

Wi-Fi 7テクノロジーに関するホワイトペーパー

Copyright©2023 New H3C Technologies Co.,Ltd. All rights reserved

本書のいかなる部分も、New H3C Technologies Co.,Ltd.の事前の書面による同意なしに、いかなる形式または手段によっても複製または伝達することはできません。

New H3C Technologies Co.,Ltd.の商標を除き、本書に記載されているすべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。このドキュメントの情報は、予告なく変更されることがあります。

内容

概要	3
技術的背景	3
メリット	3
実装	5
物理層の強化	5
320 MHz帯域幅	5
4096-QAM変調	6
MIMO 16×16	7
マルチリンクデバイス	9
OFDMA拡張	11
マルチRU	11
プリアンブルパングチャリング	12
マルチAPコーディネーション	13
CSR	13
JTX	14
C-OFDMA	14
CBF	15
参照	15

概要

技術的背景

最初の802.11規格では、2.4 GHzの周波数帯で最大2 Mbpsのデータレートが提供されています。802.11bでは、新しい符号化方式を使用してレートを11 Mbpsに引き上げました。802.11aでは、OFDM技術を導入し、64-QAM変調を使用して、5 GHzの周波数帯で無線レートを54 Mbpsに引き上げました。802.11gでは、802.11aで使用されていた技術を2.4 GHzの周波数帯に適用し、2.4 GHzの周波数帯のレートを54 Mbpsに引き上げました。802.11 axまでは、データレートは約1万倍に増加していました。

VR/AR、4K/8Kビデオ、メタバース、オンラインゲーム、クラウドコンピューティングなどの進化するアプリケーションには、より高いスループット、より低い遅延、より多くの同時セッション、より高いセキュリティ、より高い可用性、およびより高い省エネルギー要件があります。現在のWi-Fi標準では、これらの要件に対応できません。これらの新しい課題に対応するために、IEEE 802.11 be EHTワーキンググループが設立され、ネットワークスループット、干渉抑制、スペクトル効率、および遅延の最適化から現在の標準を最適化するWi-Fi 7標準を開発しました。IEEE 802.11 beとも呼ばれるWi-Fi 7は、2つのバージョンでリリースされます。リリース1ドラフト1.3は完了しており、2022年末までにリリースされる予定です。リリース2は2022年にリリースされ、2024年末までにリリースされる予定です。

標準	802.11n(Wi-Fi 4)	802.11 ac(Wi-Fi 5)	802.11 ax(Wi-Fi 6)	802.11 ax(Wi-Fi 6E)	802.11 be(Wi-Fi 7)
リリース	2009	2013	2020	2020	2024
周波数帯	2.4 GHz、5 GHz	5 GHz	2.4 GHz、5 GHz	2.4 GHz、5 GHz、6 GHz	2.4 GHz、5 GHz、6 GHz
最大理論レート	600 Mbps	6.9 Gbps	9.6 Gbps		46 Gbps
チャンネル帯域幅	20/40 MHz	20/40/80/160/80+80 MHz	20/40/80/160/80+80 MHz		20/40/80/160/240/320/80+80/160+80/160+160 MHz
多入出力	4 x 4	8 x 8	8 x 8		16 x 16
変調モード	64-QAM	256-QAM	1024-QAM		4096-QAM
データ伝送技術	MIMO-OFDM方式	DL MU-MIMO	UL/DL MU-MIMO、OFDMA		UL/DL MU-MIMO OFDMA、multi-RU、MLD

メリット

Wi-Fi 7には次のような利点があります。

- より高いスループット - Wi-Fi 7は、320 MHzの帯域幅、4096-QAM変調、および16x16 MU-

MIMOを使用します。理論的な最大レートは46.1 Gbpsに達する可能性があります。これは、Wi-Fi 7が8Kまたは16Kのリアルタイムビデオ伝送、超高リフレッシュレート、VR/AR体験などのより高いスループットのアプリケーションをサポートできることを意味します。

- 低遅延の保証 - Wi-Fi 7は、2.4 GHz、5 GHz、および6 GHzの帯域を使用します。さらに、マルチリンクオペレーション(MLO)テクノロジーを使用して、さまざまな帯域でリソースを柔軟にスケジューリングし、高遅延で低品質のチャンネルを自動的に回避します。マキシマム・レシーブ・ユニット(MRU)および共同伝送(JTX)テクノロジーにより、Wi-Fi 7はチャンネルリソースの使用率を大幅に向上させ、高帯域幅と低遅延を必要とするアプリケーションを実行できます。
- より強力な高密度機能 - Wi-Fi 6デバイスは2.4 GHzと5 GHzの帯域で動作し、Wi-Fi 7デバイスは2.4 GHz、5 GHz、6 GHzの帯域で動作して、より高いアクセス機能を提供します。より高次の変調方式、2倍のMIMO機能、およびより高い帯域幅により、Wi-Fi 7はより多くのステーション、より高いスループット、およびより高いデータレートを可能にします。プレアンブルパングチャリングおよびMRU技術は、周波数資源の使用を改善し、RF競合によって引き起こされるリソースの浪費を回避します。いくつかのチャンネルが占有されていても、パケット伝送は時間内に完了できます。マルチAP調整は、APの動作チャンネルと電力を動的に調整して、ユーザエクスペリエンスを向上させ、RF競合と干渉を低減し、高密度シナリオでのAPの同時サービス処理機能とパフォーマンスを大幅に向上させます。

