4) an attention generation model which focuses on particular stimulus out of plural sensitive stimuli, (5) an emotion generation model which imitates human emotion. After that, an integrated system mimicking brain information processing with learning functions was developed based on the five proposed models for emerging cooperative behavior in multi-agent systems. Through both computer simulation and robot experiment, the proposed system was evaluated.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：マルチエージェント 強化学習 意図推定 行動予測 注意生成 脳情報処理 ロボット 機械学習

## 1. 研究開始当初の背景

行動主体であるエージェントが複数存在するマルチエージェントシステム(以下、MAS と略記)では、単体エージェントのみ存在するシングルエージェントシステム(以下、SAS と略記)と比較して、頑健性、柔軟性、及び負荷分散という優れた特徴をもつことが知られている。それ故、MAS は SAS では対処が困難な大規模で複雑な問題を解決するアプローチとして注目を集めている。機械学習や人工知能では、MAS において単体エージェントに学習能力を付加し、環境変化へ柔軟に対応させる研究が盛んに行われている。その中でも、ヒトの大脳皮質・基底核ループを模倣した強化学習は、エージェントの内部モデルの構築において注目を集めている。その反面、MAS では状態空間の爆発問題、同時学習問題、不完全知覚問題などの解決すべき重要課題が残されている。

一方、MA では与えられた問題を解決するため、協調行動の実現が重要な要素となる。そのために、他者の状態や行動の予測、行動政策の推定、行動意図の推定といったアプローチが、これまで独自に提案されている。なお予測と推定は、それぞれ対象が観測可か、観測不可かで使い分けている。これらの予測・推定モデルは、上記 MAS の課題を解決するアプローチとして注目されている。一方、心理学では、複数の感覚刺激の中から特定の刺激のみに着目する選択的注意という概念が知られ、視覚モデルや推論モデルへ導入した研究が報告されている。この注意モデルは、エージェントの知覚入力に制限を加えることができるので、上記 MAS の課題を解決することが期待される。また報告者らは、柔軟な行動決定・意思決定の実現を目指し、情動概念の導入を試みる研究を行っている。この情動モデルは、エージェントの行動様式に多様性を与え、上記 MAS の課題を解決することが期待される。本研究では、前述の状態・行動予測モデル、政策・意図推定モデル、注意・情動生成モデルを統合することで、上記 MAS が抱える課題を解決しようと試みる。

更に本統合システムを MAS のロボットへ実装する。その場合、ロボットのセンサー(知覚)入力とモータ(行動)出力は、時系列データとして扱う必要が生じる。そこで、時系列データをまとまりのある部分で分割(分節化)することは、ロボットの基本行動の学習や協調行動の実現において重要となる。工学応用に向けて、本研究ではこのような分節化の手法を考案する。

## 2. 研究の目的

MAS が抱える(1)状態空間の爆発問題、(2)同時学習問題、(3)不完全知覚問題という3つの主要課題に着目し、それらの解決策を提示する。まずエージェントの学習に関して、これまで着目されていなかった、エージェントが自己の基本行動様式を獲得する自己学習

と他者との協調行動様式を獲得する他者学習に陽に区別することを提唱する。次に状態・行動予測モデル、政策・意図推定モデル、注意・情動生成モデルから構成される脳情報処理模倣型統合システムを提案する。本研究の最終目標は、本統合システムを用いて脳情報処理機能を解明することである。

## 3. 研究の方法

本研究の方法は、以下の通りである。

(1) 自己学習と他者学習の定義: MAS におけるエージェントの行動学習は、その性質より、自己の基本行動様式を獲得する自己学習と他者との協調行動様式を獲得する他者学習に分けられる。なお本研究では、協調行動は基本行動の組み合わせで表現できるものと仮定する。自己学習で獲得する基本行動は、MAS 特有の行動ではなく、原則 SAS で必要な要素行動と考えられる。従って、まず SAS において、エージェントが要素行動を獲得するように自己学習を行う。次に MAS において、エージェントが協調行動を獲得するように他者学習を行う。この他者学習では、以下で述べる状態・行動予測モデルと政策・意図推定モデルを用いて、協調行動を促進するように効率的な学習を図る。

