

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K15983

研究課題名(和文)異なる無線規格混在下の無線資源利用状況を考慮したネットワーク構成方式の研究

研究課題名(英文) Study of Network Configuration Method based on Channel Condition in Heterogeneous Wireless Communications

研究代表者

野林 大起 (Nobayashi, Daiki)

九州工業大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：40632906

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：無線資源の有効利用のため様々な無線通信方式が研究されており、同一空間上に異なる無線技術を用いた通信方式が混在する環境が想定できる。しかし、同一空間上に異なるチャネル帯域幅を利用する通信が混在する環境は想定されておらず、高い通信性能を実現可能であるか定かではない。そこで本研究では、同一空間上に異なるチャネル帯域幅を利用する通信が混在する環境における通信性能を調査するため、シミュレーション及び実機実験により評価した。そしてこの実験結果に基づき、無線資源の有効利用及び高い通信性能を実現可能なネットワークを構成するためのチャネル割当方式を提案した。

研究成果の概要(英文)：With spreading of technologies for Internet of Things (IoT) and Machine-to-Machine (M2M) communications, various wireless communication standards have been proposing and implementing. However, when communications with the different method of using channel bandwidth coexist, it is not clear how these communications affect performance each other. In this paper, we focus on a function of channel bonding, which is introduced to IEEE 802.11ac Wireless LAN to increase throughput performance drastically, and examine the impact of channel bonding on communication performance under various practical environment. We first investigated how the channel bonding technology affects the communication performance each other through the campus-level experiments. Finally, we propose the channel assignment scheme based on the experimental evaluation.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：無線通信 無線 LAN チャネルボンディング チャネル割当

1. 研究開始当初の背景

無線通信技術の発達による高度な通信モジュールの小型化と低価格化に伴い、無線通信を利用するデバイスは急激に増大している。今後はスマートフォンのような無線通信モジュールを搭載した携帯端末だけではなく、M2M (Machine-to-Machine) や IoT (Internet of Things) のデバイスが増大し、その数は 2020 年までに 500 億台に達すると予想されている [1]。しかし、無線チャネル資源は有限であるため、全端末/センサーはこの限られた無線資源を共有し、有効利用することが重要となる。このような、無線デバイスの爆発的な増大に対する無線周波数の不足に対し、世界各国において周波数の割り当てへの改善が検討されている [2]。一方で、無線通信の性能向上のため、物理層からアプリケーション層に至るまで数多くの研究が行われ、特に、物理層における通信性能改善のために、より広いチャネル帯域幅を利用して通信高速化を実現している。これに対し、無線資源の有効利用のため無線 LAN におけるチャネル割り当て方式は数多く研究されているが[3]、近年のような異なるチャネル帯域幅が混在する環境は想定されておらず、高い通信性能を実現可能であるか定かではない。このように、無線通信における研究では、チャネルの有効活用が必要とされる一方で、高い通信性能の実現が進められている。

[1] OECD (2012), M2M Communications: Connecting Billions of Devices. OECD Digital Economy Papers, No. 192.

[2] President's Council of Advisors on Science and Technology (P-CAST), "Report TO THE PRESIDENT: Realizing The Full Potential of Government-held Spectrum to Spur Economic Growth," July 2012.

[3] Channel assignment schemes for infrastructure-based 802.11 WLANs: A Survey, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.12, Issue 1

このような背景から、実際の無線 LAN の利用実態を明らかにするために、無料でアクセス可能な無線 LAN 機器が密集すると想定できる商店街において、無線 LAN の利用状況及びその通信性能の特性について調査した [4][5]。この調査から、ある計測ポイントで約 100 台のアクセスポイント (以下、AP) を検出し、IEEE 802.11 b/g/a/n (2.4 GHz)/n(5 GHz)の規格が混在していることを確認した(図 1(a))。これは同一空間上に異なる周波数帯域幅を利用する機器が混在していることを示す。また、通信性能に着目すると本来の伝送レートに対して十分なスループットを獲得できていないことを確認した。この原因として、そのチャネル利用状況が 5 GHz 帯は利用可能なチャネル数が多いにも関わらず、AP 及びユーザ端末は 2.4 GHz 帯に集中しているためチャネル干渉が頻発していると共に(図 1(b))、異なる伝送レートが混在しているため、各端末が占有するフレー

