

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02688

研究課題名(和文) 稠密な無線LANの高品質化を実現するユーザ移動制御方法

研究課題名(英文) User Cooperative Mobility for Communication Quality in Densely Deployed Wireless LANS

研究代表者

村瀬 勉 (MURASE, TUTOMU)

名古屋大学・情報基盤センター・教授

研究者番号：10530941

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、プロトコル・アクセス制御といった通信制御には手を加えず、ユーザ(あるいは端末)を制御対象とし、ユーザを物理的に移動させる「ユーザ移動制御」技術を開発した。移動にはコストがかかるため、どの程度のゲインが得られるかを定量的に評価して、把握しておく必要がある。評価においては、複数のユーザを移動させる場合の、対象ユーザ・距離・方向の組み合わせ爆発を避けるためのヒューリスティック解法も必要である。ネットロジや無線固有の特性を考慮して、様々なモデルに対して、解析・シミュレーション・実機実験を通して、ユーザ移動制御方法の有効性を立証した。

研究成果の概要(英文)：To improve quality of services (QoS) without changing protocols or specifications, this research proposed “user mobility control” in which users or devices move the better place to obtain better QoS. If users can move, then we have more better parameters of protocols fitting to the current user positions. Tradeoff of the mobility cost and QoS improvement was evaluated by analysis, simulations and real device experiments with using newly developed proposed methods and algorithms. For multiple users movements, heuristic approached are also developed.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：ユーザ移動 モバイルワイヤレス QoS 稠密 スループット アドホックネットワーク 車車間通信  
無線LAN

## 1. 研究開始当初の背景

テザリングやモバイルルータの普及と、ウェアラブルデバイスの出現により、個人が無線 LAN(移動無線 LAN)を持ち歩くようになった。人が多く集まる駅や会議室やカフェなどでは、近くにある無線 LAN は、お互いに相手に干渉を及ぼし、これがスループットといった通信品質の劣化につながる。例えば、申請者らの研究において、近距離の無線 LAN は、干渉により、1/4~1/10 のスループットになったという計測結果が報告されている。

これに対して、すでに、IEEE802.11ax(2014年5月発足)というタスクグループなどを中心に、プロトコル制御・アクセス制御の改善による対策が検討されている。しかしながら、それらの対策は、既存のデバイスや端末との相互接続性を考慮するという制約を持ったため、干渉や、品質劣化を抜本的に解消できるものではない。一方で、相互接続性をあきらめ、新しい通信制御を導入するアプローチでは、経済的ビジネス的な理由で現実性が薄い。

## 2. 研究の目的

本研究では、プロトコル・アクセス制御といった通信制御には手を加えず、ユーザ(あるいは端末)を制御対象とし、ユーザを物理的に移動させる「ユーザ移動制御」技術を開発する。無線通信においては、ユーザを適当な位置に移動させることで、信号対ノイズ比(SNR, signal-to-noise ratio)が向上するため、適当な位置にユーザを移動させることができれば、ユーザ品質を飛躍的に高められる。

ただし、ユーザ移動制御の確立のためには、品質向上というゲインが移動というコストを上回るか(インセンティブがあるか)を定量評価する必要がある。複数のユーザを移動させる場合、対象ユーザ・距離・方向の組み合わせ爆発を避けるためのヒューリスティック解法が必要であり、網トポロジや無線固有の特性を考慮して、様々なモデルに対して、解析・シミュレーション・実機実験を通して、ユーザ移動制御方法の有効性を立証する。

## 3. 研究の方法

人やデバイスであるユーザは、移動することにコストを生じる。たとえば、従来の研究がフルサービスレストランにおけるサービスや食品素材の改善などであったのに対して、本研究はそこにセルフサービスの概念を持ち込むことに相当する。ユーザが自ら移動する分だけ、安価に(あるいは品質良い食材が)提供できる。この改善(ゲイン)とコストの差が、ユーザが移動制御(セルフサービス)を受け入れるかどうか(すなわちインセンティブ)になる。本研究では、個人で異なるコストは扱わず、ゲイン(品質向上度合い)を定量的に示す。

主な研究課題を次の2つとした。(1)様々なトポロジや無線固有の特性を考慮し、ユーザ(無線 LAN 端末あるいは無線 LAN アクセスポイント(AP))を移動させたときの距離(コ

