

令和 4 年 5 月 29 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11483

研究課題名（和文）同時摂動学習を用いたアナログ高次元ニューラルシステムのハードウェア化とその応用

研究課題名（英文）Hardware implementation and applications of analog high-dimensional neural system using simultaneous perturbation learning

研究代表者

前田 裕（Maeda, Yutaka）

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：60209393

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：高次元ニューラルネットワークの学習法、遺伝子ネットワークの解析・設計法の成果を得た。ニューラルシステム型パターン生成器のカオス生成機構による複数周期軌道の設計方式を開発、混合モード振動の分岐現象の構造を示した。学習問題の統計力学的解析での有限サイズ効果の現象論を、勾配法、ヘブ学習、パーセプトロン学習、アダトロン学習のオンライン学習について導出した。アナログ回路の学習機構の動作を確認し、自己組織化マップの高速専用ハードウェアについてはパルス周波数方式と入れ子構造のアーキテクチャを開発した。応用では屋内未知環境での複数のクワッドロータの自律飛行における相互衝突回避アルゴリズムと合意制御を実装した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、システムはますます大規模、複雑化し、知能的なシステムを知能的に実現するための方法論の構築があらゆる分野で高まっている。本研究の成果は、ニューラルネットワークに関する学習理論やそのハードウェアによる実現法などに関して、非線形動的システム理論や統計力学的なアプローチなどの観点から基礎的な解析法を与え、系統立てた設計が容易な方法論を提示し、これらをニューラルネットワーク実現のための用いる道筋を示すもので、学術的にも社会的にもその意義は高い。

研究成果の概要（英文）：It is crucial to analyze learning mechanism of neural networks(NNs). We developed learning methods for spiking and high-dimensional NNs, and obtained analysis, design and control methods for gene networks. Neural system-based pattern generation was explored to lead to a framework for designing periodic orbits embedded in chaotic attractors. We also revealed fine bifurcation structures in mixed-mode oscillations. And we derived the phenomenology of finite size effects for online learning using four types of learning rules: gradient, Hebbian, perceptron, and adatron learning using statistical mechanics methods.

We made an analog NN with learning mechanism and confirmed basic operation. Moreover, we developed a high speed self-organizing maps hardware system with pulse frequency expression and nested architecture.

As an application, we implemented mutual collision avoidance and consensus control methods of multiple quadrotors to achieve autonomous surveillance in an unknown environment.

研究分野：コンピューショナルインテリジェンス

キーワード：ニューラルネットワーク 統計力学的解析 有限サイズ効果 分岐解析 自己組織化マップ 生体ネットワーク 動作計画 同時摂動

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年、知能的なシステムの構築のため、脳や生体の持つ機能のメカニズムを解明し、それを応用する研究の必要性が非常に高くなっている。例えば、無線通信、誤り訂正符号、機械学習など情報の種々の問題に対して統計力学的な手法を用いて理論的にアプローチする方法は情報統計力学と呼ばれ注目されている。情報統計力学においては無限次元を仮定するので、有限次元で実行される計算機実験とは系統的な不一致が存在し、これは有限サイズ効果と呼ばれる。この有限サイズ効果に対する十分な理解は重要な課題である。一方で、カオス現象の、システム制御や情報処理への応用可能性が注目されていたが、所望の特徴をもつカオスを生成する設計論の整備は断片的であった。

また、ニューラルネットワークのハードウェア化については、大規模なニューラルネットワークでの高速動作が期待されるが、その学習機能の実現は困難を伴うところがあり、特に、従来のバックプロパゲーションのハードウェア化は現実的ではないと考えられる。特に、高次元のニューラルネットワークについては、そのハードウェア実現は容易ではない。自己組織化マップ (Self-Organizing Map: SOM) についても、教師なし学習により、多次元ベクトルデータを2次元のマップで表現できる中で、様々なデータの可視化や認識への応用に利用されており、高速動作が期待される。

一方で、近年はクワッドロータに代表される UAV による、人の立ち入れない災害現場や事故現場での状況把握のための自動探索が注目されている。中でも、複数のクワッドロータを同時に飛行させ、効率的に探索を行うための制御入力を生成するための手段として、学習機能を有する高次元なニューラルネットワークを用いることが期待されている。

2. 研究の目的

スパイクングおよび高次元ニューラルネットワークの学習法とその応用、遺伝子ネットワークの解析・設計法、およびデータ同化、強化学習に基づくシステムの解析、設計、制御法を構築する。