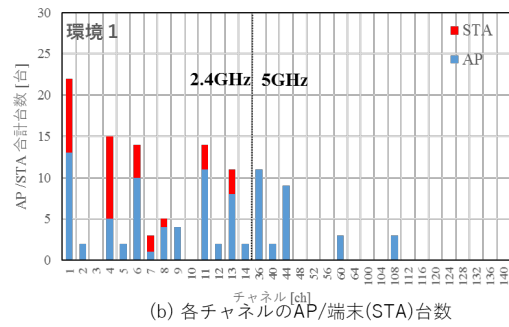
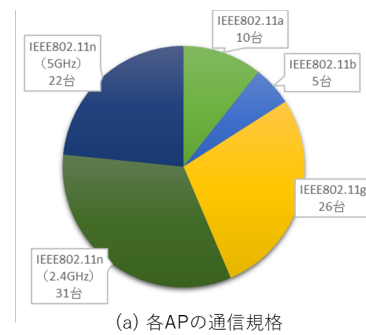


図 1：商店街のある計測地点におけるチャネル利用状況

△の伝送時間を公平に利用できていないことを明らかにした (図 1 参照)。

[4] “市街地における無線 LAN の利用状況、及び通信性能への影響調査 ~ 福岡市中央区・天神地下街での実験 ~ ”、曾我 健祐、野林 大起、塚本 和也、田村 瞳、電子情報通信学会 技術研究報告、Vol. 113、no. 471、IA2013-103、pp.83-88、2014 年 3 月

[5] “Wi-Fi ネットワーク環境の普及、及び利用状況の実験評価 ~ 北九州市小倉北区魚町銀天街での実験 ~ ”、曾我 健祐、野林 大起、塚本 和也、田村 瞳、電子情報通信学会 技術研究報告、Vol. 113、No. 276、IA2013-53、pp. 13-17、2013 年 11 月

また、近年の無線通信の特徴から異なる無線通信規格が混在するネットワークにおける性能低下の原因として、以下に示す要因が考えられる。

(1)チャネルボンディングによるチャネル競合が発生

広い周波数帯域幅を利用する端末と狭い周波数帯域幅を利用する端末が競合するため、本来の伝送レートに対して公平な性能を獲得できない可能性がある。

(2)ノード間距離に伴う電波干渉の影響が想定できる：

チャネル干渉回避のため、2.4 GHz 帯、5 GHz 帯、共にチャネル間隔を設けるが、AP/ユーザ端末が密集する環境では、異なるチャネルで感度抑圧等の電波レベルの干渉により性能が低下する。

そこで本研究では、無線通信規格混在下において良好な通信性能を実現するために、全てのチャネルの利用状況を正確に把握し、チャネル干渉の影響を最小限にする無線ネットワークの構成する技術を考案・評価する。

2. 研究の目的

本研究では、同一周波数帯を利用する異な

る無線通信規格が混在する環境下において、無線資源の有効利用及び通信性能の向上を目指す。具体的には、シミュレーションと実機実験により、通信規格が混在する環境下における無線通信の相互の影響調査を行い、異なる通信規格の混在下におけるチャンネル干渉を考慮したチャンネル利用率について考案・評価する。さらに、このチャンネル利用率に基づき各ノードが全チャンネルの状況をリアルタイムに把握し、自律的に周辺ノードと協調することで無線チャンネルを効率的に利用可能にする協調型無線ネットワーク構成方式を考案し、その有効性を評価する。

### 3. 研究の方法

本研究は、同一周波数帯を利用した異なる無線通信規格が混在する環境下における、無線資源の有効利用及び通信性能の向上を実現する無線ネットワーク構築方式を実現するために、次の課題に取り組んだ。

#### (1) 異なる無線通信規格が混在する環境下における無線通信間のシミュレーションによる影響調査

チャンネルボンディングにより利用する周波数帯域幅を拡張することができる通信とチャンネルボンディングを利用しない既存の無線通信が混在する環境において、それらの通信が相互に与える影響を調査する。チャンネルボンディングする無線通信規格として、今回は IEEE 802.11ac 準拠の無線 LAN に着目した。

