

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 2 5 年 5 月 2 3 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560389

研究課題名（和文） 正準形決定論的 PSO の理論解析とその応用

研究課題名（英文） Theoretical analysis of canonical deterministic PSO and the development of its applications

研究代表者

神野 健哉（JINNO KENYA）

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：50286762

研究成果の概要（和文）：

粒子群最適化法(PSO)は近年注目を集めている最適解探索方法の一つである。PSO は非常に短時間で精度良く解を探索することができるが、多くの制御パラメータを有している。これらの制御パラメータによって性能が大きく変化するがパラメータと解探索能力に関しては経験的に設定されているものが殆どであり、パラメータが及ぼす探索能力の影響に関する検討は十分ではない。特に従来の PSO ではパラメータを乱数によって設定し、一種の確率論的システムであった。これに対し、我々はこれまでにシステムから乱数要素を取り除いた決定論的 PSO(CDPSO)を用い、そのダイナミクスに関して解析を行った。

研究成果の概要（英文）：

A particle swarm optimization (PSO) system is one of the powerful systems for solving global optimization problems. The PSO algorithm can search an optimal value of a given evaluation function quickly compared with other proposed meta-heuristics algorithms. The conventional PSO system contains some random factors, therefore, the dynamics of the system can be regarded as stochastic dynamical systems. In order to analyze the dynamics rigorously, some papers pay attention to deterministic PSO systems which does not contain any stochastic factors. According to these results, the eigenvalues of the system impinge on the dynamics of the particles. Depending on the parameter, the searching ability of the deterministic PSO is decreased. In order to overcome this, we propose a canonical deterministic PSO which can control its eigenvalues easily, and can improve the searching ability. We confirmed relation between the eigenvalues and the searching ability of the optimal value from some numerical experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 2011年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 2012年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,200,000 | 960,000 | 4,160,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：非線形理論・回路

1. 研究開始当初の背景

ある制約条件の下、与えられた評価関数の最適値を評価関数の勾配情報を用いずに探索するメタヒューリスティックと呼ばれる探索法が注目を集め、様々な手法が提案されている。このメタヒューリスティックは実時間以内に実用的に十分な最適性を有した近似会を探索する手法である。本研究で対象とする粒子群最適化法は計算コストが低く、実装も容易でありながら、比較的良好な解を探索することができるため、近年注目を集め、広く用いられるようになり、その性能向上を目指した研究成果も数多く公表されている。粒子群最適化法は確率的な探索手法であるが、その動作の理論的解析は不十分であった。そこで本研究では力学系理論を用いて動作の理論解析を行うため、システムから乱数要素を排し、更にパラメータの影響を陽に分かるようにするために方程式を正準形に書き換えた新たな正準形決定論的 PSO (CDPSO) を提案した。このような CDPSO を用いて粒子群最適化法の動特性ならびに解探索能力を力学系理論を用いて明らかにし、より効果的なシステムの開発を行う必要性があった。

2. 研究の目的

CDPSO の動作解析を、力学系理論を用いて行い、その結果を基に、応用例を考える。また、このようなメタヒューリスティック解法は一般的にはコンピュータ上のプログラムとして実装するが、計算資源の少ないシステムでも動作させることを目的として、電子回路によるハードウェア化を検討する。

これらを列挙すると

- (1) システムの固有値に着目し、パラメータ値と探索能力との関係を明らかにする。
- (2) DC/AC インバータ、適応フィルタ等の設計に CDPSO を用いて性能評価を行う。
- (3) 電子回路によるハードウェア化を検討し、実装を行い、その性能を検討する。ハー

ドウェア化を行うことにより、並列動作が可能となり、非常に高速に演算をさせることが期待できる。

以上の目的を完遂すべく、以下に示す方法で研究を実施した。

3. 研究の方法

ある制約条件の下、与えられたコスト関数の最適値を与えるパラメータを探索する最適化問題を精度良く、効率的かつ高速に実行時間以内に解くことが出来るアルゴリズムの一つとして粒子群最適化法、PSO がある。PSO は従来提案されているアルゴリズムに比べ、非常に高速に解を探索できるなどの特徴を有するが、解探索能力はシステム内のパラメータに強く依存している。このパラメータ依存性を理論的に解析を行うため、我々が提案する CDPSO を用いて、その固有値に着目して解析を行う。

