

令和元年6月13日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K12674

研究課題名(和文)次世代無線LANの実用化に対する検証とチャンネル利用状況を用いた性能改善手法の研究

研究課題名(英文)Experimental Verification and Performance Improvement for Next-Generation Wireless LANs

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：同一空間上に多数の無線LAN通信が存在しチャンネル干渉により互いに影響し合う環境において、各通信が周辺のチャンネル利用状況を把握し活用することで空間全体の通信性能の向上を目指した。本研究では、異なるパラメータ及び動作を行う無線LAN通信が競合する場合の性能を実機実験により検証した。そしてその結果に基づき、空間全体のチャンネル資源を有効利用するためのデータ転送制御手法を提案し、その有効性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、市場に普及している無線LAN(WiFi)機器が密集する環境を想定し、機器同士の通信が衝突する場合の通信性能を実験により評価した。その結果、WiFi通信競合時の各機器の通信性能は、競合する通信機器毎の設定と通信方法により変化することが確認できた。つまり、WiFi機器が密集する環境ではユーザ全体に公平な通信環境を提供することが困難であると明らかになったことから、この問題を解決することは学術的・社会的意義があるといえる。そこで本研究では、この問題を解決するための一つの方法として、無線チャンネルを公平に活用するためのデータ転送制御手法を提案し、その有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：IEEE 802.11 Wireless LANs (WLANs) with very high-throughput technology has been developing and spreading to meet various communication requirements. However, in a real dense WLAN environment, channel competition between multiple WLAN devices is inevitable due to the deep penetration of WLANs. In this study, we first verified the communication performance by real machine experiments when wireless LAN devices with different parameters and operations compete with each other. Based on the results, we proposed and evaluated the data transfer control method that can effectively share the channel resources among wireless LAN devices.

研究分野：コンピューターネットワーク

キーワード：無線LAN IEEE 802.11ac チャンネルボンディング フレーム集約技術

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

IEEE 802.11 準拠の無線 LAN は、免許不要のチャネル周波数帯を利用し、設置及び運用コストが非常に低いため、当初はオフィスや家庭内での利用、近年では携帯電話キャリアのデータオフロードなど、インターネットへのアクセス回線として幅広く利用されている。また、無線 LAN チップ搭載のスマートフォンの普及と様々なアプリケーションの展開に伴い、2016 年現在では 5 GHz 帯の電波を用いて最大 6.93 Gb/s のデータ通信が可能な IEEE 802.11ac (以降、11ac とする)機器の市場投入が進んでいる。一方で、Internet of Things (IoT) に関連する技術の発展とともに、2020 年までには 500 億台 [1] にまで達すると推定されるデバイスの情報を収集するための無線通信インフラの一つとして無線 LAN の利用が想定されている。また、日本国内においては 2020 年に開催される東京オリンピック・パラリンピックへ向けて、急増する外国人観光客を対象とし、総務省は公衆無線 LAN サービスの整備を進めている[2]。このような背景から、同一空間上に多数の無線 LAN アクセスポイント (以下、AP) が設置され、多数の端末を収容する必要がある一方で、それらの通信間でのチャネル干渉により空間全体の通信性能が低下することが考えられる。

11ac の高速化技術の一つに、隣り合う複数のチャネルを同時に利用するチャネルボンディング技術がある。従来の IEEE 802.11a/b/g (以降、それぞれ 11a/11b/11g とする) の利用可能なチャネル幅 20 MHz 固定であったが、IEEE 802.11n (以降、11n とする) では 2 チャネル幅の 40 MHz、11ac では最大 8 チャネル幅の 160 MHz を利用することが可能である。従って、11ac 機器の普及が進むにつれて、端末間で相互に競合する機会が増大し、さらには 11a/n の機器も依然として存在するため、実際の無線 LAN の利用シーンにおいては異なるボンディング幅の通信が互いに競合する形で混在することが想定される。

