



Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники



Белорусские облачные
технологии



Международный Союз
Электросвязи

«Внедрение новых поколений Wi-Fi 6/7/8»

Вадим Поскакухин, Эксперт Международного союза электросвязи,
Технический директор Ubiquitous Wireless LLP

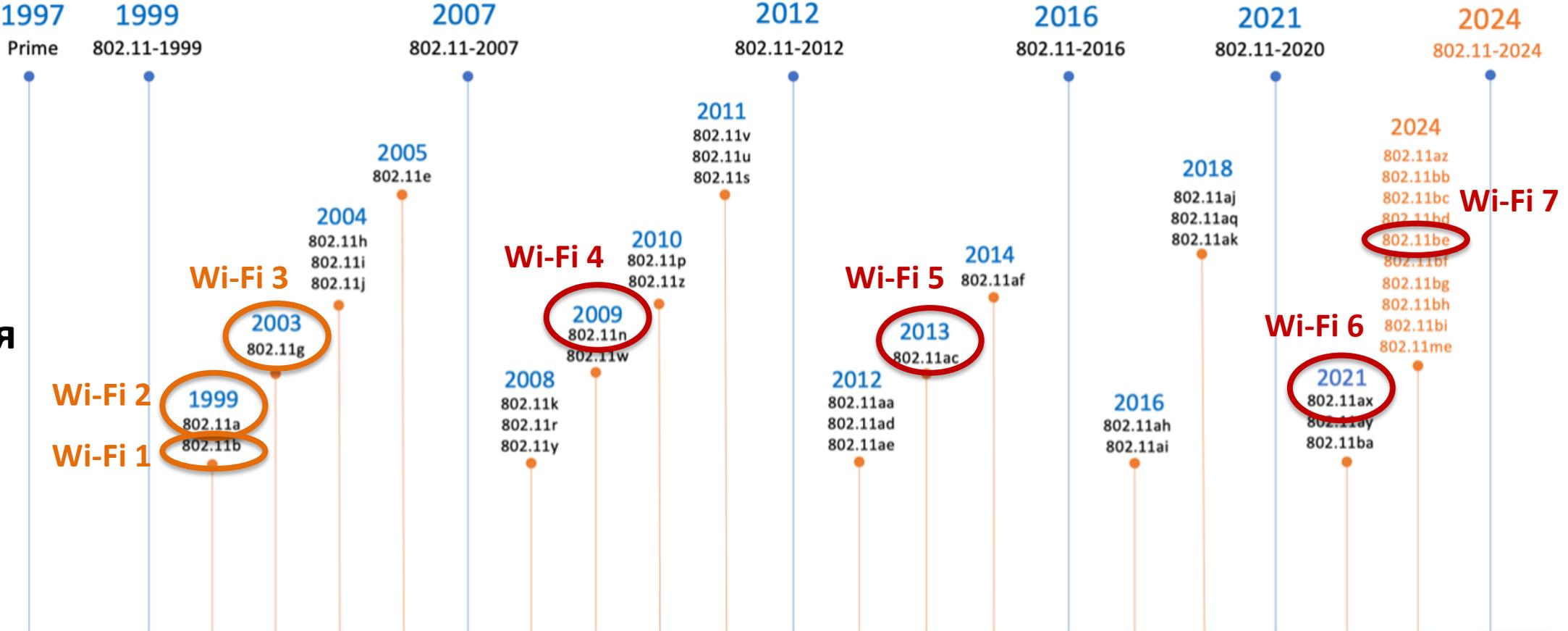
Содержание доклада

- История развития стандарта IEEE 802.11
- Вопросы радиочастотного обеспечения
- Текущее развитие Wi-Fi (Wi-Fi 6/6E/7)
- Дальнейшие перспективы (Wi-Fi 8/9)

IEEE 802.11 Standards Timeline

Стандарт

Дополнения к стандарту



Source: https://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11_Timelines.htm

