

IEEE 802.11ax: 第 6 世代 の Wi-Fi

1 要約

より多くのデバイス、接続、および帯域幅を必要とするアプリケーションの増大に伴って、ワイヤレスは進化を遂げています。将来のネットワークは、ますます多くのワイヤレス容量と信頼性を必要とすることでしょう。そこで、第 6 世代の Wi-Fi が登場しました。

新しい IEEE 802.11ax 規格は、継続するイノベーションの過程における最新の取り組みです。これは 802.11ac の強みを土台として構築されており、しかも柔軟性と拡張性が追加されているため、新規および既存のネットワークで次世代のアプリケーションを動かすことができます。IEEE 802.11ax では、ギガビット ワイヤレスの自由さと高速さが「免許が必要な無線 (LTE)」に含まれる予測可能性と結合されています。

IEEE 802.11ax を使用すると、企業やサービス プロバイダーは新たに出現したアプリケーションを同じ無線 LAN (WLAN) インフラストラクチャでサポートしながら、より古いアプリケーションに対してより高度なサービスを提供できますこのシナリオは新しいビジネス モデルと増大する Wi-Fi の採用の準備を行います。

IEEE 802.11ax を使用すると、アクセス ポイントは高密度な環境でより多くのクライアントをサポートし、一般的な無線 LAN ネットワークのエクスペリエンスを向上させることができます。また、4K ビデオ、Ultra HD、ワイヤレス オフィス、Internet of Things (IoT) などの高度なアプリケーションで予測可能なパフォーマンスを実現できます。ウェイクアップ時間の柔軟なスケジューリングにより、クライアント デバイスでは 802.11ac を使用した場合よりスリープ時間がはるかに長くなり、さらにウェイクアップ時の競合が減るため、スマートフォン、IoT、およびその他のデバイスのバッテリー寿命が延長します。

IEEE 802.11ax では、次の 3 つの異なる要因を推進することにより、これらの利点を実現します。

- 1024 直交振幅変調 (QAM) を使用した、より高密度の変調により、35% 超の高速バーストを可能にします
- 直交周波数分割多元接続 (OFDMA) に基づくスケジューリングにより、オーバーヘッドや遅延を削減します
- 堅牢で高効率のシグナリングにより、非常に低い受信信号強度表示 (RSSI) で快適に動作します

IEEE 802.11ax OFDMA 技術により、ベンダーの実装に応じて、Wave 1 の 802.11ax アクセス ポイントでさえ 8 空間ストリームをサポートし、物理層で最大 4800 Mbps を提供することができます。すべてのクライアントは MAC 層でより高効率のスループットを実現し、全体的なユーザ エクスペリエンスを向上させています。

802.11ac とは異なり、802.11ax は、デュアル バンド 2.4 GHz および 5 GHz 技術であるため、2.4 GHz 専用のクライアントはその利点をすぐに活用できます。最も重要な点として、802.11ax 2.4 GHz サポートは Wi-Fi の範囲を大幅に拡大しており、標準ベースのサウンディングとビームフォーミングを追加し、屋内と屋外での使用に対応する新しい使用事例とビジネス モデルを実現しています。

目次

1 要約

2 マーケットの変遷

3 802.11ax とは?

- 3.1 802.11ax が生まれた背景
- 3.2 802.11ax の速度向上の理由
- 3.3 IEEE 802.11ax と決定論
 - 3.3.1 リソース割り当ての 3 つの要因
 - 3.3.2 柔軟な省電力デバイスのスケジューリング
 - 3.3.3 容量の向上とスケジューリングの不確実性の削減
- 3.4 IEEE が 802.11ax を堅牢化した方法
- 3.5 テクノロジーの概要
 - 3.5.1 OFDMA とリソースユニットの割り当て
 - 3.5.2 1024 QAM
 - 3.5.3 Spatial Reuse (SR) と OBSS の運用
 - 3.5.4 距離と速度

4 11ax が実現される時期

5 11ax による影響

- 5.1 互換性
- 5.2 802.11ax にアップグレードする時期

6 総括

IEEE 802.11ax は、802.11ax への完全アップグレードが直ちに実施されない場合でも、既存の 802.11a/g/11n/11ac の機能を強化します。その OFDMA ベースのチャンネル アクセスは従来の EDCA/CSMA と完全に後方互換性があり、Cisco® アクセス ポイントはそれぞれのスキームを最適に使用します。第二に、802.11a/g/11n/11ac の監視および無線侵入防止システム (Wireless Intrusion Protection Switching [WIPS]) は、ビーコン フレームやプローブ要求/応答フレームなどのほとんどの管理フレームが新しい 802.11ax パケット形式で送信されるとしても、それらを引き続き復号化できます。

IEEE 802.11ax は、802.11a/n/ac デバイスと効率的に共存して、最大限の互換性を提供するように設計されました。その新しいプリアンプル (HE-SIG-A/B) は、従来の 802.11a/g/n/ac のプリアンプルに準拠しながら、request-to-send/clear-to-send (RTS/CTS) 手順をマルチユーザ向けに拡張して、古いシングルユーザ モードのユーザとの衝突を回避します。

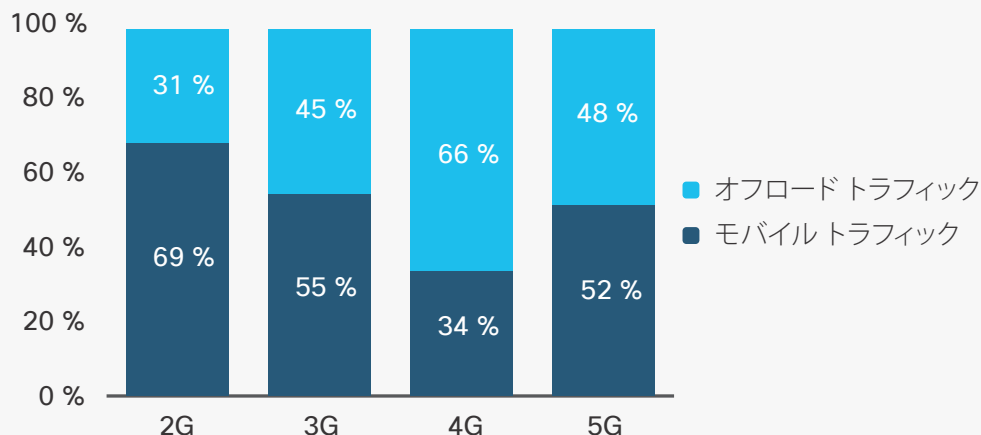
新しい 802.11ax 規格は無線技術における劇的な前進であり、時間の経過とともに、企業やサービス プロバイダーの組織にとっての真のメリットを明らかにしています。

2 マーケットの変遷

以前の 802.11 ベースのネットワークの調査は、企業ネットワークの拡張と高密度化をサポートするために、各世代でスループットとカバレッジが増大していることを示しています。しかし、将来の無線ネットワークを考慮すると、次世代はこの継続的な拡張をサポートするだけでなく、より高いレベルのサービスを既存のネットワークに提供する必要があることを示しています。特に、企業の顧客向けに、4K/8K のビデオ、拡張現実と仮想現実 (AR/VR)、IoT をサポートする必要に加えて、サービス プロバイダーの顧客向けに、音声などのモバイル コア機能の信頼性の高い機能拡張をサポートする必要があると増大しています。これらはすべて、前世代の Wi-Fi で行われてきたものより高度な確定的な動作を必要とします。