表1 Wi-Fi 7、Wi-Fi 6、Wi-Fi 6Eの比較

パラメータ	Wi-Fi 6(802.11 ax)	Wi-Fi 6E(802.11 ax)	Wi-Fi 7(802.11 be)
周波数帯	2.4 GHz、5 GHz	2.4 GHz、5 GHz、および6 GHz	2.4 GHz、5 GHz、および6 GHz
最大帯域幅	160 MHz		320 MHz
変調モード	OFDMA、最大1024-QAM		OFDMA、最大4096-QAM
最大理論レート	9.6 Gbps		46.1 Gbps
多入出力	8x8 UL/DL MU-MIMO		16x16 UL/DL MU-MIMO

実装

物理層の強化

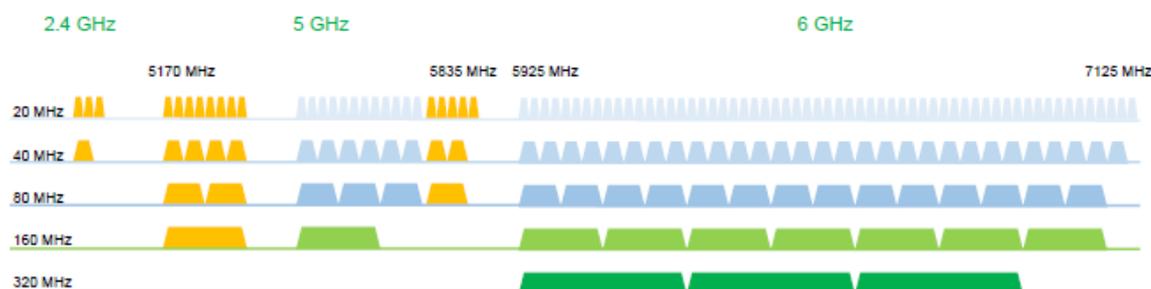
320 MHz帯域幅

2020年4月23日、FCCは6 GHz帯(5925~7125 MHz)をWi-Fi等の無許可利用に開放し、その後、欧州委員会は6 GHz帯より低い500 MHz帯をWi-Fi等のWLAN技術に開放した。

新しい6 GHz帯の総帯域幅は1200 MHzであり、59×20 MHz、29×40 MHz、14×80 MHz、7×160 MHz、3×320 MHzのチャンネル帯域幅を提供することができる。6 GHz帯の総帯域幅は、2.4 GHz帯と5 GHz帯の帯域幅の合計の2倍であり、Wi-Fiアプリケーションの使用可能帯域幅を3倍にし、Wi-Fi周波数資源不足の問題を大幅に緩和する。Wi-Fi 6の拡張として、Wi-Fi 6Eは6 GHz帯で動作することができ、大規模に適用されている。

次の図は、Wi-Fiアプリケーションのライセンスされた周波数帯域を示しています。

図1 Wi-Fiアプリケーション用のライセンスされた周波数帯域



Wi-Fi 7は、2.4 GHz、5 GHz、および6 GHzの周波数帯で動作し、最大320 MHzの帯域幅を提供します。柔軟なスペクトルアプリケーションのために、240 MHz、160+80 MHz、および160+160 MHzの帯域幅モードがサポートされています。