そこで、応募者は 11ac におけるチャネルボンディングの実用性を検証するため、実機実験によりボンディング幅が異なる通信が混在する場合における性能調査を実施してきた。この実験結果より、11ac による無線 LAN 通信の性能低下の原因として、(a)チャネルボンディングする通信は他チャネルの通信によるチャネル干渉からの影響を受けやすい、(b)チャネルボンディングや MIMO 等の高速化技術の性能を十分に発揮するフレーム転送制御方式が導入されていないことが確認できた。

2. 研究の目的

本研究は、同一空間上に多数の無線 LAN 通信が存在しチャネル干渉により互いに影響し合う環境において、各通信が周辺のチャネル利用状況を把握し活用することで空間全体の通信性能の向上を目指す。具体的には、(1) 実機実験により複数の通信を同時に発生させた際に発生する状況を MAC 層の視点から分析することで、チャネルボンディングと A-MPDU (Aggregated MPDU) が与える影響を詳細に解析する。そして、この実験結果に基づき、(2)空間全体のチャネル資源を有効利用するためのフレーム転送制御手法を考案し、その有効性を示す。

3. 研究の方法

本研究は、次世代無線 LAN の実用化に対する検証とチャネル利用状況を用いた性能改善手法を提案するため、次の課題に取り組んだ。

(1) IEEE802.11ac チャネルボンディング機能の有効性に関する実験評価

11ac の通信高速化技術の 1 つに IEEE802.11n から標準化されているチャネルボンディング機能がある。これは、物理通信帯域を拡大させるために隣接する複数のチャネルをまとめて利用する技術である。しかし、複数チャネルを利用するため、他の無線 LAN 機器との競合が発生しやすい環境となる。なお、無線 LAN 機器との競合や干渉を避けるために、Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) を利用している。また、利用する全チャネル上で送受信端末が拡張 Request To Send (RTS) / Clear To Send (CTS) フレームを利用する CSMA/CA with RTS/CTS 機構がある。しかし、この機構はオプション機能であるため、製造メーカーによって実装方法が異なっている。

これまでの業績[9]において、11ac 準拠の異なる製造メーカーの無線 LAN アクセスポイント (AP : Access Point) と無線 LAN 子機 (STA : Station) を用いて、各メーカーの通信の挙動とそれによる通信性能を調査した。その結果、製造メーカーによって AP の通信手順と通信性能が異なることがわかった。また、CSMA/CA with RTS/CTS 機構を用いてチャネルボンディングを行う AP に対して、競合チャネルがプライマリチャネルでもセカンダリチャネルでも双方の AP における通信性能への影響に大きな差がないことがわかった。しかし、RTS を利用せず CTS-to-self を用いてチャネルボンディングを行う AP のボンディング幅内で競合が発生する場合の通信性能は明らかになっていない。そこで本研究では、チャネルボンディング機能を有する CTS-to-self の AP に対して、通信手順の異なる 3 パターンの AP をチャネルボンディングせずにそれぞれ競合させた場合の通信性能の調査を行った。本研究では、業績[3] で確認できた、図 1 に示すような以下の 3 パターンの通信を使用する。

- パターン 1 (Pt.1) : RTS/CTS を利用。
- パターン 2 (Pt.2) : RTS/CTS を利用しない。(A-MPDU サイズは伝送レートにより変動)
- パターン 3 (Pt.3) : CTS-to-self を利用。