さらに我々が提案する CDPSO では優良解情報を各粒子間で相互にやり取りをすることで、解探索を行なっている。優良解情報のやり取りを行う関係をグラフとしてとらえた場合、グラフが有する構造によって、解探索性能が変わることを数値実験を基に理論的に解明を目指す。このグラフの構造による解探索性能の変化は CDPSO のみならず、通常の PSO でも同様な傾向を示す。そこで、通常の PSO に対しても、CDPSO 同様の解析を行い、グラフの構造と解探索性能との関連を明らかにすることを旨とする。

以上の動特性の解析結果を用いて、DC-AC インバータの設計、適応フィルタの設計、センサーネットワークのプロトコル等に適用し、これまでよりも高効率なシステムの設計を行う。通常の方法と、PSO ならびに CDPSO を設計に用いた場合の性能を比較し、提案する最適化法の優位性を確認する。また CDPSO は決定論的システムであるため、アナログ電子回路による実装化が容易であ

る。そこで小規模システムをアナログ電子回路で実装し、計算時間等に関しての基礎的データを収集する。

4. 研究成果

J. Kennedy らによって提案された PSO から確率的要素を取り除き、システムを正準形として記述した正準形決定論的粒子群最適化法 (CDPSO) に関して解析を行った。CDPSO は離散時間システムであるため、解軌道が安定となるためにはその固有値が複素平面上の単位円内に存在すればよい。固有値は通常の PSO では慣性係数ならびに加速度係数で決定され、CDPSO では固有値のパラメータそのものを直接設定することができる。解探索性能を確認するための数値実験の結果、固有値を単位円内に設定した場合、複素固有値であり、その実数部が特定の値である場合に、解探索性能の向上が見られることを明らかにした。固有値が複素数である場合、その実部は制動係数に対応、虚部は回転周波数に対応する。各固有値に対する解探索性能をまとめると次の図 1 のようになる。

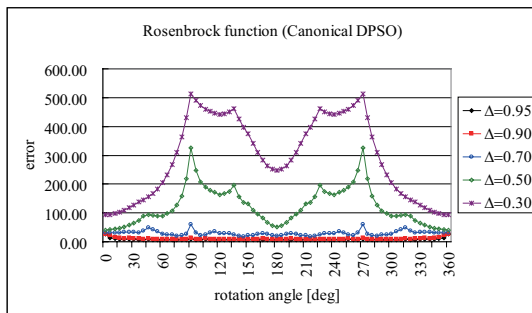


図 1 固有値と得られた最適解との関係

制動係数 Δ が 1 に近い場合に解探索性能が改善し、この値が小さい場合には、回転角の大きさに依存して性能が変化することを明らかにした。

PSO では各粒子の評価関数の最良値を与える座標情報は群に属する全粒子間で共有される。一方、このような情報が一部の粒子間でのみ共有される場合がある。このような情報を局所最良情報と呼ぶ。情報を共有する集団をネットワーク構造で表わすことができる。このようなネットワーク構造は解探索能力に影響を与える。PSO の最良値情報を共有するネットワーク構造と解探索性能との関係をグラフ理論の特徴量を用いて解析を行った。本研究では次数と平均頂点間距離に着目した。次数とは頂点に接続する枝の数であり、情報の共有関係にある粒子数を表す。また距離はグラフ内の任意の 2 頂点間を接続する最短の枝数であり、平均頂点間距離とはグラフ内の全ての頂点間の組合せでの距離の平均値である。数値実験により平均頂点間

距離と解探索性能の関係を測定したところ、解探索性能は平均頂点間距離と関連性があり、特に平均頂点間距離が長い方が良い性能を示すという結果となった。

更にこれらの結果を用い、単相 PWM DC-AC インバータのスイッチングタイミングの設計を PSO で行い、また非線形ブラインド信号源分離システムのパラメータ同定に PSO を用いた。結果、従来よりも効果的な結果を得ることができた。

また電子回路による実装化も行ったが、その性能は当初計画していたものと比較して、まだまだ不十分であり、今後更に研究を進めていく必要がある。

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 4 件)

1. Takuya Shindo, Ryosuke Sano, Toshimichi Saito, Kenya Jin'no, "Improvement in Solution Search Performance of Deterministic PSO using a Golden Angle", **査読有**, Journal of Signal Processing, Vol. 16, No. 4, pp. 299-302, 2012.
2. Mamoru Suefuji, Takuya Shindo, Kantaro Fujiwara, Kenya Jin'no, Tohru Ikeguchi, "Development of Low-Frequency Electrical Therapy Device with Chaotic Vibration and Its Performance Analysis", **査読有**, Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA), IEICE, vol. 3, no. 4, pp. 621-628, 2012.
3. Takuya Shindo Kenya Jin'no, "On a Reacceleration Mechanism for Particle Swarm Optimizer", **査読有**, Journal of Signal Processing, Vol. 15, No. 6, pp. 407-416, 2011.
4. Katsuma Ono, Kenya Jin'no, Toshimichi Saito, "Growing Particle Swarm Optimizers for Multi-Objective Problems in Design of DC-AC Inverters", **査読有**, IEICE Transaction on Fundamentals. vol. E94-A, no. 1, pp. 430-433, 2011.