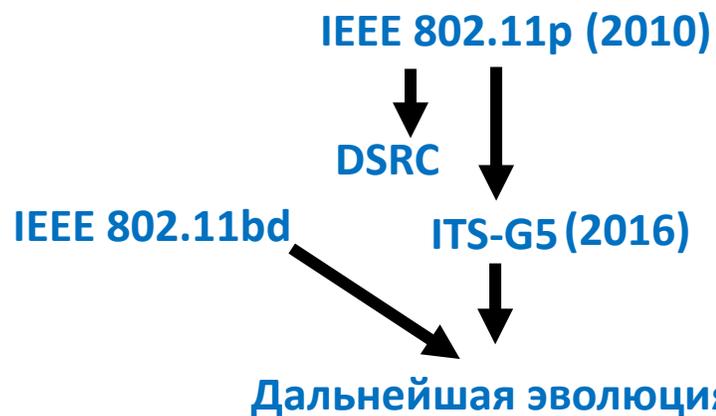


Сравнение отдельных версий стандарта IEEE 802.11

	802.11b) 1999	802.11a 1999	802.11g 2003	802.11n 2009	802.11ac 2014	802.11ax 2021	802.11 be 2024
Wi-Fi Gen.	Wi-Fi 1	Wi-Fi 2	Wi-Fi 3	Wi-Fi 4	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7
Frequency	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz/5 GHz	5 GHz	2.4 GHz/5 GHz	2.4/5/6 GHz
Channel Width	22 MHz	20 MHz	20 MHz	20/40 MHz	20/40/80/160 MHz	20/40/80/160 MHz	20/40/80/160/320MHz
Spatial Streams	1	1	1	4	8	8	16
Data Rate	1,2, 5.5, 11 Mbps	Up to 54 Mbps	Up to 54 Mbps	Up to 600 Mbps	6.933 Gbps	9.607 Gbps	Up to 40 Gbps
MIMO	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
MU-MIMO	No	No	No	No	DL	DL&UL	DL&UL
Max Modulation	QPSK	64 QAM	64 QAM	64 QAM	256 QAM	1024 QAM	4096 QAM
Subcarrier Size	n/a	312.5 kHz	312.5 kHz	312.5 kHz	312.5 kHz	78.125 kHz	78.125 kHz
Symbol Duration	n/a	3.2 us	3.2 us	3.2 us	3.2 us	12.8 us	12.8 us
Guard Interval	n/a	0.8 us	0.8 us	0.8, 0.4 us	0.8, 0.4 us	0.8, 1.6, 3.2 us	0.8, 1.6, 3.2 us
OFDMA	No	No	No	No	No	Yes	Yes



IEEE 802.11 для ITS и V2X

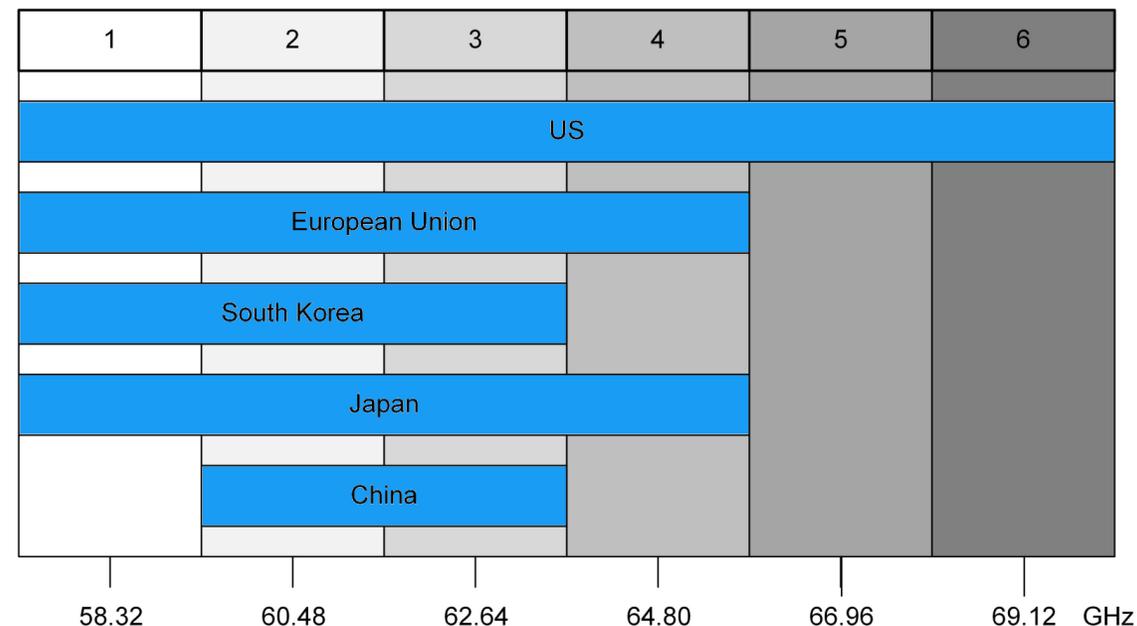
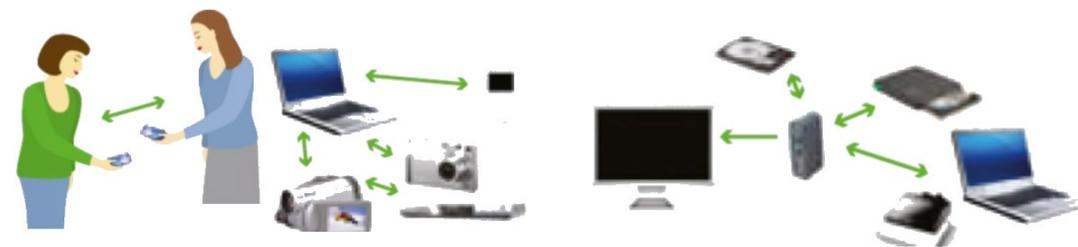


