

IEEE802.11ax 規約の上り回線マルチユーザ（UL-MU）伝送における無線端末での送信電力制御の低減範囲を探るための実験的検討

松戸 孝[†] 丸田 竜一^{††} 植谷 昌博^{††} 田中 政満^{†††}

山下 聖太郎^{†‡} 宇都宮 光之[‡] 力石 靖^{‡‡}

† ネットワンシステムズ株式会社 ビジネス開発本部 第 1 応用技術部 第 1 チーム

†† 第 3 応用技術部 第 4 チーム, ††† 第 3 応用技術部 第 1 チーム

†‡ 第 2 応用技術部 サービス開発チーム, ‡ 第 2 応用技術部 ソフトウェア開発チーム

‡‡ カスタマーサービス本部 エキスパートオペレーション部 第 2 チーム

†, ††, †††, ‡, ‡‡ 〒140-8621 東京都品川区東品川 2-2-4 天王洲ファーストタワー

†‡ 〒100-7024 東京都千代田区丸の内 2-7-2 JP タワー

あらまし IEEE802.11ax 規約の上り回線マルチユーザ（UL-MU）伝送を確実に安定して運用するためには、無線 LAN アクセスポイント（AP）における各無線端末からの受信電力を揃える必要があり、各無線端末は送信電力を低減する制御を実施する。しかし、無線端末で送信電力を低減する現実的に妥当な範囲は不明である。そこで屋内事務所環境で筆者らが日常的に利活用している社内無線 LAN の 11ac 対応 AP において受信した各無線端末の受信電力データを解析することによって、AP における各無線端末の受信電力の差の発生状況を把握して、無線端末で送信電力を低減する範囲の目安を明らかにした。この目安は、11ax の AP と無線端末の開発や改善の検討に貢献する基礎的で有益な知見になる。

キーワード IEEE802.11ax, 上り回線, マルチユーザ伝送, 無線端末, 送信電力制御, 低減, 受信電力

Experimental Study of Finding out Decreased Transmission Power on Client Terminals in Order to Operate Uplink Multi-User Transmission Properly in IEEE 802.11ax Wireless LAN

Takashi MATSUDO[†] Ryuichi MARUTA^{††} Masahiro UETANI^{††} Masamitsu TANAKA^{††}

Seitaro YAMASHITA[‡] Mitsuyuki UTSUNOMIYA^{‡‡} and Yasushi CHIKARAISHI^{†‡}

† Advanced Technology Engineering Department 1, Business Development Division,

NetOneSystems Co., Ltd.

†† Advanced Technology Engineering Department 3, Business Development Division

‡, ‡‡ Advanced Technology Engineering Department 2, Business Development Division

†‡ Expert Operation Department, Customer Service Division

†, ††, ‡‡, †‡ Tennoz First Tower, 2-2-4 Higashi Shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo, 140-8621 Japan

‡ JP TOWER, 2-7-2 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-7024 Japan

Abstract In order to operate uplink multi-user transmission properly in IEEE802.11ax Wireless LAN, each signal power on a wireless LAN access point (AP) received from client terminals should be equal. Therefore, the client terminals execute a transmission power control (TPC), particularly decreasing the transmission power. But the decreased transmission power on the client terminals is unknown specifically. We analyzed many signal power data on the AP received from the client terminals and found out a statistical characteristic in the data that was useful to execute the TPC on the client terminals properly.

Keyword IEEE802.11ax, Uplink, Multi-user transmission, Client terminals, Transmission power control, Target RSSI

1. はじめに

IEEE802.11ax(以下 11ax と記載する)とは、無線 LAN の新しい規約であり、次世代高効率無線 LAN とも呼ばれていて、2020 年 6 月頃に策定完了予定である[1]。11ax では物理層の伝送速度向上は副であり、最も注力する目標は、無線端末や無線 LAN アクセスポイント(以下 AP と記載する)の数が増加した高密度・稠密な状況でも無線端末あたりの平均スループットを従来システム(IEEE802.11ac(以下 11ac と記載する))と比べて最低 4 倍改善することである。この目標を実現するために複数の高度な技術が 11ax には採用されているが、その中の 1 つが、上り回線マルチユーザ伝送(以下 UL-MU 伝送と記載する)技術である。

UL-MU 伝送技術とは、複数の無線端末が、同一周波数チャンネルで、かつ、同一時刻に、1 台の AP へ上り回線として伝送する技術である。従来システムでは、同一周波数チャンネルで、かつ、同一時刻に、1 台の AP へ上り回線として伝送することが可能なのは、1 台の無線端末だけであったが、11ax では新たに複数の無線端末による UL-MU 伝送が可能となった[1]。

11ax における UL-MU 伝送技術としては、MU-MIMO (Multi-User Multiple-Input Multiple-Output) と OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) の 2 種類の方式が採用された。

(方式 1) 上り回線 MU-MIMO (Uplink MU-MIMO, 以下 UL-MU-MIMO と記載する): UL-MU-MIMO は、異なる空間ストリームを異なる無線端末に割り当て、それら複数の無線端末が上り回線で同時送信する方式である。なお、11ax では、MU-MIMO は上り回線と、3 ストリーム以下の下り回線の両方において、オプションの扱いである。4 ストリーム以上の下り回線 MU-MIMO は必須の扱いである[1], [2], [3]。

11ax の UL-MU-MIMO では、複数の無線端末から送信する各伝送フレーム全体(プリアンブル部とデータ部)は同一周波数チャンネル内の全帯域で、かつ、同一時刻に、1 台の AP で受信されることになる。

(方式 2) 上り回線 OFDMA (Uplink OFDMA, 以下 UL-OFDMA と記載する): UL-OFDMA は、同一周波数チャンネル内の異なるサブキャリアを異なる無線端末に割り当て、それら複数の無線端末が上り回線で同時送信する方式である。なお、11ax では、OFDMA は上り回線と下り回線の両方において、必須の扱いである[2]。

