

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：33903  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2017～2019  
課題番号：17K00142  
研究課題名（和文）マルチ帯域幅・マルチチャネルを活用する無線通信ネットワークアーキテクチャの研究

研究課題名（英文）Wireless communication network architecture to utilize multiple bands and multiple channels

研究代表者  
内藤 克浩（NAITO, KATSUHIRO）  
愛知工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：80378314  
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）：本プロジェクトでは、複数チャネル及びオーバーラップ帯域を想定した、新たな無線通信方式を提案した。提案方式の利点は、帯域内の無線信号の一部を受信した場合にも復調が可能な点である。さらに、異なるチャネル間で発生する信号衝突を回避するために、複数チャネル及びオーバーラップ帯域を想定したアクセス制御技術も提案した。提案技術では、アクセス制御とデータ送信に異なる帯域幅の信号を利用する。その結果、隣接チャネルを用いる他端末は、データ伝送信号を復調できない場合にも、アクセス制御の伝送によりデータ伝送を認識することが可能となる。評価結果では、提案技術により隣接チャネル間のパケット競合を回避できることを示した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で実施した研究課題は、近年多くの通信方式で利用されているOFDMを想定したものであり、様々な通信方式に適用することが可能なものである。特に無線LANを代表とするコンシューマー系機器の通信環境は、チャネルの適切な利用がなされておらず、通信性能の劣化が課題となっている。本研究の技術を利用することにより、隣接チャネルの端末間と容易に情報交換が可能になることから、利用チャネルや帯域の自動設定及び通信予約などの機能を実現するための基盤的な技術としても活用可能になると考えており、本研究の学術的意義や社会的意義は一定程度合い見込めるものと考えている。

研究成果の概要（英文）：This research project has proposed a new wireless communication scheme for overlapped bands with multiple channels. The benefit of the proposed scheme is demodulation availability for the partial reception of a wireless signal in a bandwidth. Additionally, a new type of access control mechanism supporting multichannel has also been proposed to avoid conflict between different channels. The proposed scheme employs a different bandwidth signal for access control and data transmission. As a result, terminals over neighbor channels can recognize a data transmission by the access control transmission even if they cannot demodulate a data transmission signal. The evaluation results show that the proposed scheme can avoid packet conflicts between neighbor channels.

研究分野：モバイルネットワーク

キーワード：OFDM 無線LAN マルチチャネル オーバーラップ帯域 変復調技術 アクセス制御

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

無線 LAN で利用される IEEE 802.11 では、高速通信を目的として開発が進められてきたため、20MHz 幅の無線信号を主に利用してきた。また、近年の規格である IEEE 802.11n/ac では 40MHz, 80MHz, 160MHz の無線帯域幅が新たに定義されてきた。これは、既存サービスの多くは高速通信を期待するため、新たに定義された無線帯域幅を利用することにより、さらなる高速通信を実現を目指しているためである。このような状況では、規格上は異なる無線帯域幅が混在するが、実質的なサービスでは単一无線帯域幅が利用されており、チャンネル割り当てを適切に行うことにより、システム性能の低下などの大きな問題は発生しない。

近年の IoT(Internet of Things)/M2M(Machine-to-Machine)などの通信では、高速通信は必ずしも必要なく、長距離通信・低消費電力化のために、低速通信が好まれることも増えつつある。例えば、920MHz 帯の周波数を利用する IEEE 802.11ah では、1, 2, 4, 8, 16MHz の帯域幅が定義されている。また、日本国内では、916.5MHz~927.5MHz の帯域幅上に 1MHz 幅の 11 チャンネルが用意されているが、2MHz 以上の帯域幅を利用した場合、複数のチャンネルがオーバーラップする形態となる。このような問題は無線 LAN が現在利用している 2.4GHz 帯及び 5GHz 帯でも発生する可能性がある。このように様々なチャンネルと帯域幅が規定されている場合、今後の IoT/M2M では、サービスに応じて適した帯域幅が利用されることが予想され、様々な帯域幅の無線信号が混在する状況になると考えられる。無線通信では、一般的に帯域幅が異なる場合及びチャンネルが異なる場合には、復調が正常にできなくなる。そのため、このようなマルチ帯域幅及びオーバーラップチャンネルの利用は、近隣チャンネル及び帯域がオーバーラップしている信号による干渉が原因となり、システム性能の大幅な劣化につながる恐れがある。