Дальнейшая эволюция

Стандарт	802.11p	802.11 bd
Частотный диапазон	5,85-5,925 ГГц	5,85-5,925 ГГц
Ширина канала	10/20 МГц	10/20 МГц
Задержка	< 100 мс (средняя)	0,5-10 мс (на расстоянии 300 м) 10-100 мс (на расстоянии 0,3-2 км)
Дальность	~1 км	~2 км
Относительная скорость	≤ 500 км/ч	≤ 500 км/ч
Скорость передачи данных	~15 Мбит/с	~15-23 Мбит/с

В настоящее время идут споры о выборе технологий для ITS между IEEE 802.11 и ITS

WiGig (IEEE 802.11ad)



Содержание доклада

- История развития стандарта IEEE 802.11
- Вопросы радиочастотного обеспечения
- Текущее развитие Wi-Fi (Wi-Fi 6/6E/7)
- Дальнейшие перспективы (Wi-Fi 8/9)

Полосы радиочастот для Wi-Fi и регулирование в диапазоне 2400-2483,5 ГГц

Присутствует регулирование в РР в Резолюции 229 «Использование полос частот 5150–5250 МГц, 5250–5350 МГц и 5470–5725 МГц подвижной службой для внедрения систем беспроводного доступа, включая локальные радиосети»

Wi-Fi HaLow
802.11ah

Ниже 1
ГГц

Полосы
SRD

2400-
2483.5
МГц

5150-
5350
МГц

5470-
5725
МГц

Полосы
SRD

5725-
5850
ГГц

Полосы
SRD

5925-
6425
ГГц

В отдельных
странах,
конкуренция
с IMT

6425-
7125
ГГц

2400-2483.5 МГц, ЭИИМ 100 мВт (20 дБм)

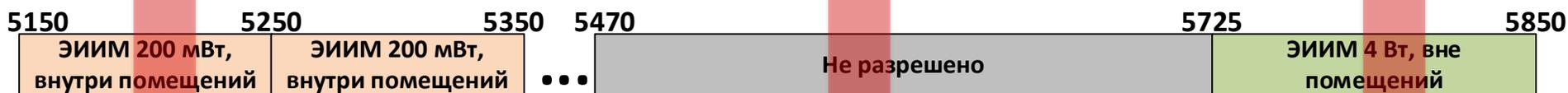
США



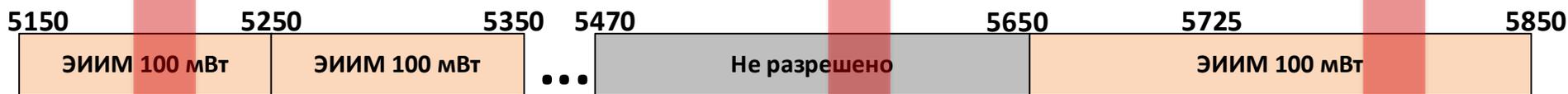
Европа & Япония



Китай



ЕАЭС



Как правило на национальном уровне везде прописывается требование внутри помещений