ここで注意することは、11ax の UL-OFDMA では、無線端末が送信する伝送フレームのデータ部とプリアンブル部では、同一周波数チャンネルの使い方が異なっていることである [1], [4]。即ち、複数の無線端末が送信する伝送フレームのうち、データ部は、各無線端末に割り当てられた同一周波数チャンネル内の異なるサブ

キャリアで分離されて、かつ、同一時刻に、1 台の AP で受信されることになる。一方、複数の無線端末が送信する伝送フレームのうちプリアンブル部は、UL-MU-MIMO と同様に、同一周波数チャンネルの全帯域で、かつ、同一時刻に、1 台の AP で受信されることになる。

UL-MU 伝送において、無線端末の送信信号は伝搬路を通過することで減衰し AP に受信されることとなるが、送信電力、アンテナ利得、及び伝搬減衰量は無線端末毎に異なるため、図 1 に示すように、AP における各無線端末の信号の受信電力に格差が生じる。従って、受信電力の小さい信号に対する復調・復号特性が劣化して、確実に安定した通信が困難になる可能性がある。特に、複数の無線端末からの信号を同一周波数チャンネル内の全帯域で、かつ、同一時刻に、1 台の AP で受信することになる 11ax の UL-MU-MIMO の場合と、11ax の UL-OFDMA のプリアンブル部の場合で、その困難さは高くなると推測する。

また、11ax の UL-OFDMA のデータ部の場合も、AP における各無線端末の信号の受信電力の格差が大きいと、各無線端末に割り当てられた同一周波数チャンネル内の異なるサブキャリア間であっても同一時刻に 1 台の AP で受信した際には干渉が発生して、確実に安定した通信が困難になる可能性がある[5]。

これらの困難を解決するためには、AP における各無線端末の受信電力を揃える必要がある。そのために 11ax では、図 2 に示すように各無線端末は送信電力を低減する制御を実施する。但し、11ax ドラフト D3.0 では、揃える受信電力の基準値(TargetRSSI)の設定方法

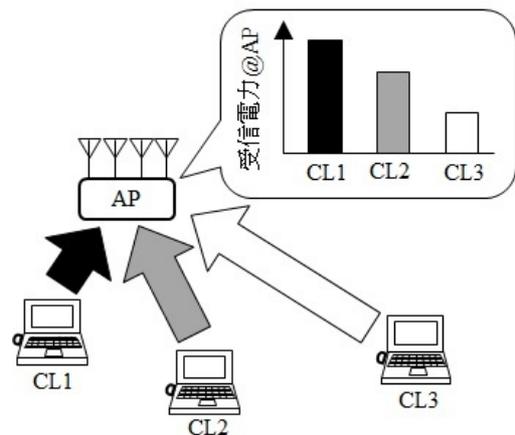


図 1 上り回線マルチユーザ伝送 (UL-MU 伝送) のイメージ例。送信電力制御が未実施の 3 台の無線端末 (CL) から 1 台の無線 LAN アクセスポイント (AP) への UL-MU 伝送の場合。文献[1]資料 48-2-2 の図 4.2.3.2 を参照して本稿用に筆者にて作図

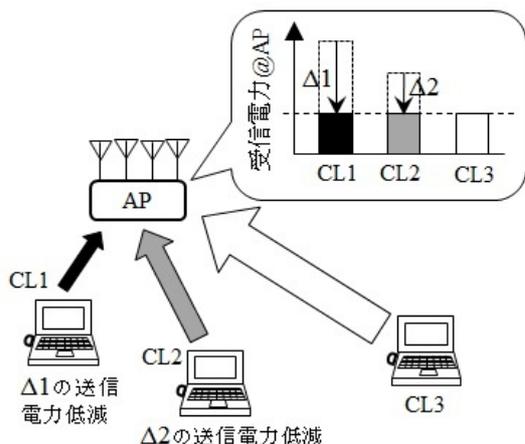


図 2 CL で送信電力制御を実施の場合の UL-MU 伝送のイメージ例。3 台の CL の内、2 台の CL で送信電力の低減を実施して 1 台の AP への UL-MU 伝送の場合。文献[1]資料 48-2-2 の図 4.2.3.2 を参照して本稿用に筆者にて作図

についての規定がなく、実装依存とのことである [1], [4]。例えば、TargetRSSI の一案としては、AP で受信した複数の無線端末の受信電力のうち最低値を設定することであろう。

そして、11ax の UL-MU 伝送における実際の運用環境では、1 台の AP に複数の無線端末が接続している状況は、様々な状況が発生すると予想されるので、TargetRSSI の値、及びそれと関連させて無線端末で送信電力を制御して低減する値も様々な値になると予想される。AP における各無線端末からの受信電力を揃えて、確実に安定した 11ax の UL-MU 伝送を実現するためには、送信電力制御の低減範囲を無線端末に適切に設定することが不可欠であるが、無線端末で送信電力を低減する範囲は、どのくらいが現実的に妥当であるかは不明である。

そこで、本稿では、屋内事務所環境で筆者らが日常的に活用している社内無線 LAN の 11ac 対応 AP において受信した各無線端末の受信電力データを解析することによって、AP における複数の無線端末からの受信電力の差の発生状況を明らかにする。これによって無線端末で送信電力を低減する範囲の目安を知ることができる。この目安は、確実に安定した 11ax の UL-MU 伝送を実現するために、11ax の AP と無線端末の開発や改善の検討に貢献する基礎的で有益な知見になる。第 2 章では、実験の内容（実験方法等）を示す。第 3 章では、UL-MU 伝送の同時送信する無線端末数が 2, 3, 及び 4 の場合を想定して、実験データの解析結果として、各無線端末の受信電力の差（最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲）の発生状況の累積確率を無線端末数が 2, 3, 及び 4 の場合に

