

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04138

研究課題名(和文) 稠密な無線分散センシングのための低遅延かつ省電力なネットワーク構成法

研究課題名(英文) Low-Latency and Energy-Efficient Network Architecture for Densely Distributed Wireless Sensing

研究代表者

上原 秀幸 (Uehara, Hideyuki)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00293754

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大量かつ高密度に配置された多様な無線センサ端末で構成されるネットワークを対象として、省電力・低遅延・高スループットを実現する1)トポロジとその構成法、2)耐干渉アクセス制御法、3)基幹網の全二重化を目指し、主に次に示す結果を得た。1)CSMAを用いたクラスタ型ネットワークではクラスタ数とキャリアセンス閾値に配慮した設計が重要であり、仮想全二重化ではクラスタヘッドの配置と送信電力に最適値がある。2)他セル干渉が存在する環境下では受信成功の可否に基づく電力制御が有効である。3)高性能な自己干渉キャンセラを開発し、BlockACKがマルチホップ通信で有効である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

到来する超スマート社会では、無線通信機能とセンシング機能を有する端末が、大量かつ高密度に配置されるため、これらをつなぐネットワークの高スループット化や低遅延化、省電力化は喫緊の課題である。本研究は、これに対しトポロジ、アクセス制御、全二重化で解決を図り、また新たな知見を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to achieve low energy, low latency and high throughput for high density networks consisting of many heterogeneous wireless sensor nodes; then tackled to develop 1) topology control and its configuration, 2) interference-tolerant access control, and 3) a full-duplexed backbone network. We obtained mainly the following results. 1) In a clustered network using CSMA, it is important to consider the number of clusters and the carrier sense threshold. In a virtual full-duplex network, there are optimal values for the placement of cluster heads and the transmit power. 2) In the presence of interference from other cells, power control based on the success or failure of reception is effective. 3) A high-performance self-interference canceller is developed, and the BlockACK is effective in multi-hop communication.

研究分野：通信工学

キーワード：センサネットワーク トポロジ 省電力 低遅延 アクセス制御 全二重

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超大量のセンサがつながる利便性、超スマート社会 (Society 5.0)への期待が大きくなってきている。一方で、それらのセンサは多種多様であり、各用途で独自に構成されている。たとえば、スマートメーター(水道、ガスなど)、社会インフラモニタリング(橋梁、トンネルなどの構造物)、環境モニタリング(斜面、河川水位、地震など)、農業用、工業用(工場内)、商業用(物流)などである。加えて、センサ端末は静止しているとは限らない。たとえば、車は大量の多種多様なセンサを搭載した移動センサ端末とみなすことができる。また、スマホを持った人も移動センサ端末と言える。近年ではドローンを活用した事例も増えてきている。

このような超スマート社会が一般的になればトラヒックは膨大となり、与干渉・被干渉が大きくなると予想される。その結果、スループットや遅延といった通信品質の劣化および消費電力の増大が危惧される。したがって、省電力で通信品質を高く保てるようなネットワークを構成することが望まれる。

2. 研究の目的

上述の背景のもと、本研究では、大量かつ高密度に配置された多様な無線センサ端末で構成されるネットワークを対象として、省電力・低遅延・高スループットを実現する1)トポロジとその構成法、2)耐干渉アクセス制御法、3)基幹網の全二重化を目指したものである。

3. 研究の方法

想定するアプリケーションは、工場内の無線化(図1)と災害避難時の情報共有である。工場内では、局所的に機器の配置等が変化し無線通信が安定しないことが多い。また、場所ごとに作業やデータが異なるといった配置上の特徴がある。さらに、機器制御や労働者の安全のために低遅延が重要となる。一方、災害時はグループで同じような方向へと移動する特徴があり、近隣との情報交換とともに広域の情報収集を低遅延で行うことが重要となる。本研究ではこのようなアプリケーションを想定してネットワークをモデル化し、理論解析と計算機シミュレーションにより評価した。