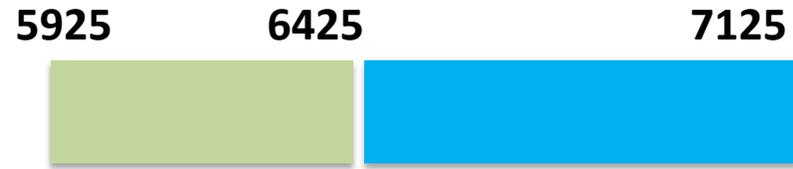
Возможные несоответствия по полосам или по мощностям

Производители пытаются учесть разные условия с использованием геолокации, прослушивания окружающих точек доступа или специальными региональными прошивками

Диапазон 6 ГГц

Фрагментированное использование

Ситуация во многих странах P1



Во многих странах решения не закреплены



**Проблемы
экосистемы в
Европе**



Неустоявшаяся практика у производителей

Блокирование через геолокацию



Блокирование по IP-геолокации

Блокирование на основе прослушивания соседних точек доступа



Блокирование на уровне прошивок

Медленное проникновение оборудования с поддержкой 5925-6425 МГц (Wi-Fi 6E) на рынке региона СНГ. Требуется более четкая региональная позиция.

Китай использует всю полосу под IMT

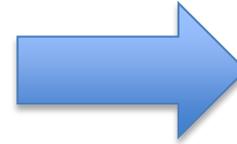
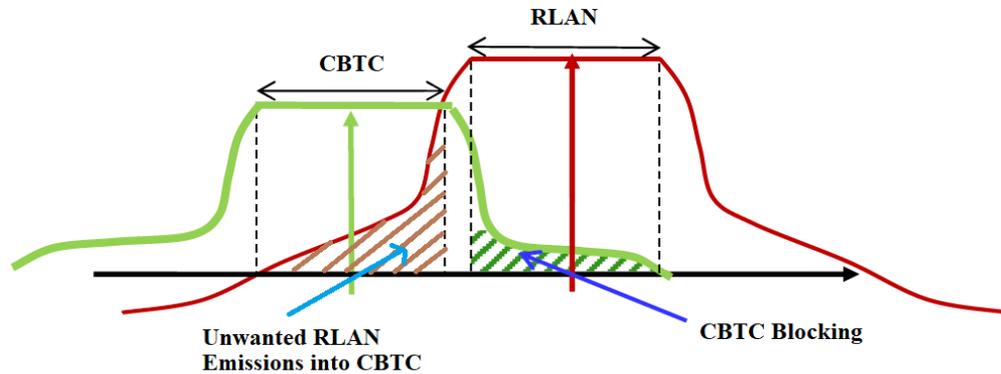


США и ряд других стран выделили для Wi-Fi



Задержки и сложности с формированием экосистемы в Европе

Уникальная для Европы проблема помех в системы Communication Based Train Control (CBTC)



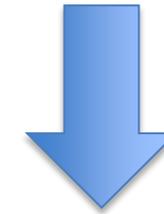
Решения ECC(20)01 в 2020 году

Low Power Indoor (LPI) WAS/RLAN devices

Maximum mean e.i.r.p. density for out-of-band emissions below 5935 MHz	-22 dBm/MHz
--	-------------