ついて比較して示す。第 4 章では、実験結果について考察する。

2. 実験の内容

2.1. 実験目的

屋内事務所環境で筆者らが日常的に活用している社内無線 LAN の 11ac 対応 AP において受信した各無線端末の受信電力データを解析することによって、AP における複数の無線端末の受信電力の差の発生状況を明らかにする。これによって AP における各無線端末の受信電力を揃えるための無線端末で送信電力を低減する範囲の目安を知ることができる。この目安は、確実に安定した 11ax の UL-MU 伝送を実現するために、11ax の AP と無線端末の開発や改善の検討に貢献する基礎的で有益な知見になる。

2.2. 実験における前提

社内無線 LAN の 11ac 対応 AP に接続する無線端末は、私物端末の業務利用(Bring Your Own Device, 以下 BYOD と記載する)が社内制度として推奨されたことによって、様々な種類が存在している。従って、各無線端末の仕様（送信電力、アンテナ利得、及び伝送帯域幅の増減の状況等）も様々であると推測され、その詳細は不明の状況であるが、この状況を前提に実験データを収集して解析する。

この前提における実験結果であっても、無線端末で送信電力を低減する範囲は、どのくらいが現実的に妥当であるかは不明である現状から、確実に安定した 11ax の UL-MU 伝送を実現するために向けて、少しでも検討を進められると考える。

2.3. 実験方法

(1) 実験場所の環境

本実験は屋内事務所環境で日常的に運用している筆者らが活用している社内無線 LAN における AP で測定されたデータを用いており、特別な実験環境を新たに構築はしていない。

図 3 に本実験場所の環境をフロアの平面概要図として示す。建物中央の共用部（廊下、エレベータ等）を除いた北及び東西の 3 方向にコの字型の無柱のフロアが広がっており、そのフロア全面を無線 LAN サービスエリアとするために 23 台の AP が天井面（無線端末から見える面）に設置されている。23 台の AP の内、図 3 で印で示された 10 台が Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードで運用するアンテナ内蔵タイプの AP であり、原則、フロアの内部側に設置されている。一方、図 3 で印で示された 13 台が 2.4GHz 帯と 5GHz 帯の両方の無線 LAN を各単一の大セルで運用するアンテナ内蔵タイプの AP である。フロア内は、少人数用の会議室が一部に存在する他は、大半のエリアは机等と

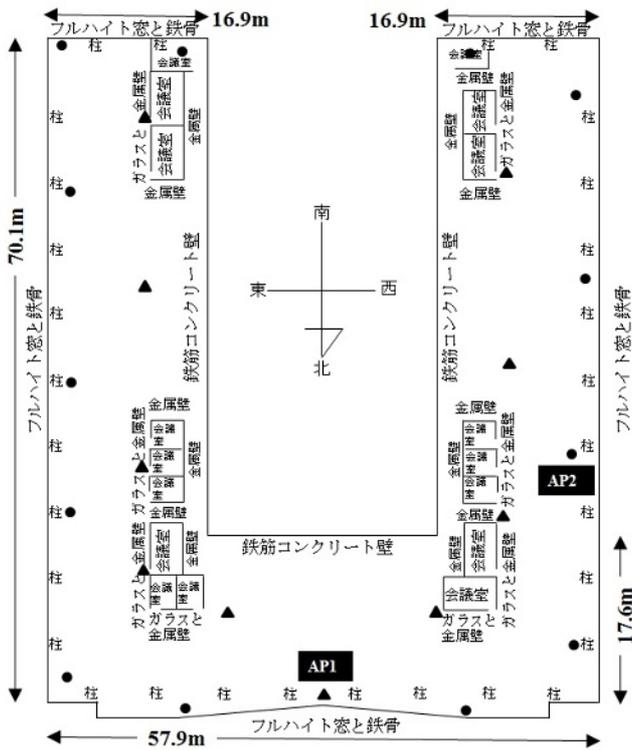


図 3 本実験場所の環境(フロアの平面概要図)

- : Dual5GHz 帯 (小セル on 大セル) モードで運用する AP
- : 2.4GHz 帯と 5GHz 帯の両方の無線 LAN を各大セルで運用する AP

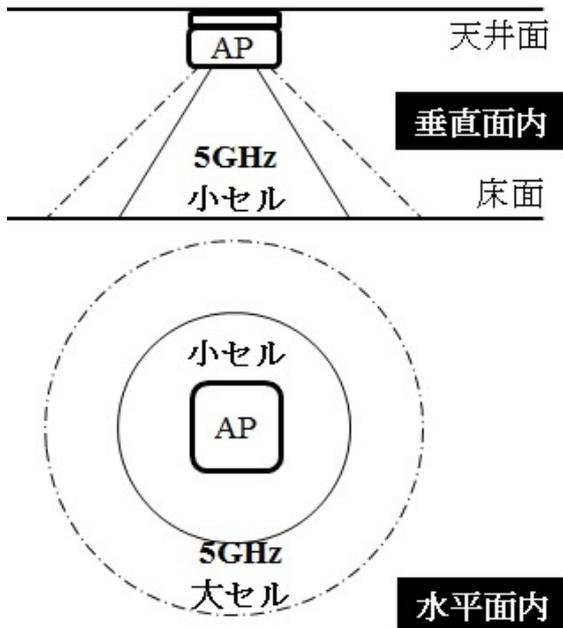


図 4 Dual5GHz 帯 (小セル on 大セル) モードを実装した AP が形成する小セル (実線) と大セル (一点鎖線) のサービスエリアのイメージ

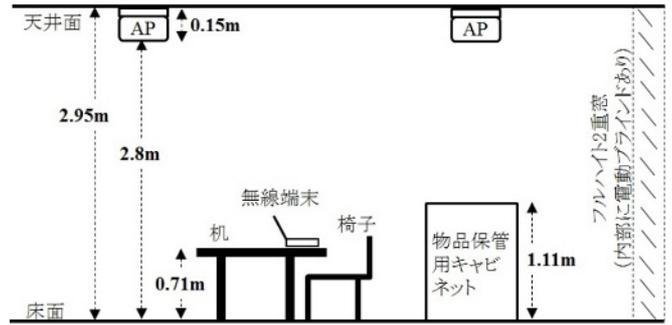


図 5 本実験場所の環境(フロアの立面概要図)