[学会発表] (計 56 件)

1. 栗原 拓哉, 神野 健哉, "リング結合構造を持つ粒子群最適化法を用いる非線形ブラインド信号源分離", 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2012-146, 2013. 3. 14, 千葉大学, 千葉
2. 木許 雅則, 富田 翔矢, 神野 健哉, "PSOに基づくブラインド信号分離におけ

- る分布誤差の影響について”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2012-147, 2013. 3. 14, 千葉大学, 千葉
3. 栗原 拓哉, 神野 健哉, “粒子群最適化法を学習に用いた非線形ブラインド信号源分離”, 査読無, 第 16 回 電気学会 東京支部埼玉支所研究発表会 0-1608, pp. 21-22, 2013. 3. 11, 新都心ビジネス交流プラザ, 埼玉
 4. Tsubasa Kawai, Kantaro Fujiwara, Kenya Jin'no, Yoshihiko Horio, Tohru Ikeguchi, “Synchronization induced by common colored noise in chaotic oscillators”, 2013 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2013), pp. 121-124, 2013. 3. 6, The Island of Hawaii, USA.
 5. Takuya Kurihara, Kenya Jin'no, “A Nonlinear Blind Source Separation System using Particle Swarm Optimization Algorithm”, 2013 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2013), pp. 420-423, 2013. 3. 6, The Island of Hawaii, USA.
 6. Takuya Shindo, Kenya Jin'no, “Solution Search Performance of PSO using Gradient of an Evaluation Value”, 2013 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2013), pp. 297-300, 2013. 3. 5, The Island of Hawaii, USA.
 7. Kazuya Morita, Hiroaki Ujiie, Kenya Jin'no, “A Divided Optimization Algorithm for a Single Phase PWM Inverter”, 2013 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2013), pp. 205-208, 2013. 3. 5, The Island of Hawaii, USA.
 8. 森田 和也, 栗原 拓哉, 神野 健哉, “DC-AC インバータのスイッチング位相の最適化”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2012-103, 2012. 12. 17, 福井, 福井
 9. 関口 卓嗣, 進藤 卓也, 神野 健哉, “非同期型逐次更新 PSO の解探索の基本性能について”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2012-89, 2012. 12. 17, 福井, 福井
 10. Takahiko Kanda, Takuya Kurihara, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, “An Analog Circuit Implementation of Deterministic Particle Swarm Optimization”, 2012 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'12), pp. 59-62, 2012. 12. 15, 四国大学, 徳島.
 11. Takuya Kurihara, Kenya Jin'no, “A Nonlinear Blind Source Separation using a Particle Swarm Optimization”, 査読有, 2012 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'12), pp. 55-58, 2012. 12. 15, 四国大学, 徳島.
 12. Ryosuke Sano, Kenya Jin'no, Toshimichi Saito, “Particle Swarm Optimization based on Switching Connection”, 2012 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'12), pp. 51-54, 2012. 12. 15, 四国大学, 徳島.
 13. Takuya Shindo, Kenya Jin'no, “Switching Angles Optimization of Single Phase PWM DC-AC Inverter by Particle Swarm Optimizations”, The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems & The 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 65-70, 2012. 11. 21, 神戸, 兵庫.
 14. Masafumi Kubota, Kenya Jin'no, Toshimichi Saito, “The fundamental characteristic of hysteresis-divided optimization”, 2012 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2012), pp. 162-165, 2012. 10. 25, Palma, Majorca, Spain.
 15. Takuya Shindo, Kenya Jin'no, “Parameter Setting Procedure by using Golden Angle for Generation of Diversity”, 2012 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2012), pp. 146-149, 2012. 10. 25, Palma, Majorca, Spain.
 16. Ryosuke Sano, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, Toshimichi Saito, “Particle Swarm Optimization with Switched Topology”, 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetic (SMC2012), pp. 530-535, 2012. 10. 15, Seoul, Korea.
 17. 久保田 将史, 神野 健哉, 斎藤 利通, “ヒステリシス分割最適化法による複数解探索問題について”, 2012 年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 A-2-14, 2012. 9. 10, 富山大学, 富山.
 18. 関口 卓弥, 神野 健哉, “ネットワーク構造と乱数幅が PSO の解探索性能に及ぼす影響”, 2012 年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 A-2-11, 2012. 9. 10, 富山大学, 富山.