Very Low Power (VLP) WAS/RLAN devices

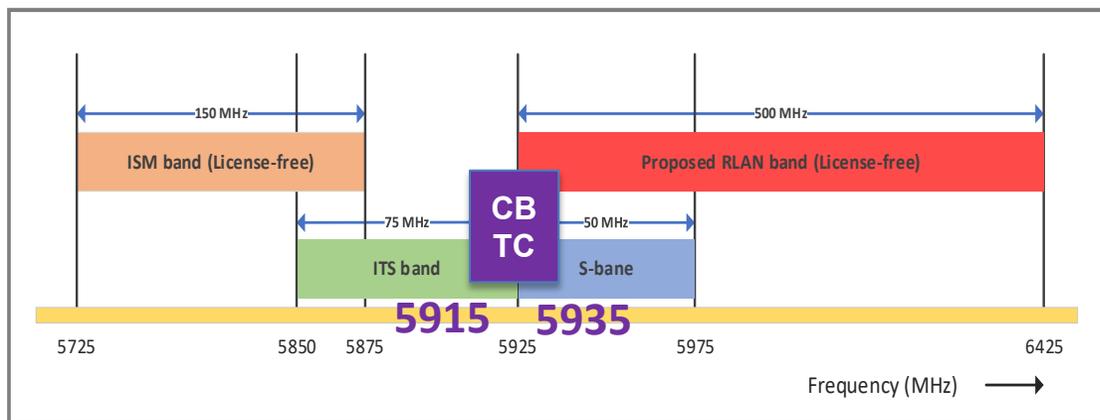
Maximum mean e.i.r.p. density for out-of-band emissions below 5935 MHz	-45 dBm/MHz
--	-------------



Пересмотр Решения ECC(20)01 в ноябре 2024

Maximum mean e.i.r.p. density for out-of-band emissions below 5935 MHz	-37 dBm/MHz*
--	--------------

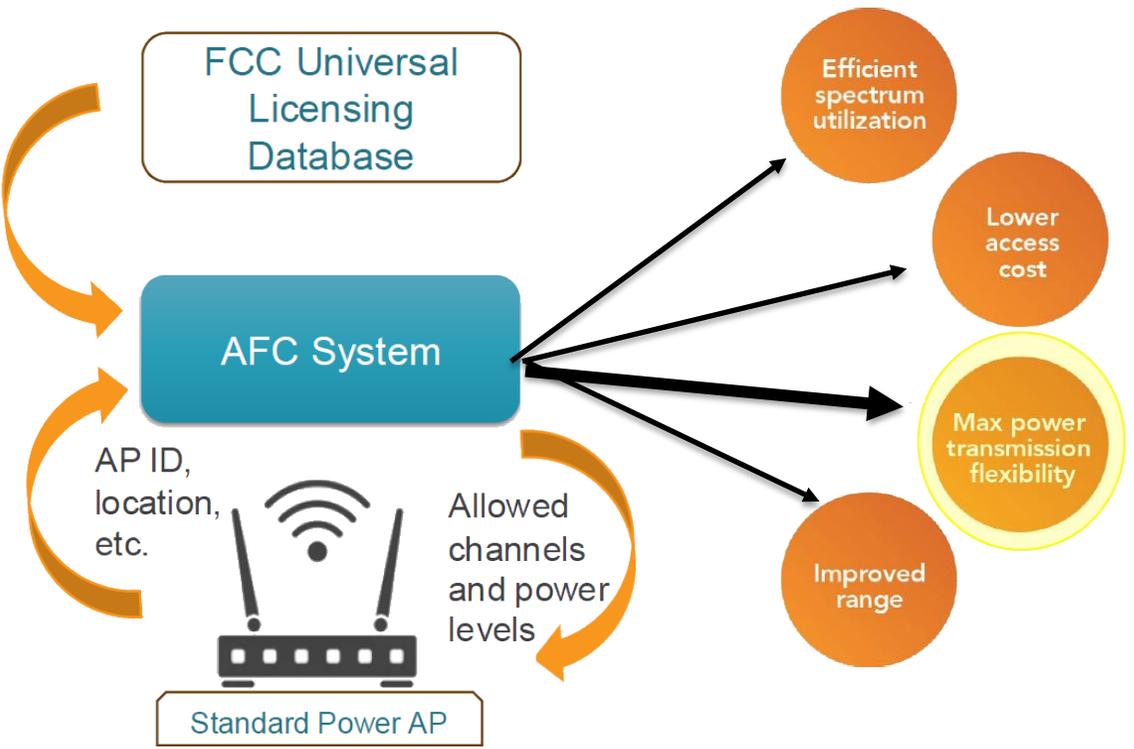
*VLP devices shall first attempt to select a frequency block above 6105 MHz when initiating a communication session. Alternatively, where no such mechanism is implemented, then a maximum mean e.i.r.p. density for out-of-band emissions of -45 dBm/MHz below 5935 MHz applies.