空間ストリームの数と符号化率が同じであれば、Wi-Fi 7はWi-Fi 6の2倍のピークスループットを達成することができます。

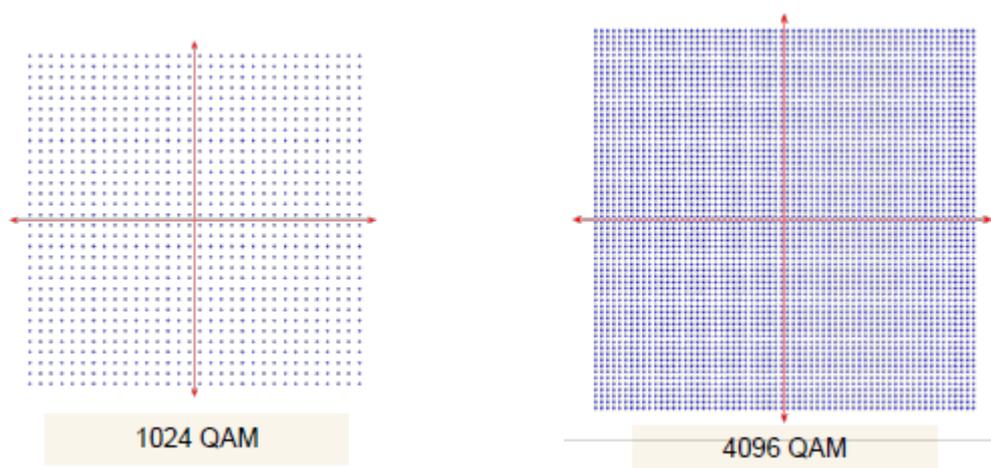
表2 802.11プロトコルの帯域幅

プロトコル	サポートされるチャンネル帯域幅
802.11	20 MHz
802.11a/b/g	20 MHz
802.11n	20 MHz、40 MHz
802.11ac wave1	20 MHz、40 MHz、および80 MHz
802.11ac wave2	20 MHz、40 MHz、80 MHz、80+80 MHz、160 MHz
802.11ax	20 MHz、40 MHz、80 MHz、80+80 MHz、160 MHz
802.11be	20 MHz、40 MHz、80 MHz、80+80 MHz、160 MHz、160+80 MHz、240 MHz、160+160 MHz、320 MHz

4096-QAM変調

Wi-Fi 6は、1つの変調シンボルが10ビットを伝送する高次変調方式1024-QAMを使用します。Wi-Fi 7は、1つの変調シンボルが12ビットを伝送できる高次変調方式4096-QAMを使用します。理論的には、同じ符号化率であれば、Wi-Fi 7はWi-Fi 6と比較して20%高い伝送速度を達成できます。

図2 1024-QAMおよび4096-QAMのコンステレーション図



Wi-Fi 7は、800 ns、1600 ns、および3200 nsのGIをサポートしています。次の図に示すように、800 nsのGIと320 MHzの帯域幅を使用すると、Wi-Fi 7は単一の空間ストリームで最大伝送速度を1.2 Gbpsから2.88 Gbpsに向上させることができます。

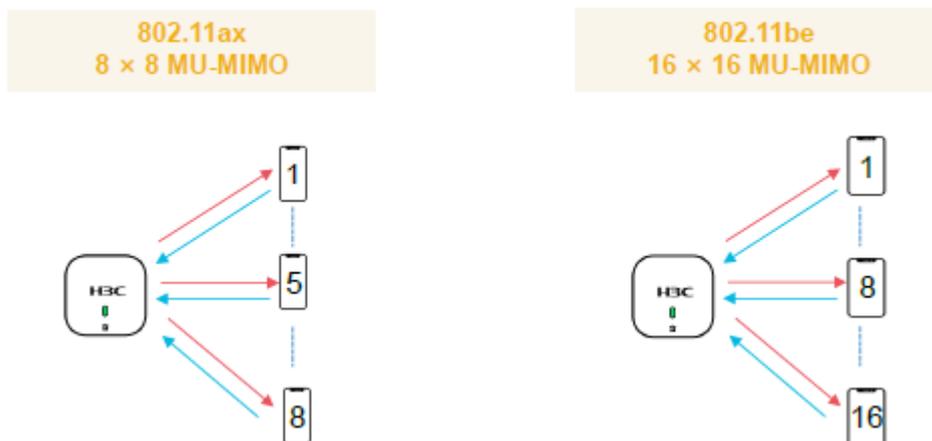
表3 透過率

MCS	変調モード	データレート	20 MHz (Mbps)	40 MHz (Mbps)	80 MHz (Mbps)	160 MHz (Mbps)	320 MHz (Mbps)
0	BPSK	2	8.6	17.2	36.0	72.1	144.1
1	QPSK	2	17.2	34.4	72.1	144.1	288.2
2		4	25.8	51.6	108.1	216.2	432.4
3	16-QAM 変調	2	34.4	68.8	144.1	288.2	576.5
4		4	51.6	103.2	216.2	432.4	864.7
5	64-QAM 変調	3	68.8	137.6	288.2	576.5	1152.9
6		4	77.4	154.9	324.3	648.5	1297.1
7		6	86.0	172.1	360.3	720.6	1441.2
8	256-QAM 変調	4	103.2	206.5	432.4	864.7	1729.4
9		6	114.7	229.4	480.4	960.7	1921.5
10	1024-QAM 変調	4	129.0	258.1	540.4	1080.9	2161.8
11		6	143.4	286.8	600.4	1201.0	2401.9
12	4096-QAM	3/4	154.9	309.7	648.5	1297.1	2594.1
13		5/6	172.1	344.1	720.6	1441.2	2882.4

MIMO 16×16

Wi-Fi 7は空間ストリームの最大数を16に増やし、理論的な伝送速度と関連するステーション数をWi-Fi 6の2倍にすることができる。

図3 MIMO 8×8およびMIMO 16×16



物理層では、Wi-Fi 7は320 MHzの帯域幅、4096-QAM、およびMIMO 16×16で最大30 Gbpsの伝送速度を提供できる。

理論上の最大伝送速度は、次の式に示すように、46.1 Gbpsに達します。

$$R_{11be} = \frac{N_{DBPS}}{12.8\mu s + GI} * N_{SS}$$

- R_{11be} —802.11be data rate.
- N_{DBPS} —Number of data bits per subcarrier. $N_{DBPS} = \text{Number of bits per symbol} \times \text{Bit rate} \times \text{Number of subcarriers}$.
- N_{SS} —Number of spatial streams.
- GI —Guard interval.