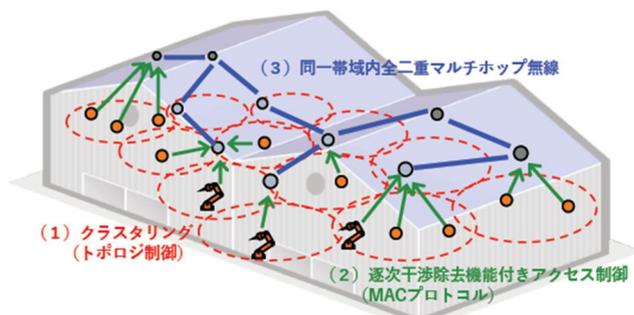


図1 工場内ネットワーク構成のイメージ

4. 研究成果

4.1 ネットワークトポロジと構成法

クラスタ型ネットワークは省電力性に優れていることが知られている。一般的なクラスタ型ネットワークでは、クラスタヘッドと呼ばれるリーダー端末をいくつかランダムに選択し、他の端末(メンバー端末という)は最近傍のクラスタヘッドに属す。このときのアクセス制御方式はTDMA (Time Division Multiple Access) とCDMA (Code Division Multiple Access) が用いられ、さらに適応送信電力制御が行われている。

4.1.1 CSMA とクラスタ型ネットワーク

現在多く用いられている分散型のアクセス制御方式はCSMA (Carrier Sense Multiple Access) であり、適応送信電力制御は行われていない。そこで、CSMA とクラスタ型、そして固定の送信電力で特性評価した。ネットワークエリアは100m×100mの正方形とし、100台の端末をランダムに配置した。この中からクラスタヘッド k 台をランダムに選択する。シンクはネットワークエリア外にある。キャリアセンス閾値は最小受信感度に対して-6dB と-12dB とした。通信路は自由空間とした。CSMA では隠れ端末の影響が大きく、干渉回避策としてクラスタ数とキャリアセンス閾値に配慮した設計が重要であることが示された。

4.1.2 仮想全二重による中継

前節においては、メンバー端末は一つのクラスタヘッドのみを中継端末としていた。しかし

ながら、干渉を含む伝搬環境は変化するので、複数端末から条件の良いものを選択しダイバーシチ効果を活用できた方が良い。また、干渉対策としてクラスタヘッドに逐次干渉除去機能を搭載できれば、半二重端末で構成されるネットワークがあたかも全二重動作をしているように運用でき遅延の改善も期待される。これを仮想全二重という。本研究では、アウテージ確率の観点から理論解析し、中継端末であるクラスタヘッドの配置と送信電力に最適値が存在することを示した。

4.2 耐干渉アクセス

これまで議論してきたように、無線センサ端末が大量高密度に配置されたネットワークでは、各端末は他の端末に干渉を与えるだけでなく、干渉を被ることになる。したがって、省電力・低遅延・高スループットの実現には、干渉の制御が何よりも重要になってくるがわかった。本研究では、簡易な ALOHA 型のアクセス制御に逐次干渉除去技術を組み合わせた CRDSA (Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA) に着目した。

4.2.1 ネットワークモデル

同一周波数を用いる正六角形のセルが隣接するマルチセル環境を想定する。受信機は各セルの中心に位置し、無線センサ端末はセル内に一様分布しているとする。電波伝播モデルは、受信電力が距離の 2.5 乗に比例して減衰する距離減衰モデルとし、フェージングは考慮しない。無線センサ端末は全て同一の機能を有し、CRDSA で動作する。ただし、他セルからの信号は逐次干渉除去を実行できない干渉信号として扱う。信号の受信成功可否の判定には、SINR (Signal to Interference and Noise power Ratio) を用いる。

4.2.2 トラヒック制御

スループットを最大とすることを制御規範として、干渉量に対してフレーム長とレプリカ数を変更する。最適値はあらかじめ評価した値をリストとして各端末が保持しているものとする。また、トラヒック制御はセルごとに時分割で行うものとする。