(2) 各種モデルの構築: 既存モデルを基盤として、他者の状態や行動の予測を行う状態・行動予測モデル、他者の行動政策の推定を行う政策推定モデル、他者の行動意図の推定を行う意図推定モデル、複数の感覚刺激の中から特定の刺激のみに着目する注意生成モデル、ヒトの情動を模倣した情動生成モデルをそれぞれ構築する。

(3) 脳情報処理模倣型統合システムの開発: 上述の各種モデルと学習・推論システムを統合し、MAS における協調行動の創発を指向した脳情報処理模倣型統合システムを開発する。同時に計算機シミュレーションにより、本システムの性能評価を行う。本システムでは、基本技術として、入力情報の特徴抽出と情報圧縮を行う自己組織化写像マップ(SOM)、部分情報から推論を行うベイジアンネットワーク(BN)、動的システムの同定を行う相互結合型ニューラルネットワーク(RNN)を用いる。

(4) ロボット実験による検証: 開発した統合システムをロボット環境で実装し、その性能評価と検証を行う。その際、ロボットのセンサー(知覚)入力とモータ(行動)出力という時系列データの分節化を行う手法を考案し、センサーとモータの要素分割を行う。

## 4. 研究成果

本研究では、以下の成果が得られた。

(1) 各種モデルの構築: 既存モデルを基礎として、他者の状態や行動の予測を行う状態・行動予測モデル、他者の行動政策の推定を行う政策推定モデル、他者の行動意図の推定を行う意図推定モデル、複数の感覚刺激の中から

特定の刺激のみに着目する注意生成モデル，ヒトの情動を模倣した情動生成モデルをそれぞれ構築した．

(2) 脳情報処理模倣型統合システムの開発:初年度に提案した各種モデル(状態・行動予測モデル, 政策・意図推定モデル, 情動生成モデル)と学習・推論システムを統合し, マルチエージェントシステムにおける協調行動の創発を指向した脳情報処理模倣型統合システムを開発した．

(3) ロボット実験による性能検証:開発した統合システムをロボット環境で実装し, MASにおいて協調行動が創発されることを確認した．

#### 5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計 25 件)

(1) 呉本 堯, 渡邊 駿, 小林 邦和, 馮 良炳, 大林 正直, 相互結合型ネットワークにおけるメタヒューリスティクスを用いた動的想起, 電気学会論文誌, 査読有, Vol.131-C, No.8, pp.1475-1484, 2011.

(2) 大林 正直, 内山 祥吾, 呉本 堯, 小林 邦和, 強化学習制御と適応  $H_{\infty}$ 制御の協働型制御方式, 電気学会論文誌, 査読有, Vol.131-C, No.8, pp.1467-1474, 2011.

(3) Kuremoto, T., Kinoshita, Y., Feng, L., Watanabe, S., Kobayashi, K., and Obayashi, M., A Gesture Recognition System Using One-Pass DP Method, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 査読有, Vol.6839, pp.581-587, Springer-Verlag, 2011.

(4) Chen, T. Y., Zhang, D., Dragomir, A., Kobayashi, K., Akay, Y., and Akay, M., Investigating the Influence of PFC Transection and Nicotine on Dynamics of AMPA and NMDA Receptors of VTA Dopaminergic Neurons, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 査読有, Vol.8, No.58, doi,10.1186/1743-0003-8-58, 2011.

(5) Kobayashi, K., Kanehira, R., Kuremoto, T., and Obayashi, M., An Action Selection Method Based on Estimation of Other's Intention in Time-Varying Multi-Agent Environments, Lecture Notes in

Computer Science, 査読有, Vol.7064, pp.76-85, Springer-Verlag, 2011.

(6) Kuremoto, T., Yamano, Y., Feng, L., Kobayashi, K., and Obayashi, M., A Neuro-Fuzzy Network with Reinforcement Learning Algorithms for Swarm Learning, Lecture Notes in Electrical Engineering, 査読有, Vol.144, pp.101-108, Springer-Verlag, 2011.

(7) Feng, L., Obayashi, M., Kuremoto, T., and Kobayashi, K., Optimization and Verification for a Robot Control System Based on Learning Petri Net Model, Lecture Notes in Electrical Engineering, 査読有, Vol.133, pp.815-823, Springer-Verlag, 2011.