スト)とスループット向上(ゲイン)の関係の調査。(2)複数のユーザを移動させる場合の、対象ユーザ/距離/方向の組み合わせ爆発を避けるためのヒューリスティック解法の開発。

## 4. 研究成果

本研究においては、当初の予定通りの成果を挙げることができ、当初の目的を達成した。成果のほとんどは学術的にも高く評価され、多数のジャーナル論文(30編)やIEEEなどの権威ある国際会議に採録された。論文数は総計で146件にのぼる。また、代表者および分担者は、多数の招待講演依頼を受諾し、技術の周知にも務めた。以下、具体的な成果について述べる。([ ]内は主要担当者の姓)

(1)様々なトポロジや無線固有の特性を考慮し、ユーザ(無線 LAN 端末あるいは無線 LAN アクセスポイント(AP))を移動させたときの距離(コスト)とスループット向上(ゲイン)の関係の調査を行った。まず、会議室などテザリングユーザ(すなわち小規模の無線 LAN)が多数存在する環境におけるユーザ移動制御に関して検討し、ユーザの適切な位置への移動により、性能が大きく向上することを、理論解析により明らかにした[橘、村瀬]。このとき、ユーザの移動を前提として、無線 LAN プロトコル(バックオフ)パラメータをデフォルト値から適切に変更することで、性能を大きく向上可能であることを示した[小畑、村瀬]。また、優先制御を用いている無線 LAN に対して、図1のような効果的なパラメータ設定による効果を定量的に明らかにした[甲藤、金井、村瀬]。さらに、上位レイヤプロトコル(TCP)を考慮した性能評価を行い、TCPに最適な制御方式を用いたときのユーザ移動制御の有効性をシミュレーションにて確認した[小畑]。また、ネットワークの品質のみならず、ユーザ体感品質(QoE)についても検討し、有効性を確認した[小畑]。現実的な環境での有効性確認のため、実機を用いた実験を行った。このような現実的な場面では、ユーザへのナビゲーションが必須であり、なおかつ無線環境の時間変動も考慮する必要がある。経路の分岐点ごとに、候補経路における無線環境の時間変動を推定し、最適と思われる経路を提示する方法を提案し、良好な性能を示すことを確認した。端末の消費電力をコストとしたときに、コスト対ゲインの最適値を得る移動方法を明らかにした[甲藤、金井、村瀬]。さらに、映像配信におけるQoEに関するユーザ移動の効果の評価した[甲藤、金井]。

次に、第5世代セルラー網において活用が期待されているアドホックネットワーク(以下ADHWN)に関して検討した。無線 LAN 技術で構成される複数のADHWN(ユーザノードで構成)がお互いに干渉する環境における性能を評価し、性能改善手法を提案した。無線 LAN の4ノードで構成される2~4個のADHWNについて、網羅的な位置関係での性能を明らか

にした[村瀬]。次に、1つのADHNWにおいて、ADHNWを構成するノード(ユーザ)について検討した。まず、ADHNWにおけるトラフィック特性を精度良く評価するために、解析方法を確立した[塩田、関屋、小室]。さらに、開発した解析方法を用いて、端末自身が送出するデータ量と中継するデータ量の配分に着目した性能特性も行い、図2に示すような負荷の増分に従って双安定状態を示すという新たな知見を得るなどADHNWの性能特性を明らかにした[塩田、関屋、小室]。さらに、トポロジ(接続関係)を変更しないという条件の下に、1つのノードだけが移動したときの性能の変化を評価し、前記無線の移動に比べて、移動距離に対するゲインが遙かに大きいことを図3のように明らかにした[村瀬]。

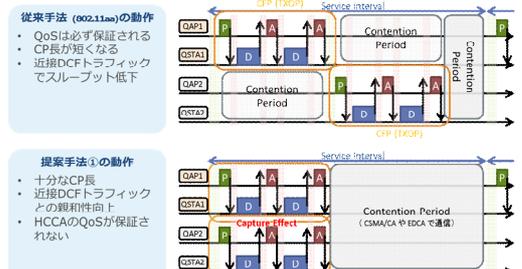
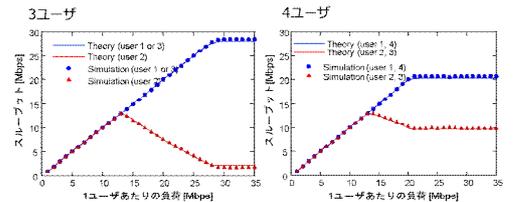