図2にトラヒック制御をした場合のスループット特性を示す。端末数 100 台, セル半径 15m, 最低受信電力 -74dBm, 送信電力を 5dBm, 7dBm とした。点線は、各送信電力において達成可能な最大スループットである。トラヒック制御を繰り返すことでスループットはトラヒック制御前 ($n = 0$) と比較して約 1.6 倍まで増加した。しかし、この値は達成可能な最大スループットよりも小さかった。また、送信電力が大きい場合、スループットの改善率と達成可能な最大スループットは減少した。このことから、送信電力制御による干渉低減が重要であると示唆された。

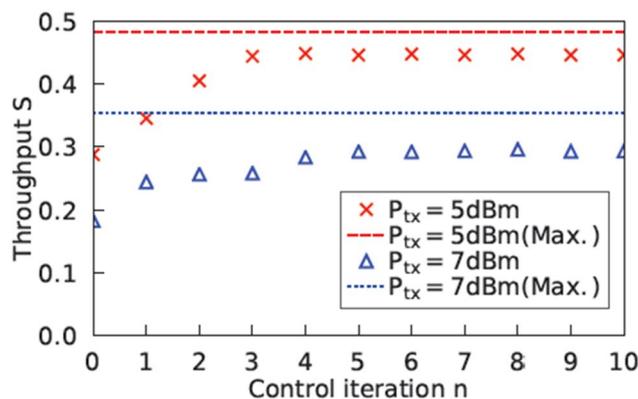


図2 トラヒック制御回数に対するスループット

4.2.3 送信電力制御

次の二通りの手法を検討する。

A) 位置情報に基づく送信電力制御

受信機からの距離に応じて、セル内を等面積の複数のエリアに分割する。各端末は、各エリアに対応する目標受信電力を受信電力セット P_r から選択し、送信電力を制御する。このとき、受信機から遠いエリアほど目標受信電力が小さくなるように設定される。

B) 受信成功の可否に基づく送信電力制御

この手法では、送信電力セット P_s から送信電力を選択する。逐次干渉除去の終了後、送信に成功した端末は送信電力を大きく、失敗した端末は小さく設定する。フレーム毎にこの動作を繰り返すことで、受信機に近い端末の送信電力は大きく、受信機から遠い端末の送信電力は小さくなる。

図3に送信電力制御をした場合のスループット特性を示す。端末数とセル半径は図1と同じくそれぞれ100台、15mだが、送信レプリカ数を2に固定している。送信電力セット P_s は{18, 0}dBm、受信電力セット P_r は{-58, -76}dBmに設定し、SINR 閾値 γ_{th} が5, 9dB の場合についてそれぞれ評価した。これより、 γ_{th} によらず受信成功可否に基づく手法 (Update)の方が有効であり、端末間の公平性に関する Fairness Index も受信成功可否に基づく手法の方が高いことがわかった。

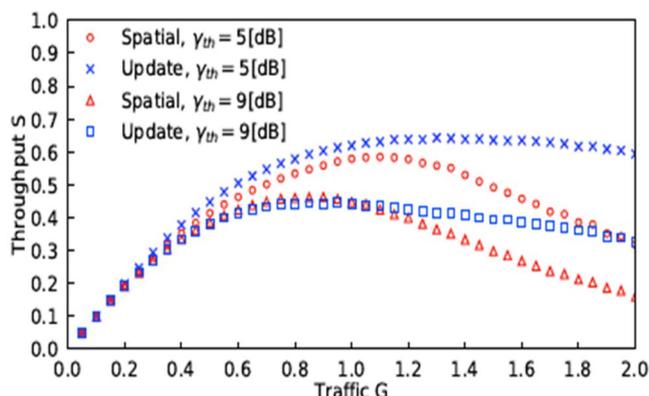


図3 送信電力制御時のスループット特性

4.3 全二重化

各センサ端末からの情報が集中する基幹網を全二重化する、つまり送信と受信を同一帯域内で同時に行うことで低遅延化と高スループット化を図る。そのための自己干渉除去技術の開発とマルチホップ化の開発を進めた。