従来の無線 LAN の場合、通信のために利用するチャンネル幅は 20 MHz であり、5 GHz 帯では 19 チャンネルの中から選択することができる。IEEE 802.11ac におけるチャンネルボンディングでは、まず 19 チャンネルの中から主となるチャンネル（プライマリチャンネル）を 1 つ選択する。このとき、プライマリチャンネルに応じて束ねるチャンネルが自動的に決定され、40、80、160 MHz のチャンネル幅で通信することが可能となる。この自動的に決定されたチャンネルをセカンダリチャンネルという。IEEE 802.11ac において実際に複数のチャンネルを用いて通信する場合には、利用するチャンネルの利用状況に応じて 2 つの方式、静的なチャンネルボンディングと動的なチャンネルボンディングが規定されている。静的なチャンネルボンディングはセカンダリチャンネルが他の通信によりビジー状態の場合には次の送信機会を取得できるまで通信を待機する方式である。一方で動的なチャンネルボンディングは、セカンダリチャンネルが他の通信によりビジー状態の場合には、その時点で利用可能なチャンネルの中で最大のチャンネル幅で通信を行う。

本課題では、チャンネルボンディングする通信と既存の無線通信の相互影響をネットワ

ークシミュレータ Scenargie を用いて評価する。そして、チャンネルボンディングする通信と既存の通信の性能がどのように変化するか調査を行う。

#### (2) 異なる無線通信規格が混在する環境下における無線通信間の実機実験による影響調査

本課題では実機実験によりチャンネルボンディングする通信と既存の通信の間における相互影響の調査を実施する。課題(1)と同様に、チャンネルボンディングを実施する通信として IEEE 802.11ac 準拠の無線 LAN 機器を利用する。具体的には、チャンネル幅を 80 MHz に設定した 11ac AP と 20 MHz に設定した 11a/11ac AP 間でどのような影響があるのか実機実験により調査する。また、このときチャンネルボンディングだけではなく他の IEEE 802.11ac 高速化技術である Multiple Input Multiple Output (MIMO) の影響を調査するため、MIMO ストリーム数を変更した場合における相互影響の調査を実施する。

#### (3) 異なる通信規格混在下におけるチャンネル干渉を考慮したネットワーク構成のための一指標の検討

課題(1)(2)のシミュレーション及び実機実験の結果から、チャンネルボンディング及び MIMO による通信に対する他の方式における通信との相互影響の特徴について抽出する。このとき、課題 (1)(2) の結果から、性能が低下する原因を推定、抽出することで、空間全体の通信性能を改善する協調型無線ネットワーク構成方式を実現するための指標（条件）を検討する。

#### (4) この指標に基づいた協調型無線ネットワーク構成方式の検討

課題(3)により抽出された指標から、協調型無線ネットワーク構成方式の一つとして、ある空間における無線通信端末群のチャンネル間の競合を回避し、空間全体のチャンネル利用率を改善するチャンネル割当方式を提案する。具体的には、チャンネルボンディング及び MIMO を利用する通信が異なる無線通信方式で通信する端末に与える、もしくは受ける影響を考慮し、新規に無線通信端末を追加する場合、既設の通信のチャンネル利用状況を考慮してチャンネルを割り当てることで、チャンネル競合の影響を抑制し、空間全体の通信性能の改善を実現する方式を検討する。