### 2. 研究の目的

本研究では、今後の無線通信システムでは様々な要求に応じた無線資源の利用方法が必要になると考え、複数のチャンネル上に異なる無線帯域幅の無線信号が混在する状況を想定する。このようなオーバーラップチャンネルの通信を既存の変復調技術は想定していないことから、オーバーラップチャンネル上で無線信号を送信した場合にも、正常に情報交換が可能なチャンネルオーバーラップを想定した変復調技術を開発する。次に、端末間の無線通信が成立したとしても、複数のチャンネルと帯域幅を柔軟に利用するためには、開発通信技術を用いた通信チャンネルなどの合意形成手段が必要となることから、新たなアクセス制御技術を新たに提案する。このような既存技術より柔軟に無線資源を利用可能な技術を開発することにより、今後必要とされるマルチチャンネル・マルチ帯域幅を制御する無線システムアーキテクチャを開発する。

### 3. 研究の方法

本研究で注目する既存通信技術の課題と提案技術の概要を図 1 に示す。既存技術では、通信で利用するためのチャンネルと信号が持つ帯域幅は既知であることを仮定するのが一般的である。このような条件であれば、通信装置は特定のチャンネルの特定の帯域幅に到着する信号のみに着目することが可能となる。結果として、既存技術では多数のチャンネルが存在する場合においては、あらかじめ別的手段によりチャンネルサーチなどを行い、その後に特定チャンネルのみを利用した通信を実現している。なお、図に示されるように送信側と受信側で想定するチャンネルや帯域幅が異なる場合、受信側が無線信号を受信していたとしても、正常な復調処理が行えなくなるため通信が成立しなくなる。結果として、複数のチャンネルを有効に活用し切れていない状況も発生している。