The theoretical transmission rate is 46.1 Gbps with MCS 13, MIMO 16 × 16, and 320 MHz bandwidth.

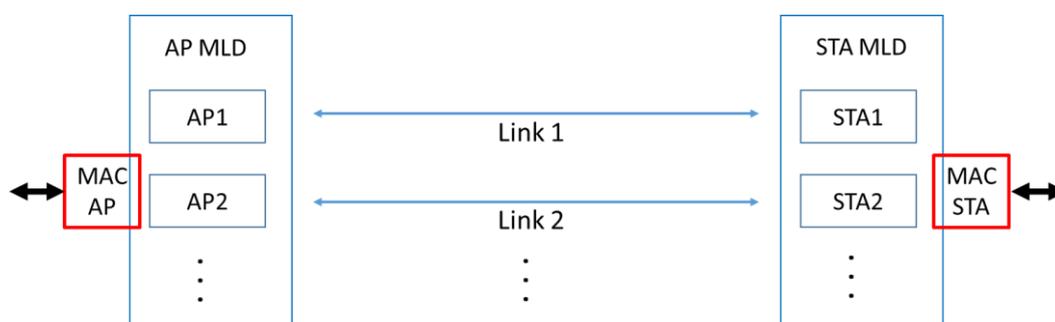
$$R_{11be,320M,MCS13,NSS=16} = \frac{N_{DBPS}}{12.8\mu s + GI} * N_{SS} = \frac{12 * \frac{5}{6} * (996 - 16) * 4}{12.8\mu s + 0.8\mu s} * 16 = 46.1 \text{ Gbps}$$

マルチリンクデバイス

Wi-Fi 7デバイスは、2.4 GHz、5 GHz、および6 GHzの周波数帯域で動作できます。実際のアプリケーションでは、異なるサブバンドでの送信は完全には同期されません。プライマリチャネルがビジーの場合、残りのサブチャネルがアイドル状態であっても、パケット送信は遅延されます。さらに、チャンネルの異なる部分が異なるプロパティと干渉レベルを持つ可能性があり、より多くのパケット損失と再送信を引き起こします。スペクトル周波数資源を統合するために、Wi-Fi 7は、マルチリンクアーキテクチャ、マルチリンクチャネルアクセス、およびマルチリンク動作を含むマルチリンク集約仕様をプロトコルで定義します。

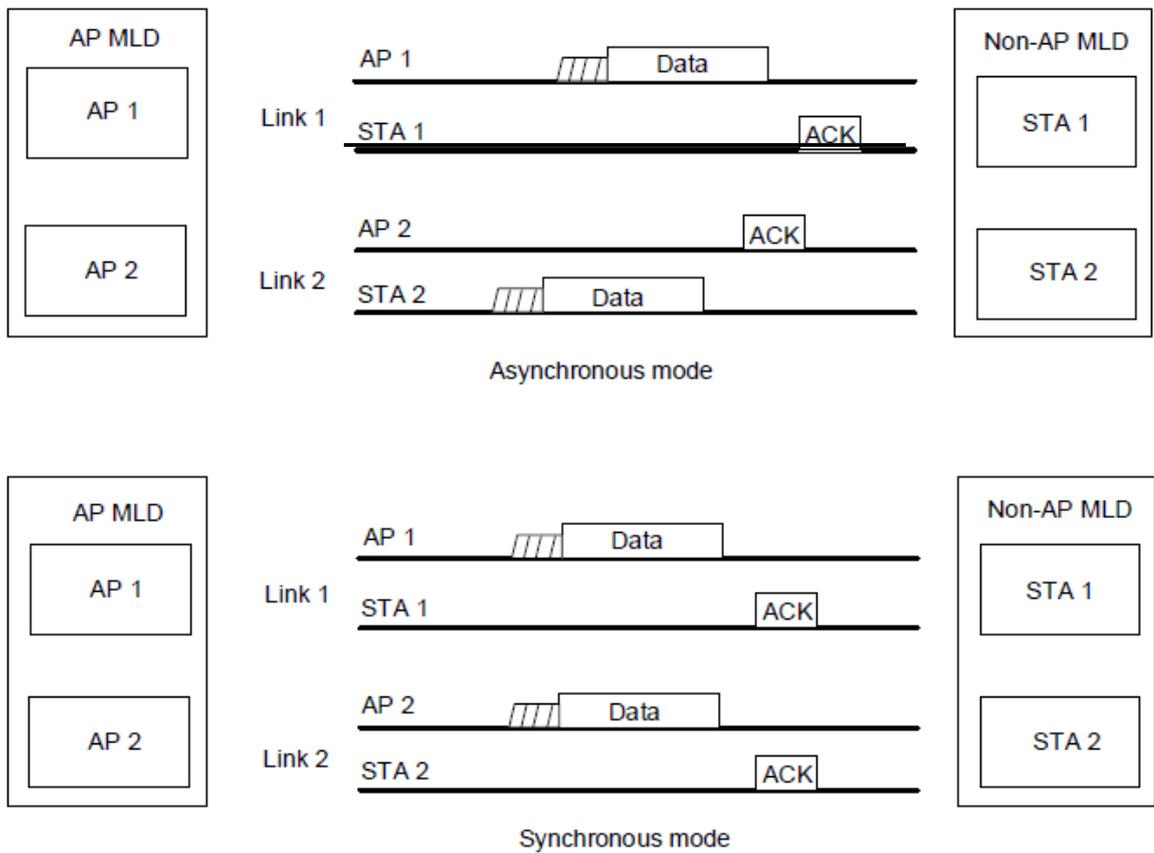
MLDでは、デバイスには無線メディアへのリンクが少なくとも2つありますが、LLCレイヤへのMACアドレスは1つです。MLDは、シナリオと無線メディアの状態に基づいて動的リンクスイッチングを実行できます。これにより、低遅延で高効率かつ高速なデータ伝送が可能になります。