### 4. 研究成果

#### (1) 異なる無線通信規格が混在する環境下における無線通信間の影響のシミュレーションによる調査

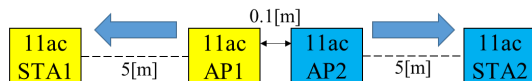


図2: シミュレーショントポロジ

図 2 にシミュレーショントポロジを示す。本シミュレーションでは、チャンネルボンディングの有無による影響を調査するため、ボンディング幅 80 MHz の IEEE 802.11ac で動作する AP1、そして既存の無線 LAN と同じ 20 MHz 幅で通信する IEEE 802.11ac の AP2 を同一空間に設置した。それぞれの AP のパラメータに関して、チャンネルボンディング以外は同様の設定を行っている。また AP1 は静的なチャンネルボンディングで動作することを確認している。このとき、AP2 のチャンネルを、(a) AP1 のプライマリチャンネルで競合する場合、(b) AP1 のセカンダリチャンネルで競合する場合の 2 つのケースにおいて性能を評価した。通信フローとして、本シナリオにおける IEEE802.11ac の最大伝送レートで、AP1 から STA1 に 351 Mb/s、AP2 から STA2 に 78 Mb/s のフローを発生させた。このときのスループットを表 1 に示す。

表 1: シミュレーション結果

シナリオ	AP1 スループット [Mb/s]	AP2 スループット [Mb/s]
(a)	46.95	56.91
(b)	45.74	57.61

以上の結果から、AP1 は 80MHz の通信であるにもかかわらず、AP2 と同程度まで通信性能が低下する Performance Anomaly 問題が発生することを確認した。これは、80 MHz の通信と 20 MHz の通信が競合する場合、それぞれのフレームの送信レートが異なり 1 フレームの伝送にかかる時間が異なることに対して、両者のフレーム送信機会は同等であるため、高速に通信可能な 80 MHz の通信がチャンネルを占有する時間が短くなり、性能が低下していると考えられる。また、プライマリチャンネル、セカンダリチャンネルにおいて同様の結果になった理由として、これは AP1 が静的なチャンネルボンディングで動作しているため、セカンダリチャンネルで競合が発生する場合もプライマリチャンネルが競合するときと同様に通信を待機するためであると考えられる。以上の結果より、チャンネルボンディングする通信に対して既存の通信端末が競合する場合、チャンネルボンディングする端末の通信性能が著しく低下することを確認した。

## (2) 実機を用いた無線通信機器のチャンネルへの影響調査

次に実機実験によりチャンネルボンディングをする通信と既存の通信の間における相互影響の調査を実施した。図 3 に実験トポロジを示す。今回の実験では、AP に Aruba Networks 社の AP-225 を利用した。この AP は静的なチャンネルボンディングで動作して

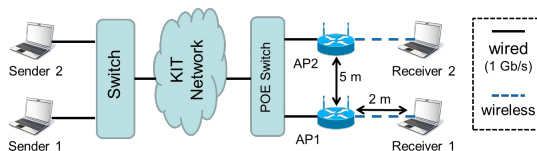


図3: 実験トポロジ

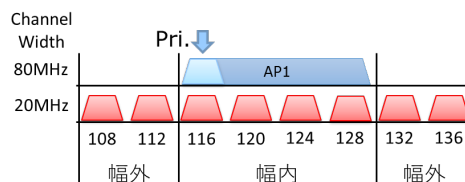


図4: 実験におけるチャンネル配置

いることを確認している [実績]。本実験では、利用する周波数帯は 5.6 GHz 帯 (W56、100 ch から 136 ch) とし、実験室には同周波数帯を利用する通信が存在しないことを確認している。また、AP 間の距離は 5 m とし各 AP にはそれぞれ距離 2 m の地点に受信端末 (Receiver) を 1 台ずつ設置した。受信端末には MIMO アンテナ数が 1 本、および 2 本搭載する端末を 2 台ずつ準備し、実施する実験に応じて置き換える。本実験では有線で接続された Sender1 から Receiver1 へ、Sender2 から Receiver2 へそれぞれ iperf3 によって 1 パケット 1472 Byte の UDP フローを 20 秒間発生させた。送信レートは各受信端末の最大伝送レートに設定した。図 4 に示すように AP1 (80 MHz) の通信は 116 ch をプライマリチャンネルとし、128 ch までを用いて通信する。これに対して AP2 (20 MHz) の通信は 108 ch から 136 ch まで変化させる。この場合におけるそれぞれのスループットを計測した。