また、情報統計力学における有限サイズ効果について詳細な検討を行う。特に、機械学習の一種であるオンライン学習を対象に、勾配法、ヘブ学習、パーセプトロン学習、アダプトロン学習などいくつかの学習則における現象論を構築する。

カオスアトラクタの骨格が不安定周期軌道群によって特徴付けられるという解析的知見に基づくカオスおよび周期軌道生成器の数値的設計手法の開発を目指した。

ニューラルネットワークのハードウェア実現の観点からは、同時摂動最適化法を用いた学習則をアナログ電子回路として実現できるのかという点について試作を通して確認することを目的とした。特に、複素ニューラルネットワークを電子回路で実現することを目的にした。さらに、SOM については、そのサイズが大きくなると学習に時間がかかるという問題がある。これを解決するために直接 SOM の演算を行うデジタル回路ハードウェアの開発を目的とした。

応用事例として、高次元ニューラルネットワークの実用性を確認するために、複数のクワッドロータの制御入力の生成に利用することを目的とした。具体的には、人の立ち入ることのできない屋内において自律飛行しながら複数のクワッドロータが探索することを想定し、クワッドロータが互いに衝突することなくタスクを分担しながら協調して作業を行うための制御入力をニューラルネットワークにより構築することを目指した。

3. 研究の方法

脳や生体などの機能に関するこれまでの知見より、それらの理論的な考察から始め、その知見を用いて学習法や解析設計法の構築、計算機アルゴリズムとしての実装、また数値実験により性能評価し、研究をまとめる。

まず、機械学習における教師付き学習の一種であるオンライン学習を対象に計算機実験と統計力学的手法を用いた理論解析を実行する。後者については次元が大きい極限を考えることにより、このとき仮定される自己平均性を用いて巨視的変数に関する連立微分方程式を決定論的で閉形式で導出する。これを解析的、あるいは数値的に解くことにより汎化能力の動的・性的ふるまいを調べる。数種類の次元で実行された計算機実験の結果と、統計力学的解析により理論的に得られた結果を比較することにより、有限サイズ効果を観測する。次に、観測された有限サイズ効果と次元の間に6個程度のパラメータで記述される簡単な関係があると仮定し、最小二乗法を用いてそれらの値を決定する。最後に、導出された現象論が新たな次元においても有限サイズ効果をよく説明することを確認する。

また、典型的なカオス生成機構を内包するベクトル場関数の機械学習手法の考案と適切なモジュール化、さらに設計パラメータの最適化に関する検討を進め、関連して混合モード振動の応用可能性についても検討した。

ニューラルネットワークのハードウェア実現に関して、まず、複素ニューラルネットワークをアナログ回路として実現する際の入出力信号や荷重を正弦波で表現することを考えた。正弦

波の振幅と位相情報を複素数に対応させることで、電子回路上での階層型複素ニューラルネットワークの実現を行った。複素ニューラルネットワークの作成、同時摂動学習則の電子回路による設計と回路シミュレーションを通して、アナログ回路上で学習機能が実現可能性について検討し、その後具体的な回路の試作を行った。さらに、SOM のハードウェアシステム実現では、ユーザーがプログラム可能な素子である Field Programmable Gate Array (FPGA) に SOM を実装することで SOM 学習の高速化を図る。また、SOM のアルゴリズムを回路化に適するように修正し、効率的な設計を行った。具体的には、演算対象とする数値データをパルス信号の周波数で表し SOM に必要な演算を周波数同期ループ (Frequency-Locked Loop; FLL) に置き換えることで回路の簡素化を図る。アプリケーションによっては、非常に多数のニューロンを含む大規模な SOM が必要とされる。これに対応するために、拡張性が容易なスケラブルな SOM アーキテクチャの開発を行う。

また、具体的な応用、活用事例として、高次元ニューラルネットワークによる制御器の実装を想定し、まずは自律飛行に必要な不可欠となる相互衝突回避アルゴリズムを実装する。更に、未知環境を群飛行により探索することを想定し、合意制御を実装する。実装したアルゴリズムは実機実験およびシミュレーションにより動作検証を行う。次に、1 台の機体が未知環境を探索する状況を想定し、機体に搭載されたカメラで得た画像を入力とした制御器を設計し、実装する。