図4 マルチリンクデバイス



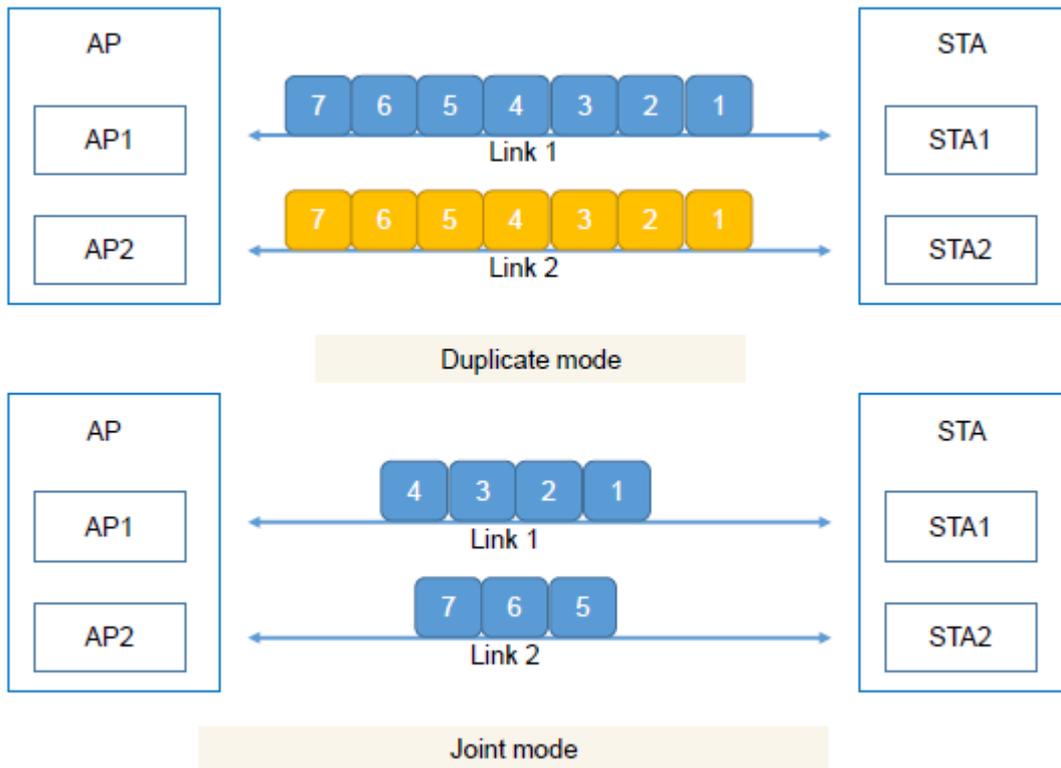
マルチリンク動作には、同期動作と非同期動作が含まれます。非同期マルチリンク動作では、複数のRFリンクがチャネル検出を実行し、データを個別にリッスンおよび送受信します。非同期マルチリンク動作は、リンク間のスペクトル距離が高く、デバイス間に干渉が存在しないシナリオに適用できます。MLD内のRFリンクが同じアンテナを共有している、アンテナが互いに近接して配置されている、またはスペクトル放射マスクが理想的ではない、あるリンクの電力が別のリンクにリークする。その結果、そのリンクで受信されたリーク信号はノイズフロアよりも高くなるか、受信信号であっても大きな干渉が発生するか、有用な信号を受信できなくなる。同期マルチリンク動作は、信号を同時に送受信することによって、この問題を回避する。