椅子のフリーアドレス[6]の座席列と物品保管用キャビネットが展開されている。

Dual5GHz 帯 (小セル on 大セル) モードで運用する AP とは、高周波回路の実装技術の進化によって登場した 1 台の AP 本体内に 5GHz 帯の 2 つの別の周波数チャンネルの無線部を同時に動作できる機能が実装されている AP である[7]。各無線部の内蔵アンテナは、AP の直下周辺のやや狭い範囲(小セル, マイクロセル)と、AP の直下から周辺のやや広い範囲(大セル, マクロセル)の 2 つの異なる 5GHz 帯の無線 LAN サービスエリアを形成できる[8]。小セルが大セルにアドオンした状況になっている。図 4 は、その状況のイメージを示している。従って、無線端末を 2 つの異なる同エリア(小セルまたは大セル)へ空間的に分離して収容できる仕組みが Dual5GHz 帯 (小セル on 大セル) モードを実装した AP では動作している[9]。一方、2.4GHz 帯と 5GHz 帯の両方の無線 LAN を各単一の大セルで運用する場合の無線 LAN サービスエリアの状況は、図 4 の大セルだけのイメージである。

図 5 には、本実験場所の環境をフロアの立面概要図として示す。AP は無線端末から見える側の天井面に設置されており、各 AP と各無線端末間、また、各 AP 間の見通しは、大半のエリアにおいて良好である。天井の材質は石膏ボードである。床面にはカーペットが敷かれている。屋内と屋外の境界は、床から天井まで 1 枚ガラスのフルハイト窓が 2 重になっており、かつ 2 重のフルハイト窓の中間内部に電動ブラインドが存在する。外壁側窓ガラスは銀を 2 層コーティングした高性能 Low-E ガラス (高性能遮熱断熱ガラス) とのことであるが、電波に対する周波数特性は不明である。なお、電動ブラインドは、屋外の風景が概ね見える程度に開いていることが一般的であるが、開き具合の状況は様々である。

(2) 実験システムの構成

図 3 に示された 23 台の AP (シスコシステムズ社製の AP3802I) は、そのフロアの上下階に設置された他 AP と共に無線 LAN コントローラ (同社製の CT8540) で

表 1 実験での測定諸元

●実験システム	
無線LANアクセスポイント (AP)	AP3802I (シスコシステムズ社製, IEEE802.11ac第2世代対応)
無線LANコントローラ	CT8540 (シスコシステムズ社製, Ver. 8.5.110.0)
●APの小セルの送信部 (5GHz帯)	
送信電力 (CT8540における show advanced 802.11a summary コマンドの表示値)	自動選択 (2dBm)
アンテナ数	4
●APの大セルの送信部 (5GHz帯)	
送信電力 (CT8540における show advanced 802.11a summary コマンドの表示値)	自動選択 (概ね5から11dBm程度)
アンテナ数	4
●APの小セルと大セルの受信部 (5GHz帯)	
アンテナ数	4 (最大比合成ダイバーシチ受信)
●APの小セルの送受信部共通 (5GHz帯)	
アンテナ利得	6dBi
アンテナ垂直面内半値幅	90度
アンテナ水平面内指向性	無指向性
●APの大セルの送受信部共通 (5GHz帯)	
アンテナ利得	5dBi
アンテナ垂直面内半値幅	164度 (筆者による文献[8]からの読み取り値)
アンテナ水平面内指向性	無指向性
●APの小セルと大セルの送受信部共通 (5GHz帯)	
伝送周波数帯域幅	基本は20MHz, なお, 40MHzも自動選択の可能性あり
実験時の周波数	19波 (20MHz幅伝送) から自動選択

集中的に制御運用管理されている。

表 1 に実験での測定諸元を示す。後述のデータ解析で利用する AP において受信した各無線端末の受信電力は、4 つのアンテナによる最大比合成ダイバーシチ受信による値になる。

(3) 測定データ収集の方法とデータ解析対象の AP

測定者である筆者の業務状況が許す限り、原則、平日の業務時間帯の 11 時頃と 14 時頃に、図 3 の各 AP (Dual5GHz 帯(小セル on 大セル)モード運用の AP:10 台、及び、5GHz 帯の単一大セル運用の一部の AP:2 台)へ接続している無線端末の数、及び同各 AP における各無線端末の受信電力を、各 AP へ入力した Command Line Interface (以下 CLI と記載する) コマンド (show dot11 clients) の応答結果を経由して測定した。なお、その 2 つの測定時刻は、弊社の社内無線 LAN へ接続する無線端末が 1 日の中で極大になる概ねの時刻である。そして、データ解析対象の AP は、図 3 の AP1 と AP2 とした。

図 3 の AP1 は、Dual5GHz 帯 (小セル on 大セル) モードで運用する AP なので、小セルと大セルの各セルにおける無線端末の測定データを解析できる。AP1 をデータ解析の対象とした理由は、図 3 に示した 10 台の、Dual5GHz 帯 (小セル on 大セル) モードの AP の中で、下記項目 (4) で述べる 3 か月間における無線端末の接続数の平均値が最大であったからである (小セルでの平均値:9.8, 大セルでの平均値:20.7)。