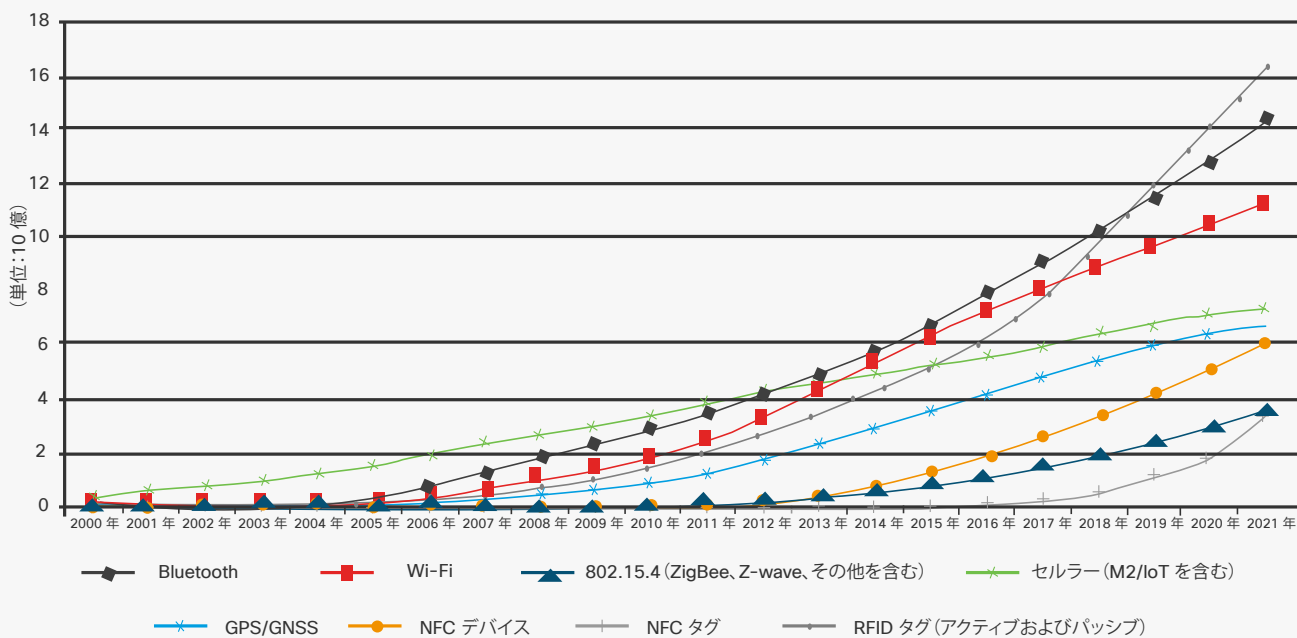
歴史的に見ると、各世代の携帯電話 (2G、3G、および 4 G) は、Wi-Fi の優れた速度と経済性のために、企業を含む Wi-Fi ネットワークにより多くのトラフィックをオフロードしてきました。将来 (2020 年以降) は、最新の携帯電話技術 (5G) でさえ、802.11ax で最適に機能するキャリア グレードの音声およびビデオ サービスと、そのセルラー方式のスケジューリング機能をサポートするために、膨大な容量の Wi-Fi を必要とすることは明らかです (図 1)。

図 1. モバイル オフロードトラフィックの傾向 (Cisco Virtual Networking Index [VNI])



重要な傾向である Internet of Things (IoT) は、企業に対する重大な挑戦を提示します。それは、運用およびエンジニアリング上の必要を満たしながら、数百または数千もの電子機器を企業の IT ネットワークに安全かつ容易に接続する仕組みという挑戦です。ラップトップなどユーザ デバイスとは対照的に、IoT デバイスは確定的な無線サービス (たとえば、5 ミリ秒ごとにポーリングしないと、シャットダウンする) かまたは省電力のサービス (つまり、本当に必要にならなければ通知しない) のいずれかを必要とします。今まで、こうしたニーズは独自のニッチ技術またはサービス プロバイダー固有の技術によって満たされてきましたが、企業 Wi-Fi が、そのかなりの規模の経済と IT による管理の容易さゆえに、屋内 IoT プラットフォームとして選ばれることが増えてきました。こうした IoT の運用上のニーズに対処するために、802.11ax とその IoT 機能 (省電力や確定性など) がこの導入を加速させると見られています (図 2 を参照)。

図 2. IoT の傾向 (Cisco VNI)



また、将来は、拡張現実 (AR)、仮想現実 (VR)、または複合現実 (MR) 技術を介して、ユーザが同僚、パートナー、および顧客に仮想的に接続されている企業を思い描くことができます。この形式のコラボレーションの利点は、研究者、エンジニア、および IT 部門が遠隔医療、遠隔フィールド サポート、小売ビジュアライザ、仮想訓練、コラボレーションなどのエンタープライズ ソリューションを開発するときに、毎日のように発見されています。明らかに言えることは、これらのアプリケーションには高スループット (たとえば、1 Gbps 以上) と低遅延 (たとえば、10 ミリ秒以下) が必要であり、その点で 802.11ax は高度な Multiple Input, Multiple Output (MIMO) (8 x 8) とスケジューリング機能を備えているため、優位であるということです (図 3)。

図 3. すべての現実: 拡張、複合、および仮想



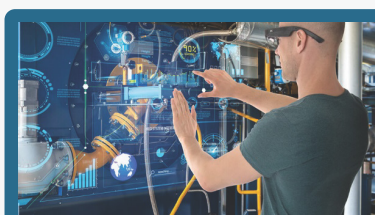
拡張現実

画像、サウンド、ビデオ、グラフィックスが加わった拡張現実の世界。(例: AR 観光、遠隔の専門家、小売ビジュアライザなど)



複合現実

複合現実 + 仮想現実を共存させ、リアルタイムで対話します。(例: エンターテインメント アプリ)



仮想現実

ユーザが対話する没入型のシミュレーション環境。(例: 没入型のゲーム、仮想訓練、またはコラボレーション)

- ▶ これらの現実は、ネットワークの品質とパフォーマンスに新たな需要をもたらします。
- ▶ 帯域幅と遅延の要件を満たすことは、高い QoE を実現するのに重要です。
- ▶ AR トラフィックが 2016 ~ 2021 年の間に 7 倍になる: 3 ~ 20 ペタバイト/月。
- ▶ VR トラフィックが 2016 ~ 2021 年の間に 11 倍になる: 13 ~ 140 ペタバイト/月。

3 802.11ax とは?

第一に、802.11ax は 802.11ac の進化形です。802.11ac の詳細については、<https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white-paper-c11-713103.pdf> を参照してください。ダウンロード (DL) のマルチ ユーザ (MU) MIMO、256 QAM、および 802.11ac によって導入された 160-MHz 幅チャンネルにすでに精通しており、再度学習する必要がない場合は、先に進んでください。

3.1 802.11ax が生まれた背景

IEEE 802.11ax は 802.11ac を進化させた改良版です。High-Efficiency Wireless (HE) としても知られる 802.11ax の目標の 1 つは、既存の Wi-Fi ネットワークで高効率を提供することです。

- 一般的な Wi-Fi 環境で、高データ レートをより一貫して提供します
- Quality of Experience (QoE) を向上させる重要業績評価指標 (KPI) に焦点を当てます

従来のエンタープライズ領域には、以下のような課題があります。

- 多くのユーザがそれぞれ 3 ~ 4 台の 802.11 クライアントを使用し、すべてがネットワーク リソースを同時に消費する超高密度 (UHD) 環境
- 4K ビデオや拡張/仮想現実 (AR/VR) といった、リアルタイム アプリケーションの採用の増加が、すでに窮迫している環境に新たな要求を課している

隣接する IoT スペースでは、従来の特化された運用ネットワークを IT ネットワークに統合することで、以下のものをサポートする必要が高まっています。

- ・ 低複雑度で省電力のデバイス。HVAC、アセット タグ、および医療機関のセンサーなど
- ・ 高信頼性低遅延通信 (URLLC)。厳密な KPI コントロールが求められる医療 (画像処理/制御) や製造 (倉庫物流、ロボット工学) など

3.2 802.11ax の速度向上の理由

ピーク ワイヤレス速度は、チャンネル帯域幅、集中密度、空間ストリーム数、およびシンボルごとのオーバーヘッドという 4 つの要因によって決まります。IEEE 802.11ax は、1024 QAM を追加することによって集中密度を引き上げますが、柔軟な PHY タイミングパラメータを使用することでシンボルごとのオーバーヘッドが大幅に改善します。

まず、256 QAM から 1024 QAM にすると、ピーク レートが $10/8 = 1.25$ 倍に増大します。お互いに接近していることから、集中ポイントはノイズの影響を受けやすいため、1024 QAM は距離範囲が短いときに最も効果があります。256 QAM は信頼性が高いですが、1024 QAM はこれ以上のスペクトラムも、256 QAM より多くのアンテナも必要としません。それは既存の物理システムを使用して容易に実装できます。