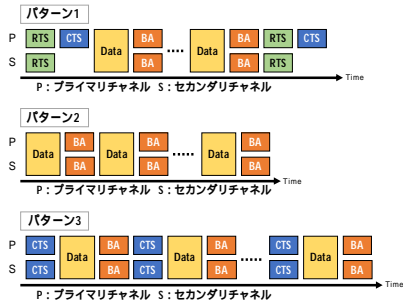


図 1：無線 LAN AP の通信手順

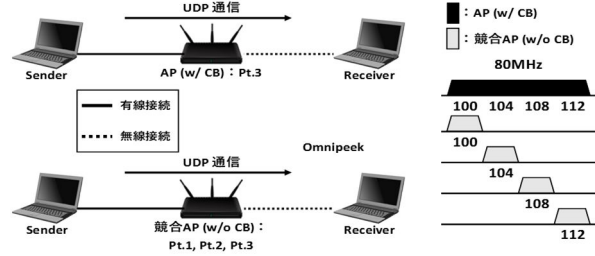


図 2：実験構成と競合チャンネル位置

CTS-to-self で 80 MHz 幅のチャンネルボンディング (CB) 機能を有する Pt.3 の AP (以降、AP (w/ CB)) に対して、Pt.1~3 の通信手順の異なる 20 MHz の AP (以降、競合 AP) が競合する場合における通信性能への影響を調査する。図 2 に実験構成を示す。AP (w/ CB) は 100 ch をプライマリチャンネルに設定し、各チャンネルに対して競合 AP を設定する。以降、Pt.1、2、3 の競合 AP が競合する場合を Case1、2、3 とする。

実験手順として、送信側と受信側の PC ではスループット計測ソフトの iperf3 を用いて 1470 バイトの UDP フローをチャンネル幅に応じた最大伝送レートに合わせて 30 秒間送信する。実験は 5 回行い、無線通信の様子を計測するために OmniPeek を用いて、チャンネル毎に発生するフレームをキャプチャして分析を行った。また、競合実験を行う前に、20 MHz の競合 AP (Pt.1~3) の信号強度を調査するために、スペクトラム計測ソフトの AirMagnet Spectrum XT を用いて計測した。

一方で、本研究では競合時における双方の通信性能の公平性に着目するため、スループットに関する性能指標として、以下の式を用いて競合時の通信性能を評価した。まず、競合しない環境のスループットを「競合前スループット」とすると、「理想スループット」は競合前スループットを共存する AP の台数 N で除算した値とする。そして、競合時のスループットの実測値を理想スループットで正規化したスループットを性能指標とする。

- 理想スループット = 競合前スループット / N (N : AP の台数)
- 正規化スループット = 競合時スループット / 理想スループット

(2) 効果的なダイナミックチャンネルボンディングのための A-MPDU サイズ動的決定手法

11ac チャンネルボンディングでは通信相互に発生するチャンネル競合を抑制するための機能として、スタティックチャンネルボンディングとダイナミックチャンネルボンディング(以下 DCB)が採用されている。DCB はボンディングするチャンネルのいずれかに競合する通信が存在する場合、その時点で利用可能なチャンネル幅に縮退させることで競合を回避しつつ通信を行うため、チャンネル競合時においてもある程度の通信性能を維持することが可能である。11ac によるフレーム伝送では、ダイナミックチャンネルボンディング(DCB)のチャンネルの縮退による伝送速度の低下だけではなく、各 AP により異なる A-MPDU サイズ(業績[3])の差によって、フレームの占有時間は通信毎に異なる可能性がある。そのため、フレームの占有時間により通信性能に不公平性が生じる Performance Anomaly(PA)問題が発生する可能性がある。そこで、競合する通信との公平性を維持することが目標となるため、DCB ではチャンネル縮退時のフレーム送信時間を考慮する必要がある。例えば、DCB において、小さい A-MPDU サイズを用いる場合、単位時間あたりのフレーム送信機会が増加し、広チャンネル幅を利用できる確率が高くなるが、その際の送信データ量は少なくなる。逆に、大きな A-MPDU サイズを用いる場合、広チャンネル幅を利用できる確率が低くなるが、その際の送信データ量は多くなる。つまり、広チャンネル幅で通信を行う確率とその際の送信データ量はトレードオフの関係となる。

そこで本研究では、DCB におけるチャンネルボンディングする通信と競合するセカンダリチャンネルを使用する通信間の公平性を改善するため図 3 に示す A-MPDU サイズ動的決定手法を提案した。この方式では、DCB を実施する通信が競合せずに通信可能なパケットサイズ $PKT_{CBR1-80}$ を、式(1)のように、DCB において競合通信により x MHz 縮退した場合のチャンネル占有時間 AT_{CBR1-x} と競合する通信のチャンネル占有時間 AT_{CBR2} から導出することで、両通信の公平性を改善する(式導出の詳細は業績[2]を参照)。