4. 研究成果

高次元ニューラルネットワークに対して次の 2 つの成果が得られた。八元数リカレントニューラルネットワークに対し、エネルギー関数の存在条件を導出し、最適化への応用や連想記憶の実現の道筋をつけた。ハイパボリックニューラルネットワークに対し、ハイパボリック勾配オペレータを導出し、それをを用いたハイパボリックバックプロパゲーション学習法を提案した。

またリカレントスパイクニューラルネットワークに対し、様々な発火パターンを実現する学習法を提案するとともに、視覚系の特徴抽出モデルの構築へ応用する方法を示し、その有効性を確認した。また遺伝子ネットワークに対し、周期発火パターンのアイソクロンの計算法の提案、セパトリスを実現する設計法の提案とその解の存在性の証明、また発現レベル追従制御器の設計法の提案を行い、それぞれ成果が得られた。

さらに、部分観測問題に対する二つの強化学習法の提案、すなわち階層型 Q 学習に基づく群強化学習法と Profit Sharing に基づく群強化学習法の提案を行った。またデータ同化による、プラズマの平衡状態の再構成問題の感度方程式に基づく解法の提案を行い、従来よりも精度よく再構成できることを示し、この分野にも貢献した。

また、数種類の次元で実行された計算機実験の結果と統計力学的解析により得られた結果の比較により、荷重と入力の積和をそのまま出力する線形パーセプトロンを勾配法で学習する場合には汎化誤差が大きくなる方向に有限サイズ効果が表れるのに対し、符号関数を出力関数とする単純パーセプトロンをヘブ学習・パーセプトロン学習・アダプトロン学習で学習する場合には汎化誤差が小さくなる方向に有限サイズ効果が表れることが明らかになった。また、有限サイズ効果を高い精度で説明する現象論を導出することに成功した。学習に関わる統計力学的なアプローチは強力な方法であるが、現実社会の問題は必ず有限次元であるため、統計力学的解析を現実社会の問題に適用する場合には有限サイズ効果に関する詳細な理解が不可欠である。本研究で導出された現象論はこのような観点から学術的・社会的に意義がある。

ニューラルシステム型パターン生成器の新しい形態として、カオス機構に基づく複数周期パターン生成器を数値的・系統的に設計する手法を開発し、得られたパターン生成器の数値解析を通してその局所的な性能および大域的な性能の評価を行った。また、関連して混合モード振動の応用の鍵となる分岐現象の詳細構造を解析するための数値的手法を開発し、適用・評価した。これらにより、非線形動的システム理論に基づくニューラルシステムの系統立てた設計が容易となり、今後の応用の高度化に寄与する。

複素ニューラルネットワークのハードウェア実現では、同時摂動学習則を用いた階層型複素ニューラルネットワークを電子回路として試作し、その動作の確認と評価を行った。まず、階層型複素ニューラルネットワークの回路上での動作が確認できた。同時に、学習の基本動作についても、その動作を確認することができた。同時摂動を用いることで、バックプロパゲーション法と異なり、誤差の逆伝搬が必要なく、学習機能を実現することができた。アナログ電子回路として、学習機能をもつ高次元ニューラルネットワークが実現できることは、ニューラルネットワークのハードウェア実現にとって意義がある。

また、SOM のハードウェア実現では、ベクトルをパルス信号の周波数で表す SOM の開発を行った。これにより、従来の数値演算によらない回路によらず、FLL により SOM の演算を行うユニークなハードウェア SOM を実現した。次に、SOM のサイズを容易に拡大できるように、入子構造のハードウェア SOM を提案した。これは SOM 全体を階層化したモジュール構成としたもので、モジュールを追加することで階層が 1 つ増えニューロン数は 4 倍になる。このアーキテクチャを利用することで容易に大規模 SOM の設計ができるようになった。

応用事例では、クワッドロータに相互衝突回避アルゴリズムを実装することで、複数台の機体が飛び交う環境においても、互いに衝突することなく所定の目標位置に到達可能であることをシミュレーションおよび実機実験により確認した。また、合意制御を実装することにより、1台の機体を操作するだけで複数の機体が追従して移動可能であることも確認した。更に、未知環境での探索を目的として、カメラ画像と自己位置のみを入力として環境地図を生成する方法を提案した。UAVの活用の中で解決が期待されている問題にたいする有効な解決法を提示している。