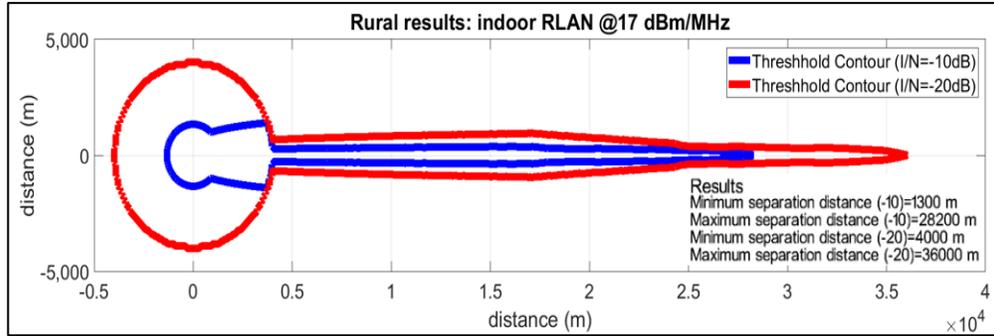
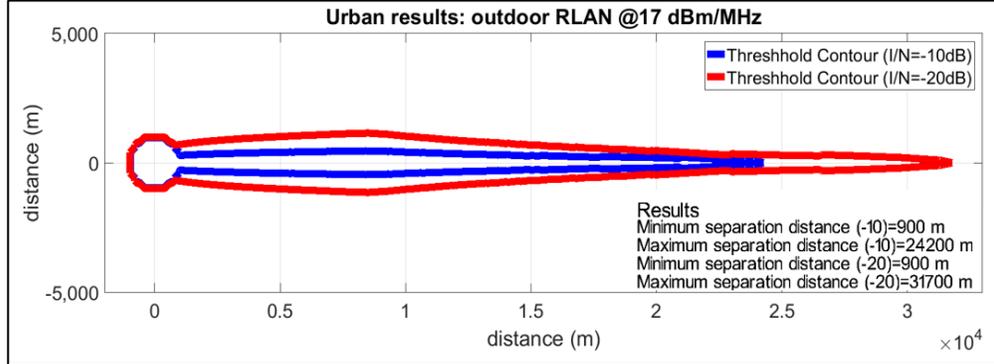
Использование устройств 6 ГГц вне помещений с более высокой мощностью (США)

Система скоординированного динамического доступа в США для полосы 6425-7125 МГц

Automated Frequency Coordination (AFC) System



Рассматривается возможность использования в других странах для полосы 5925-6425 МГц для защиты радиорелейных линий и других систем



Публичные консультации по внедрению AFC в полосе 5925-7125 МГц в Великобритании

Enabling automated frequency coordination (AFC) in the 6 GHz band

Consultation

Published 9 January 2026
Closing date for responses: 20 March 2026

For more information on this publication, please visit ofcom.org.uk

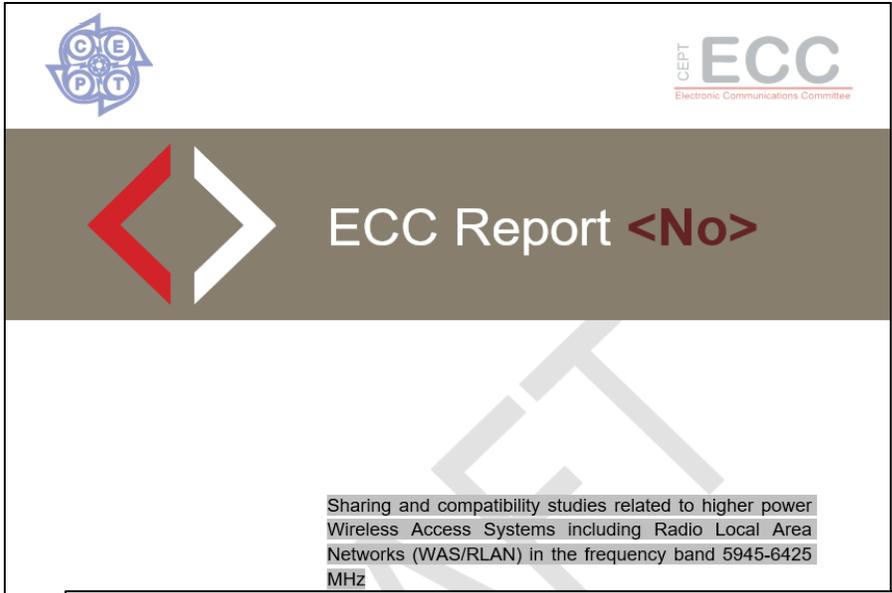
Table 2: Device Class and Maximum Transmit Power