第 2 に、3.2 マイクロ秒 (μs) の固定シンボル期間 (T_s) と 400 または 800 ナノ秒 (ns) の 2 つだけのガード インターバル (GI) を、それより長い T_s ($12.8 \mu\text{s}$) と 3 つのガード インターバル オプション (0.8、1.6、または $3.2 \mu\text{s}$) にすると、高速性および必要に応じて高信頼性の両方を確保できます。数学的に言うと、 T_s と $(GI + T_s)$ の比率はピーク時間領域の効率を決定します。つまり、11ac の場合は最大 $3.2 \mu\text{s} / (3.2 \mu\text{s} + 400 \text{ ns}) = 88.9$ パーセントであったのに対し、802.11ax を使用すると、ピーク時のスループット増加が 5.9 パーセントの場合に、最大 $12.8 / (12.8 + 0.8) = 94$ パーセントの効率を達成できます。なおかつ、マルチパスの堅牢性は大きく向上します。さらに、802.11ax トーン プランは 80 MHz で $13.6 \mu\text{s}$ ($T_s +$ 最小 GI) あたり 980 データ トーン (OFDMA サブキャリア) である場合に密度が高くなるのに対し、802.11ac は、同じ 80 MHz で $3.6 \mu\text{s}$ あたり 234 データ トーン (OFDM サブキャリア) になります。このようにトーン密度が増加すると、同じスペクトルの 802.11ac に対してピーク時のスループット増加が 10% 追加されます ($(980/13.6)/(234/3.6) = 1.1$ であるため)。

そして速度は空間ストリーム数に直接比例します。空間ストリーム数が増加すると、トランスミッタとレシーバでアンテナ、RF コネクタ、RF チェーンの追加が必要となります。アンテナは $1/3$ 波長 (5.25 GHz で 1.9 cm (3/4 インチ)) 以上の間隔をあけて配置する必要があり、RF チェーンが増加すると消費電力量も増加します。特に、物理的に分離する必要があると、大多数のモバイル デバイスではアンテナの数を 1 つか 2 つに制限することになります。この傾向は、今後の 802.11ax 対応のモバイル デバイスでも変わらないと予測されます。ただし、アクセス ポイントについては、これらの物理的なリソース制約はそれほど厳格でないため、Wave 1 の 802.11ax アクセス ポイントは最大 8 つの空間ストリームをサポートすると予測されます。これは、現在の 802.11ac 製品で提供される最大数の 2 倍です。

まとめると、これらの 3 つの加速要因は表 1 のようになります。

表 1. 802.11ac および 802.11ax の速度計算

PHY	帯域幅(データ サブキャリア数)	サブキャリアあたりのデータ ビット	OFDM シンボル単位の時間 (800ns GI)	1 SS	3 SS	4 SS	8 SS
802.11ac	234 (80 MHz)	$5/6 \times \log_2(256) \approx 6.67$	4 マイクロ秒	390 Mbps	1.17 Gbps	1.56 Gbps	-
	234 (80 MHz) X	/	=	780 Mbps	-	3.12 Gbps	-
802.11ax	980 (80 MHz)	$5/6 \times \log_2(1024) \approx 8.33$	13.6 マイクロ秒	600 Mbps	1.8 Gbps	2.4 Gbps	4.8 Gbps
	2 x 980 (160 MHz)			1.2 Gbps	3.6 Gbps	4.8 Gbps	-

3.3 IEEE 802.11ax と決定論

1024 QAM を使用して単一の空間ストリーム内でギガビットのデータ レートが提供されると、通常は低密度のエンタープライズ環境で達成される理論上のピーク スループットを実現できます。ただし、クライアント密度 (および結果として得られるアクセス ポイント密度) が増加すると、同じ Basic Service Set (BSS) (アクセス ポイント) のクライアントか、または隣接あるいは重複する BSS (OBSS) のクライアントとアクセス ポイントのいずれかの使用によるチャンネルの競合または通信時間の使用量が増えるため、これらのスループットが実現する可能性は少なくなります。後者の低下はしばしば同一チャンネル干渉 (CCI) と呼ばれます。これは特に、RF 伝播が理想つまりラインオブサイト (LOS) に近い、会議室や公共ホットスポットなどのオープンスペースの施設では問題となります。

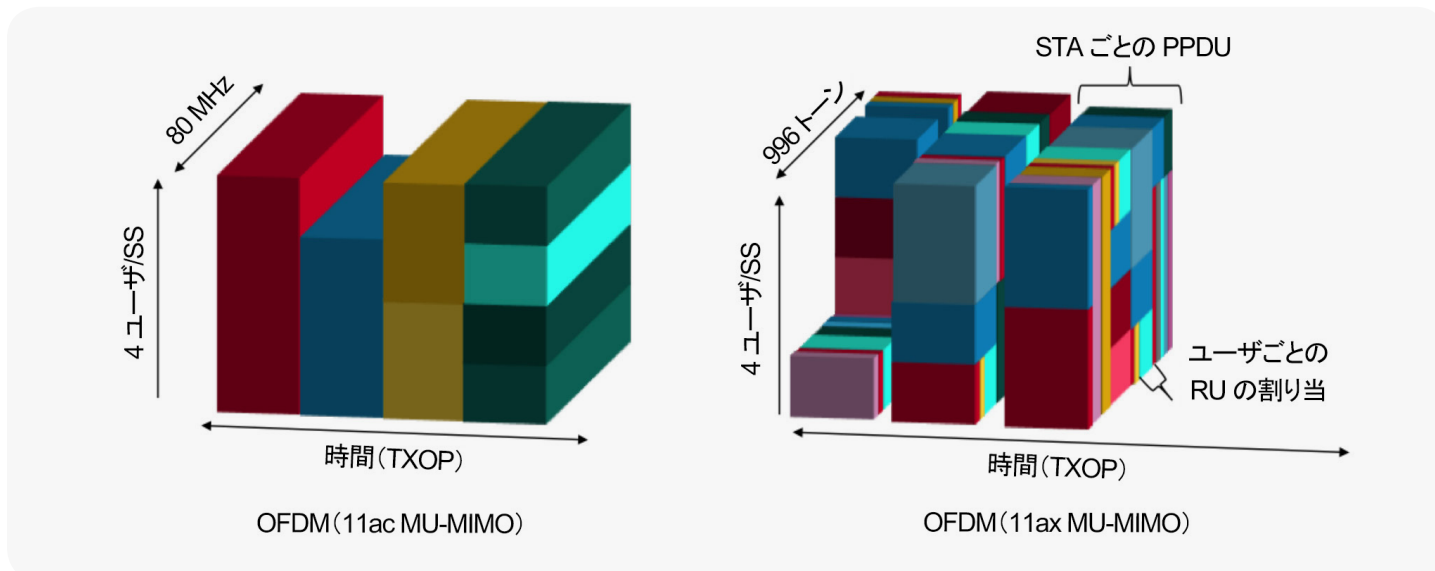
これらのよく知られた現象に対処するために、802.11ax は OFDMA を導入しています。OFDMA は、Wi-Fi の堅牢性を非ライセンス スペクトラムで保持しているため、セルラー/LTE 無線ネットワークと似ているようで異なる新しいチャンネル アクセス メカニズムです。最初に、OFDMA は、ダウンリンク (DL) とアップリンク (UL) の両方で、それぞれ単一の送信可能な時間 (TXOP) 内に複数のクライアントへの競合のない伝送を保証します。次に、マルチユーザの Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) を UL-OFDMA に追加することにより、アクセス ポイントはクライアントのチャンネル アクセスの相対的な優先順位 (11ax クライアントと 802.11ac クライアントの間でさえ) に影響を与えることが可能になります。どちらの方式も、効率が向上し、競合によるパケット損失やジッターが起こりにくくなるだけでなく、アクセス ポイントがアップリンクとダウンリンクの両方の伝送を正確に制御できるため、より適切な決定を下すことができます。

3.3.1 リソース割り当ての 3 つの要因

802.11ac では、複数のユーザはスペースと時間で分離されます。時間領域では、EDCA を使用して分散する方法と同様に、送信可能な時間がクライアントとアクセス ポイントに割り当てられます。空間領域では、送信アンテナの数 (通常、最大 4 つ) によって制限される分離および同時並行通信機能に対して、ダウンリンクまたはマルチユーザの Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) 方式が使用されます。どちらの方式も、Multiuser Physical layer Protocol Data Unit (MU-PPDU) ベースで適用されます。