4.3.1 自己干渉除去

同一帯域で全二重化すると自ら送信した信号を受信する。これは所望信号よりおよそ 100dB も大きな自己干渉となり除去しなければならない。本研究では、センサ端末内の高周波回路に起因する非線形歪みと無線通信路の特性を高精度かつ低計算量で推定し、自己干渉信号を再現して除去する方式を開発した。その過程で、電力増幅器の歪みに対しては線形化を施すよりも故意に非線形性を与える方が自己干渉除去性能の観点からは良いという興味深い知見を得た。

4.3.2 マルチホップ通信

同一帯域で同時に送受信が可能となる全二重化はマルチホップ通信の低遅延化に大いに有効である。そこで、遅延増大の主たる要因である再送に着目し、パケット送信をパイプライン化し、複数の確認応答を集約して返す BlockACK を、我々が開発した指向性全二重マルチホップ通信システムへ導入した。計算機シミュレーションによる評価では、パケットロス率が比較的高い伝搬環境においてもスループットと遅延を改善できることが示された。ただし、本評価は単純なストリングトポロジにおいてのみであり、今後は分岐や合流を伴うトポロジでの評価やストリングトポロジに制御する方式の開発が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 富田 北斗、宮路 祐一、上原 秀幸	4. 巻 J104-B
2. 論文標題 仮想全二重におけるアウテージ確率の理論解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 210 ~ 221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2020GWP0016	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 佐藤 之斗、宮路 祐一、上原 秀幸	4. 巻 J104-B
2. 論文標題 逐次干渉除去を用いたALOHAにおけるネットワーク外干渉の対策	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 290 ~ 297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2020GWP0017	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 Komatsu Kazuki, Miyaji Yuichi, Uehara Hideyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Weighted Least Squares With Orthonormal Polynomials and Numerical Integration for Estimation of Memoryless Nonlinearity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Wireless Communications Letters	6. 最初と最後の頁 2197 ~ 2201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LWC.2020.3017807	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 Fukui Takahisa, Komatsu Kazuki, Miyaji Yuichi, Uehara Hideyuki	4. 巻 19
2. 論文標題 Analog Self-Interference Cancellation Using Auxiliary Transmitter Considering IQ Imbalance and Amplifier Nonlinearity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 7439 ~ 7452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TWC.2020.3011467	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 Komatsu Kazuki, Miyaji Yuichi, Uehara Hideyuki	4. 巻 19
2. 論文標題 Iterative Nonlinear Self-Interference Cancellation for In-Band Full-Duplex Wireless Communications Under Mixer Imbalance and Amplifier Nonlinearity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 4424 ~ 4438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TWC.2020.2983407	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 HADI Mochammad Zen Samsono, MIYAJI Yuichi, UEHARA Hideyuki	4. 巻 E102.B
2. 論文標題 Adaptive Group Formation Scheme for Mobile Group Wireless Sensor Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1313 ~ 1322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2018EBP3234	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 Mochammad Zen Samsono HADI, Yuichi MIYAJI, Hideyuki UEHARA	4. 巻 E101-B (8)
2. 論文標題 An Energy-Efficient Mobile Group Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1866-1875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2017EBP3361	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 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 田島理大, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 指向性全二重通信における再送制御に注目したスループットの改善
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-6-65
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田知隆, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 マルチセル環境下でのCRDSAに適した電力制御に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-111
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤栄作, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 帯域内全二重無線のための非線形補償受信機を用いたビット誤り率の改善
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-109
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡野公太, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 コンバンディング法を用いた帯域内全二重におけるビット誤り率の理論解析
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-108
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田知隆, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 マルチセル環境下におけるCRDSAのトラヒック制御がネットワーク全体に与える影響評価
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-8-31
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮坂 謙, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 クラスタ型無線分散ネットワークの構成と消費電力及びスループットの評価について
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-8-29
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蛭川泰丞, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 ベースバンド無線における帯域内全二重のためのヒルベルト変換を組み合わせた自己干渉除去
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-136
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井建至, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 無線チャンネルの変動に対処した自己干渉キャンセラの再学習
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-135
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 非線形自己干渉キャンセラを用いる帯域内全二重のための送信機AM-AM特性の最適化