図5 同期および非同期マルチリンク操作(参照:802.11 be Draft 1.3、図35-14)



MLDでは、データは重複モードまたは結合モードで送信できます。重複モードでは、受信者はフレームを取得した後に配信されるフレームのすべてのコピーをドロップするため、伝送遅延を効率的に削減できます。結合モードでは、送信者は複数の利用可能なリンクを介してフレームを送信します。さらに、MLDは、あるリンクに関する電力管理情報を別のリンクを介して交換できるため、ステーションは必要な場合にのみ動作状態に入ることができ、エネルギー消費が大幅に削減されます。

図6 重複および結合伝送モード



OFDMA拡張

マルチRU

Wi-Fi 6以前のWi-Fiプロトコルでは、通常、チャンネルを複数のサブキャリアに分割する直交周波数分割多重(OFDM)変調モードが使用されていました。OFDMは、電磁干渉に対してより耐性があり、伝送速度を向上させることができます。ただし、一度にすべてのサブキャリアでデータを送信できるのは1人のユーザだけです。Wi-Fi 6では、成熟した4Gセルラー技術である直交周波数分割多元接続(OFDMA)が導入されました。これは、より低いサブキャリア帯域幅を提供し、RUの概念を追加します。1つのチャンネルで複数のユーザに同時にサービスを提供できます。

Wi-Fi 6では、各ステーションはフレームを送受信する特定のRUにのみ割り当てられるため、周波数資源スケジューリングの柔軟性が大幅に制限される。Wi-Fi 7では、1つのステーションに複数のRUを割り当てることができ、異なるサイズのRUを組み合わせることができる。複雑さとスペクトル効率の間のトレードオフのために、小型RU(20 MHz未満)は小型RUとのみ組み合わせることができ、大型RU(20 MHz以上)は大型RUとのみ組み合わせることができ、小型RUと大型RUの混合は許可されない。

図7 20 MHzマルチRUの例

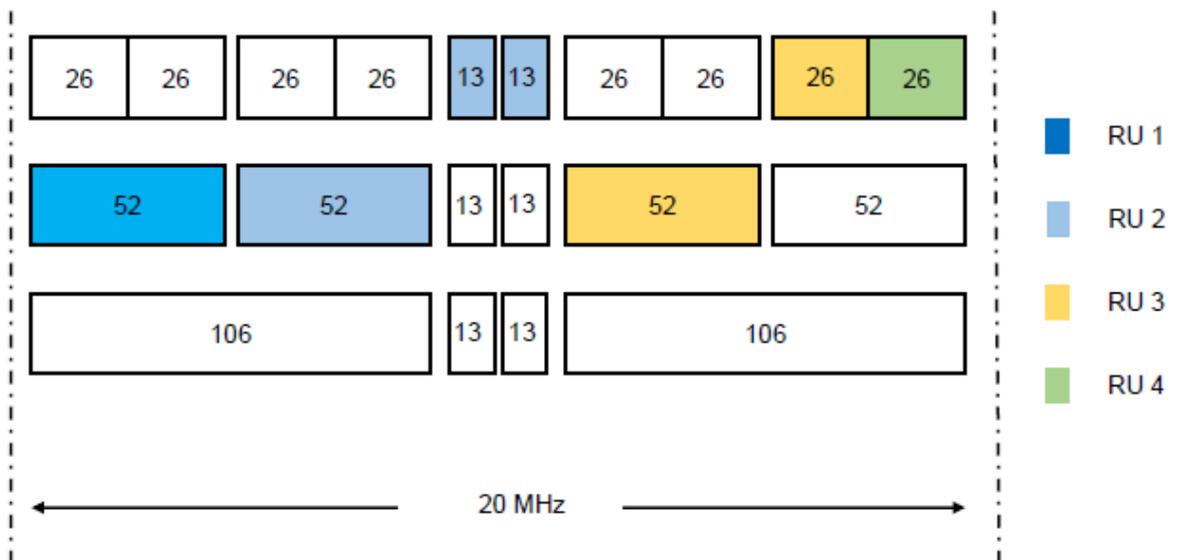
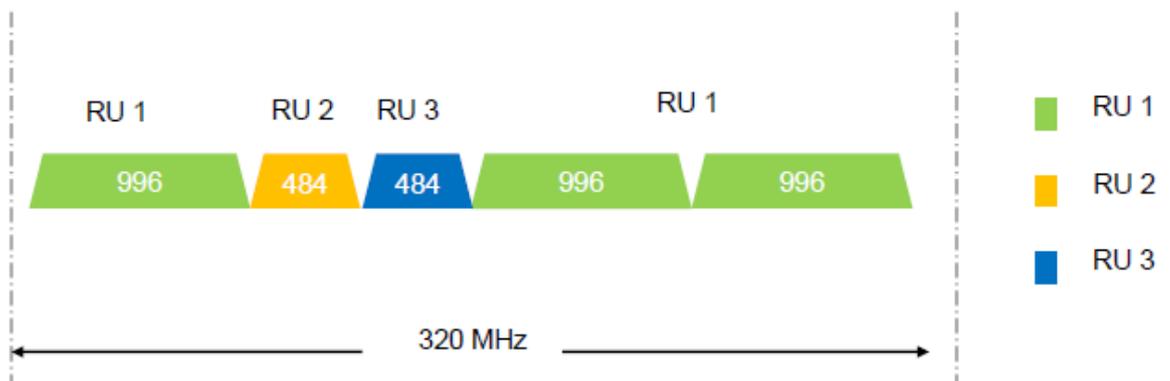