図 3 の AP2 は、2.4GHz 帯と 5GHz 帯の両方の無線 LAN を各単一大セルで運用する AP であるが、5GHz 帯の単一大セルにおける無線端末の測定データを、Dual5GHz 帯 (小セル on 大セル) モードで運用する AP1 の各セルにおける同データと比較するために、データ解析した。AP2 をデータ解析の対象とした理由は、測定した 2 台の 5GHz 帯の単一大セル運用の AP において下記項目 (4) で述べる 3 か月間における無線端末の接続数の平均値が最大であったからである (単一大セルでの平均値:27.8)。

なお、測定した 2 台の 5GHz 帯の単一大セル運用の AP の位置では、旧機種 of AP で運用していた数年前には、当時、接続した無線端末数が最大を記録していた。

(4) データ解析の手順

(Step1) 本実験データの解析は初めての試みであり知見はないので、ひとまず、3 か月間の期間に収集された測定データ (CLI コマンド (show dot11 clients) の応答結果) を解析した。

小セルにおける測定データについて

2018 年 12 月から 2019 年 2 月末までの 3 か月間に収集された測定データであり、データ数は 70 である。

大セルにおける測定データについて

収集期間とデータ数は、上記項目と同じである。単一大セルにおける測定データについて

2019 年 1 月から 2019 年 3 月末までの 3 か月間に収集された測定データであり、データ数は 58 である。

なお、接続している各 AP における各無線端末の受信電力データは、-90dBm より大きいデータを解析の対象とした。理由は、測定データを収集したタイミングで、無線端末が AP に接続した直後であり受信電力が未確定の場合には、その受信電力データが -90dBm の表示になっていることが判明したからである。

また、UL-MU 伝送の同時送信する無線端末数の最大値は 4 までを、ひとまず、データ解析の対象とした。理由は、市販の法人向け AP 製品に実装されたアンテナ数は最大 4 つが一般的なので、現実的に性能が発揮できる UL-MU-MIMO 伝送も最大 3 ストリーム以下、つまり、無線端末が 3 台以下と考えられるからである。将来に、性能向上した市販の法人向け AP 製品が登場する可能性も考慮して、今回のデータ解析では、無線

端末をさらに1台追加して、UL-MU伝送の同時送信する無線端末数の最大値は4までとした。

(Step2) 図3のAP1の小セルのデータに着目する。

(Step3) 第1番目のデータ(例:2018年12月3日11時に測定したデータ)に着目する。

(Step4) APの着目したセルに接続している無線端末の総数 N_{max} を把握する。

(Step5) UL-MU伝送の同時送信する無線端末数が2の場合を想定して、APの着目したセルに接続する無線端末数が2となる組合せを N_{max} の中から抽出し、同APにおけるその各無線端末の受信電力を把握する。

(Step6) UL-MU伝送の同時送信する無線端末数が3の場合を想定して、APの着目したセルに接続する無線端末数が3となる組合せを N_{max} の中から抽出し、同APにおけるその各無線端末の受信電力を把握する。

(Step7) UL-MU伝送の同時送信する無線端末数が4の場合を想定して、APの着目したセルに接続する無線端末数が4となる組合せを N_{max} の中から抽出し、同APにおけるその各無線端末の受信電力を把握する。

(Step8) 上記(Step5)、(Step6)、及び(Step7)における各組合せにおいて、各無線端末の受信電力の差(最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲)を把握する。

(Step9) 第2番目から最後のデータまで、上記(Step4)から(Step8)を実施する。

(Step10) 上記(Step3)から(Step9)によって把握できた各無線端末の受信電力の差(最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲)の発生状況の累積確率を無線端末数が2,3,及び4の場合について比較して示す。

(Step11) 図3のAP1の大セルのデータに着目して、上記(Step3)から(Step10)を実施する。

(Step12) 図3のAP2の単一大セルのデータに着目して、上記(Step3)から(Step10)を実施する。

3. 実験結果

第2章の実験方法によってデータ解析した実験結果を、図6から11に示す。

図6には、UL-MU伝送の同時送信する無線端末数が2,3,及び4の場合を想定して、小セルを形成するAPにおける各無線端末の受信電力の差(最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲)の累積確率を無線端末数が2(印),3(×印),及び4(△印)の場合について比較して示す。横軸の受信電力の差は、例えば、無線端末数が3台の場合である図1においては、CL3の受信電力 - CL1の受信電力であり、図2においては、CL1における1である。

なお、無線端末の組み合わせ総数 (= 累積確率が

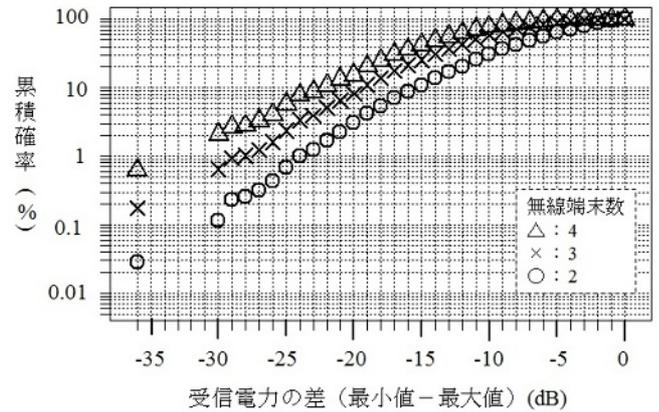


図6 AP(小セル)における各無線端末の受信電力の差(最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲)の累積確率

