

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 25 年 6 月 23 日現在

機関番号：32660
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2010～2012
課題番号：22700084
研究課題名（和文） ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワークのための自律分散型最適化手法の研究
研究課題名（英文） Autonomous Optimization Techniques for Heterogeneous Type Cognitive Radio Networks
研究代表者
長谷川 幹雄（MIKIO HASEGAWA）
東京理科大学・工学部・准教授
研究者番号：50358967

研究成果の概要（和文）：

異なる様々な無線システムが共存するヘテロジニアスワイヤレスネットワーク環境において、ネットワーク管理者、或いは利用者にとって最適な接続へとシームレスに切り替えながら利用するための、自律分散型無線アクセスネットワーク選択アルゴリズムを開発し、その有効性を示した。ニューラルネットワークによる最適化アルゴリズム、学習型アルゴリズムを無線ネットワーク機器に実装し、その有効性を実験によって明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

This research proposed autonomous optimization techniques for heterogeneous type cognitive radio networks. Those algorithms select the most appropriate wireless network setting from various available networks for the users and hands over to the selected networks. The proposed techniques using neural network based optimization and machine learning were implemented on real wireless devices, and their effectiveness were shown by the experiments using those implemented systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	300,000	90,000	390,000
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：コグニティブ無線、モバイルネットワーク、ヘテロジニアスワイヤレスネットワーク、組合せ最適化、カオス、無線リソースマネジメント

1. 研究開始当初の背景

無線通信技術の進歩と需要の高まりによって、これまで、第2世代、第3世代携帯電話、

無線LAN、WiMAX、Bluetooth等、特徴の異なる様々な無線アクセス技術やネットワークが研究開発され、実用化が進められてきた。

これらの様々な無線アクセスネットワークが利用可能なヘテロジニアスワイヤレスネットワーク環境において、無線ネットワークリソースを効率的に利用するコグニティブ無線ネットワーク技術が注目されている。異なる無線ネットワーク間のシームレスなハンドオーバーは、モバイルIP やIEEE802.21等の垂直ハンドオーバー技術を組み合わせることによって実現可能であり、例えば、携帯電話ネットワークと無線LAN との間でも、通信の途切れなく切り換えることが可能となる。また、利用可能な複数の無線ネットワークを束ねて利用する(マルチリンクアグリゲーション)ことで、より高速な通信を実現することも可能となる。

このようなシームレスな無線ネットワークを用いると、ネットワーク混雑度や通信品質などに応じた最適な無線アクセスネットワーク選択を、異種ネットワーク間をまたがって最適化することが可能となる。コグニティブ無線ネットワークアーキテクチャIEEE1900.4においては、このような異種無線ネットワークの利用効率を最適化するために、様々なネットワークや端末から情報を収集し交換するためのアーキテクチャの標準規格が規格化されている。コグニティブ無線の研究には二つのアプローチがある。一つはその場で使用されていない周波数帯を認識して一時的に利用するアプローチ(スペクトラムシェアリング型コグニティブ無線)、もう一つがその場で利用可能な様々な無線ネットワークを認識して効率よく利用するアプローチ(ヘテロジニアス型コグニティブ無線)であり、本研究テーマは、後者に関するものである。ヘテロジニアス型コグニティブ無線における最適な無線アクセスネットワーク選択は、IEEE1900.4においては“Distributed Radio Resource Usage Management”として定義されており、異なる様々な無線ネットワークに渡って、限られた無線リソースをより効率的に活用することの重要性が広く認識されている。

コグニティブ無線ネットワークの研究分野においては、自律分散的な無線リソース最適化のアプローチとして、ゲーム理論を基盤とした手法や、ニューラルネットワークによる最適化アルゴリズムを用いた手法、学習アルゴリズムを用いた手法など、様々なアプローチが検討されている。

しかしながら、従来研究のほとんどは、シミュレーションや理論解析を中心としたものであり、アルゴリズムを具体的に実装評価した例はあまりない。また、基本となるネットワークアーキテクチャが定まっておらず、各々の研究において想定される環境をそれぞれ設定して設計したプロトコルであり、実用化への方向性がみえないものばかりであった。