19. 佐野 亮介, 神野 健哉, 斎藤 利通, "スイッチトトポロジを導入した粒子群最適化法の複数解探索能力", FIT2012, F-014, 2012.9.4, 法政大学, 東京.
20. 進藤 卓也, 神野 健哉, "粒子群最適化法による単相 PWM DC-AC インバータのスイッチングタイミング最適化", 第 25 回回路とシステムワークショップ, pp. 44-49, 2012.7.30, 淡路島, 兵庫.
21. 進藤 卓也, 神野 健哉, "粒子群最適化法の最良位置参照による解探索性能", 査読無, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2012-30, 2012.5.28, 秋田, 秋田.
22. 神野 健哉, 久保田 将史, 斎藤 利通, "ヒステリシス分割最適化法の基本特性", 査読無, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2012-15, 2012.4.19, 伊勢, 三重.
23. 神野 健哉, 辻本 貴博, 進藤 卓也, 佐野 亮介, 斎藤 利通, "PSO のネットワーク構造と探索性能の関係に関する考察", 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2011-149, 2012.3.27, 五島列島, 長崎.
24. Takuya Shindo, Ryosuke Sano, Toshimichi Saito, Kenya Jin'no, "Improvement in Solution Search Performance of Deterministic PSO", 2012 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2012), pp. 473-476, 2012.3.5, Honolulu, Hawaii.
25. Kenya Jin'no, Yu Shukuzawa, Takuya Shindo, "Fundamental Characteristic of Deterministic Discrete Hysteresis PSO", 2012 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2012), pp. 531-534, 2012.3.5, Honolulu, Hawaii.
26. 久保田 将史, 神野 健哉, 斎藤 利通, "ヒステリシス特性を用いた分割最適化法について", 2012 年 電子情報通信学会 総合大会 A-2-18, 2012.3.21, 岡山大学, 岡山.
27. Yu Shukuzawa, Kenya Jin'no, "Dynamics of Deterministic Discrete Hysteresis PSO", 2011 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'11), pp. 129-132, 2011.12.9, 四国大学, 徳島.
28. Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "Influence of the Solution Search Performance on the Random Number in PSO", 2011 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'11), pp. 125-128, 2011.12.9, 四国大学, 徳島.
29. Ryosuke Sano, Kenya Jin'no, Toshimichi Saito, "Deterministic PSO-based Multiple Optima Search with Elite Preservation Strategy", 2011 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'11), pp. 40-43, 2011.12.9, 四国大学, 徳島.
30. Takuya Sekiguchi, Kenya Jin'no, "Performance Evaluation of Boid PSO", 2011 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'11), pp. 37-39, 2011.12.9, 四国大学, 徳島.
31. 神田 峻彦, 栗原 拓哉, 進藤 卓也, 神野 健哉, "粒子群最適化法の回路化についての検討", 2011 年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 A-2-21, 2011.9.14, 北海道大学, 北海道.
32. 栗原 拓哉, 神野 健哉, "粒子群最適化法を用いた独立成分分析", 2011 年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 A-2-20, 2011.9.14, 北海道大学, 北海道.
33. 宿澤 優, 栗原 拓哉, 進藤 卓也, 神野 健哉, "決定論的離散ヒステリシス PSO", 2011 年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 A-2-19, 2011.9.14, 北海道大学, 北海道.
34. 久保田 将史, 神野 健哉, 斎藤 利通, "確定的離散ヒステリシス PSO と複数解探索", 2011 年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 A-2-18, 2011.9.14, 北海道大学, 北海道.
35. 関口 卓弥, 栗原 拓哉, 進藤 卓也, 神野 健哉, "Boid Particle Swarm Optimizer", 2011 年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 A-2-17, 2011.9.14, 北海道.
36. 進藤 卓也, 佐野 亮介, 斎藤 利通, 神野 健哉, "正準形決定論的 PSO の解探索能力", 査読無, 2011 年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 A-2-16, 2011.9.14, 北海道大学, 北海道.
37. Ryosuke Sano, Kenya Jin'no, Toshimichi Saito, "Basic Characteristics of Deterministic PSO with Rotational Dynamics", 2011 International Conference on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2011), pp. 564-567, 2011.9.6, 神戸, 兵庫.
38. Masanori Kimoto, Dai Yamanaka, Kenya Jin'no, "A Blind Signal Separation Method using Particle Swarm Optimization", 2011 International Conference on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2011), pp. 560-563, Kobe, 2011.9.6, 神戸, 兵庫.
39. Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "Analysis of Dynamical Characteristic of