802.11ax では、802.11ac と同じスペースと時間の分離を継承しますが、3 番目のマルチユーザの要因である周波数分割が追加されました。802.11ac では、干渉を軽減するために、Wi-Fi チャンネル (20、40、80、または 160 MHz) は小さい OFDM サブチャンネルの集合に分割されました。任意の時点で、単一のユーザが各 PPDU 内のすべてのサブキャリアに割り当てられます。しかし、OFDMA (802.11ax) では、サブキャリアの個々のグループが PPDU ベースでクライアントにリソース ユニットとして個別に割り当てられます (図 4)。

図 4. OFDM と OFDMA の比較



この 3 番目の要因 (OFDMA) には、前述したように、決定論や衝突および競合の減少による効率の向上など、多くの利点があります。しかも、QoS を提供する方法を根本的に変革しました。以前は、802.11ac の場合、アクセス ポイントがあるクライアントに一定のスループットを提供し、別のクライアントにもっと多くのスループットを提供しようとする場合、最善の方法は、(たとえば、キューイングやシェーピングの技法を使用するなどして) 時間領域でダウンリンク PPDU の正確な数をスケジューリングし、クライアントが十分な数の TXOP を UL-PPDU に割り当てられるように「期待」することでした。この非効率性と予測不可能性により、スループットや他の KPI (遅延やジッターなど) を保証することが困難になります。

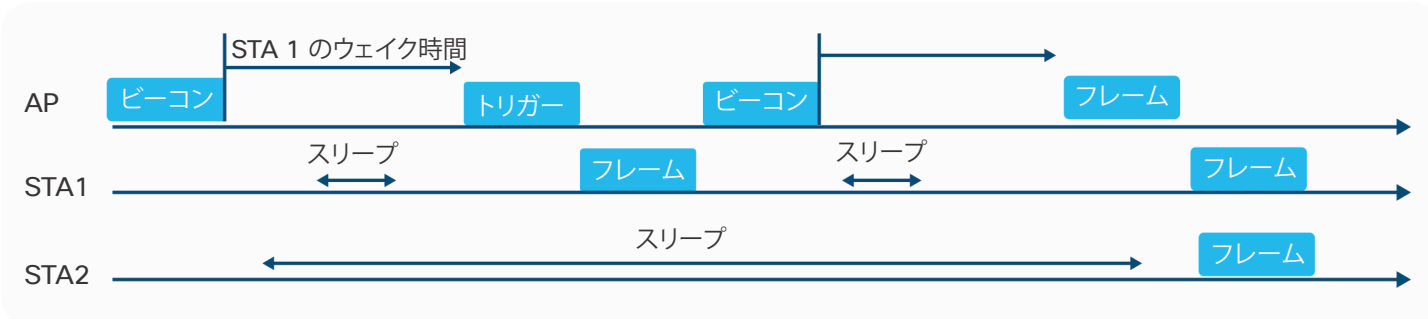
OFDMA の場合、時間と周波数の両方のよりきめ細かいダウンリンク リソース ユニットの保有し、さらに初めてアップリンクでリソース ユニットの明示的に割り当てることができるようになりました。この双方向リソース ユニットの割り当て機能は、LTE リソース ブロック (RB) と似ており、仮想リソースまたは 5G の用語で「スライス」の形成を可能にします。想像できるように、この 802.11ax スライスは、帯域幅、遅延、ジッターなどのさまざまな属性を持つことができ、以前に 802.11ac で可能だったよりもきめ細かい QoS を実現できます。

3.3.2 柔軟な省電力デバイスのスケジューリング

802.11 の前の世代は、携帯電話などの省電力デバイスには無線省電力制御 (U-APSD) または Wi-Fi Multi Media Power-Save (WMM-PS) が組み込まれていました。このモードのクライアントは、アクセス ポイントに、すぐにデータを送信させるのではなく、クライアントへの伝送をバッファリングさせることができます。代わりに、アクセス ポイントは、Traffic Indication Message (TIM) を使ってデータの使用について周期的なビーコンで送ります。これにより、クライアントは無線レシーバをオフ (節電) にしておき、ビーコンを受信する目的でのみ定期的に (一般に、102.4 ミリ秒の倍数ごと) 起動することができます。しかし、このようにビーコンを厳守するため、定期的なチャンネル アクセスを必要としないが、常に電話を受ける準備をしておく必要がある、携帯電話のような IoT デバイスの省電力機能が制限されます。

802.11ax や、802.11ax の新しい OFDMA スケジューリング機能を使用して、Target-Wakeup Time (TWT) と呼ばれる新しい省電力モードを考案できます。TWT を設定すると、アクセス ポイント ビーコンとデバイスのスリープ時間との密接な関係がなくなります。一般的に、ステーションは、将来の任意の時点で起動するようにスケジュールを要求できます。その結果、電池式デバイス、特に IoT 領域のデバイスの大幅な省電力化が可能になります (図 5)。

図 5. Target Wakeup Time (TWT) の運用



TWT に関連する重大なメリットは、UL-OFDMA と同等のアップリンク スケジューリング方式としても使用できるということです。つまり TWT は、(要求に基づいた) 規定のウェイクアップ時間で効率的にクライアントをスリープ状態にするため、伝送時間が確定的になり、アップリンクのスケジューリングが可能になります。アクセス ポイントは、この機能を使用して、競合 (より分散したチャンネルの使用) を減らし、アプリケーションの遅延感度に対応できます。

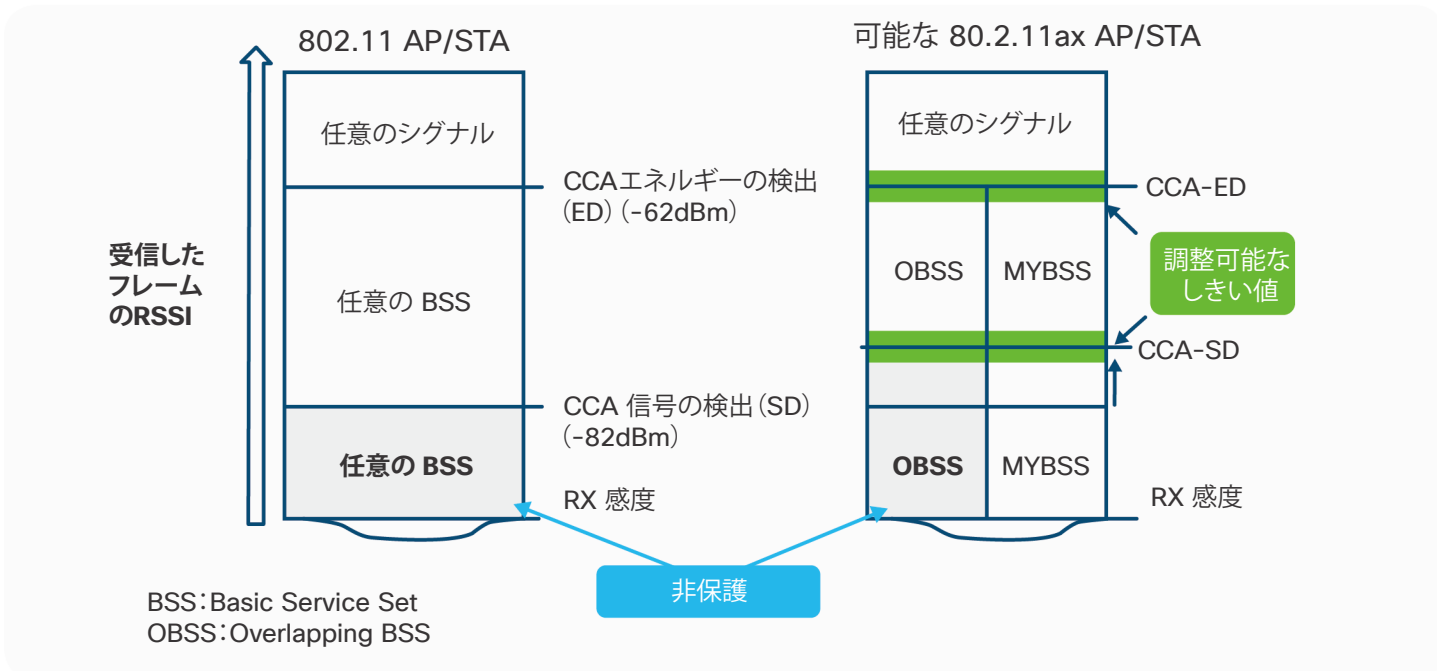
3.3.3 容量の向上とスケジューリングの不確実性の削減

よく知られていることですが、CCI 管理は合計システム容量を著しく削減するため、非ライセンス スペクトラムで非常に重要です。しかし、近隣のアクセス ポイント (たとえば、他のネットワークのアクセス ポイント) は一般的に連動していないため、アクセス ポイントのスケジューリング機能を妨げます。IEEE 802.11ax では、自分自身のセル (BSS) の伝送を別のセル、BSS、または OBSS の伝送とは区別する原則に基づいて CCI を管理する優れたメカニズムを備えています。