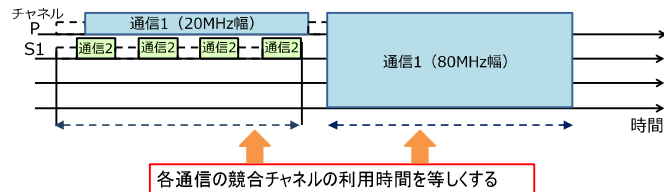


図 3：A-MPDU サイズ決定手法

$$PKT_{CBR1-80} = \frac{(2AT_{CBR1-x} - AT_{CBR2}) \times R_x}{MSS} \quad (1)$$

尚、 R_x は DCB する通信が x MHz に縮退した場合の伝送レート、MSS はメッセージサイズを示す。

DCB を利用可能に拡張したシミュレータ Scenargie 2.2 を用いて、前節で述べた A-MPDU サイズ決定手法の適用性の検証を行う。シミュレーション環境は図 4 と同様である。11ac の AP (送信者) 2 台に対し、それぞれ距離 5m の地点に STA (受信者) を配置し、二つの通信を混在させる。AP1 から STA1 への通信を通信 1、AP2 から STA2 への通信を通信 2 とし、通信 2 を競合する通信とする。通信 1 はプライマリチャネルを 100ch とし、80MHz 幅での DCB を行う。一方、競合する通信 2 はチャネルを 108ch、104ch にそれぞれ設定する。各通信とも、それぞれ 1 パケット 1460 Byte の CBR フローを 10 秒間発生させる。このとき、通信 1 の提案手法による A-MPDU サイズの調整による影響を調査するため、通信 2 は A-MPDU を使用しないものとした。A-MPDU 使用時は、最大で 64 パケット分のデータを一括送信できる。また、変調方式は、20MHz 幅通信時は 256QAM3/4、40MHz および 80MHz での通信時は 256QAM5/6 とし、ショートガードインターバルを用いる。そのため、伝送レートは 20MHz では 86.7Mbps、40MHz では 200.0Mbps、80MHz では 433.3Mbps となる。シミュレーションはシード値をランダムに変更して 10 回行い、平均値を結果として用いた。また、固定の A-MPDU フレームサイズを用いた手法 (既存手法) を比較手法とする。提案手法では、利用可能なチャネル幅に合わせて A-MPDU サイズを動的に調整することで、広チャネル幅での通信を有効活用することを目指す。競合通信のチャネル利用時間を通信 1 と通信 2 で等しくするため、各通信の競合チャネルの利用時間を評価指標として用いる。さらに、通信 2 の競合時スループットが単体時スループット性能の 50% を維持するという要求を満たす範囲内で、DCB を行う通信の通信性能を向上させることを目標とするため、各通信のスループットを評価指標として用いる。

4. 研究成果

(1) IEEE802.11ac チャネルボンディング機能の有効性に関する実験評価

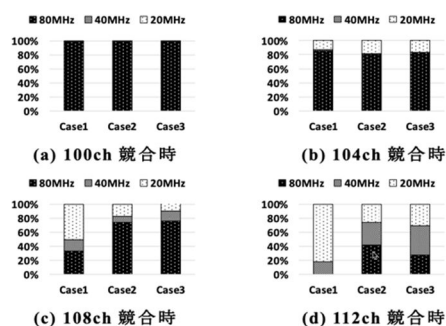
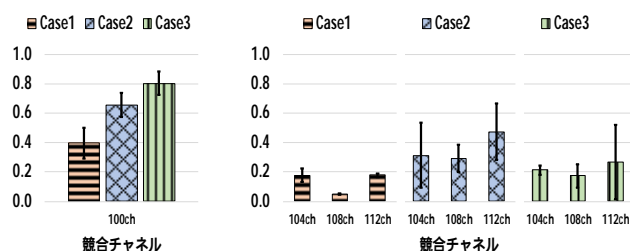