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-134
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡野公太, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 帯域内全二重におけるPAPR低減手法によるデジタル自己干渉除去の性能改善
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-133
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chua Teong Zhe, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 Improving In-Band Full-Duplex Capacity by Transmitter Nonlinearization using Digital Predistortion
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2019-338
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井建至, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 増幅器の利得変動に対処した自己干渉キャンセラの部分的再学習
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2019-215
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富田北斗, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 仮想全二重における残留干渉を考慮した送信電力制御
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-86
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chua Teong Zhe, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 帯域内全二重におけるRappモデルによる電力増幅器の非線形歪みと自己干渉除去の性能向上に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-85
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福井崇久, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 帯域内全二重における位相雑音を考慮した局部発振器の比較
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-84
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 帯域内全二重における送受信機の非理想性
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2019-176 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 非線形自己干渉キャンセラのための二次元正規直交ラゲール多項式を用いた理論的性能解析
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2019-76
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福井崇久, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 補助送信機による自己干渉除去のためのWidely Linearフィルタ設計における適応アルゴリズムの評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2019-31
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐野裕大, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 マルチセル環境下での逐次干渉除去を用いたALOHAにおけるスループット劣化の影響評価と対策
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-110
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chua Teong Zhe, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 USRPによる帯域内全二重におけるデジタルプリディストーションを用いた自己干渉除去
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-103
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田齊広太郎, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 帯域内全二重における深層学習を用いた自己干渉除去
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-102
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥秋佑太, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 不均一トラヒックを考慮した階層化センサネットワークの省エネルギーポートロジの評価
3. 学会等名 東海3大学通信系研究室合同発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富田北斗, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 仮想全二重における残留干渉を考慮した中継器配置
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 118, no. 428, ASN2018-93, pp. 81-86
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 非線形自己干渉キャンセラのためのラグール陪多項式を用いた理論的性能解析
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 118, no. 311, RCS2018-194, pp. 97-102
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福井崇久, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 I/Qインバランスと位相雑音を考慮した補助送信機によるアナログ自己干渉除去の伝搬遅延の影響
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 118, no. 311, RCS2018-193, pp. 91-96
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮路祐一, 石井建至, 福井崇久, 小網 敦, 小松和暉, 上原秀幸
2. 発表標題 [依頼講演] 帯域内全二重通信のソフトウェア無線での評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 118, no. 254, RCS2018-156, pp. 37-37 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福井崇久, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 周波数選択性I/Qインバランスを考慮した補助送信機によるアナログ自己干渉除去
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-108
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小網 敦, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 全二重通信における干渉除去がビット誤り率に与える影響
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-107
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤之斗, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 逐次干渉除去を用いたALOHAにおけるネットワーク外干渉下の端末数推定手法
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小網 敦, 小松和暉, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 全二重通信における残留干渉を考慮したリンク品質の均一化
3. 学会等名 東海支部連合大会, C2-4
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤之斗, 宮路祐一, 上原秀幸
2. 発表標題 逐次干渉除去を用いたALOHAにおけるネットワーク外干渉下の端末数推定と推定のためのレプリカ数
3. 学会等名 東海支部連合大会, C2-3
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	宮路 祐一 (Miyaji Yuichi) (50712923)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教 (13904)	

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
---------	---------