特に、802.11ax は、動的な OBSS Packet Detection (OBSS-PD) をサポートします。これにより、ある BSS のクライアント / アクセス ポイントは、通常少し離れた場所にある別の BSS からのフレームを無視することができます。これを設定するには、自分自身の BSS のメンバーと送受信を行うために、適切なクリア チャンネル アセスメント (CCA) しきい値と最小送信電力 (TXP) レベルを動的に選択します。

このスキームが図 6 に示されています。

図 6. OBSS & BSS カラーの運用



メリットとして、システム容量の増加が挙げられます。しかし、より重要な点は、サービスを提供するアクセス ポイントまたはクライアントはフレンドリーな (または不正な) ネイバーによって遅延が生じた TXOP の影響を受ける可能性がほとんどないため、遅延変動が大幅に減少するという点です。

3.4 IEEE が 802.11ax を堅牢化した方法

802.11 の課題の 1 つは、クライアントのカバレッジのニーズとシステムの全体的なパフォーマンスのニーズのバランスを取ることです。802.11ac では、一度に 1 つのデバイスしか通信できないため、スペクトラムの使用を最大限にするために、クライアントの最小データ レートを高く保つ必要がありました。そうすると、全体的なパフォーマンスのカバレッジが犠牲になります。しかし、OFDMA では、それは当てはまりません。なぜなら、複数のユーザが同時に媒体にアクセスし、それぞれの影響はチャンネルの小さい部分に制限されるからです。この事実を踏まえて、802.11ax の設計者は次のようにしてカバレッジを拡張することができました。

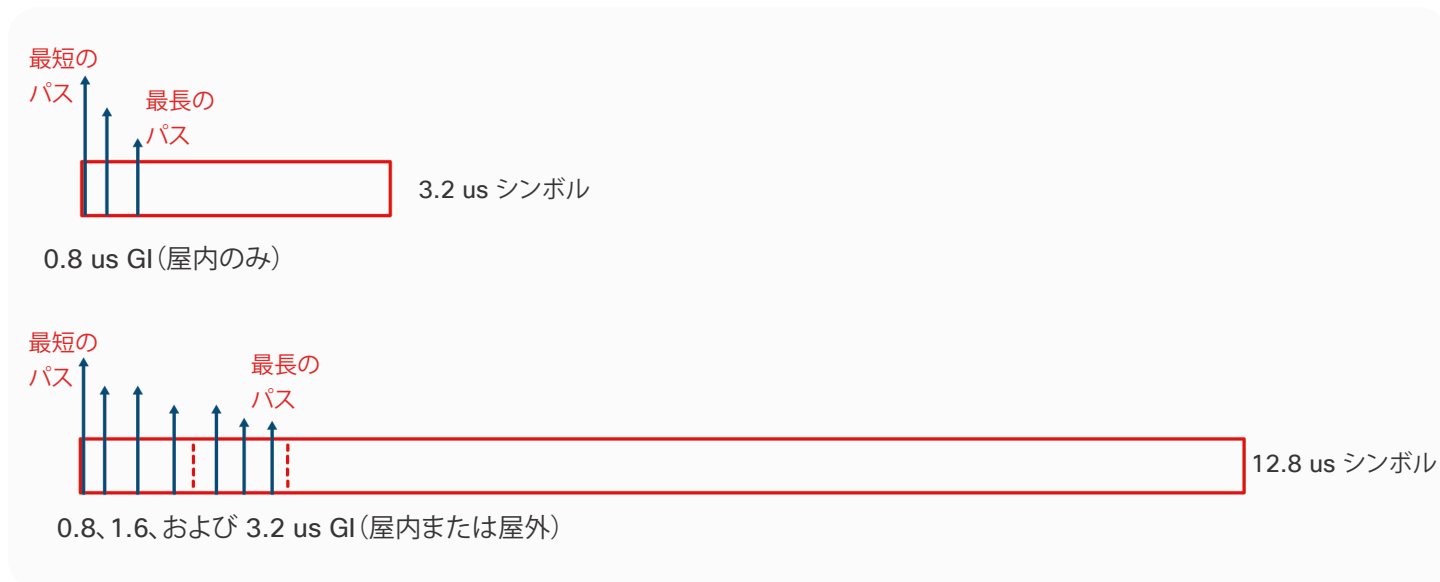
- ・低速度と省電力モードを導入する
- ・柔軟な PHY タイミングを使用する

データ レートが非常に低速だと、遠距離またはノイズの多い環境での信号復号化の問題に対処できます。リソース ユニットが小さい (つまり、OFDMA サブキャリアの数が減る) ため、必要な総エネルギーは減少する一方、同じ信号対雑音比 (SNR) を達成するからです。802.11ac で最小のチャンネルは 20 MHz でしたが、802.11ax で最小のリソース ユニットは 2 MHz です。その結果、ノイズ電力が 8 dB も大幅に減少し、それに応じて必要な信号電力を 8 dB も抑えることができます。この状況では、802.11ax は 8 dB 以上のノイズを許容し、低ビット レートのクライアント (IoT テレメトリ データなど) のカバレッジ エリアを拡張することが可能です。

ガード インターバル (GI) を含む柔軟な PHY タイミングは、マルチパス フェーディング (たとえば、屋外) の問題に対処します。マルチパス フェーディングによって、ある OFDM シンボルから「エコー」するエネルギーが次の OFDM シンボルに対して符号間干渉 (ISI) の原因となるリークを引き起こします。このより堅牢なガード インターバルにより、セルラー/LTE 技術によって現在提供されている屋外環境などでスループットが最大 2 倍になります。これらの 2 つの機能を組み合わせることにより、Wi-Fi オペレータは、低速の IoT 領域の 4G LTE および 5G-NR に対抗して、魅力的でコスト効率の高い Wi-Fi ベースのソリューションを提供することができます。

図 7 に示すように、RF チャンネルが空間的にコンパクトである場合 (たとえば、屋内の小さなセルなど)、遅延スプレッド (DS) つまり最短のパスと最長のパスの差が小さくなるため (たとえば、300 フィート)、遅延スプレッドは低くなります (たとえば、300 ns)。一方、RF チャンネルが空間的に大きい場合 (たとえば、屋外の大型セル)、遅延スプレッドは高くなります。たとえば、1 つの信号コンポーネントが LOS であるが、次の信号コンポーネントがはるか遠くにある建物から跳ね返る場合、パスの差は約 1 km (3200 フィート) になり、遅延スプレッドは非常に高くなります (3.2 μ s)。802.11ax や LTE などすべて OFDMA システムでは、ISI や、あるバージョンの信号がそれ自身と時間の重複を起こすことによって生じる重大な復号化エラーを回避するために、OFDMA ガード インターバルは遅延スプレッドより長くなければなりません。このように、屋外 (たとえば、大都市) または部分的に屋外 (スタジアムやホットスポットなど) のチャンネルをサポートするために、802.11ax のガード インターバルは、チャンネルのタイプに応じて、802.11ac の元の 0.8 μ s 仕様から 1.6 μ s または 3.2 μ s まで拡張可能です。