2. 研究の目的

IEEE1900.4 等の国際標準化において定

義されているコグニティブ無線アーキテクチャで動作する自律分散的な最適無線ネットワーク選択アルゴリズムを開発する。集中的なネットワーク制御は行わずに、ネットワーク全体の無線ネットワーク資源の利用効率の最適化を図る。本研究では、多くの種類の無線アクセスネットワークと端末を用いた実験を行い、様々な種類のネットワークでも動作するアルゴリズムを実現する。

3. 研究の方法

本研究は、ヘテロジニアスワイヤレスネットワーク環境において、最適なネットワーク選択を行うための自律分散型最適化アルゴリズムを実現することを目的としている。初年度は、IEEE1900.4 などのコグニティブ無線ネットワークの最適化に関する標準規格などに基づいて、想定するシナリオやネットワークアーキテクチャの具体的な設定方法について整理し、その下で動作するアルゴリズムを設計し、シミュレーションによる評価から始め、小規模な実験を行いながらアルゴリズムの実装方法とプロトコルの検討を行う。2 年目以降は、より多くの端末を用いたネットワークにおける実装、評価を行い、実験を行いながらアルゴリズムの有効性を評価していく。大きな規模の無線ネットワークにおいも、自律分散的に動的なネットワーク環境全体を最適な状態へと収束させる無線選択アルゴリズムを構築する。

4. 研究成果

コグニティブ無線ネットワークにおいて生じる複数の最適化問題を定式化し、それらの問題の目的関数を実ネットワークで自律分散的に直接解くアルゴリズムを構築した。この提案手法の有効性を、大規模なコンピュータシミュレーションによって検証し、複数の問題に対して有効に動作することを示し、また、従来手法と比較し、提案手法の利点を明らかにすることが出来た。

さらに、実際の無線ネットワークでの有効性を検証するために、ノート PC と実際の無線ネットワークを用いた実験ネットワークを構築し、コグニティブ無線ネットワークの標準仕様に則ったプロトコルを用いて、提案手法と複数の従来手法を実装し、動作させた。この実際の無線ネットワークを用いた実験においても、提案アルゴリズムが有効に動作することを明らかにした。最終年度までには、異種無線ネットワークの自律分散型最適化アルゴリズムを、実無線ネットワークにおけるシステムパラメータの変動や品質の変動に対応したアルゴリズムに拡張させた。無線リソースを束ねるアグリゲーションアルゴリズムにおいても、様々なパラメータを変化させ、スループットを最適化する学習型システムを構築した。

自律分散型最適化アルゴリズムの性能を

支える数学的理論についても検討を行った。カオス理論を用いた自律分散型アルゴリズムによって、ネットワークをより最適な状態に収束させることが可能であることを理論的に示し、従来法と比較して性能が向上することをコンピュータシミュレーションによって明らかにした。また、そのような理論を基に、理想的なダイナミクスを持つ時空間構造を明らかにし、さらに、そのような時空間ダイナミクスを自律分散的な探索解法の中で実現するためにフィルタを用いるアルゴリズム提案した。そのようなフィルタを探索解法に適用するのみで、アルゴリズムの性能を大幅に改善できることを示した。

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 14 件)

- 1) Yosuke Kon, Kazuki Hashiguchi, Masato Ito, Mikio Hasegawa, Kentaro Ishizu, Homare Murakami, Hiroshi Harada, “Autonomous Throughput Improvement Scheme using Machine Learning Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks Aggregation,” *IEICE Trans. Communications*, Vol. E95-B, No. 4, pp. 1143—1151, 2012.
- 2) Homare Murakami, Kentaro Ishizu, Stanislav Filin, Hiroshi Harada, Mikio Hasegawa, “Design and Implementation of IEEE 1900.4 Architecture Using IMS Functionality,” *IEICE Trans. Communications*, Vol. E95-B, No. 4, pp. 1266—1275, 2012.
- 3) Yuki Nonaka, Mikio Hasegawa, “Chaotic oscillations in user-centric cognitive radio networks and their control,” *International Journal of Knowledge and Web Intelligence*, Vol. 3, No. 1, pp. 70—84, 2012.
- 4) Yuichi Omori, Hisashi Watanabe, Mikio Hasegawa, “Implementation and Evaluation of Chaotic CDMA System Using Software-Defined Radio,” *Journal of Signal Processing*, Vol. 16, No. 4, pp. 331—334, 2012.
- 5) Hideki Igeta, Mikio Hasegawa, “A Hybrid Approach using Chaotic Dynamics and Global Search Algorithms for Combinatorial Optimization Problems,” *Nonlinear Theory and Its Applications*, *IEICE*, Vol. 2, No. 4, pp. 497—507, 2011.
- 6) Tomohiro Kato, Mikio Hasegawa, “Performance of Heuristic Methods driven by Chaotic Dynamics for ATSP and Applications to DNA Fragment Assembly,” *Nonlinear Theory and Its Applications*, *IEICE*, Vol. 2, No. 4, pp. 485—496, 2011.
- 7) 河村鉄夫, 堀尾喜彦, 長谷川幹雄, “二次割当問題のための同期更新指数減衰カオ