図1 優先制御の場合の効果的なパラメータ



挟まれたユーザのスループットが低下

図2 中継ノードの負荷と性能(解析手法)

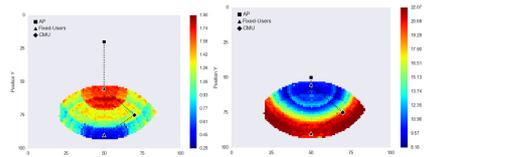


図3 ノードが1つだけ移動する場合の性能

(2) 複数のユーザを移動させる場合の評価、および、対象ユーザ/距離/方向の組み合わせ爆発を避けるためのヒューリスティック解法の開発を行った。複数のノードが移動する場合についての評価を行った。複数のノードが移動する場合には、図4のようにトポロジ自体が変化する可能性も考慮して、トポロジを最適に変更した[村瀬、塩田]。これを解くには膨大な可能性(組み合わせ)の調査(評価)が必要となる。図5に示すように、すでに提案している番犬アルゴリズムなどの知見を利用して、組み合わせ計算の爆発を回避し、ごく短時間で解を得ることができ、さらに非常に精度のよいヒューリスティック計算方法を新たに提案することができた[村瀬]。また、トラフィックの流し方を工夫する

ことで、性能を向上させる提案を行った[塩田、村瀬]。

本研究を通じて、ユーザを移動させる制御を採用することで、多くの場合で、大きなゲインが得られることを明らかにできた。また、状況によっては、ゲインが小さい場合が見られることも明らかにした。実際のユースケースとしては、どこに移動すればどの程度のゲインが得られるかをユーザに提示し(例えばスマホの画面に図示)、ユーザ個人の効用関数から導き出されるコストと比較することで、制御が行われることが考えられる。

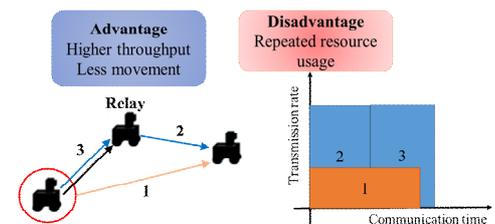


図4 ユーザ移動に伴う最適トポロジの変化

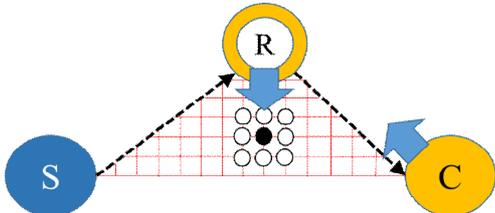


図5 最適なトポロジ・移動地点(ヒューリスティック法)

5. 主な発表論文等  
 [雑誌論文] (計 30 件)  
 [1] 著者名 Kenji Kanai, Sakiko Takenaka, Jiro Katto, Tutomu Murase  
 論文標題 Energy-efficient Mobile Video Delivery utilizing Moving Route Navigation and Video Playout Buffer Control  
 雑誌名 IEICE TRANSACTIONS on Communications  
 巻、発行年 1巻 2018  
 最初と最後のページ 1-12  
 査読の有無(Y/N) 有  
 [2] 著者名 Yukinobu Fukushima, Tutomu Murase, Gen Motoyoshi, Tokumi Yokohira, Tatsuya Suda  
 論文標題 Determining Server Locations in Server Migration Service to Minimize Monetary Penalty of Dynamic Server Migration  
 雑誌名 Journal of Network and Systems Management  
 巻、発行年 2月 2018  
 最初と最後のページ -  
 査読の有無(Y/N) 有  
 [3] 著者名 Tingrui Pei, Fangqing Lei, Zhetao Li, Gengming Zhu, Xin Peng, Youngjune Choi, and Hiroo Sekiya  
 論文標題 A delay-aware congestion control