近年、システムはますます大規模、複雑化し、知能的なシステムを知的に実現するための方法論の構築があらゆる分野で高まっている。本研究の成果は、ニューラルネットワークに関する学習理論やそのハードウェアによる実現法などに関して、非線形動的システム理論や統計力学的なアプローチなどの観点から基礎的な解析法を与え、系統立てた設計が容易な方法論を提示し、これらをニューラルネットワーク実現のための用いる道筋を示すもので、学術的にも社会的にもその意義は高い。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Ito Hidetaka, Inaba Naohiko, Okazaki Hideaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Successive nested mixed-mode oscillations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 88 ~ 102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.12.88	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hikawa Hiroomi, Ichikawa Yuta, Ito Hidetaka, Maeda Yutaka	4. 巻 11
2. 論文標題 Dynamic Gesture Recognition System with Gesture Spotting Based on Self-Organizing Maps	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1933 ~ 1933
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11041933	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hikawa Hiroomi	4. 巻 68
2. 論文標題 Hardware Self-Organizing Map Based on Digital Frequency-Locked Loop and Triangular Neighborhood Function	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers	6. 最初と最後の頁 1245 ~ 1258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCSI.2020.3046795	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 黒江康明、飯間等, 前田裕	4. 巻 56
2. 論文標題 様々な発火パターンを実現するリカレントスパイクニューラルネットワークの学習法とその応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 483 ~ 494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Mori, Y. Kuroe, and B. P. Ingalls	4. 巻 52
2. 論文標題 A method for design of expression tracking controllers for gene regulatory networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 135-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Motonaka Kimiko, Miyoshi Seiji	4. 巻 118
2. 論文標題 Connecting PM and MAP in Bayesian spectral deconvolution by extending exchange Monte Carlo method and using multiple data sets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 159 ~ 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2019.05.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 KUROSAKI Yuto, OHTA Masayoshi, ITO Hidetaka, HIKAWA Hiroomi	4. 巻 E101.D
2. 論文標題 SOM-Based Vector Recognition with Pre-Grouping Functionality	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1657 ~ 1665
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2017EDP7198	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nitta Tohru, Kuroe Yasuaki	4. 巻 29
2. 論文標題 Hyperbolic Gradient Operator and Hyperbolic Back-Propagation Learning Algorithms	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems	6. 最初と最後の頁 1689 ~ 1702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNNLS.2017.2677446	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森 禎弘, 黒江 康明	4. 巻 54
2. 論文標題 セバトラトリクスを実現する遺伝子ネットワークの設計問題の解の存在	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 670 ~ 679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ito Hidetaka, Hikawa Hiroomi, Maeda Yutaka	4. 巻 10
2. 論文標題 A numerical framework for designing periodic orbits embedded in chaotic attractors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 256 ~ 267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.10.256	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 MIYOSHI Seiji, KAJIKAWA Yoshinobu	4. 巻 E101.A
2. 論文標題 Statistical-Mechanics Approach to Theoretical Analysis of the FXLMS Algorithm	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 2419 ~ 2433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E101.A.2419	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikeda Kazushi, Honda Arata, Hanzawa Hiroaki, Miyoshi Seiji	4. 巻 102
2. 論文標題 Non-monotonic convergence of online learning algorithms for perceptrons with noisy teacher	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 21 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2018.02.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 邨田朋生, 梶川嘉延, 三好誠司	4. 巻 31
2. 論文標題 マルチチャネル型能動騒音制御の統計力学的解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 システム制御情報学会論文誌	6. 最初と最後の頁 184 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Terauchi Kiyonori, Motonaka Kimiko, Kajikawa Yoshinobu, Miyoshi Seiji	4. 巻 138