図 7. PHY タイミング オプション

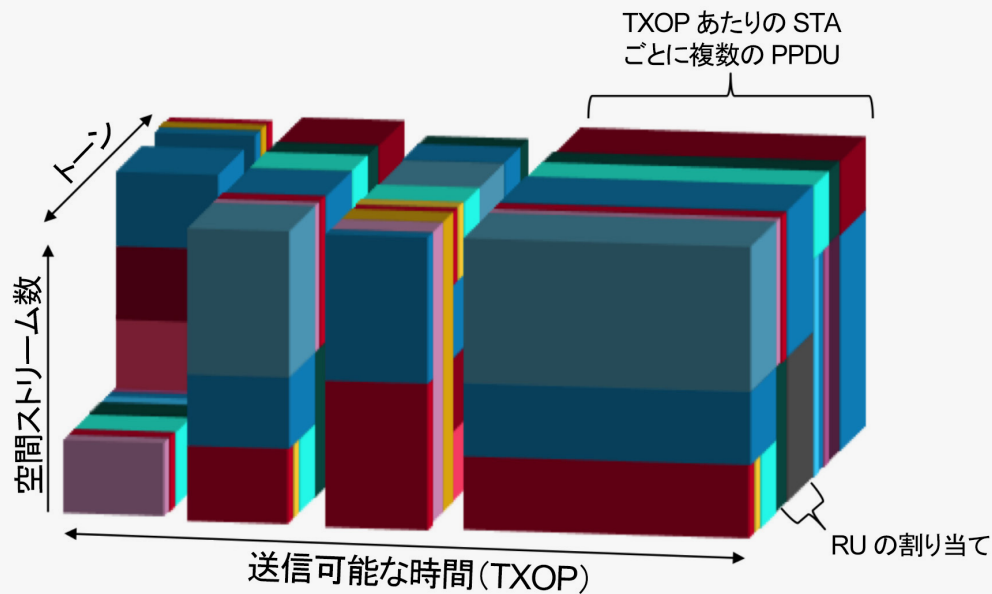


3.5 テクノロジーの概要

3.5.1 OFDMA とリソース ユニットの割り当て

リソース ユニットつまり連続する OFDMA サブキャリア (「トーン」) のセットを同じ PPDU 内の各クライアントまたはステーション (STA) に割り当てる機能は、802.11 ファミリの 802.11ax に固有のもので、最小リソース ユニットは 26 トーン (2 MHz) で、最大リソース ユニットは 2 x 996 トーン (160 MHz) であるため、集約 (平均) のパフォーマンスとピーク時のスループットのバランスを取るための幅広い柔軟性があります。同時に、802.11ax はマルチユーザ MIMO をサポートし、1 ~ 8 の空間ストリーム (SS) を各 STA に割り当てることができます (図 8 を参照)。

図 8. OFDMA リソースの要因



一般的なダウンリンク OFDMA の運用は以下のようになります。

1. アクセス ポイントは、この TXOP 内の STA の数と各リソース ユニットのサイズを決定して、PPDU のプリアンブル内のフィールドにそれを示します。
2. アクセス ポイントは、ダウンリンク データを割り当てられたリソース ユニット (MU-PPDU) 内の複数の STA に送信します。
3. アクセス ポイントは、すべての STA (MU-BAR) からブロック確認応答を要求します。
4. STA は、アクセス ポイント (M-BA) にブロック ACK を戻します。

一般的なアップリンク OFDMA の運用は以下のようになります。

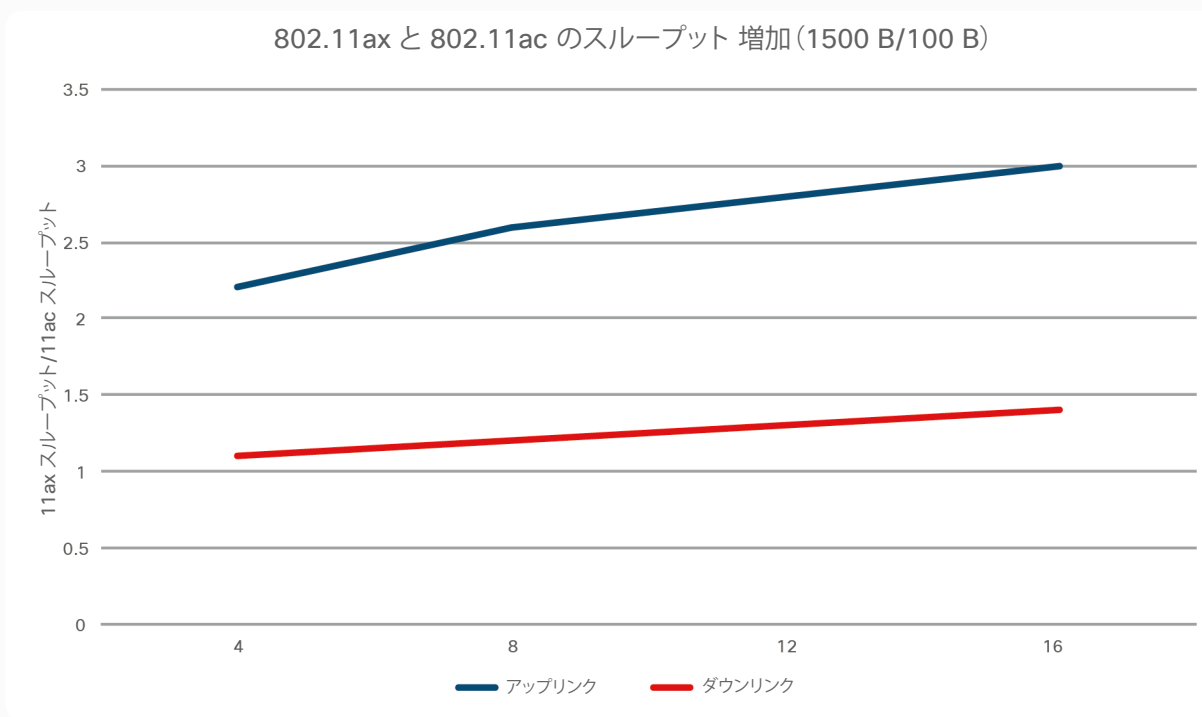
1. アクセス ポイントは、データを要求する必要がある STA と、それぞれの STA に割り当てるリソース ユニットの数を決定します。
2. アクセス ポイントは、トリガー (HE トリガー) を使用して STA からデータを要求またはポーリングします。
3. STA は、データ (アップリンク MU-PPDU) に応答します。
4. アクセス ポイントは、ACK (M-BA) に応答します。

802.11ac とは異なり、802.11ax アクセス ポイントは、PPDU ごとにダウンリンクおよびアップリンクのリソース ユニットの割り当てを制御しています。これは、(周波数および空間領域において) アクセス ポイントのスケジューリングの一形態と見なすことができます。802.11ax は、ライセンス スペクトラム LTE に似た時間ベースのスケジューリングを形式的には指定しませんが、セルラーと同様の結果を出すために使用される拡張キューイングまたは QoS 技法を推測することができます。その理由は、基本的なフレームワークはすでに整っており、純粋な 802.11ax ネットワークには優れたスペクトルおよび干渉管理機能が備わっているからです。

拡張/仮想現実や IoT などの、ミッション クリティカルで遅延の影響を受けやすいアプリケーションの場合、アクセス ポイントのスケジューリング機能は高効率のスループットと決定論の望ましい特性を実現するのに重要です。同様に、STA は優れたエクスペリエンスを実現するために、アクセス ポイントの指示をサポートする必要があります。このエリアはベンダーが差別化すると予測されるエリアで、特に、アクセス ポイントと STA の間の相互運用性が最高のパフォーマンスを実現するために重要な役割を果たす場所です。

スループットについては、図 9 に増加が示されています (802.11ac の場合)。ここでは、同時クライアント (STA) に関するダウンリンクとアップリンクの増加がわかります。たとえば、STA が 4 つだけの場合、802.11ax のダウンリンク スループット (大容量の 1500B パケットを使用) は、802.11ac と比べて 10 パーセントしか高くなりません。しかし、アップリンク スループットは 802.11ac の 2.2 倍 (つまり 120 パーセントの増加) になります。一般的に、各 TXOP またはチャンネル アクセスでサービスを提供するクライアントおよびアクセス ポイントが増加すると、アクセス ポイントが実現する 802.11ac での効率が向上します。特に、音声、ビデオ、または TCP ACK などの小さなパケットを使用する場合にこれが当てはまります。