図 5 に AP1、AP2 共に MIMO 1x1 の場合、図 6 に AP1、AP2 共に MIMO 2x2 の場合、そして図 7 に AP1 が MIMO 2x2、AP2 が MIMO 1x1 の場合におけるスループットを示す。尚、これらのグラフには 5 回の試行の平均値と、最大値、最小値を示している。これらの結果より、AP1 のチャンネルボンディング幅内において AP2 の通信が競合する場合、AP1 の通信性能が AP2 と同程度まで低下していることが確認できた。これは課題(1)のシミュレーションと同じく、Performance Anomaly が発生していると考えられる。次に、ボンディング幅外に着目する。図 5~図 7 の全てにおいて、本来は「競合しないはず」のチャンネルに位置する AP2 の通信が AP1 の性能に影響を与えていることが確認できる。図 5 においては、プライマリチャンネルに近い幅外、およびセカンダリチャンネルより外側のチャンネルにおいて AP1 の性能が著しく低下していることが確認できる。図 6 及び図 7 に着目すると、プライマリチャンネル側の通信においては余り影響を受けてはいないが、セカンダリチャンネル側における幅外のチャンネルにおいて通信性能の差が大きくなり、AP2 の通信の影響を受けていることが確認できた。この原因として、AP2 の通信において隣接するチャ



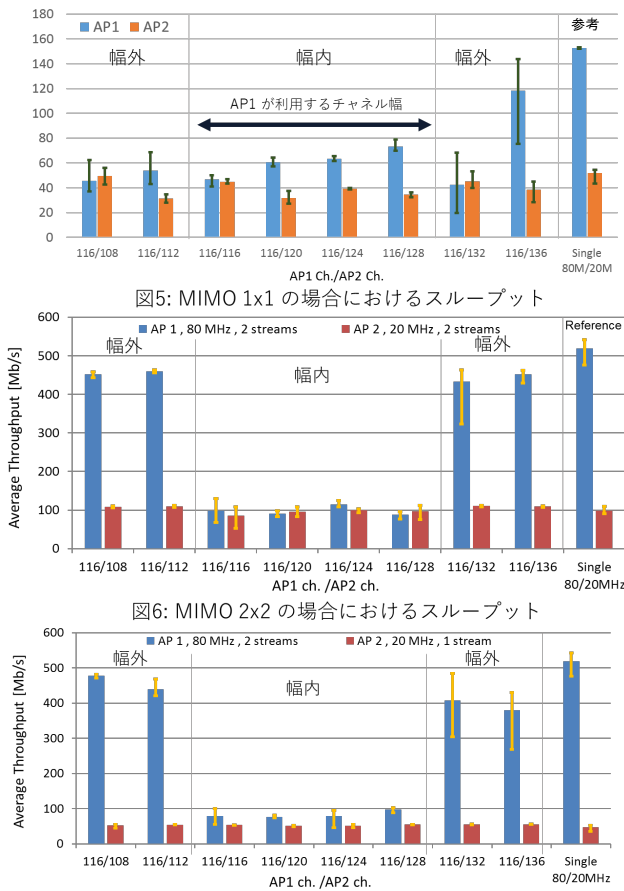


図5: MIMO 1x1 の場合におけるスループット

図6: MIMO 2x2 の場合におけるスループット

図7: 80 MHz, 2x2と20 MHz 1x1が競合した場合におけるスループット

ネルまで漏れ出した電波が AP1 の通信に対するノイズとなって現れ、AP1 のチャンネルボンディングの際の送信機会獲得に失敗するためであると考えられる。一方で、これらの結果に着目した場合、AP2 の性能は、AP2 が単一の時の性能と比べあまり変動しておらず、安定した性能を維持可能であることが明らかになった。

次に、占有するチャンネル幅が大きい 80 MHz のチャンネルを利用する場合において、2 台の AP がどのようにチャンネルを利用することで空間全体のスループットを改善できるか調査を行った。この実験では、2 台の AP が同一の 80 MHz を利用する際に、2 台の AP が重複して 80 MHz を利用する場合と、2 台の AP が重複しないように 40 MHz を利用した場合における通信性能を比較した。各 AP のチャンネルとストリーム数、そして計測したスループットを表 2 に示す。この結果より、80 MHz 幅を複数の AP で共有する場合には、