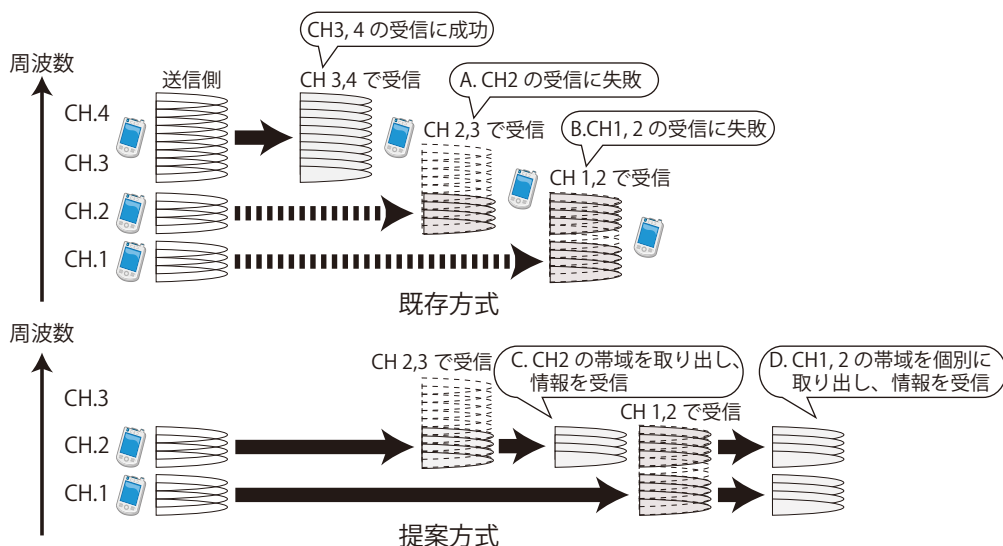


図1 マルチ帯域幅・マルチチャンネルを想定した送受信技術

提案技術が想定する通信では、特定帯域内に存在する複数のチャンネルの中から1チャンネルを選択した上で、自らが選択した帯域幅を用いて信号を送信することとなる。具体的には、送信側はシステムで想定するチャンネル幅の無線信号を重畳し、複数の帯域に情報を載せて送信する。また、受信側がチャンネル幅の情報を切り出すことができれば、切り出した信号は通常の無線変調されたものと同様であるため、復調処理を正常に実現することが可能となる。近年の無線LAN機器は160MHz幅の帯域を利用可能なことを考えれば、無線LANで想定する全てのチャンネル帯域を同時に受信し、その中から信号が存在する特定帯域を抜き出すことは、すでにハードウェアとしては実現可能な状況であることから、提案技術は今後のマルチチャンネルの有効な利用手段になると期待している。

本研究では、**I. マルチチャンネル・マルチ帯域幅を取り扱う物理層変復調技術を開発し、**  
**II. 通信チャンネルの合意をとるための、アクセス制御技術を新たに開発する。**

**I. マルチ帯域幅・オーバーラップチャンネル用変復調技術の研究**

本研究では、オーバーラップした無線信号を復調するために、広帯域信号を複数の狭帯域信号により構成することにより、受信側が受信している帯域の中から、狭帯域信号を抜き出し、情報の復調を行う物理層通信技術を開発した。既存の一般的な変復調方式では、特定のチャンネルと特定の帯域幅を用いて通信することを予め調整することが不可欠であるが、提案方式では、帯域幅及びチャンネル情報の事前共有なしに、任意の帯域幅の信号を任意のチャンネルで送受信可能となる。提案方式は、理論上は160MHzなどの広帯域を想定した場合も動作すると考えられるが、現時点において容易に入手可能なプロトタイプ評価用デバイスは20MHzまでの帯域をサポートしていることが多いことから、本評価においては主に20MHzの帯域を想定した評価を実施した。これらの評価は、基礎理論、シミュレーション、ソフトウェア無線機による評価を試みた。

**II. マルチ帯域幅・オーバーラップチャンネル用アクセス制御技術の研究**

課題Iの成果を用いることにより、複数のチャンネルと複数の帯域幅を利用する場合においても、変復調のための事前の情報共有は必要なくなる。しかし、多数の端末が同時に無線帯域を共有する無線LANなどのシステムを想定した場合、同時に複数の端末が信号を送信することにより、その信号の全て又は一部が他の信号に干渉を与えることを事前に防ぐ仕組みが必要となる。提案するアクセス制御技術では、利用チャンネルと帯域幅を周囲端末と共有することにより、干渉に伴う通信性能の劣化を改善する。アクセス制御技術の実装はハードウェアの非公開ソフトウェア改修が必要なことから、本研究では基礎理論とシミュレーションによる評価を試みた。

**4. 研究成果**

**4.1 マルチ帯域幅・オーバーラップチャンネル用変復調技術**

図2に提案する変復調技術の送信側システムモデルを示す。提案変調技術は、システムモデル図の上部の流れであり、4.2で説明するアクセス制御の際に利用することを想定しているが、本方式を用いたデータ交換も可能である。

提案技術では、チャンネルの帯域幅の無線信号を用いて通信を行う。本検討では、2.4GHz帯を想定していることから、5MHzがチャンネルの帯域幅となり、最大は20MHzの帯域幅で通信を実施する状況を想定している。そのため、5MHzの帯域幅の信号を生成した上で、チャンネルを5MHzずつずらしていくことにより、同一の5MHzの信号により20MHz帯域を構成する。