スタブサーチのニューロン選択法の相互情報量による解析,” *電気学会論文誌 C*, Vol. 131, No. 3, pp. 592—599, 2011.

- 8) Yuichi Omori, Jiaqi Wan, Mikio Hasegawa, “Design and Implementation of a Context-Aware Guide Application Kagurazaka Explorer,” *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 376, pp. 103—116, Springer, 2011.
- 9) Tohru Ikeguchi, Mikio Hasegawa, Takayuki Kimura, Takafumi Matsuura, Kazuyuki Aihara, “Theory and Applications of Chaotic Optimization Methods,” *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 357, pp. 131—161, Springer, 2011.
- 10) Yuki Nonaka, Mikio Hasegawa, “Controlling Chaotic Oscillations in User-Centric Cognitive Radio Networks,” *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6883, pp. 587—595, 2011.
- 11) Mikio Hasegawa, Taichi Takeda, Hiroshi Harada, “Design and implementation of a user-centric access point selection algorithm based on mutually connected neural networks,” *Intelligent Decision Technology*, Vol. 4, No. 4, pp. 285—295, 2010.
- 12) Mikio Hasegawa, “Realizing Ideal Spatiotemporal Chaotic Searching Dynamics for Optimization Algorithms Using Neural Networks,” *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6443, pp. 66—73, 2010.
- 13) Tetsuo Kawamura, Yoshihiko Horio, Mikio Hasegawa, “Mutual Information Analyses of Chaotic Neurodynamics Driven by Neuron Selection Methods in Synchronous Exponential Chaotic Tabu Search for Quadratic Assignment Problems,” *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6443, pp. 50—57, 2010.
- 14) Yuichi Omori, Yuki Nonaka, Mikio Hasegawa, “Design and Implementation of a Context-Aware Guide Application for Mobile Users Based on Machine Learning,” *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6279, pp. 271—279, 2010.

[学会発表] (計 49 件)

- 1) 長谷川幹雄, “複雑系数理モデル学に基づいた新しいネットワークの実現に向けて,” 電子情報通信学会・移動通信ワークショップ, 2013年2月.(招待講演)
- 2) 長谷川幹雄, “複雑系数理モデル学の通信ネットワーク応用研究における新しいアプローチ,” 電子情報通信学会・回路とシステムワークショップ, 2012年7月.(招待講演)
- 3) 長谷川幹雄, “複雑系数理モデル学に基づく通信システム最適化,” 電子情報通信学会情報ネットワーク科学研究会, 2012年5月.(招待講演)