protocol for wireless sensor networks  
雑誌名 Chinese Journal of Electronics 巻、  
巻、発行年 26 2017  
最初と最後のページ 591-599 1  
査読の有無(Y/N) 有  
[4] 著者名 Kosuke Sanada and Hiroo Sekiya  
論文標題 Bottom-up analysis concept for  
throughput and delay analyses of wireless  
network  
雑誌名 Nonlinear Theory and Its  
Applications, IEICE  
巻、発行年 8 2017  
最初と最後のページ 181-203  
査読の有無(Y/N) 有  
[5] 著者名 Y. Wan, K. Sanada, N. Komuro, G.  
Motoyoshi, N. Yamagaki, S. Shioda, S.  
Sakata, T. Murase, and H. Sekiya,  
論文標題 Throughput analysis of WLANs in  
saturation and non-saturation  
heterogeneous conditions with airtime  
concept  
雑誌名 IEICE Trans. Commun.  
巻、発行年 vol. E99-B, no. 11, 2016.  
最初と最後のページ 2048-2059  
査読の有無(Y/N) 有  
[6] 著者名 : Ryo Hamamoto, Tutomu Murase,  
Chisa Takano, Hiroyasu Obata, and Kenji  
Ishida  
論文標題 : A Proposal of Access Point  
Selection Method Based on Cooperative  
Movement of  
Both Access Points and Users  
雑誌名 : IEICE Transactions on Information  
and Systems  
巻、発行年 : Vol. E98-D, No. 12, December 2015  
最初と最後のページ : 2048-2059  
査読の有無(Y/N) 有  
[7] 著者名 Kosuke Sanada, Jin Shi,  
Nobuyoshi Komuro, and Hiroo Sekiya  
論文標題 End-to-end delay analysis for  
IEEE 802.11 string-topology multi-  
hop networks  
雑誌名 IEICE Transactions on  
Communications  
巻、発行年 vol. 30, no. 7, 2015  
最初と最後のページ pp. 3685-3694  
査読の有無(Y)  
[8] 著者名 Yuta Shimoyamada, Kosuke Sanada,  
Nobuyoshi Komuro, and Hiroo Sekiya  
論文標題 End-to-end throughput analysis  
for IEEE 802.11e EDCA string-  
topology wireless multi-hop networks  
雑誌名 Nonlinear Theory and Its  
Applications, IEICE  
巻、発行年 vol. E6-N, no. 3, 2015  
最初と最後のページ pp. 410-432  
査読の有無(Y) 有  
[学会発表] (計 116 件)

[9] Yosuke Izumikawa, Yoshiaki Miura,  
Hiroyasu Obata, Chisa Takano, Tutomu Murase,  
and Kenji Ishida, "A Media Access Control Using Capture Effect for Bi-Directional Flows over Densely placed WLANs," NOLTA2018, 2018.  
[10] Yosuke Izumikawa, Hiroyasu Obata, Chisa Takano, Tutomu Murase, and Kenji Ishida, "Experimental Evaluation of TCP Considering Capture Effect on WLAN," KJCCS2017, 2018.  
[11] 泉川 洋介, 小畑 博靖, 高野 知佐, 村瀬 勉, 石田 賢治, "複数 WLAN 密集環境におけるキャプチャ効果を考慮したメディアアクセス制御のスループット特性評価," 電子情報通信学会 CQ 研究会, 2018.  
[12] Tianran Luo and Tutomu Murase, "Performance Evaluation with Considering Capture Effect in Ad-hoc Networks on User Cooperative Mobility for QoS Improvement," ACM IMCOM2018, 2018.  
[13] Riku Ohmiya, Hiroyasu Obata and Tutomu Murase, "Performance Evaluation on Multiple Ad-hoc Networks with Co-Existing Aggressive Contention Window Control and Legacy Control," ACM IMCOM2018, 2018.  
[14] Takuya Sakakibara, Shigeo Shioda and Tutomu Murase, "Approximation on Throughput Evaluation on Relay Function in Cooperative Multiple Robots System," ACM IMCOM2018, 2018.  
[15] Riku Ohmiya, Hiroyasu Obata and Tutomu Murase, "Optimal Placement with Considering Interference in Multiple Ad-Hoc Networks," ICOIN2018, 2018.  
[16] 八木俊賢, 村瀬 勉, "近接した多数の EDCA 制御方式 WLAN 間のキャプチャエフェクトを考慮したチャンネル割り当て方式の提案," 電子情報通信学会 IN 研究会, 2018.  
[17] 榊原巧也, 塩田 茂雄, 村瀬 勉, "協働ロボットシステムにおける中継機能の近似解評価," 電子情報通信学会 IN 研究会, 2018.  
[18] 古沼勇人, 榊原巧也, 村瀬 勉, 塩田 茂雄, "無線 LAN と携帯電話回線を併用したクラウドへの並列データ伝送の最適化," 電子情報通信学会 総合大会, 2018.  
[19] Yuto Yoshida, Hiroo Sekiya, "Throughput analysis of WLANs in presence of capture effect," International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018, 2018.  
[20] Kouhei Hayashida, Hiroo Sekiya, "Throughput and delay analyses for RTS/CTS-used IEEE 802.11 DCF on two-way flows string-topology multi-hop networks," International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018, 2018.  
[21] Yosuke Izumikawa, Yoshiaki Miura,