- Canonical Particle Swarm Optimization”, 2011 International Conference on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2011), pp. 556-559, 2011.9.6, 神戸, 兵庫.
40. 進藤 卓也, 神野 健哉, “決定論的 PSO の粒”, 再加速による性能改善についての考察”, 電子情報通信学会 第 24 回 回路とシステムワークショップ pp. 46-51, 2011.8.1, 淡路島, 兵庫.
 41. Takahiro Tsujimoto, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, “The Neighborhood of Canonical Deterministic PSO”, 2011 IEEE World Congress on Evolutionary Computation (CEC2011), pp. 1811-1817, 2011.6.7, New Orleans, USA.
 42. Takuya Shindo, Takuya Kurihara, Hiroyuki Taguchi, Kenya Jin'no, “Particle Swarm Optimization for Single Phase PWM Inverters”, 2011 IEEE World Congress on Evolutionary Computation (CEC2011), pp. 2501-2505, 2011.6.7, New Orleans, USA.
 43. 佐野 亮介, 神野 健哉, 斎藤 利通, “回転動作を用いた決定論的 PSO”, 2011 年 電子情報通信学会 総合大会 AS-1-4, 2011.3.15, 東京都市大学, 東京.
 44. 進藤 卓也, 田口 洋之, 栗原 拓哉, 神野 健哉, “粒子群最適化による単相 PWM インバータの最適化”, 2011 年 電子情報通信学会 総合大会 A-2-7, 2011.3.15, 東京都市大学, 東京.
 45. 進藤卓也, 栗原拓哉, 田口 洋之, 神野 健哉, “単相 PWM DC-AC インバータの PSO による最適化”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2010-16, 2011.3.10, 東京理科大学, 東京.
 46. 佐野 亮介, 神野 健哉, 斎藤 利通, “正準形決定論的 PSO の回転数パラメータの効果について”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2010-112, 2010.12.13, 米子, 鳥取.
 47. Hiroyuki Taguchi, Takuya Kurihara, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, “A Modified PWM Based on PSO Algorithm”, 2010 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'10), pp. 102-105, 2010.12.3, 四国大学, 徳島.
 48. Haozhi Lin, Takuya Shindo, Takefumi Hiraguri, Kenya Jin'no, “An Modified LEACH Protocol by Binary PSO”, 2010 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'10), pp. 23-26, 2010.12.3, 四国大学, 徳島.
 49. Takahiro Tsujimoto, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, “A Relationship between Network Structures of PSO and its Performance”, 2010 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'10), pp. 70-73, 2010.12.3, 四国大学, 徳島.
 50. Takuya Shindo, Kenya Jin'no, “On a Reacceleration Mechanism for Particle Swarm Optimizer”, 2010 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'10), pp. 77-80, 2010.12.3, 四国大学, 徳島.
 51. 辻本 貴博, 進藤 卓也, 神野 健哉, “ネットワーク構造による D-PSO の性能に関する考察”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 CAS2010-37, NLP2010-53, 2010.8.2, 鳴門教育大学, 徳島.
 52. Kenya Jin'no, Takuya Shindo, “Canonical Particle Swarm Optimization System”, 2010 International Conference on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2010), pp. 193-196, 2010.9.6, Krakow, Poland.
 53. Kenya Jin'no, Takuya Shindo, “Analysis of Dynamical Characteristic of Canonical Deterministic PSO”, 2010 IEEE World Congress on Evolutionary Computation (CEC2010), pp. 1105-1110, 2010.7.20, Barcelona, Spain.
 54. 成田 崇修, 木許 雅則, 神野 健哉, “粒子群最適化法に基づく多チャンネル適応エコーキャンセラ”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2010-22, NC2010-22, 2010.6.18, 琉球大学, 沖縄.
 55. 神野 健哉, “ネットワーク構造が決定論的 PSO に及ぼす影響”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 NLP2010-19, NC2010-19, 2010.6.18, 琉球大学, 沖縄.
 56. 神野 健哉, 進藤卓也, “PSO のダイナミクス解析”, 電子情報通信学会 第 23 回 回路とシステム (軽井沢) ワークショップ, pp. 1-6, 2010.4.19, 軽井沢, 長野.
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
神野 健哉 (JINNO KENYA)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号: 50286762
 - (2) 研究分担者
木許 雅則 (KIMOTO MASANORI)
日本工業大学・工学部・講師
研究者番号: 80315126
 - (3) 連携研究者
なし