図 9. STA に関するダウンリンクとアップリンクの増加



3.5.2 1024 QAM

802.11ax への 1024 QAM の導入は、1024 QAM を 3/4 および 5/6 符号化レートとペアリングして、2 つの新しい変調および符号化方式 (MCS) 10 と 11 を作成することによって実現しました。802.11ac 256 QAM での理論速度の向上は 10/8 つまり 25 パーセントです。これによって、802.11ax は、単一アンテナを使用してギガビット速度を実現する最初の商用ワイヤレス テクノロジーになりました。

セル全体のスループットに対する 1024 QAM の影響は、小規模で密度が高いセル (2,500 平方フィート未満) の方が、大規模のセル (5,000 平方フィート超) より大きいと予測されており、ピーク時の速度である 4.8 Gbps は、ワイヤレス ヘッドセット (HMD) を使用する没入型のエンタープライズ クラスの仮想現実などの新機能を使用可能にしています。これは非常に良好な成果です。

この高速の代償は、集中密度が 50 パーセント高くなり、結果として、SNR 要件が約 6 dB 高くなることです。しかし、802.11ac とは異なり、802.11ax は 8 つの Tx アンテナと 8 つの Rx アンテナをサポートするように設計されています。このことは、送信ビームフォーミングの改良と最大比合成 (MRC) の向上を促進して、その欠点を相殺します。Wi-Fi 導入の視点で見ると、設計者はこれらのピーク速度を必要なネットワーク容量の観点から検討する必要があります。

図 10 の Ekahau ヒートマップでわかるとおり、一般的な企業のオフィスでは、予測どおり、1024 QAM (MCS 10-11) のカバレッジ エリアは 256 QAM (MCS 8-9) のカバレッジ エリアより少なくなっています。しかし、アクセス ポイントの下の主要なエリアは十分にカバーされており、それらのユーザは (デバイスの機能に応じて) 依然としてマルチギガビット速度を達成している可能性があります。

図 10. Ekahau ヒートマップ



3.5.3 Spatial Reuse (SR) と OBSS の運用

802.11 CSMA ベースのネットワークを含むワイヤレス システムでは、同じ物理スペースで同じ RF チャネルを共有することが常に課題となっていました。802.11 は代替製品より堅牢かつ適切に実行しますが、クライアント (STA) とアクセス ポイントは、独自の Quality of Experience (QoE) を最大化するために依然として独立して動作します。たとえば、一部のクライアントは、接続するアクセス ポイントに近接している場合に、電力の使用量が非常に多く、不要な干渉を作り出している可能性があります。または、干渉を考慮して電力をあまりに使用せず、アクセス ポイントに到達できないことも考えられます。

重要なのは、STA がチャネルを決定する信号レベル (RSSI) は、「送信が自由」であることです。これまで、キャリア センス (CS) と呼ばれるものは、最小のパフォーマンス予測に基づいて控えめに設定されており、実際にはパフォーマンスを向上させるために個々のベンダーが補っていました。しかし、今後は、802.11ax がこの動作を標準化し、次の 4 つの概念を形式化することによって最適なパフォーマンスの向上を保証します。

1. Overlapping Basic Service Set (OBSS) は、STA が接続している BSS (つまり、アクセス ポイントとそのアクセスポイントに接続する STA) と、STA が接続していない隣接する BSS の間の重複または干渉です。
2. BSS カラーは、同じ RF チャネルの BSS (つまりアクセス ポイントとそのクライアント) を区別するための手段です。
3. OBSS Packet Detection (PD) は、他の BSS (OBSS) からの信号を検出する機能です。
4. クリア チャネル アセスメントしきい値制御は、接続するアクセス ポイントと現在の伝送に基づいて、その CCA の感度を変更するデバイスの機能です。

これらの概念を組み合わせると、企業やサービス プロバイダーによって導入されているネットワークなどの管理されたネットワークでの干渉を効果的に管理することができます。具体的には、この機能により、クライアントとアクセス ポイントは必要なパケット検出または「ビジー状態」の信号しきい値と送信電力 (TX) レベルに暗黙的に同意することができます。

BSS カラーの運用は次のとおりです。

- 各 BSS (アクセス ポイント) は、さまざまな「カラー」(信号プリアンブルまたは SIG で 6 ビット) を使用します。
- 各 STA は接続の際に独自の BSS を学習し、したがってそれ以外の BSS は OBSS になります。
- 同じ BSS カラーを持つ信号は、遅延に対して低い RSSI しきい値を使用するため、同じ BSS での衝突が減少します。
- 別の BSS カラーを持つ信号は、遅延に対して高い RSSI しきい値を使用するため、より多くの同時伝送が可能になります。

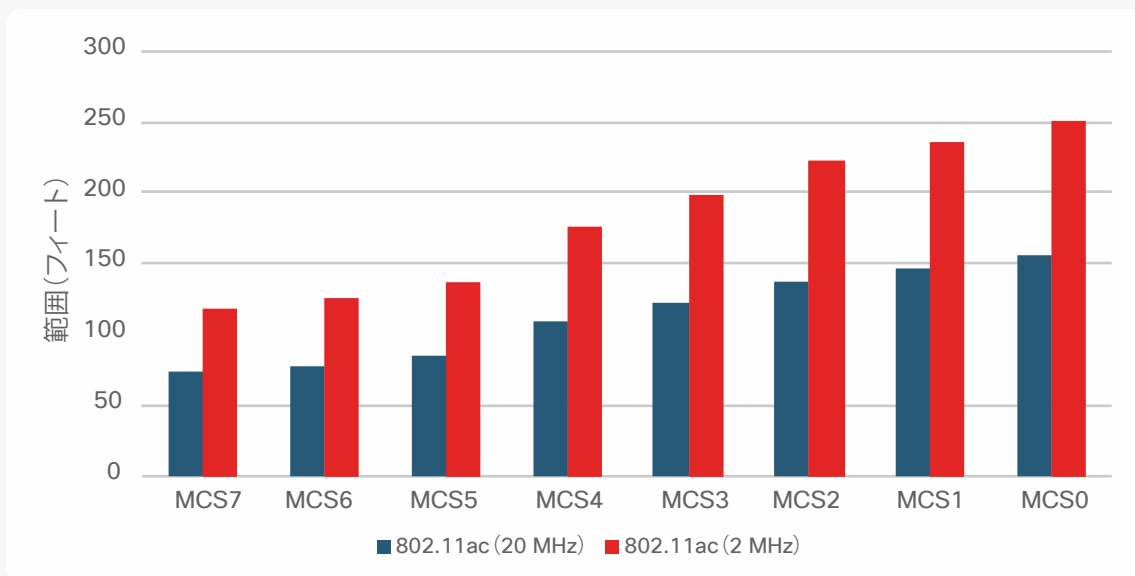
基本的に、このスキームでは、アクセス ポイントあたりの容量を増やす (つまり、自分の BSS 内の STA を優先させる) ことと引き換えに、普遍的な公平性 (つまり、すべての STA に TXOP を争う平等な機会がある) をある程度犠牲にします。管理された高密度 (HD) の企業ネットワークでは、この技法は効果的ですが、管理されていない環境では、この機能の影響は効率がよくないか、またはクライアントのパフォーマンスに支障をきたすことさえあります。全体的に見て、この機能は RF の厳格な設計者にとって最適なソリューションではありませんが、個々の STA の動作がセル全体の劣化につながるある条件においては条件の改善に役立ちます。

この時点で、企業またはサービス プロバイダーのソリューションがこの基本的な機能をどのように補完するのかを検討することが重要です。まず、IT が認識した RF 条件に STA が反応していることを理解する必要があります。それには、Wi-Fi または WLAN インフラストラクチャがネットワークをクライアントから見るとおりに正確に把握して、最高の QoE を提供することが重要です。実際に、WLAN がクライアントに関して収集できる履歴データや分析データが増えると、エコシステム内のクライアントの多様性が増加します。第二に、アクセス ポイントが切れ目のないサービスを提供するためにグループで連携し、アクセス ポイント自身の BSS と他の BSS の両方に最適な CCA しきい値を導出するために、無線リソース管理 (RRM) 機能が (たとえば、セル エッジで) STA に適切な条件を提供することが重要です。つまり、RF の割り当てを決定する際には、RRM は BSS_COLOR と OBSS_PD を認識する必要があります。いずれの場合も、BSS_COLOR と OBSS_PD は、エンタープライズ ネットワークとサービス プロバイダー ネットワークの両方の QoE と容量を大幅に向上させて、既存の HD の使用例を強化し、Wi-Fi オペレータ向けの新しいビジネス モデルを使用可能にすると予測されています。