- Hiroyasu Obata, Chisa Takano, Tutomu Murase, and Kenji Ishida, “A Media Access Control Using Capture Effect for Bi-Directional Flows over Densely placed WLANs,” NOLTA2018, 2018.
- [22] Yosuke Izumikawa, Hiroyasu Obata, Chisa Takano, Tutomu Murase, and Kenji Ishida, “Experimental Evaluation of TCP considering Capture Effect on WLAN,” KJCCS2017, 2018.
- [23] Mayu Morita, Hiroyasu Obata, Chisa Takano, and Kenji Ishida, “TCP Characteristics Evaluation using Adaptive Throughput Control Method based on SP-MAC,” KJCCS2017, 2018.
- [24] Hiroyasu Obata, Chisa Takano, and Yuuki Yamamoto, “An Adaptive Throughput Guarantee Method based on SP-MAC for WLAN,” NOLTA2017, 2017.
- [25] Tatsuya Nagashima, Kenji Kanai and Jiro Katto, “QoS and QoE Evaluations of 2K and 4K DASH Contents Distributions,” IEEE IMAD 2017, 2017.
- [26] Tutomu Murase, “Network researches and facilities for “Big Data”,” Workshop on, 2017.
- [27] 泉川 洋介, 小畑 博靖, 高野 知佐, 村瀬 勉, 石田 賢治, “無線 LAN 環境におけるキャプチャ効果を考慮した TCP 通信の実験的評価,” 第 19 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2017.
- [28] Takuya Sakakibara, Shigeo Shioda, Tutomu Murase, “Performance Evaluation on Relay Function of Cooperative Link Aggregation System in Multiple Robots,” IEEE GCCE2017, 2017.
- [29] Riku Ohmiya, Hiroyasu Obata, Tutomu Murase, “Throughput Fairness in Co-Existing Aggressive Contention Window Control with Legacy Control in Multiple Ad-Hoc Networks,” IEEE GCCE2017, 2017.
- [30] Tianran Luo, Tutomu Murase, “Validation of Theoretical Evaluation on User Cooperative Mobility for QoS Improvement in Ad-hoc Networks,” IEEE GCCE2017, 2017.
- [31] Ryoya Kawasaki, Hirofumi Onishi, Tutomu Murase, “Performance Evaluation on V2X Communication with PC5-based and Uu-based LTE in Crash Warning Application,” IEEE GCCE2017, 2017.
- [32] Ryoma Ando, Ryo Hamamoto, Hiroyasu Obata, Chisa Takano, and Kenji Ishida, “An Adaptive Control Parameter Setting Method for Priority Control Based on Media Access Control SP-MAC over WLAN,” Proc. 8th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON’ 15), 2015.
- [33] 清水 学, 堀内 咲江, 三好 一徳, 村瀬 勉, 橘 拓至, “過密な無線 LAN 環境におけるユーザ移動がスループットに与える影響の実験評価,” 電子情報通信学会総合大会, 2016.
- [34] Masanori Kanda, Jiro Katto and Tutomu Murase, “Enhancement of HCCA utilizing Capture Effect to Support High QoS and DCF Friendliness,” IEEE CCNC 2016, 2016.
- [35] 野辺 誠, 金井 謙治, 甲藤 二郎, “動画像配信時の再生バッファ制御の違いによる通信品質の予測精度評価,” 電子情報通信学会 NS 研究会, 2016.
- [36] 金井 謙治, 竹中 幸子, 甲藤 二郎, 村瀬 勉, “複数ユーザ間において無線リソースを有効活用するスマート経路の特性評価,” 電子情報通信学会 CQ 研究会, 2016.
- [37] 竹中 幸子, 石津 裕也, 金井 謙治, 甲藤 二郎, 村瀬 勉, “高スループット転送及びバッファリング戦略を活用した移動端末における映像配信省電力化に向けた検討,” 電子情報通信学会 CQ 研究会, 2016.
- [38] Yuuki Yamamoto, Ryo Hamamoto, Hiroyasu Obata, Chisa Takano, and Kenji Ishida, “Control Method to Guarantee Throughput based on Media Access Control Method SP-MAC over WLAN,” Proc. 13th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC2016), 2016.
- [39] Fumiya Teshima, Hiroyasu Obata, Ryo Hamamoto, and Kenji Ishida, “Redundancy Setting Method for TCP Congestion Control based on FEC over Wireless LAN,” Proc. 8th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON’ 15), 2015.
- [40] X. Li, Y. Narita, Y. Gotoh, S. Shioda, N. Komuro, H. Sekiya, S. Sakata, K. Miyoshi, and T. Murase, “Light-weight performance analysis of Wi-Fi offload using mean-field approximation,” Proceeding of APCC 2015, 2015.
- [41] Yuuki Yamamoto, Ryo Hamamoto, Hiroyasu Obata, Chisa Takano, and Kenji Ishida, “Performance Evaluation of Control Method to Guarantee Throughput based on Media Access Control SP-MAC over WLAN,” 8th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON’ 15), 2015.
- [42] Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Hiroyasu Obata, Kenji Ishida, and Tutomu Murase, “An Access Point Selection Mechanism Based on Cooperation of Access Points and Users Movement,” Proc. 14th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM2015), 2015.
- [43] 安藤 竜馬, 濱本 亮, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治, “メディアアクセス制御方式 SP-MAC のキャプチャ効果を考慮したス