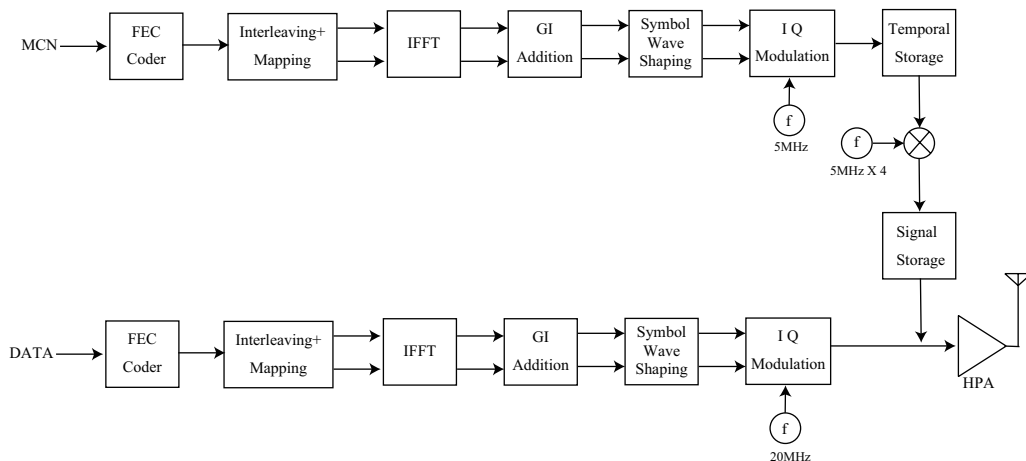


図2 送信側システムモデル

図3に提案する変復調技術の受信側システムモデルを示す。一般的なOFDMの受信回路との大きな違いは、受信した無線信号の情報を一時的に保管した上で、保管されている無線信号に含まれている可能性がある信号の切り出しを行う点である。システムモデル図では、サンプルストレージに受信チャネルを基準とした最大帯域幅の信号情報が保管されている。サンプルストレージには、5MHz、10MHz、20MHzの帯域の信号が含まれている可能性があるため、各帯域を通過するフィルタを用いることにより、各信号帯域の信号を取り出す。次に、各信号帯域に対するプリアンプル信号の検出を行うことにより、所望レベル以上の信号強度がある信号の復調を開始する。