3.5.4 距離と速度

802.11ax は、802.11a/g/n/ac と比べて、高速であることに加えて、より長い距離を提供します。特に、802.11ac についてリンク バudget を最大 8 dB まで増加させるために、最小リソース ユニットの割り当て (26 トーン、2 MHz) を使用して、有効データ レートを低くすることができます。図 11 にこの増加を示しています。

図 11. IEEE 802.11ax 2-MHz 距離の増加 (屋内の 5-GHz NLOS)



4 11ax が実現される時期

IEEE 802.11ax 対応製品は、IEEE と Wi-Fi Alliance の連携による取り組みの集大成です。IEEE 802.11ax は 2017 年 9 月に承認済みドラフト 2.0 版の修正を、そして 2018 年 5 月に改良されたドラフト 3.0 版がそれぞれ策定されており、2019 年末に最終承認される予定です。これと並行して、Wi-Fi Alliance は初期の IEEE ドラフト版、おそらくドラフト 2.0 版を 2019 年中期の Wave 1 製品の相互運用性認定のベースとして使用することが見込まれています。

5 11ax による影響

5.1 互換性

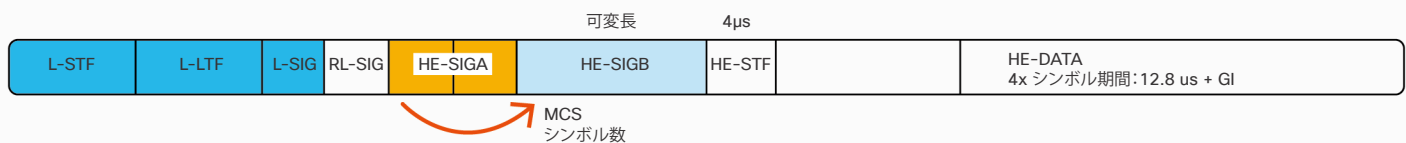
影響の心配が不要なのは互換性です。

IEEE 802.11ax は 802.11a/g/n/ac デバイスとの上位および下位互換性を最大限にすべく慎重に設計されています。実際、802.11ax の互換性の設計はよりシンプルで、802.11n の 802.11a デバイスとの互換性よりも徹底されています。

802.11ax デバイスは 802.11a/g/n および 802.11ac のあらゆる必須モードをサポートする必要があります。802.11ax のアクセス ポイントは、802.11a/g/n または 802.11ac フォーマットの PPDU を使用して、802.11a/g/n および 802.11ac クライアントと通信することができます。この目的のために、アクセス ポイントは 802.11ac アクセス ポイントのようになります。同様に、802.11ax クライアントは、802.11a/g/n または 802.11ac の PPDU を使用して、802.11a/g/n または IEEE 802.11ac アクセス ポイントと通信できます。このため、802.11ax クライアントの登場が既存のインフラストラクチャの問題を生じさせることはありません。

802.11ax フォーマットのパケットのプリアンブル(図 12 を参照)は、設定された 802.11a/g フォーマットのパケットの拡張です。この拡張により、802.11a/g/n および 802.11ac デバイスにすでに使用されている既存の CCA メカニズムを 802.11ax で引き続き使用することができます。これらのデバイスが 802.11ax プリアンブルを見つけると、PPDU の期間を理解して、その時間要求に対応することができます。一般的に、PPDU の後には 802.11a/g フォーマットの PPDU によって送信された Ack または Block Ack フレームが続くため、既存のデバイスとの互換性が保証され、通常どおりに競合および送信を続行する前に、設定された時間要件を履行できます。最悪のシナリオは、デバイスが 802.11ax PPDU を検出するものの、Ack または Block Ack を送信するステーションの範囲外にある場合です(隠れノード)。しかしここでは、監視ステーションは拡張フレーム時間(EIFS と呼ばれる)の間待機し、予期された Ack または Block Ack が送信される時間を与えて、衝突の心配を減らす必要があります。

図 12.802.11ax 信号フォーマット



このプリアンブル レベルの互換性のため、802.11ax デバイスが長い PPDU を保護するために CTS-to-self または RTS/CTS を実装して送信することを選択するとしても、本来、802.11ax デバイスは 802.11ax 送信の前に CTS-to-self または RTS/CTS を先行させる必要はありません。とはいえ、802.11ax はマルチユーザ RTS/CTS の機能を追加しており、この機能によって、アクセス ポイントは単一の MU-RTS PPDU と同時に複数の STA のためのチャンネルを予約(NAV を設定)することができます。その後、その MU-RTS PPDU は複数の STA からの同時 CTS PPDU によって確認されます。このシナリオでは、802.11ac ネットワークにまだよく見られるシングルユーザ RTS/CTS の固有の非効率性を克服し、802.11ax 送信に保護を追加しています。

5.2 802.11ax にアップグレードする時期

幸運なことに、企業およびサービス プロバイダーの顧客には利用できる次の 2 つの優れたテクノロジーがあります。

- MU-MIMO、ビームフォーミング、そして 80 MHz 内で 290 ~ 1300 Mbps の速度を備えた IEEE 802.11ac
- クライアント (1024 QAM をサポート) 向けに最大 8 SS および 600 ~ 1800 Mbps の速度、および拡張アプリケーション向けに追加の予測可能性を備えた IEEE 802.11ax

IEEE 802.11ac は現時点で利用可能であり、現在のほとんどの顧客の使用事例に十分な機能を備えています。

IEEE 802.11ax はワイヤレス LAN の未来像ですが、Wi-Fi 認定の 802.11ax アクセス ポイントはあと数カ月で利用できるようになります。802.11ax をサポートするクライアント (スマートフォン、タブレット、ラップトップなど) も 2019 年から利用可能になる予定です。IEEE 802.11ax は次のものを備えています。

- 複数のユーザを同時に対象にできる 4K/8K ビデオ (10 代の若者を持つすべての親にとって真の救済策となることは確実)
- 超高密度 (UHD) クライアント
- AR/VR アプリケーションおよび大幅な省電力化のための決定論 (特に、IoT デバイス向け)

ほとんどの企業顧客は、建物の整備や空間の改装と同時に新しいアクセス ポイントを導入します。802.11ac Wave 2 には非常に大きな価値があるため、これらの顧客に対しては、802.11ac Wave 2 アクセス ポイントをすぐにインストールすることをお勧めします。また、LAN および WAN ネットワークのインフラストラクチャ (ポート速度) についても考慮してください。802.11ac は現在、ギガビット速度を上回る高速を実現でき、802.11ax は将来、確実にそれを実現できるからです。つまり、将来の投資計画は、今現在の評価と大きく関係しています。

ミッション クリティカルなアプリケーションは、決定論と予測可能性をますます必要としています。IoT の規模は、常に予想を上回っています。こうした理由から、802.11ax を検討することは当然と言えます。802.11ax の増大する価値は合理的な価格差を超えており、現在の実際の運用を犠牲にすることなく投資を保護します。

6 総括

IEEE 802.11ax は無線 LAN の注目すべき新たな一歩です。

この第 6 世代の Wi-Fi は、有効速度を高めるだけでなく、新たなビジネス モデルや使用事例を可能にします。それには以下が含まれます。

- サービス プロバイダー キャリアの完全なオフロード
- IT/IoT の統合
- エンタープライズ クラスの 4K/8K ビデオや拡張現実/仮想現実といったリアルタイム アプリケーション

最近の他のすべての Wi-Fi の進歩と同様に、802.11ax は下位互換性があり、既存の技術に基づいて構築され、その効率はそれを上回っています。このシナリオを使用すると、既存ネットワークは進歩を遂げながら移行を実現し、クライアントを 802.11ax に統合することができます。技術に対応するクライアント密度がまだ進化の途上であるとしても、802.11ax が利用可能になったらすぐに検討する価値があります。それまでの間、無線 LAN への長期的な投資を検討している企業とサービス プロバイダーの顧客は、802.11ac アクセス ポイントを考慮することを強くお勧めします。