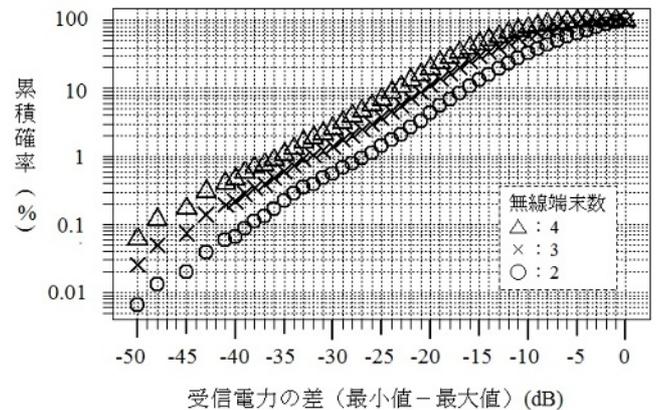


図7 AP(大セル)における各無線端末の受信電力の差(最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲)の累積確率

100%の場合の総数)は、無線端末数が2のとき3477とあり、同3のとき13034とあり、及び、同4のとき40776とありであった。

図7には、UL-MU伝送の同時送信する無線端末数が2,3,及び4の場合を想定して、大セルを形成するAPにおける各無線端末の受信電力の差(最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲)の累積確率を無線端末数が2,3,及び4の場合について比較して示す。

なお、無線端末の組み合わせ総数 (= 累積確率が100%の場合の総数)は、無線端末数が2のとき15174とあり、同3のとき113939とあり、及び、同4のとき666687とありであった。

図8には、UL-MU伝送の同時送信する無線端末数が2,3,及び4の場合を想定して、単一大セルを形成するAPにおける各無線端末の受信電力の差(最小値 -

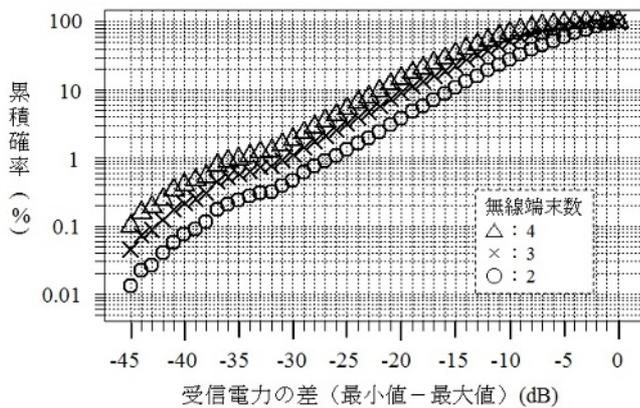


図 8 AP (単一大セル) における各無線端末の受信電力の差 (最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲) の累積確率

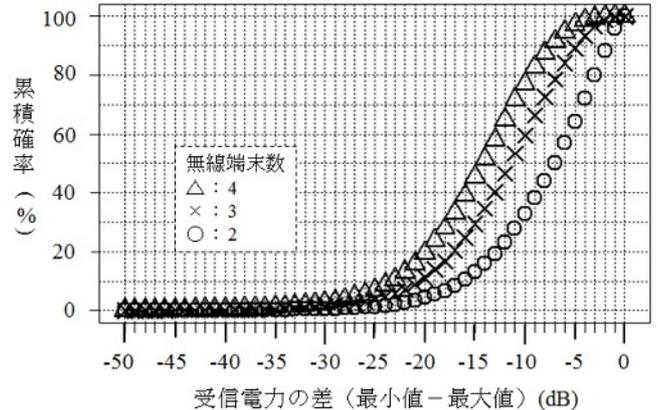


図 10 AP (大セル) における各無線端末の受信電力の差 (最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲) の累積確率 (線形目盛)

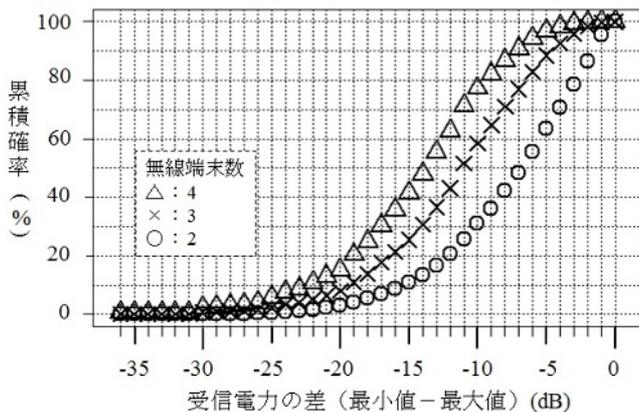


図 9 AP (小セル) における各無線端末の受信電力の差 (最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲) の累積確率 (線形目盛)

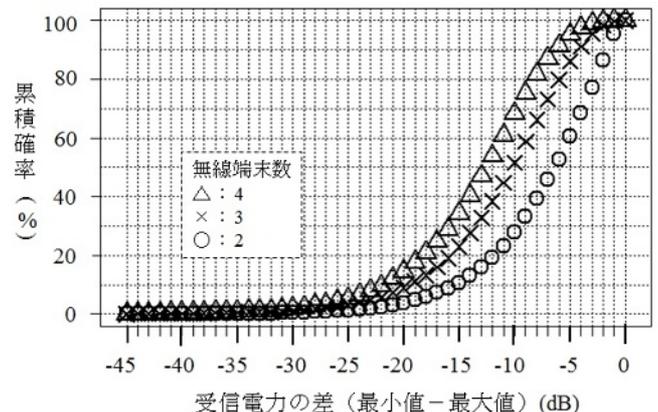


図 11 AP (単一大セル) における各無線端末の受信電力の差 (最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲) の累積確率 (線形目盛)

最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲) の累積確率を無線端末数が 2 (印), 3 (×印), 及び 4 (印) の場合について比較して示す。