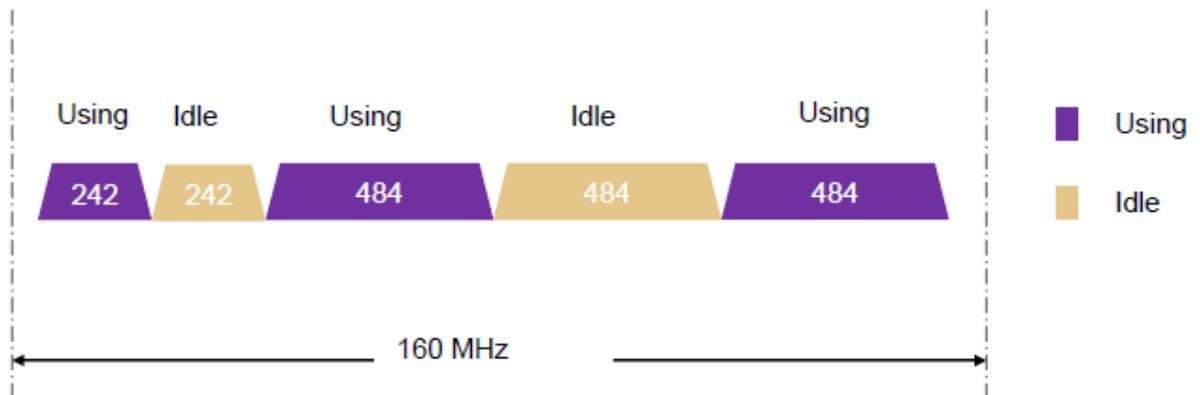
図8 高帯域幅マルチRUの例



プリアンブルパングチャリング

プリアンブルパングチャリングは、Wi-Fi 6で導入されたオプション機能です。スペクトルチャネルのパングチャリングされた部分を送信できるようにすることで、スペクトル効率を向上させます。Wi-Fi 7では、プリアンブルパングチャリングパターンを240/320 MHzまで拡張し、より柔軟なパングチャリングメカニズムを提供します。

図9 プリアンプルのパンクチャリング



マルチAPコーディネーション

Wi-Fi 6は、単一のAPとの間の伝送のみをサポートし、APとステーション間の空間共有は利用できない。Wi-Fi 7は、APのパフォーマンスと可用性の向上、およびマルチAP伝送に機能を拡張する。

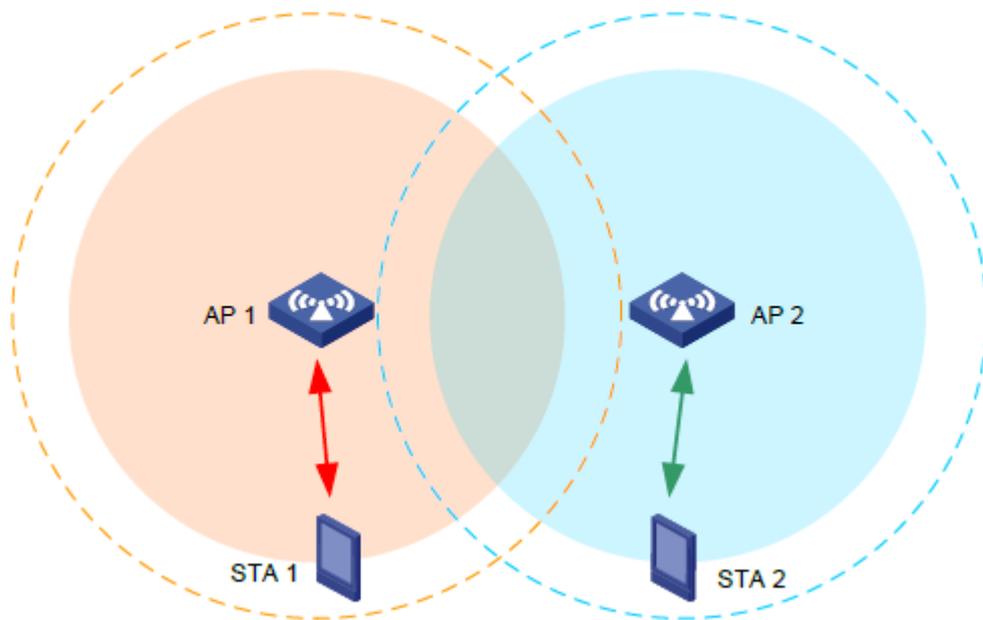
マルチAP伝送モードには、次のものがあります。

- Coordinated Spatial Reuse (CSR)
- Joint transmission (JTX)
- Coordinated Orthogonal Frequency Division Multiple Access (C-OFDMA)
- Coordinated beamforming (CBF)