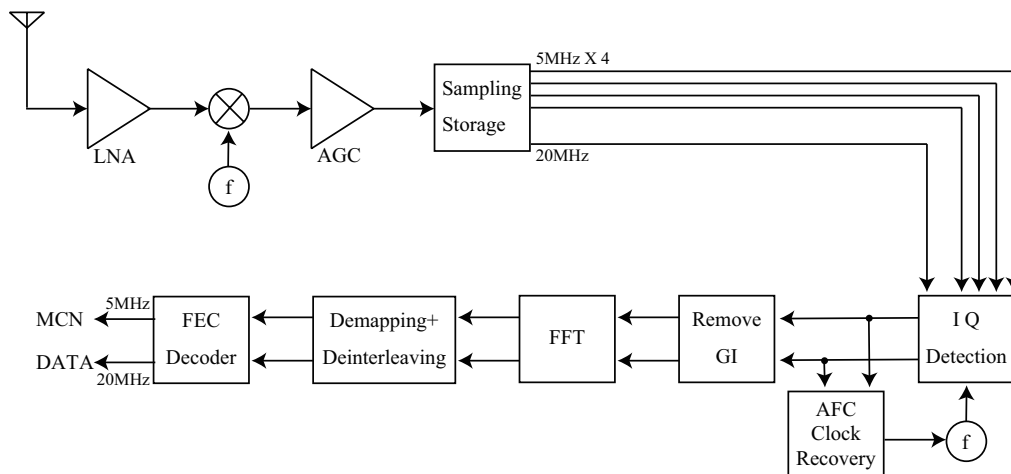


図3 受信側システムモデル

#### 4.2 マルチ帯域幅・オーバーラップチャネル用アクセス制御技術の研究

図4はマルチ帯域幅・オーバーラップチャネルにおいて、複数の端末が通信を行う際に発生する課題を示す。図では、ノード1とノード2はCH4の5MHzの帯域がオーバーラップしており、ノード2とノード3はCH7の5MHzの帯域がオーバーラップしている。一般にアクセス制御を行う場合、各端末はキャリアセンスを行うことにより、他端末の信号送信中に自身の信号送信を抑制する。キャリアセンスの実装方法はいくつかあるが、基本的には想定する送信帯域の信号電力を確認していることから、図に示されるように、想定する送信帯域の一部に他端末の信号が含まれている状況では、十分に信号電力を検出することができない可能性が発生する。このような場合、他端末の信号送信中に自身の信号送信を開始してしまう可能性があり、この場合信号が一部の帯域で干渉を起こすこととなる。データ通信の場合、特定の周波数帯の伝送誤りが多数発生した場合には、データが破損することが多いと考えられるため、実質的には送信データが破棄される可能性につながる。

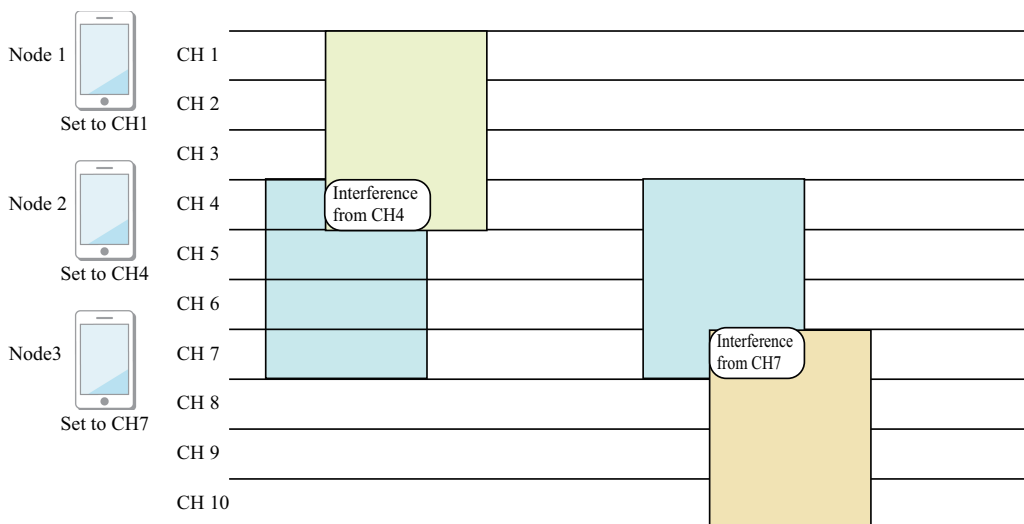


図4 マルチ帯域幅・オーバーラップチャネルにて発生する干渉

図 5 に提案するアクセス制御技術の概要を示す。一般的な変復調技術を利用した場合、図 4 で想定するような一部の無線帯域がオーバーラップするような状況では、端末が相互の信号を正常に検出及び復調することができないため、端末間で予め通信予約などの情報交換をすることも困難である。一方、本研究の提案変復調技術を利用する場合、オーバーラップしている帯域に通信予約に関する情報を載せることにより、周囲の端末に通信予定を予め伝えることが可能である。

提案アクセス技術では、端末が送信予定の帯域に信号が存在しないのかをキャリアセンスした後、チャンネルが空いている場合には、Multiple Channel Notification (MCN) と呼ばれる送信予定のチャンネル、帯域幅、送信時間が含まれる制御メッセージを通知する。MCN はオーバーラップが想定される最小帯域幅が複数含まれる形態であるため、近隣端末は受信帯域内の最小帯域幅を受信することにより、この MCN を正常に受信可能となる。その結果として、近隣端末の送信計画を予め知ることができ、該当帯域への信号送信を自主的に抑制可能となる。

図 5 では、ノード 2 が CH4 から CH7 の送信予約のために、4 個の MCN を並行送信している。ノード 1 は CH1 から CH4 を受信していたことから、ノード 1 は CH4 上の MCN を受信することが可能となり、ノード 1 への干渉が発生しないタイミングでの信号送信を計画することが可能となる。