なお、無線端末の組み合わせ総数 (= 累積確率が 100% の場合の総数) は、無線端末数が 2 のとき 22500 とおり、同 3 のとき 213390 とおり、及び、同 4 のとき 1546916 とおりであった。

図 9 には、図 6 の縦軸を線形目盛に変更して示す。図 10 には、図 7 の縦軸を線形目盛に変更して示す。図 11 には、図 8 の縦軸を線形目盛に変更して示す。

4. 考察

2.2 節で述べた実験における前提はあるが、第 3 章の実験結果を次のように考察した。

(1) 3 種類のセルにおける累積確率の比較

図 6 から同 8 を比較、及び、図 9 から同 11 を比較すると、3 種類のセル、つまり、小セル、大セル、及び、単一大セルの各セルを形成する AP における各無線端末の受信電力の差 (最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲) の累積確率は、UL-MU 伝送の同時送信する無線端末数が 2, 3, 及び 4 の各場合で見ると、概ね 10% 以上において、つまり 90% の確率で、概ね同じ傾向であることがわかる。この傾向になる理由としては、例えば、次の 2 点は、想定しやすい。

(理由 1) 2.2 節で述べたように、BYOD が社内制度として推奨されたことによって、無線端末は様々な種類が存在し、各無線端末の仕様 (送信電力、アンテナ利

得、及び伝送帯域幅の増減の状況等)も様々であると推測される。しかし、電波法として合法の無線端末の集合なので、統計的には、3種類の各セル配下の無線端末の仕様は、概ね同じ傾向になっているとも理解できる。

(理由2)2.3節(1)で述べたように測定データを収集したフロアが、フリーアドレス座席の環境になっていることが関係している可能性もある。図3のAPI(小セルと大セルの各セルにおける無線端末の測定データを解析)と、同図AP2(単一大セルにおける無線端末の測定データを解析)は、距離的に離れていても、各AP配下の無線端末の種類の流動性は、フリーアドレス座席の環境では、各個人(=無線端末のユーザ)の座席が固定されている環境よりは大きいと推測される。従って、統計的には、3種類の各セル配下の無線端末の仕様は、概ね同じ傾向になっているとも理解できる。

なお、フリーアドレス環境であっても、人間の習性によるものと推測されるが、各個人が同じ座席に着席しやすい傾向も見られる。しかし、固定座席の環境よりは、フリーアドレス座席の環境のほうが強制的に異なる座席に着席せざるを得ない状況が、しばしば発生していることを筆者らは経験している。それゆえ、固定座席の環境よりは、フリーアドレス座席の環境のほうが、各AP配下の無線端末の種類の流動性は大きくなっていると推測する。

(2) UL-MU 伝送の同時送信を想定した無線端末数と受信電力の差の関係

図6から同8、及び、図9から同11は、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が2(印)、3(×印)、及び4(印)と増加すると、各セルを形成するAPにおける各無線端末の受信電力の差(最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲)も広がる傾向があることがわかる。

この傾向になる理由としては、第3章で述べたように、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が増加すると、無線端末の組み合わせ総数(=累積確率が100%の場合の総数)は増加するので、各セルを形成するAPにおける各無線端末の受信電力の差(最小値 - 最大値 = 無線端末で送信電力を低減する場合の最大範囲)が広がる状況も増加してくるからと推測される。

(3) 90%の確率において必要とされる無線端末での送信電力を低減する目安

確実で安定した11axのUL-MU伝送を実現するためには、APにおける各無線端末の受信電力を揃えることが必要である。それゆえ、無線端末では、送信電力を制御して低減する。例えば、無線端末で、90%の確率において送信電力を制御して低減する目安は、図6から同8の各累積確率10%の受信電力の差に着目すること

によって、次のように理解できる。

図6から、小セルにおいて、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が2の場合：-15dB

同3の場合：-19dB

同4の場合：-22dB

図7から、大セルにおいて、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が2の場合：-16dB

同3の場合：-20dB

同4の場合：-23dB

図8から、単一大セルにおいて、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が2の場合：-15dB

同3の場合：-19dB

同4の場合：-21dB

例えば、無線端末における送信電力制御の低減範囲が-16dB以上の実装ならば、90%の確率でUL-MU伝送の同時送信が可能となるのは、無線端末数が2までとなり、無線端末数が3以上の場合には、90%の確率でUL-MU伝送することは、あきらめる必要がある。

例えば、90%の確率でUL-MU伝送の同時送信を無線端末数が4まで可能とするためには、無線端末における送信電力制御の低減範囲が-23dB以下の仕様が必要になる。

UL-MU伝送をある確率で可能とするためには、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が増加すると、APにおける各無線端末の受信電力を揃えるための無線端末で送信電力を低減する範囲が広がる(深くなる)ことを、11axのAPと無線端末の開発や改善の検討において配慮する必要がある。

(4) 無線端末における送信電力制御の低減範囲が-20dB以上の場合の確率

例えば、11axのUL-MU伝送に対応した無線端末において、送信電力制御の低減範囲が-20dB以上の仕様の場合に、APにおける各無線端末の受信電力を揃えることが可能となる確率は、図6から同8の受信電力の差の-20dBの累積確率に着目することによって、次のように理解できる。

図6から、小セルにおいて、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が2の場合：97%以下

同3の場合：93%以下

同4の場合：86%以下

図7から、大セルにおいて、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が2の場合：96%以下

同3の場合：90%以下

同4の場合：85%以下

図8から、単一大セルにおいて、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が2の場合：96.5%以下

同3の場合：92%以下

同4の場合：87%以下

例えば、無線端末における送信電力制御の低減範囲が-20dB以上の仕様ならば、96%の確率でUL-MU伝送の同時送信が可能となるのは、無線端末数が2までとなり、無線端末数が3以上の場合には、96%の確率でUL-MU伝送することは、あきらめる必要がある。