- 4) Yuki Honda, Hiroyuki Yasuda, Mikio Hasegawa, Hiroya Nakao, Kazuyuki Aihara, "Time Synchronization Scheme based on Noise-induced Synchronization using Environmental Sound," Proceedings of 2013 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 125—128, 2013.
- 5) Tomohiro Kato, Hiroshi Kurita, Mikio Hasegawa, "Performance Analysis of Multi-armed Bandit Algorithm with Negative Autocorrelation," Proceedings of 2013 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 77—80, 2013. (Student Paper Award)
- 6) Tomoaki Yorozuya, Hisashi Watanabe, Mikio Hasegawa, Yoshihiko Horio, Kazuyuki Aihara, "Effectiveness of the Markov Codes with Negative Correlation in FD/S3," Proceedings of 2013 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 229—232, 2013.
- 7) Hisashi Watanabe, Yoshimasa Narumiya, Mikio Hasegawa, Yoshihiko Horio, Kazuyuki Aihara, "Performance Evaluation of Timing Synchronization by Frequency Domain Integration in TD/SSS," Proceedings of 2013 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 233—236, 2013.
- 8) Yoshimasa Narumiya, Hisashi Watanabe, Tomoaki Yorozuya, Mikio Hasegawa, Yoshihiko Horio, Kazuyuki Aihara, "Performance Evaluation of FD/S3 for Frequency Synchronization using Timing Division Integration," Proceedings of 2013 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 237—240, 2013. (Student Paper Award)
- 9) Hirofumi Terao, Gou Hosoya, Mikio Hasegawa, Hiroyuki Yashima, "Performance Analysis of OCDMA with the Bursty Effects of Multiple User Interference," Proceedings of 2013 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 325—328, 2013.
- 10) Tatsuro Abe, Mikio Hasegawa, "Performance Evaluation of RSSI-Based Rate Adaptation Scheme in Real Wireless Environment," Proceedings of 2013 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 472—475, 2013.
- 11) Ryota Nakamura, Tomohiro Kato, Mikio Hasegawa, "Analysis on Effectiveness of Negative-Autocorrelation Searching Dynamics Using Associative Memory Neural Networks," Proceedings of 2013 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 560—563, 2013.
- 12) Hiroyuki Yasuda, Makoto Harashima, Mikio Hasegawa, Hiroya Nakao, "An Analysis on Noise-Induced Synchronization by Natural Environmental Signals," Proceedings of 2013 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 640—643, 2013.
- 13) Tomohiro Kato, Nur Atiqah Farahin Kamarul Zaman and Mikio Hasegawa, "Application of multi-armed bandit algorithms for channel sensing in cognitive radio," Proceedings of IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, pp. 503—506, 2012.
- 14) Takumi Matsui, Mikio Hasegawa, Hiroshi Hirai, Kiyohito Nagano and Kazuyuki Aihara, "Exact Optimum RAN Selection Algorithm for Heterogeneous-Type Cognitive Radio Networks," Proceedings of 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 652—655, 2012.
- 15) Tomohiro Kato, Mikio Hasegawa, and Kazuyuki Aihara, "Effectiveness of Chaotic Dynamics with Negative Autocorrelation and its Applications to Combinatorial Optimization Problems," Proceedings of 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 582—585, 2012.
- 16) Hiroyuki Yasuda, Makoto Harashima, Tomohiro Kato, Mikio Hasegawa, and Kazuyuki Aihara, "Performance Evaluation of a Sensor Network Synchronization Scheme based on Noise Induced Phase Synchronization," Proceedings of 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 656—659, 2012.
- 17) Hisashi Watanabe, Yuichi Omori, Mikio Hasegawa, and Kazuyuki Aihara, "Performance of Chaotic CDMA System implemented on Software-Defined Radio System," Proceedings of 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 662—665, 2012.
- 18) Tomohiro Kato, Mikio Hasegawa, Kazuyuki Aihara, "Performance Improvement of Heuristic Algorithms for Large Scale Combinatorial Optimization Problems using Lebesgue Spectrum Filter," Proceedings of IEEE World Congress on Computational Intelligence (International Joint Conference on Neural Networks), 2012.
- 19) Makoto Harashima, Hiroyuki Yasuda, Mikio Hasegawa, "Synchronization of Wireless Sensor Networks using Natural Environmental Signals Based on Phase Synchronization Phenomenon," Proceedings of IEEE Vehicular Network Conference (VTC2012-Spring), 2012.