(8) Kuremoto, T., Obayashi, M., Kobayashi, K., and Feng, L., An Improved Internal Model of Autonomous Robots by a Psychological Approach, Cognitive Computation, 査読有, Vol.3, pp.501-509, 2011.

(9) Feng, L., Obayashi, M., Kuremoto, T., and Kobayashi, K., A Learning Fuzzy Petri Net Model, IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 査読有, Vol.7, No.3, pp.274-282, 2012.

(10) 内山 祥吾, 大林 正直, 呉本 堯, 小林 邦和,  $H_{\infty}$ 追従性能補償器を備えたりアルタイム強化学習制御システム, 電気学会論文誌, 査読有, Vol.132-C, No.6, pp.1008-1015, 2012.

(11) Kobayashi, K., Kurano, T., Kuremoto, T., and Obayashi, M., Cooperative Behavior Acquisition in Multi-agent Reinforcement Learning System Using Attention Degree, Lecture Notes in Computer Science, 査読有, Vol.7665, pp.537-544, Springer-Verlag, 2012.

(12) Obayashi, M., Koga, S., Feng, L., Kuremoto, T., and Kobayashi, K., Handwriting Character Classification Using Free-

man's Olfactory KIII Model, *Artificial Life and Robotics*, 査読有, Vol.17, No.x, pp.1-6, 2012.

(13) Kuremoto, T., Kimura, S., Kobayashi, K., and Obayashi, M., Time Series Forecasting Using Restricted Boltzmann Machine, *Communications in Computer and Information Science*, 査読有, Vol.304, pp.17-22, Springer-Verlag, 2012.

(14) Kuremoto, T., Hashiguchi, K., Morisaki, K., Watanabe, S., Kobayashi, K., Mabu, S., and Obayashi, M., Multiple Action Sequence Learning and Automatic Generation for a Humanoid Robot Using RNNPB and Reinforcement Learning, *A Journal of Software Engineering and Applications*, 査読有, Vol.5, pp.128-133, 2012.

(15) 呉本 堯, 山野 祐樹, 馮 良炳, 小林 邦和, 大林 正直, ニューロファジィ型強化学習システムを用いた群行動の獲得, *電気学会論文誌*, 査読有, Vol.133-C, No.5, pp.1076-1085, 2013.

(16) Feng, L., Obayashi, M., Kuremoto, T., Kobayashi, K., and Watanabe, S., QoS Optimization for Web Service Composition Based on Reinforcement Learning, *Int'l Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol.9, No.6, pp.2361-2376, 2013.

(17) 内山 祥吾, 大林 正直, 呉本 堯, 小林 邦和, 小脳パーセプトロン改良モデル利用型ロボ制御システム, *電気学会論文誌*, 査読有, Vol.133-C, No.6, pp.1251-1258, 2013.

(18) Kuremoto, T., Tsurusaki, T., Kobayashi, K., Mabu, S., and Obayashi, M., An Improved Reinforcement Learning System Using Affective Factors, *Robotics*, 査読有, Vol.2, No.3, pp.149-164, 2013.

(19) Yasui, K., Kobayashi, K., Murakami, K., and Naruse, T., Analyzing and Learn-

ing Opponent's Strategies in the RoboCup Small Size League, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 査読有, Springer-Verlag, 2013 (印刷中).

(20) Kuremoto, T., Tsurusaki, T., Kobayashi, K., Mabu, S., and Obayashi, M., A Model of Emotional Intelligent Agent for Cooperative Goal Exploration, *Lecture Notes in Computer Science*, 査読有, Vol.7995, pp.21-30, Springer-Verlag, 2013.

(21) Kuremoto, T., Kinoshita, Y., Feng, L., Watanabe, S., Kobayashi, K., and Obayashi, M., A Gesture Recognition System with Retina-V1 Model and One-pass Dynamic Programming, *Neurocomputing*, 査読有, Vol.116, pp.291-300, 2013.