図 4: 競合チャネル別の AP (w/ CB) のボンディング幅使用率



(左) プライマリチャネル (100ch) 競合時
(右) セカンダリチャネル (104, 108, 112 ch) 競合時
図 5: AP (w/ CB) の正規化スループット

AP (w/ CB) の動作検証

本実験において、競合時における厳密な評価を行うために、実験に使用する AP (w/ CB) の動作を調査した。実験結果から、AP (w/ CB) はダイナミックチャネルボンディングをしていることがわかった。また、CTS に設定されている Duration time は 0 s であったことから、本実験で使用した AP (w/ CB) に用いられる CTS は、他の競合 AP に NAV 期間を通知するためでなく、自身が利用するチャネルの状況を確認するためのフレームであることがわかった。

80 MHz 幅内の競合時における通信性能

上記の検証結果を踏まえて、競合時の通信性能について調査した。図 4 に競合 AP の通信手順が異なる Case 1 ~ 3 における AP (w/ CB) のボンディング幅の使用率を競合 AP が共存するチャネル別に示す。

100 ch 競合時: 競合 AP はプライマリチャネル上の競合であるため、図 4(a) より Case 1 ~ 3 においてボンディング幅は縮小されず 80 MHz の通信のみであることを確認した。

104 ch 競合時: AP (w/ CB) はセカンダリチャネル上で PIFS 間のキャリアセンスが行われる。また、CTS は NAV 期間を通知しないため、競合 AP は通信を続行することができる。よって、競合 AP を検知した AP (w/ CB) は図 4(b) の Case 1 ~ 3 のように、20MHz の通信を含むことがわかった。しかし、20MHz の通信に対して、80MHz の通信が約 80% 以上占めている。この原因は、スペクトルアナライザの解析結果より、104ch に設定した競合 AP は、隣の 100ch に約 -65dBm の電波が漏れており、AP (w/ CB) のプライマリチャネルの CCA 閾値の -82dBm を大幅に超えるため、プライマリチャネル上でノイズとして検出されたため送信抑制するためであると考えられる。

108 ch 競合時: 図 4(c) より、Case 1 の 20MHz の使用率が Case 2、3 よりも高いことがわかった。これもスペクトルアナライザによる解析を行ったところ、AP (w/ CB) のセカンダリチャネルの CCA 閾値は -72dBm であるのにたいし、競合 AP の電波は隣接する 104ch に約 -65dBm の電波が漏れ出ているため、キャリアセンスで検出し、送信抑制しているためであると考えられる。また、競合 AP の A-MPDU 1 つ当たりの通信時間に注目すると、Case 1 の通信時間が最も長く PIFS 間のキャリアセンスで検出されやすいことがわかった。一方、Case 2、3 の 80MHz の使用率が 70% 以上

ある原因は、競合 AP の電波が 100ch に約 -85dBm の強度で漏れているからであり、AP(w/ CB) のプライマリチャネルの CCA 閾値は -82dBm であるため、競合 AP の電波が 100ch 上で偶発的に -82 dBm 以上で漏れていた可能性がある。よって、Case2、3 において、AP(w/ CB) はプライマリチャネル上のキャリアセンスで競合通信を検出することが確認できた。ただし、Case1 においては、100ch 上の競合通信の電波強度は約 -90dBm でありプライマリチャネル上のキャリアセンスでは検出することが難しいため、80MHz の通信の割合が Case2、3 よりも低くなった。

112 ch 競合時：競合 AP の電波は 100ch に影響を与えないため、プライマリチャネルのキャリアセンスでは検出されない。そのため、AP(w/ CB) はフレーム送信前の PIFS 間のキャリアセンスでアイドル状態であると判断する必要がある。ここで、1 送信機会での通信時間に注目すると、Case2 の場合が最も短いことがわかった。そして、図 4(d) に注目すると、80MHz の通信が Case1、3 よりも高く約 40% の割合で通信していることがわかった。また、Case1 は 112ch で競合しているにもかかわらず、20MHz の通信が 80% 以上を占めている。Cyclic Redundancy Check (CRC) エラーに着目すると、20 MHz 通信時のエラー率は約 0.29% に対して、40MHz 通信時のエラー率は約 0.72% と約 2 倍以上になっていることがわかった。つまり、AP(w/ CB) が保守的に通信を行うために、20MHz 通信の割合が高くなることがわかった。