表 2: 40MHz 隣接時と 80MHz 競合時の性能比較

AP1	AP2	Total Throughput
116ch, 40MHz 2x2 streams	124ch, 40MHz 1x1 streams	357.6 Mb/s
116ch, 80MHz 2x2 streams	116ch, 80MHz 1x1 streams	312.4 Mb/s
116ch, 40MHz 2x2 streams	124ch, 40MHz 2x2 streams	539.2 Mb/s
116ch, 80MHz 2x2 streams	116ch, 80MHz 2x2 streams	533.5 Mb/s

80 MHz の AP を重複させて利用するより、40 MHz に分割して利用することで通信性能を改善できることを確認した。

### (3) 異なる通信規格混在下におけるチャンネル干渉を考慮したネットワーク構成のための一指標の考案

課題(1)、(2)の結果より、チャンネル干渉を考慮したネットワーク構成のための指標として、チャンネルボンディングする通信が存在する場合の性能に影響を与える条件について考察した。

- チャンネルボンディングしている通信は、ボンディング幅に、1 フレームあたりの伝送レートが異なる通信(ボンディング幅、ストリーム数が異なる)が存在する場合、Performance Anomaly により通信性能が低下する。
- チャンネルボンディングしている通信は、ボンディング幅外にある競合通信の影響を受けやすい。特に、プライマリチャンネルから離れたボンディング幅外の通信、大きなボンディング幅の通信の影響を受けやすい。
- チャンネルボンディングしていない通信は、ボンディングしている通信と比べてチャンネルの競合により通信性能へ大きな影響を受けない。
- 80 MHz 幅を複数台で共有する場合には、40 MHz 幅の通信に分割する。

### (4) この指標に基づいた協調型無線ネットワーク構成方式の検討

課題(3)における指標を考慮し、異なるチャンネル幅同士の競合を回避しつつ、通信性能の低下を防ぐ AP のチャンネル割当を実現する。以下にその手順と詳細について示す。以下の説明では便宜上 5GHz 帯のチャンネルを簡易的に ch.1 ~ ch.12 と置き換え説明する。

#### Step 1: 前提と初期配置

本提案方式の基本的な方針として、あらかじめチャンネル幅毎に優先するチャンネルを決定する。40 MHz 及び 80 MHz の AP は利用可能なチャンネル幅の中から両端を選択して設置する。これは、ボンディングする通信同士が隣接しないように、または 80 MHz に割り当てられたチャンネルより大きいチャンネルに他の通信が参入しないようにするためである。

そのため、80 MHz は ch.9 から ch.12、40 MHz の AP は ch.1、2 に優先して設定し、20 MHz の通信は ch.3 以降のチャンネルから順に割り当てる。

#### Step 2: 競合せずに割当可能な場合

この空間に新規の AP が設置され、競合せずに割当てが可能な場合は以下のルールに従いチャンネルを設定する。20 MHz の場合は ch.3 から ch.12 の中でチャンネルの小さい方から順に利用されていないチャンネルに設定する。40 MHz はチャンネルの小さい方から

順に利用されていないチャンネルに、そして 80 MHz は ch.9 から順にチャンネルの大きい方から設定していく。

### Step 3: 割当時に競合が避けられない場合

この空間に新規に AP が設置され、既に設置された AP によって空きチャンネルが存在しない場合は、チャンネル幅毎に条件を分けてチャンネル割当てを行う。

#### Step 3-1: 20 MHz 割当て時

新規に追加される AP が 20 MHz の場合、既に設置してある 20 MHz の通信の中から、AP の数が少ないチャンネルに、重ねて割り当てる。

AP の数はビーコンにより判断する。これにより、20 MHz の通信がボンディングしている通信への影響を極力低減しつつ、20 MHz の通信が高い通信性能を得られる可能性の高いチャンネルを選択する。

#### Step 3-2: 40 MHz 割当て時

新規に 40 MHz 通信の AP が参入し、同一空間に 40 MHz の AP が存在する場合、40 MHz で通信している AP の数が少なく、且つチャンネルの小さい順に重ねて割り当てる。次に、同一空間に 40 MHz の既存通信が存在しない場合は、利用可能なチャンネルの中で小さい方から 2 チャンネル (ch.1、ch.2) を空けるように、既に設置してある 20 MHz の AP を別のチャンネルに割当て直す。このとき、移動する 20 MHz の再割当先は step 3-1 の条件に従うものとする。