(22) Watanabe, S., Kuremoto, T., Kobayashi, K., and Obayashi, M., A Method for Analyzing the Spatiotemporal Changes of Chaotic Neural Networks, *Artificial Life and Robotics*, 査読有, Vol.18, pp.196-203, 2013.

(23) Kuremoto, T., Kimura, S., Kobayashi, K., and Obayashi, M., Time Series Forecasting Using a Deep Belief Network with Restricted Boltzmann Machines, *Neurocomputing*, 査読有, Vol.137, pp.47-56, 2014.

(24) 綿田 将悟, 大林 正直, 呉本 堯, 間普真吾, 小林 邦和, マルコフ情動モデルを備えたロボットの行動決定法, *電気学会論文誌*, 査読有, Vol.134-C, No.1, pp.85-93, 2014.

(25) 内山 祥吾, 大林 正直, 呉本 堯, 小林 邦和, 間普真吾, 自己融合小脳パーセプトロン改良モデル利用型制御システムとその合意問題への適用, *電気学会論文誌*, 査読有, Vol.134-C, No.7, 2014 (印刷中).

{学会発表}(計67件)

(1) Kuremoto, T., Yamane, T., Feng, L., Kobayashi, K., and Obayashi, M., A Hu-

- man-Machine Interaction System, A Voice Command Learning System Using PL-G-SOM, Proc. of IEM2011, 査読有, Vol.2, pp.83-86, 2011.
- (2) Uchiyama, S., Obayashi, M., Kuremoto, T., and Kobayashi, K., Robust Reinforcement Learning Control System with Tracking Performance Compensator, Proc. of ICCAS2011, 査読有, pp.248-253, 2011.
- (3) Obayashi, M., Yokoji, Y., Uchiyama, S., Feng, L., Kuremoto, T., and Kobayashi, K., Intelligent Tracking Control Method of a Target by Group of Agents with Nonlinear Dynamics, Proc. of ICCAS2011, 査読有, pp.928-933, 2011.
- (4) Uchiyama, S., Obayashi, M., Kuremoto, T., and Kobayashi, K.,  $H_\infty$  Robust Reinforcement Learning Control System with Auto-Structuring Fuzzy Neural Network, Proc. of ISDM2011, 査読有, pp.95-100, 2011.
- (5) Obayashi, M., Watanabe, K., Kuremoto, T., and Kobayashi, K., Development of a Brain Computer Interface Using Inexpensive Commercial EEG Sensor with One-channel, Proc. of AROB2012, 査読有, pp.714-717, 2012.
- (6) Obayashi, M., Koga, S., Kuremoto, T., and Kobayashi, K., Handwriting Character Classification Using Freeman's Olfactory KIII Model, Proc. of AROB2012, 査読有, pp.1040-1043, 2012.
- (7) Kuremoto, T., Otani, T., Feng, L., Kobayashi, K., and Obayashi, M., A Hand Image Instruction Learning System Using PL-G-SOM, Proc. of ICAI2012, 査読有, pp.636-642, 2012.
- (8) Obayashi, M., Takuno, T., Kuremoto, T., and Kobayashi, K., An Emotional Model Embedded Reinforcement Learning System, Proc. of SMC2012, 査読有, pp.1058-1063, 2012.
- (9) Watanabe, S., Kuremoto, T., Kobayashi, K., and Obayashi, M., The Effect of the Internal Parameters on Association Performance of a Chaotic Neural Network, Proc. of AROB2013, 査読有, pp.464-467, 2013.
- (10) Watada, S., Obayashi, M., Kuremoto, T., Kobayashi, K., and Mabu, S., A New Decision-Making System of an Agent Based on Emotional Model in Multi Agent System, Proc. of AROB2013, 査読有, pp.452-455, 2013.
- (11) Obayashi, M., Otomi, Y., Kuremoto, T., Kobayashi, K., and Mabu, S., Decentralized Adaptive Control Using an Affine plus Self-organizing Fuzzy Neural Network for Multi-Agent System Consensus Problem, Proc. of ICSSE2013, 査読有, pp.247-252, 2013.
- (12) Watanabe, S., Kuremoto, T., Kobayashi, K., Mabu, S., and Obayashi, M., The Recollection Characteristics of a Generalized MCNN, Proc. of SICE Annual Conf. 2013, 査読有, pp.1375-1380, 2013.
- (13) Obayashi, M., Kamikariya, T., Uchiyama, S., Watada, S., Kuremoto, T., Mabu, S., and Kobayashi, K., Adaptive Control System Based on Self-organizing Wavelet Neural Network with Tracking Performance Compensator, Proc. of SMC2013, 査読有, pp.3232-3237, 2013.
- (14) Watanabe, S., Kuremoto, T., Kobayashi, K., Mabu, S., and Obayashi, M., Dynamical Recollection and Storage of Video Images via MCNN and SOM, Proc. of ICIARE2013, 査読有, pp.66-69, 2013.
- (15) Kuremoto, T., Watanabe, S., Ko-