ループ特性,” 電子情報通信学会 2016 年総合大会, 2016.

[44]濱本 亮, 小畑 博靖, 安藤 竜馬, 山本 西貴, 高野 知佐, 石田 賢治, “結合振動子の同期現象に基づいたメディアアクセス制御を用いる端末の電力消費量特性,” 電子情報通信学会 2016 年総合大会, 2016.

[45]泉井 康平, 小畑 博靖, 濱本 亮, 高野 知佐, 石田 賢治, “無線 LAN マルチレート環境における伝送レートのモデル化の検討,” 電子情報通信学会 2016 年総合大会, 2016.

[46]安藤 竜馬, 濱本 亮, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治, “マルチホップ無線 LAN におけるメディアアクセス制御 SP-MAC の性能評価,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, 2016.

[47]濱本 亮, 安藤 竜馬, 山本 西貴, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治, “隠れ端末問題を考慮した結合振動子の同期現象に基づくメディアアクセス制御方式 SP-MAC の改良,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, 2015.

[48]寺岡 良章, 小畑 博靖, 石田 賢治, “無線 LAN のアクセスポイントにおける TCP スループット保証を目指した受信ウィンドウ制御,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, 2015.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

産業財産権の名称: 無線通信装置及び無線通信方法

発明者: 濱本 亮, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治

権利者: 同上

産業財産権の種類、番号: 特願 2015-227343

出願年月日: 2015/11/20

国内・外国の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

解説記事

塩田茂雄, “競合を考慮した待ち行列モデルによる無線 LAN 性能評価,” 電子情報通信学会誌, 2017.

海外との連携

Singapore Telecom Dr. Eng Keng Lua 氏との共同研究に発展した

受賞

2017 年 3 月 電子情報通信学会 情報通信マネジメント研究賞

2018 年 6 月 18 日 IEICE 東海支部 H29 年度学生研究奨励賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村瀬勉 (MURASE, Tutomu)

名古屋大学・情報基盤センター・教授

研究者番号: 10530941

(2) 研究分担者

塩田 茂雄 (SHIODA, Shigeo)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 70334167

関屋 大雄 (SEKIYA, Hiroo)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 20334203

小室 信喜 (KOMURO, Nobuki)

千葉大学・統合情報センター・准教授

研究者番号: 70409796

橘 拓至 (TACHIBANA, Takuji)

福井大学・学術研究院工学系部門・准教授

研究者番号: 20415847

小畑 博靖 (OBATA, Hiroyasu)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号: 30364110

甲藤 二郎 (KATTO, Jiro)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号: 70318765

金井 謙治 (KANI, Kenji)

早稲田大学・理工学術院・助教

研究者番号: 40732160

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

大西洋文 (ONISHI, Hirofumi)

Alpine Electronics Research of America, Inc. ・ リサーチャ