Device Class	Frequency Band	Mean EIRP Limit ³⁶	Mean EIRP Power Spectral Density Limit ³⁷
Standard Power Access Point under the control of a dynamic spectrum access service	5925 – 7125 MHz	36 dBm	23 dBm/MHz
Fixed Client Device under the control of a dynamic spectrum access service	5925 – 7125 MHz	36 dBm	23 dBm/MHz
Mobile Client Device under the control of a standard power access point	5925 – 7125 MHz	24 dBm ¹	11 dBm/MHz ¹

Notes:

- These devices must also limit their power to be equal to, or less than, their associated standard power access point's authorised maximum power level.

Текущие исследования в полосе 5925-6425 МГц в рамках CEPT



This Report describes the technical conditions necessary to enable the possible implementation of a dynamic spectrum access coordination function for Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks (WAS/RLANs) in the 5945-6425 MHz frequency band, beyond what is permitted under ECC Decision (20)01 [10], for use of WAS/RLAN equipment in a range of power levels up to 4 W e.i.r.p.

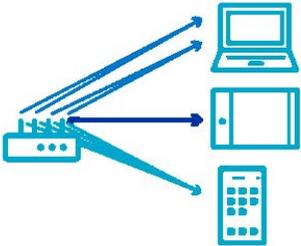
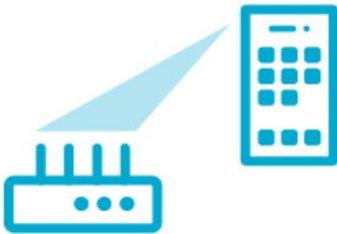
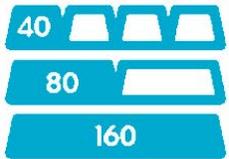
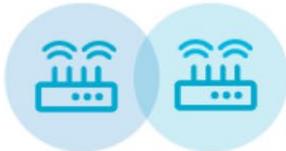
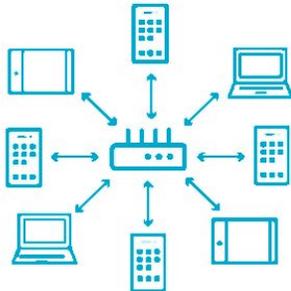
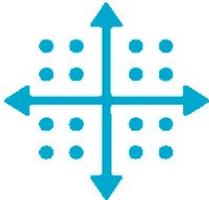
The Report assumes the technical protection requirements of incumbent services will be administered through an appropriate database system accessible by the WAS/RLAN device that has a Dynamic Spectrum Access Coordination Function (DSACF). Upon interaction with the database, the higher power WAS/RLAN device would be provided with a list of available frequencies and associated maximum power levels to use at its specific location.

The Report describes recommended methods for determining higher power of WAS/RLAN devices, as well as their impact on the incumbent services in the 5945-6425 MHz frequency band (Fixed Service (FS), Fixed-Satellite Service(FSS)) and in adjacent bands (Radio Astronomy Service (RAS), Urban rail Communication Based Train Control (CBTC), Road Intelligent Transport Systems (ITS)), with respect to what the current framework allows.