提案技術の有効性の基礎評価として、CSMA を想定したシミュレーションを実施した。シミュレーションでは、2.4GHz 帯 ISM バンドの利用を想定し、端末はチャンネルと帯域幅をランダムに選択して送信した際のパケット衝突率を評価した。結果より、提案技術を利用することにより、大幅な衝突削減が可能であることを確認した。

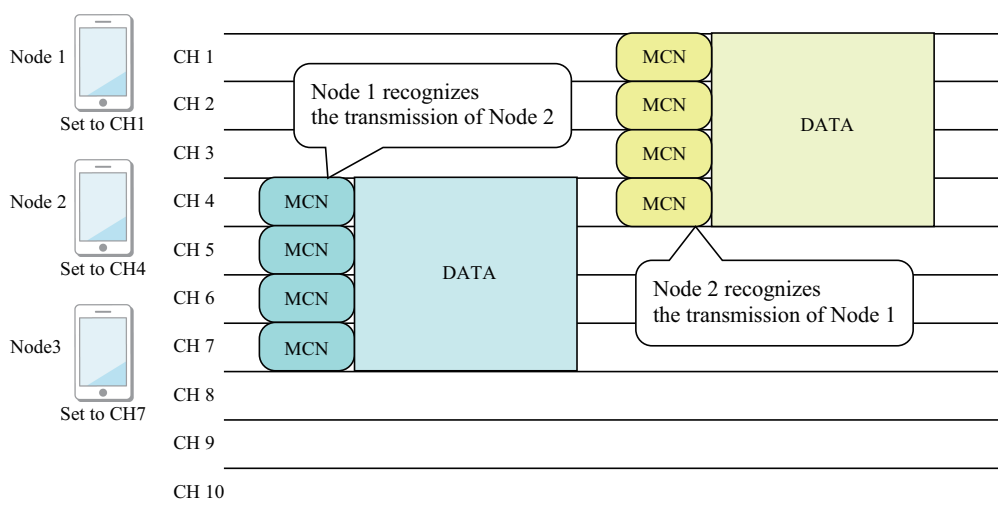


図 5 提案アクセス制御技術の概要

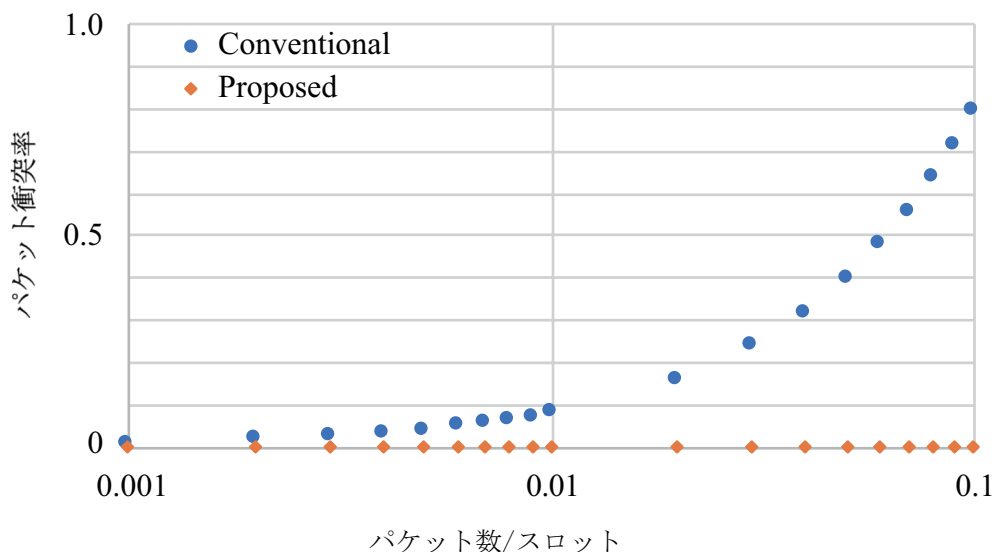


図 6 提案アクセス制御技術によるパケット衝突抑制効果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11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 Katsuhiko Naito	4. 巻 1
2. 論文標題 Design of multi-channel access control scheme for overlapped bands	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The 12th International KES Conference on INTELLIGENT INTERACTIVE MULTIMEDIA: SYSTEMS AND SERVICES	6. 最初と最後の頁 1-10
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 Yuki Yamada, Katsuhiko Naito	4. 巻 1
2. 論文標題 Proposal of virtual message board system using BLE communication technology	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE APWCS 2018	6. 最初と最後の頁 1-5
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 Katsuhiko Naito, Mizuki Murase, Katsuyuki Tanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Human management system with BLE beacon devices for natural disasters recovery operations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 WMSCI 2018	6. 最初と最後の頁 1-6
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 Naoki Yamamoto, Katsuhiko Naito	4. 巻 1
2. 論文標題 Proposal of remote control architecture of drones operation with a seamless mobility protocol	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 KES IIMSS 2018	6. 最初と最後の頁 1-10
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 Toru Yoshizaki, Yuki Yamada, Shinya Sugiura, Katsuhiko Naito	4. 巻 1
2. 論文標題 Proposal of automated direct communication scheme among smartphones based on BLE technology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NCSP 2019	6. 最初と最後の頁 1-4
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 Naoki Yamamoto, Kurata Ayumu, Ryota Murate, Hiroto Mori, Kohei Tanaka, Katsuhiko Naito	4. 巻 1
2. 論文標題 Proposal of drone remote operate using an overlay network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NCSP 2019	6. 最初と最後の頁 1-4
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 Jae-Han Lim, Katsuhiko Naito, Ji-Hoon Yun, Mario Gerla	4. 巻 17