例えば、同仕様の場合に、UL-MU伝送の同時送信を無線端末数が4まで可能となる確率は85%である。

APにおける各無線端末の受信電力を揃えるための無線端末で送信電力を低減する範囲をある値に設定する場合、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が増加すると、送信電力を制御して低減可能となる確率は減少することを、11axのAPと無線端末の開発や改善の検討において配慮する必要がある。

5. まとめ

確実に安定した11axのUL-MU伝送を実現するためには、APにおける各無線端末からの受信電力を揃える必要があり、それゆえ、送信電力制御の低減範囲を無線端末に適切に設定することが不可欠である。しかしながら、実際の運用環境では、1台のAPに複数の無線端末が接続している状況は、様々な状況が発生すると予想されるので、無線端末で送信電力を低減する範囲は、どのくらいが現実的に妥当であるかは不明である。

そこで、屋内事務所環境で筆者らが日常的に活用している社内無線LANの11ac対応APにおいて受信した各無線端末の受信電力データを解析することによって、APにおける複数の無線端末の受信電力の差の発生状況を明らかにして、累積確率のグラフとして示した。これによってAPにおける各無線端末の受信電力を揃えるための無線端末で送信電力を低減する範囲の目安を知ることができる。この目安は、確実に安定した11axのUL-MU伝送を実現するために、11axのAPと無線端末の開発や改善の検討に貢献する基礎的で有益な知見になる。

本実験的検討で得られた知見は、次のとおりである。
(1) 無線端末で送信電力を低減する範囲の目安は、UL-MU伝送の同時送信する無線端末数が2, 3, 及び4の各場合で見ると、APが形成する無線LANサービスエリアの3種類のセル、つまり、小セル、大セル、及び、単一大セルにおいて、90%の確率で概ね同様である。

(2) 11axのAPと無線端末の開発や改善の検討において配慮すると良いことは、次の2点である。なお、端的には、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が少ないほど、11axのUL-MU伝送は、実施しやすいと理解できる。

UL-MU伝送をある確率で(例えば90%の確率で)可能とするためには、UL-MU伝送の同時送信を想定した

無線端末数が増加すると、無線端末で送信電力を低減する範囲が広がる(深くなる)。

無線端末で送信電力を低減する範囲をある値に(例えば-20dB以上に)設定する場合、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が増加すると、送信電力を制御して低減可能となる確率は減少する。

今後の課題は、APでの受信電力が小さい無線端末はUL-MU伝送の対象外にした場合や、UL-MU伝送の同時送信を想定した無線端末数が5以上の場合を検討することである。

謝 辞

社内無線LAN環境を利活用する機会を与えていただいたネットワークシステムズ株式会社 管理本部 情報システム部の飯田部長、古森エキスパート、田牧エキスパート、及び、角田社員に感謝する。無線LAN製品の様々なことで日頃よりお世話になっているシスコシステムズ合同会社の野奈津子様、村松杏奈様、竹林百合香様、大藤皓哉様、Ajithkumar Somasundaram様、大崎秀行様に感謝する。11axの先行情報を提供してくれたネットワークシステムズ株式会社東日本第1事業本部第1営業部技術第4チームの中野清隆エキスパートに感謝する。本検討の機会を与えていただいたネットワークシステムズ株式会社の篠浦文彦取締役、ビジネス開発本部の岩本智浩副本部長、同本部第1応用技術部の藤田雄介部長、同部第1チームの川崎勝マネージャーに感謝する。

文 献

- [1] 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会(第48回)、“資料48-2-2 委員会報告(案)「次世代高効率無線LANの導入のための技術的条件」、及び、資料48-2-3 委員会報告(案)「次世代高効率無線LANの導入のための技術的条件」(概要)”, http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/ido/02kiban12_04000249.html, 2019年4月11日, 参照 Apr.26, 2019.
- [2] 三友敏也, 足立朋子, “高密度Wi-Fiを実現する11ax 第3回 変調方式QAMを超多値化実装の鍵は誤差補正技術”, 日経エレクトロニクス, pp.84-87, 2019年4月号.
- [3] 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会, “陸上無線通信委員会報告(案)に対する意見募集の結果 別紙 No.8”, http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02kiban12_04000248.html, 2019年4月11日, 参照 Apr.26, 2019.
- [4] 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 5GHz帯無線LAN作業班(第13回)、“5GHz作13-2 IEEE 802.11axにおける上りリンクマルチユーザ伝送(UL MU)を考慮した共用検討”, http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/02kiban12_04000231.html, 2018年12月7日, 参照 Dec.21, 2018.
- [5] 服部武, “インプレス標準教科書シリーズ OFDM/OFDMA教科書”, インプレスR&D, 2008

年 9 月 21 日.

- [6] ネットワンシステムズ, "ネットワンの働き方革命-フリーアドレス",
<http://www.netone.co.jp/workstyle/want-to-do/2-3.html>, 参照 Apr.26, 2019.
- [7] 中野清隆, "Cisco IEEE802.11ac wave2 対応アクセスポイント Flexible Radio Assignment 機能のメリット", ネットワンシステムズ,
<http://www.netone.co.jp/report/column/column1/20160805-2.html>, 2016 年 8 月 5 日, 参照 Apr.26, 2019 .
- [8] Cisco systems, "Cisco Aironet 3800 Series Access Points Data Sheet",
<http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3800-series-access-points/datasheet-c78-736498.html>, Feb.15, 2019, 参照 Apr.26, 2019 .
- [9] 松戸孝, "無線端末の接続数が増大する状況でも快適に無線 LAN を利活用するための挑戦 (Dual5GHz 帯モード)", ネットワンシステムズ,
<https://www.netone.co.jp/report/column/column1/20180228.html>, 2018 年 2 月 28 日, 参照 Apr.26, 2019.