- 20) Mikio Hasegawa, Yohsuke Kon, Kentaro Ishizu, Homare Murakami, Hiroshi Harada, “Autonomous Optimization Techniques for Cognitive Dynamic Wireless Systems,” Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops, pp. 920—924, 2012.
- 21) Yuichi Omori, Hisashi Watanabe, Mikio Hasegawa, “Implementation and Evaluation of Chaotic CDMA System using Software Defined Radio,” Proceedings of International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications, and Signal Processing, pp. 134—137, 2012. (Student Paper Award)
- 22) Hiroshi Kurita, Tomohiro Kato, Mikio Hasegawa, “Improving Performance of Multi-Armed Bandit Algorithms using Lebesgue Spectrum Filter,” Proceedings of International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications, and Signal Processing, pp. 130—133, 2012.
- 23) Ken Umeno, Mikio Hasegawa, Kazuyuki Aihara, “Chaotic Communications Effect in Chaotic Neural Networks with Refractoriness with Negatively Exponential Decay Correlated Inputs,” Proceedings of International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications, and Signal Processing, p. 129, 2012.
- 24) Yohsuke Kon, Mikio Hasegawa, Kentaro Ishizu, Hiroshi Harada, “Autonomous Parameter Optimization of A Heterogeneous Wireless Network Aggregation System using Machine Learning Algorithms,” Proceedings of IEEE Consumer Communications and Networking Conference, pp. 920—924, 2012.
- 25) Mikio Hasegawa, Kentaro Ishizu, Homare Murakami, Hiroshi Harada, “Performance of Neural Network Based Distributed Radio Resource Usage Optimization Algorithms in Realistic Heterogeneous Wireless Networks,” Proceedings of IEEE International Symposium on Personal Indoor Mobile Radio Communications, pp. 695—699, 2011.
- 26) Shinnya Fukuda, Tomohiro Kato, Mikio Hasegawa, “Analysis of Spatiotemporal Search Dynamics in The Combinatorial Optimization Algorithm Using Lebesgue Spectrum Filter,” Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 21—24, 2011.
- 27) Mikio Hasegawa, “Self-Optimized Wireless Distributed Networks,” Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 25—28, 2011.
- 28) Kazuki Hashiguchi, Yosuke Kon, Mikio Hasegawa, Kentaro Ishizu, Hiroshi Harada, “Traffic Allocation Control using Support Vector Machine in Heterogeneous Wireless Link Aggregation,” Proceedings of IEEE Consumer Communications and Networking Conference, pp. 150—154, 2011.
- 29) Mikio Hasegawa, Kentaro Ishizu, Homare Murakami, Hiroshi Harada, “Experimental Evaluation of Distributed Radio Resource Optimization Algorithm Based on the Neural Networks for Cognitive Wireless Cloud,” Proc. of IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Symposium (International Workshop on Cognitive Wireless Cloud Networks), pp. 32—37, 2010.
- 30) Mikio Hasegawa, “Realizing Ideal Chaotic Dynamics for Combinatorial Optimization Using a Spatiotemporal Filter,” Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 289—292, 2010.
- 31) Tomohiro Kato, Mikio Hasegawa, “Heuristic Methods for Asymmetric Traveling Salesman Problem and their Applications to DNA Fragment Assembly,” Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 386—389, 2010.
- 32) Hideki Igeta, Mikio Hasegawa, “A Combinatorial Optimization Method which Combines Ant Colony Optimization and Chaotic Dynamical Search,” Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 378—381, 2010.
- 32) 加藤智洋、長谷川幹雄, “占有率の低いチャンネル探索への Multi-Armed Bandit アルゴリズムの応用,” 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会予稿集, pp. 7-12, 2013.
- 33) 高相一輝、長谷川幹雄, 石津健太郎, 村上誉, “TVWS を利用したコグニティブ無線メッシュネットワークにおけるチャンネル割り当て及び経路の最適化,” 電子情報通信学会技術研究報告(ソフトウェア無線研究会), Vol. 112, No. 407, pp. 59-65, 2013.
- 34) Yosuke Kon, Mikio Hasegawa, “Optimization of Radio Access Networks Selection and Aggregation in Heterogeneous Type Cognitive Radio Networks,” Japan-Korea Joint Workshop on Complex Communication Sciences, 2012.
- 35) 高相一輝、長谷川幹雄, 石津健太郎, 村上誉, 原田博司, “TV ホワイトスペースを利用したコグニティブメッシュネットワークにおける無線リソース割り当て及び経路最適化手法の検討,” 情報処理学会研究報告(モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会), Vol. 2012-MBL-63, No. 19, 2012.
- 36) 安田裕之、原島淳、加藤智洋、長谷川幹雄、合原一幸, “環境信号による無線センサ

ネットワーク自律同期手法におけるデータ入力方法の検討,” 電子情報通信学会情報ネットワーク科学研究会・複雑コミュニケーションサイエンス研究会合同ワークショップ, 2012.

37) 伏木健二, 加藤智洋, 長谷川幹雄, 合原一幸, “Lebesgue Spectrum Filter による理想的探索ダイナミクスの連想記憶ニューラルネットワークを用いた解析,” 電子情報通信学会技術研究報告(非線形問題研究会), Vol. 111, No. 498, pp. 35-38, 2012.