#### Step 3-3: 80 MHz 割当て時

新規に 80 MHz の AP が参入し、同一空間に 80 MHz で通信を行っている AP が存在する場合について説明する。このとき、既存の 80 MHz の AP が 1 台であれば、互いにチャンネル幅を 40 MHz に縮小させ、それらを隣接するように割り当てる。ただし、この 40 MHz 2 台で割り当てた 80 MHz チャンネル空間は、さらに AP が追加されチャンネルを割り当てる時には 40 MHz ではなく 80 MHz のチャンネル空間として取り扱う。

さらに、新しい 80 MHz の AP を割り当てる場合は、元々 80 MHz を割り当てたチャンネルにある縮小した 40 MHz の AP 2 台を 80 MHz に戻し、結果的に 80 MHz の AP を 3 台を重ねて割り当てる。これは、元々 80 MHz で通信する AP 同士の公平性を保つために実施する。

最後に、同一空間に 80 MHz の既存通信が存在しない場合には、ch.9 から ch.12 に存在する既設の AP を移動させる。移動させる基準としては、40 MHz の場合は step 3-2、20 MHz の場合は step 3-1 の基準に従うものとする。これにより新規に追加する 80 MHz の通信性能を維持しつつ、移動する 20 MHz 及び 40 MHz の通信性能を維持するよう調整する。

新たに参入する AP のチャンネルを以上の動作を繰り返し実施することで、同一空間上のチャンネル競合を極力回避することで無線

LAN の通信性能を改善することが可能となる。

## 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)

[学会発表](計 6 件)

竹川 拳太郎、野林 大起、福田 豊、塚本 和也、藤井 一樹、田村 瞳、池永 全志

IEEE802.11ac 性能評価実験に基づくチャンネル割当て方式の検討、電子情報通信学会 技術研究報告、Vol. 116、No. 491、IA2016-105、pp.119-124、2017 年 3 月 3 日～4 日、カルチャーリゾート フェストーネ(沖縄県宜野湾市)

野林 大起、福田 豊、塚本 和也、藤井 一樹、田村 瞳、池永 全志

ボンディング幅が異なる通信が混在する環境における 802.11ac の性能調査、電子情報通信学会 2016 年 ソサイエティ大会、B-16-10、2016 年 9 月 20 日～23 日、北海道大学(北海道札幌市)

野林 大起、福田 豊、塚本 和也、藤井 一樹、田村 瞳、池永 全志

チャンネルボンディングの実用性に関する実験評価と一検討、電子情報通信学会 技術研究報告、Vol. 116、No. 111、NS2015-42、pp.79-84、2016 年 6 月 23 日～24 日、北海道大学(北海道札幌市)

伊藤 僚平、野林 大起、池永 全志

無線 LAN における端末密集環境を考慮した CW 初期値調整方式の提案～既存端末との混在環境における性能改善手法の検討～、電子情報通信学会 技術研究報告、査読無、Vol. 115、No. 483、NS2015-250、pp.477-482、2016 年 3 月 3～4 日、フェニックスシーガイアリゾート(宮崎県宮崎市)

日高 健夫、野林 大起、福田 豊、塚本 和也、池永 全志

ROD-SAN における確率的チャンネル切替を用いたマルチホップ通信性能の評価、電子情報通信学会 技術研究報告、査読無、Vol. 115、No. 483、NS2015-232、pp.369-374、2016 年 3 月 3～4 日、フェニックスシーガイアリゾート(宮崎県宮崎市)

伊藤 良平、野林 大起、池永 全志

無線 LAN における端末密集環境を考慮した CW 初期値調整方式の提案、電子情報通信学会 技術研究報告、査読無、Vol. 115、No. 159、NS2015-40、pp.19-24、2015 年 7 月 29 日～30 日、JA 長野県ビル(長野県長野市)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

野林 大起 (NOBAYASHI, Daiki)

九州工業大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：40632906