次に、AP(w/ CB) におけるプライマリチャネル競合時とセカンダリチャネル競合時における正規化スループットを図 5 に示す。図 5(左) より、Case1 の正規化スループットが最も小さいことがわかった。これは AP(w/ CB) の A-MPDU 1 つ当たりの通信時間と関係する。AP(w/ CB) の通信時間は約 1.9ms であったのに対して、Case1 の競合 AP の通信時間は 4.6ms であったため、Case1 の場合は競合 AP によって通信時間が長く占有されていることがわかった。また、セカンダリチャネル競合時(図 5(右))、全チャネル上で AP(w/ CB) の CTS が返送されても NAV 期間を通知しないため競合 AP と衝突が発生する。また、AP(w/ CB) は DCB するため、Case1~3 における図 5(左) のプライマリチャネル競合時と比べると図 5(右) のセカンダリチャネル競合時の性能はそれぞれ低くなることが確認できた。

以上の結果から、CB を利用して無線 LAN を運用する際の競合環境における AP やチャネル設定による改善について考察する。AP (w/ CB) が 80 MHz で既に運用している場合、セカンダリチャネル上の競合は双方の通信性能に影響する。そこで競合 AP は、AP (w/ CB) のプライマリチャネルに設定することで双方の通信性能の公平性を保つことができる。一方で、競合 AP が不特定に存在する環境内で AP (w/ CB) を設置する場合、セカンダリチャネルで競合が発生する可能性がある。その場合は双方の通信性能に悪影響を及ぼすため、80 MHz のチャネルボンディングでの運用は控えるべきであることを明らかにした。

(2) 効果的なダイナミックチャネルボンディングのための A-MPDU サイズ動的決定手法

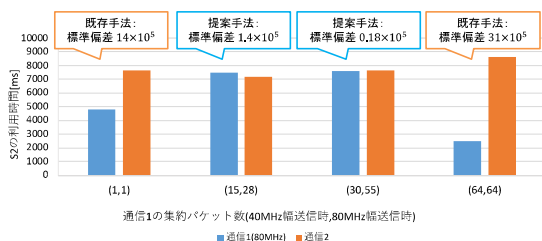


図 6：通信 1 と通信 2 の競合チャネルの利用時間

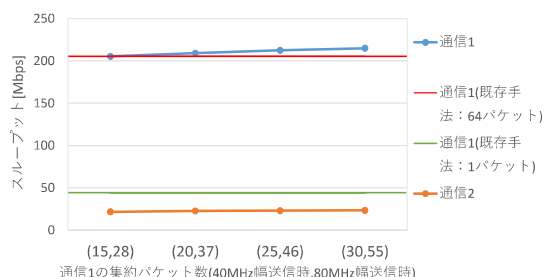


図 7：通信 1 と通信 2 のスループット

本報告においては通信 2 が 108ch の場合の結果について示す。まず、通信 2 の A-MPDU サイズを式(1)により求め、その A-MPDU サイズを用いた際の通信 1 と通信 2 の競合チャネルにおけるチャネル利用時間を図 6 に示す。横軸の値は(通信 1 の競合による縮退時の A-MPDU サイズ, 通信 1 の非競合時の最大 A-MPDU サイズ)を示す。提案手法を用いた (15, 28)、および (30, 55) の場合は、通信 1 と通信 2 の利用時間の偏りが既存手法 ((1, 1) および (64, 64) の場合) と比較して小さくなっていることから、通信 1 と通信 2 はチャネルを公平に利用できていることが分かる。また、図 7 に通信 1、通信 2 のスループットの結果を示す。横軸は図 6 と同じく提案手法における A-MPDU サイズを示す。既存手法の通信 1 の結果(赤線)に着目すると、既存手法ではボンディング時に 64 パケットで固定して送信する、つまり A-MPDU フレームによりヘッダ処理に係るオーバーヘッドを削減できるため約 200b/s の性能を示している。一方、既存手法における 1 パケットずつの送信では、送信に係るオーバーヘッドが削減できないため約 50 M/b となった。一方で、提案手法に着目すると、(15, 28) の場合は既存手法の 64 パケットのスループットとほぼ同程度であり、集約数が大きくなるにつれて提案手法が既存手法と比べてスループットを上回ることを確認した。以上の結果より、提案手法は通信 1 と通信 2 のチャネル利用の公平性を維持しつつ、80MHz 通信を効果的に活用できるためスループットを改善できることを示した。