38) 加藤智洋, 長谷川幹雄, 合原一幸, “ルベグスペクトラムフィルタを適用したヒューリスティック解探索アルゴリズムの時空間ダイナミクスの解析,” 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会, CCS-2011-045, pp. 222-229, 2012.

39) 村上誉, 石津健太郎, 原田博司, 長谷川幹雄, 勝間田賀章, 西野大, “ヘテロジニアス型コグニティブ無線技術における RAN 情報を活用したトラフィック制御の効率化手法,” 電子情報通信学会技術研究報告(ソフトウェア無線研究会), Vol. 111, No. 452, pp. 127-134, 2012.

40) 長谷川幹雄, 合原一幸, “ルベグスペクトルフィルタ (LSF) による理想的解探索ダイナミクスを用いた組合せ最適化,” 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会, CCS-2011-023, pp. 21-28, 2011.

41) 芝野恭平, 阿部力也, 平井広志, 長谷川幹雄, 合原一幸, “非同期電力系統間ルーティングと送電コストの最小化,” 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会, CCS-2011-037, pp. 86-88, 2011.

42) 加藤智洋, 長谷川幹雄, 合原一幸, “ルベグスペクトラムフィルタ (LSF) を用いたヒューリスティックな最適化問題解法の性能改善,” 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会, CCS-2011-034, pp. 71-77, 2011.

43) 長谷川幹雄, “負の自己相関を持つカオスのダイナミクスを用いたヒューリスティック解法の性能改善,” 電子情報通信学会技術研究報告(非線形問題研究会), Vol. 111, No. 106, pp. 59-64, 2011.

44) 安田裕之, 高相一輝, 長谷川幹雄, “Noise-Induced Synchronization に基づいた実環境信号による無線センサネットワークの同期,” 電子情報通信学会技術研究報告(非線形問題研究会), Vol. 111, No. 106, pp. 29-34, 2011.

45) 加藤智洋, 福田晋也, 長谷川幹雄, “カオスの低相互相関ダイナミクスを用いた組合せ最適化アルゴリズムの有効性とその解析,” 電子情報通信学会技術研究報告(非線形問題研究会), Vol. 110, No. 465, pp. 7-12,

2011.

46) 伊藤誠人, 橋口和貴, 今陽祐, 長谷川幹雄, 石津健太郎, 原田博司, “実ネットワークにおける異種無線アグリゲーションのパラメータ最適化,” 電子情報通信学会技術研究報告(ソフトウェア無線研究会), Vol. 110, No. 398, SR2010-78, pp. 49-56, 2011.

47) 長谷川幹雄, “負の自己相関を持つカオスダイナミクスを用いた組合せ最適化手法の有効性,” 電子情報通信学会技術研究報告(非線形問題研究会), Vol. 110, No. 387, pp. 57-62, 2011.

48) 村上誉, 石津健太郎, 原田博司, 長谷川幹雄, “IMS 上に実装した IEEE 1900.4 制御方式の性能評価,” 電子情報通信学会技術研究報告(ソフトウェア無線研究会), Vol. 110, No. 252, pp. 49-56, 2010.

49) 橋口和貴, 長谷川幹雄, 石津健太郎, 宮本剛, 村上誉, 原田博司, “異種無線リンクアグリゲーション方式における最適トラフィック分配制御の解析,” 電子情報通信学会技術研究報告(ソフトウェア無線研究会), Vol. 109, No. 383, SR2009-74, pp. 1-8, 2010.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 2 件)

名称: デバイス同士を同期する自律同期システム及び、自律同期方法

発明者: 長谷川幹雄, 安田裕之, 本田悠貴, 中尾裕也, 堀尾喜彦, 合原一幸

権利者: JST

種類: 特許

番号: 特願 2013-040751

出願年月日: 2013. 3. 1

国内外の別: 国内

名称: ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワークにおける RAN 選択問題の厳密最適化

発明者: 長谷川幹雄, 松井琢己

権利者: JST

種類: 特許

番号: 2012-048570

出願年月日: 2012. 3. 5 出願

国内外の別: 国内

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷川幹雄 (MIKIO HASEGAWA)

東京理科大学・工学部・准教授

研究者番号：50358967