CSR

Wi-Fi 5以前では、隣接チャネル干渉は、CCAしきい値を動的に調整し、同時送信のための同じ周波数の弱い干渉信号を無視することによって制御されていた。Wi-Fi 6では、各BSSが固有の色を使用できるBSSカラーリング機能が導入された。各ステーションは、別のネットワークからの送信を識別し、それに応じて適切なアクションを実行できる。Wi-Fi 7は、干渉を低減し、ネットワーク全体のスループットを最大化するために、調整された方法でAP間の送信電力を制御する。

図10 CSR



JTX

JTXは、複数のAPと複数のステーションを含む仮想MIMOシステムと見なすことができます。複数のAPが1つのステーションにサービスを提供することで、ステーションと最適なAPとの高速なアソシエーションが可能になり、ユーザが移動したときの再接続速度が向上します。

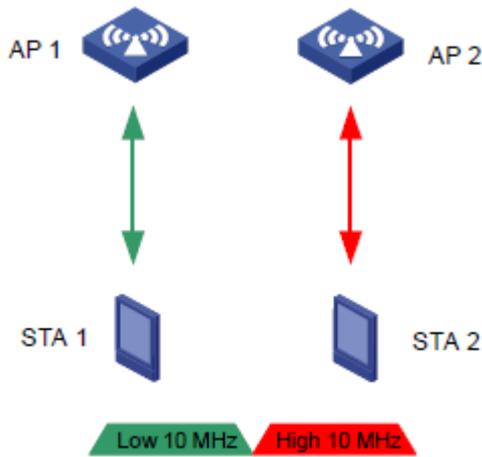
図11 JTX



C-OFDMA

OFDMAは、全帯域幅をRUと呼ばれる一連のOFDMサブキャリアセットに分割し、異なるRUを異なるユーザに割り当てる。しかし、干渉が存在する場合には、依然として競合が発生する。Wi-Fi 7は、OFDMAを単一のAPから複数のAPに拡張し、複数のAPと複数のステーションがRUを共有できるようにする。C-OFDMAでは、APIは、すべてのステーションのOFDMAリソースを共有するように調整し、RU競合を回避し、スペクトル利用を改善する。

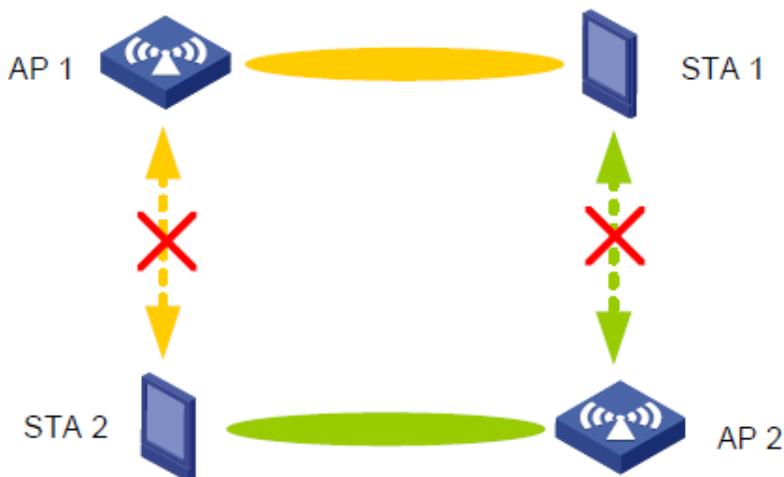
図12 C-OFDMA



CBF

Wi-Fi 7よりも前のWi-Fi標準を使用するWLANでは、ビーム形成は単一のAPIによってのみ独立して実行されるため、制御不能なAP間干渉が発生する。干渉を緩和するために、EHTは、意図されたステーション上で各送信信号をCBFすることを推奨する。

図13 CBF



参照

- Amendment 8: Enhancements for extremely high throughput (EHT) in Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications of IEEE P802.11 be™/D1.3 Draft Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks-Specific requirements (改訂8: 第11部のEHTに関する機能強化: IEEE P 168 be™/D 168の無線LANメディアアクセス制御(MAC)および物理層(PHY)の仕様-システム間の通信および情報交換ローカルおよびメトロポリタンエリアネットワーク-特定の要件)
- 将来のWi-Fi 7であるIEEE 802.11 beの現状と方向性