以上の結果から、提案手法によって最適な A-MPDU サイズを用いて通信を行うことで、80MHz-40MHz DCB、40MHz-20MHz DCB の環境において、競合する通信同士が競合チャネルを公平に利用できていることを示した。加えてスループット性能に着目すると、DCB を用いる通信は、競合している DCB を用いない通信への影響を最小限に保ちつつ(単体時性能の 50% を維持) DCB を有

効活用することができるため、固定の A-MPDU サイズを用いる場合よりもスループット性能を向上出来る事を示した。

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 9 件)

- [1] 藤井 一樹, 田村 瞳, 野林 大起, 塚本 和也, "IEEE802.11ac チャンネルボンディング機能の有効性に関する実験評価," 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 118, No.465, NS2018-207, pp.81-86, 2019 年 3 月
- [2] 清水 勇佑, 野林 大起, 田村 瞳, 塚本 和也, "効果的なダイナミックチャンネルボンディングのための A-MPDU サイズ動的決定手法 ~ 手法の改良と多様な競合環境下に対する適用性検証 ~," 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 118, No.465, NS2018-206, pp.75-80, 2019 年 3 月
- [3] Kazuki Fujii, Hitomi Tamura, Daiki Nobayashi, Kazuya Tsukamoto, "Experimental Investigation of Static Channel Bonding Performance in Competitive Environment – Impact of Different MAC Procedures in 802.11ac –", Smartcom2018, Vol IEICE-118, No. 274, IEICE-SR2018-58, pp.1-2, October, 2018 .
- [4] 市来 拓朗, 野林 大起, 福田 豊, 池永 全志, "競合 WLAN が 11ac チャンネルボンディングに与える影響調査", 電子情報通信学会 2018 年 ソサイエティ大会, B-16-1, 2018 年 9 月
- [5] 藤井 一樹, 田村 瞳, 野林 大起, 塚本 和也, "[奨励講演] 競合発生時のスタティックチャンネルボンディングの有効性に関する実験評価," 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 118, No. 6, NS2018-1, pp.1-6, 2018 年 4 月
- [6] 梶原 沙恵, 野林 大起, 塚本 和也, "競合発生下のダイナミックチャンネルボンディングを有効活用するチャンネル利用方法に関する一考察," 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol.117, No.459, NS2017-218, pp.287-292, 2018 年 3 月
- [7] 佐藤 憲治, 田村 瞳, 野林 大起, 塚本 和也, 川原 憲治, "部分競合発生下のダイナミックチャンネルボンディングの性能解析 ~ 2x20MHz の場合 ~," 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol.117, No.385, NS2017-163, pp.111-116, 2018 年 1 月
- [8] 梶原 沙恵, 野林 大起, 塚本 和也, "競合発生下のスタティックチャンネルボンディングを有効活用するチャンネル利用方法に関する一考察," 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol.117, No.262, NS2017-100, pp.59-60, 2017 年 10 月
- [9] 藤井 一樹, 田村 瞳, 野林 大起, 塚本 和也, " IEEE802.11ac 準拠の機器におけるチャンネルボンディング機能の性能評価 ", " 電子情報通信学会 技術研究報告 ", Vol. 117, No. 131, NS2017-43, pp. 87-92, 2017 年 7 月

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.net.ecs.kyutech.ac.jp/>

6 . 研究組織

該当無し

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。