2. 論文標題 Statistical-Mechanical Analysis on Adaptation Rate and Its Measures of Active Noise Control	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 369 ~ 374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejieiss.138.369	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sanpei Akio, Okamoto Takayuki, Masamune Sadao, Kuroe Yasuaki	4. 巻 9
2. 論文標題 A Data-Assimilation Based Method for Equilibrium Reconstruction of Magnetic Fusion Plasma and its Application to Reversed Field Pinch	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 74739 ~ 74751
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3081146	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Motonaka Kimiko, Watanabe Takuya, Kwon Yuhwan, Nagahara Masaaki, Miyoshi Seiji	4. 巻 8
2. 論文標題 Control of a quadrotor group based on maximum hands-off distributed control	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Mechatronics and Automation	6. 最初と最後の頁 200 ~ 200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJMA.2021.120377	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 MOTONAKA Kimiko、KOSEKI Tomoya、KAJIKAWA Yoshinobu、MIYOSHI Seiji	4. 巻 E104.A
2. 論文標題 Statistical-Mechanical Analysis of Adaptive Volterra Filter with the LMS Algorithm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1665 ~ 1674
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2021EAP1013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Motonaka Kimiko、Miyoshi Seiji	4. 巻 39
2. 論文標題 Obstacle Avoidance using BVC for a Quadrotor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 459 ~ 462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.39.459	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Motonaka Kimiko、Miyoshi Seiji	4. 巻 118
2. 論文標題 Connecting PM and MAP in Bayesian spectral deconvolution by extending exchange Monte Carlo method and using multiple data sets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 159 ~ 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2019.05.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 肥川 宏臣	4. 巻 J104-D
2. 論文標題 多次元ベクトル用パイプライン自己組織化マップハードウェア	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D 情報・システム	6. 最初と最後の頁 531 ~ 539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2020FIP0001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計37件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 本仲君子, 三好誠司
2. 発表標題 BVCを用いたクワッドロータの障害物回避手法の検討
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Hikawa
2. 発表標題 Nested Pipeline Hardware Self-Organizing Map for High Dimensional Vectors
3. 学会等名 2020 27th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 肥川宏臣
2. 発表標題 三角型近傍関数を持つ周波数変調信号による自己組織化マップ
3. 学会等名 電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Kuroe, H. Iima and Y. Maeda
2. 発表標題 Four Models of Hopfield-Type Octonion Neural Networks and Their Existing Conditions of Energy Functions
3. 学会等名 IEEE International Conference on Neural Networks (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森禎弘, 黒江康明
2. 発表標題 周期現象における大域的アイソクロンの計算法
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森禎弘, 黒江康明
2. 発表標題 遺伝子ネットワークにおける周期パターン遷移列のイソクロンの簡単な計算法
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森本晃至, 黒江康明, 前田裕
2. 発表標題 忘却を導入したProfit Sharingに基づく群強化学習法 -部分観測マルコフ決定問への適用-
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 肥川宏臣
2. 発表標題 三角型近傍関数を持つ周波数変調信号による自己組織化マップ
3. 学会等名 信学技報
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Hikawa
2. 発表標題 Nested Hardware Architecture for Self-Organizing Map
3. 学会等名 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kuroe, H. Iima and Y. Maeda
2. 発表標題 Learning Method of Recurrent Spiking Neural Networks to Realize Various Firing Patterns using Particle Swarm Optimization
3. 学会等名 International Joint Conference on Computational Intelligence (IJCCI 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒江康明, 飯間等, 前田裕
2. 発表標題 様々な発火パターンを実現するParticle Swarm Optimizationによるリカレントスパイクニューラルネットワークの学習法
3. 学会等名 計測自動制御学会第15回コンピューテーショナル・インテリジェンス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森禎弘, 黒江康明
2. 発表標題 遺伝子ネットワークに対する発現レベル追従制御器の設計法
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森本晃至 黒江康明 前田裕
2. 発表標題 部分観測マルコフ決定問題に対する群強化学習法 -Swarm Profit Sharing-
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒江康明, 飯間等, 前田裕
2. 発表標題 様々な発火パターンを実現するリカレントスパイクングニューラルネットワークの学習法とその応用
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森禎弘, 黒江康明
2. 発表標題 遺伝子ネットワークの発現レベル追従のための準積分制御法
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内 健也, 黒江 康明, 前田 裕