2. 論文標題 Reliable Safety Message Dissemination in NLOS Intersections Using TV White Spectrum	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Mobile Computing	6. 最初と最後の頁 169-182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMC.2017.2706681	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 Yuya Miyazaki, Katsuhiko Naito, Hidekazu Suzuki and Akira Watanabe	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of certificate based secure communication for Mobility and Connectivity protocol	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 CCNC 2018	6. 最初と最後の頁 1-6
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 Katsuhiko Naito, Katsuyuki Tanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Location System Based on Participatory Sensing with BLE Devices and Smartphones	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 WMSCI 2017	6. 最初と最後の頁 1-6
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 Katsuhiko Naito, Kengo Yamada	4. 巻 1
2. 論文標題 Proposal of Automated Data Collection Scheme for a Field Sensing System	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 WMSCI 2017	6. 最初と最後の頁 1-6
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 Katsuhiko Naito, Shunsuke Shibata, Katsuhiko Kaji, Nobutaka Matsumoto, Takeshi Kitahara, Tadanori Mizuno	4. 巻 1
2. 論文標題 Proposal of overlay network architecture supporting traffic offloading for IoT devices in LTE networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 NCSP 2018	6. 最初と最後の頁 1-4
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 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 内藤克浩
2. 発表標題 複数チャンネル無線ネットワークにおけるチャンネル重畳通信
3. 学会等名 電子情報通信学会 RCS研究会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 山田悠生
2. 発表標題 BLE通信技術を利用する パーチャル伝言板システムの提案
3. 学会等名 IPSJ MBL研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉崎徹
2. 発表標題 BLE通信を用いる スマートフォンOS用マルチホップ通信技術の提案
3. 学会等名 IPSJ MBL研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮崎 祐哉, 内藤 克浩, 鈴木 秀和, 渡邊 晃
2. 発表標題 デジタル証明書認証を活用する移動透過通信技術の開発
3. 学会等名 IPSJ MBL研究会
4. 発表年 2017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
研究協力者	Lim Jaehan  (Lim Jaehan)		