bayashi, K., Mabu, S., and Obayashi, M., Innovative Practice of Robotics Education Using LEGO Mindstorms NXT, Proc. of ICIARE2013, 査読有, pp.74-77, 2013.

(16) Obayashi, M., Shinkawa, M., Kuremoto, T., Kobayashi, K., and Mabu, S., An Innovative Mental Task Classification Method with a Hierarchical Structure Based on EEG Data, Proc. of ICIARE2013, 査読有, pp.92-95, 2013.

(17) Nunome, Y., Murakami, K., Ito, M., Kobayashi, K., and Naruse, T., A Method to Estimate Ball's State of Spin by Image Processing for Strategic Learning in RoboCup Small-Size-robot League, Proc. of IWAIT2014, 査読有, 2014 (印刷中).

(18) Watada S., Obayashi, M., Kuremoto, T., Mabu, S., and Kobayashi, K., Decision Making System of Robots Introducing a Reconstruction of Emotions Based on Their Own Experiences, Proc. of ICAROB2014, 査読有, pp.74-77, 2014.

(19) Watanabe, S., Kuremoto, T., Mabu, S., Obayashi, M., and Kobayashi, K., The Recollection Characteristics of Generalized MCNN Using Different Control Methods, Proc. of ICAROB2014, 査読有, pp.90-95, 2014.

(20) Kawamura, M., Kobayashi, K., An Action Selection Method Using Degree of Cooperation in a Multi-agent System, Proc. of ICAROB2014, 査読有, pp.118-121, 2014.

(21) Tsubakimoto, T., Kobayashi, K., Cooperative Action Acquisition Based on Intention Estimation Method in a Multi-agent Reinforcement Learning System, Proc. of ICAROB2014, 査読有, pp.122-125, 2014.

(他 46 件)

〔図書〕(計 6 件)

(1) Bartoszewicz, A. (編), Obayashi, M., Nakahara, N., Yamada, K., Kuremoto, T., Kobayashi, K., and Feng, L., Robust Control, Theory and Applications, InTech Publishing, 2011.

(2) Pawlewski, P. (編), Feng, L., Obayashi, M., Kuremoto, T., and Kobayashi, K., Petri Nets - Manufacturing and Computer Science, InTech Publishing, 2012.

(3) Yilmazer-Hanke, D. (編), Kuremoto, T., Obayashi, M., and Kobayashi, K., Insights into the Amygdala: Structure, Functions and Implications for Disorders, Nova Science Publishers, Inc., 2012.

(4) 実応用を指向する械学習技術調査専門委員会 (編), 小林 邦和, 機械学習技術の基礎と応用, 電気学会, 2013.

(5) Ciufudean, C. (編), Kuremoto, T., Kobayashi, K., and Obayashi, M., Advances in Robotics: Modeling, Control and Applications, iConcept Press, 2013.

(6) Clary, T. S. (編), Kuremoto, T., Obayashi, M., and Kobayashi, K., Horizons in Computer Science Research (Vol.8), Nova Science Publishers, Inc., 2013.

〔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

<http://www.ist.aichi-pu.ac.jp/~koba/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小林邦和 (KOBAYASHI KUNIKAZU)

愛知県立大学・情報科学部・准教授

研究者番号: 40263793

### (2) 研究分担者

大林 正直 (OBAYASHI MASANAO)

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 60213849

### (3) 研究分担者

呉本 堯 (KUREMOTO TAKASHI)

山口大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 40294657