2. 発表標題 逆強化学習を用いた群強化学習法
3. 学会等名 計測自動制御学会第47回知能システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒江康明
2. 発表標題 様々な発火パターンを実現するリカレントスパイクングニューラルネットワークの学習法とその応用
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuyuki Funato, Yutaka Maeda
2. 発表標題 Pulse Density Autoencoder System Using Simultaneous Perturbation Method by FPGA
3. 学会等名 14th International Symposium in Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Morimoto, Yasuaki Kuroe and Yutaka Maeda
2. 発表標題 Swarm Reinforcement Learning with Profit-Sharing for Partially Observable Markov Decision Processes
3. 学会等名 14th International Symposium in Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Hikawa, H. Ito, Y. Maeda
2. 発表標題 Hardware Self-Organizing Map Based on Frequency-Modulated Signal and Digital Frequency-Locked Loop
3. 学会等名 2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Hikawa, H. Ito, Y. Maeda
2 . 発表標題 A New Self-Organizing Map with Continuous Learning Capability
3 . 学会等名 2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Hikawa, H. Ito, Y. Maeda
2 . 発表標題 A New Hardware Self-Organizing Map Architecture with High Expandability
3 . 学会等名 Third IEEE International Conference on Image Processing, Applications and Systems (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kimiko Motonaka, Takashi Katsube, Yoshinobu Kajikawa, and Seiji Miyoshi
2 . 発表標題 Statistical-Mechanical Analysis of the Second-Order Adaptive Volterra Filter
3 . 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yuhwan Kwon, Kimiko Motonaka, Takamitsu Matsubara, and Seiji Miyoshi
2 . 発表標題 Empirical Verification of Information Theoretic Model Predictive Control
3 . 学会等名 Society of Instrument and Control Engineers Annual Conference 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 中川健人, 本仲君子, 三好誠司
2. 発表標題 ポロノイ分割を用いた複数のクワッドロータの相互衝突回避に関する数値的検証
3. 学会等名 第19回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田宙, 本仲君子, 四方博之, 三好誠司
2. 発表標題 変化検知手法を用いた大量運動者の心拍データ送信制御法
3. 学会等名 信号処理シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本仲君子, 三好誠司
2. 発表標題 複数のデータセットを用いたスペクトル分解(II)
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 権裕煥, 金子拓光, 鶴峯義久, 佐々木光, 本仲君子, 三好誠司, 松原崇充
2. 発表標題 変分オートエンコーデッドモデル予測経路積分制御と画像入力に基づくロボット制御への応用
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 権裕煥, 本仲君子, 松原崇充, 三好誠司
2. 発表標題 数値実験による情報論的モデル予測制御の性能検証
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 船戸和行, 津本敦, 前田裕
2. 発表標題 同時摂動を用いたパルス密度型オートエンコーダのFPGAによる実装
3. 学会等名 第19回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤雄翔, 前田裕, 黒江康明
2. 発表標題 カメラ画像を用いたUAV の目標追跡
3. 学会等名 第28回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内健也, 黒江康明, 前田裕
2. 発表標題 部分観測マルコフ決定問題に対する群強化学習法 - Swarm HQ-Learning -
3. 学会等名 第28回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下風雅, 前田裕, 黒江康明
2. 発表標題 アナログ回路による複素ニューロンの実装
3. 学会等名 第28回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Kuroe, K. Takeuchi and Y. Maeda
2. 発表標題 Swarm Reinforcement Learning Method Based on Hierarchical Q-Learning
3. 学会等名 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koyo Kugiyama, Kimiko Motonaka, Yoshinobu Kajikawa, and Seiji Miyoshi
2. 発表標題 Statistical-Mechanical Analysis of Adaptive Volterra Filter for Time-Varying Unknown System
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kimiko Motonaka, Takuya Watanabe, Yufwan Kwon, Masaski Nagahara, and Seiji Miyoshi
2. 発表標題 Application of maximum hands-off distributed control to a quadrotor group
3. 学会等名 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田坂駿, 肥川宏臣
2. 発表標題 SOMによる分類システムの認識率改善及び高速化の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 T. Kaihara, H. Kita and S. Takahashi (Eds.), Y. Kuroe et. al.	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Innovative Systems Approach for Designing Smarter World	5. 総ページ数 17
3. 書名 Springer	

〔産業財産権〕

〔その他〕

三好誠司 研究業績 http://www2.itc.kansai-u.ac.jp/~miyoshi/cnt/gyoseki.html
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	肥川 宏臣 (Hikawa Hiroomi) (10244154)	関西大学・システム理工学部・教授 (34416)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	三好 誠司 (Miyoshi Seiji) (10270307)	関西大学・システム理工学部・教授 (34416)	
研究分担者	伊藤 秀隆 (Ito Hidetaka) (20268311)	関西大学・システム理工学部・教授 (34416)	
研究分担者	本仲 君子 (Motonaka Kimiko) (70781772)	関西大学・システム理工学部・助教 (34416)	
研究分担者	黒江 康明 (Kuroe Yasuaki) (10153397)	同志社大学・研究開発推進機構・嘱託研究員 (34310)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関