Содержание доклада

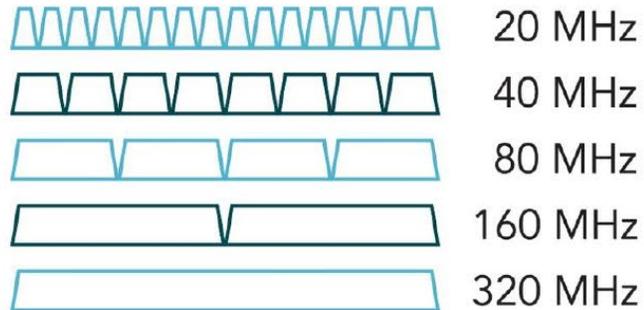
- История развития стандарта IEEE 802.11
- Вопросы радиочастотного обеспечения
- Текущее развитие Wi-Fi (Wi-Fi 6/6E/7)
- Дальнейшие перспективы (Wi-Fi 8/9)

Нововведения в стандарте Wi-Fi 6/6E

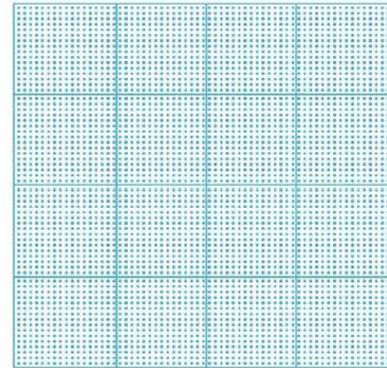
<p>Downlink Multi-User MIMO</p> 	<p>OFDMA</p> 	<p>Beamforming</p> 
<p>160 MHz Channel Bandwidth</p> 	<p>Longer symbol duration</p> 	<p>Target Wake Time</p> 
<p>Bss Coloring</p> 	<p>8 Spatial streams</p> 	<p>1024-QAM</p> 

Основные нововведения в стандарте Wi-Fi 7 для пропускной способности

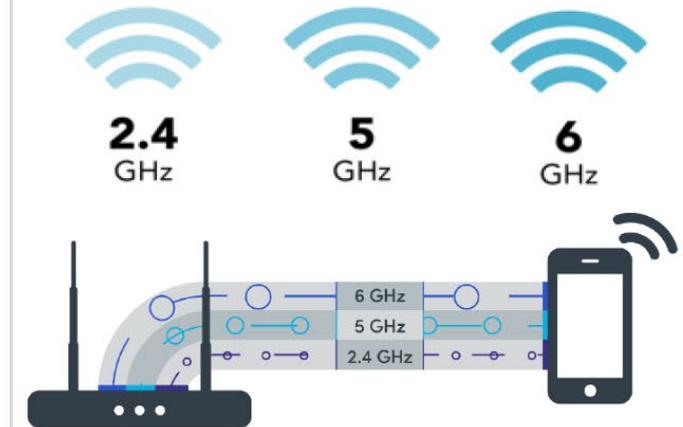
320 MHz Channel



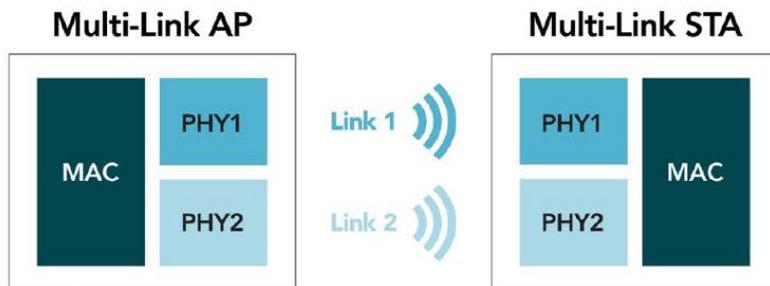
4K QAM



Tri Band Support



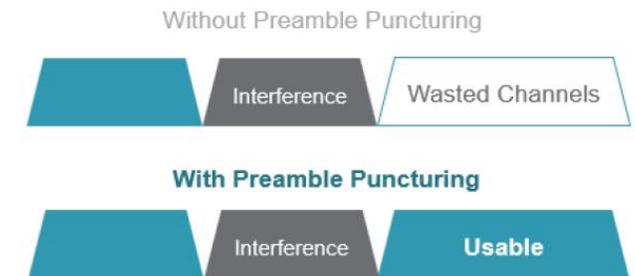
Multi-Link Operation



Multi-RU Allocation



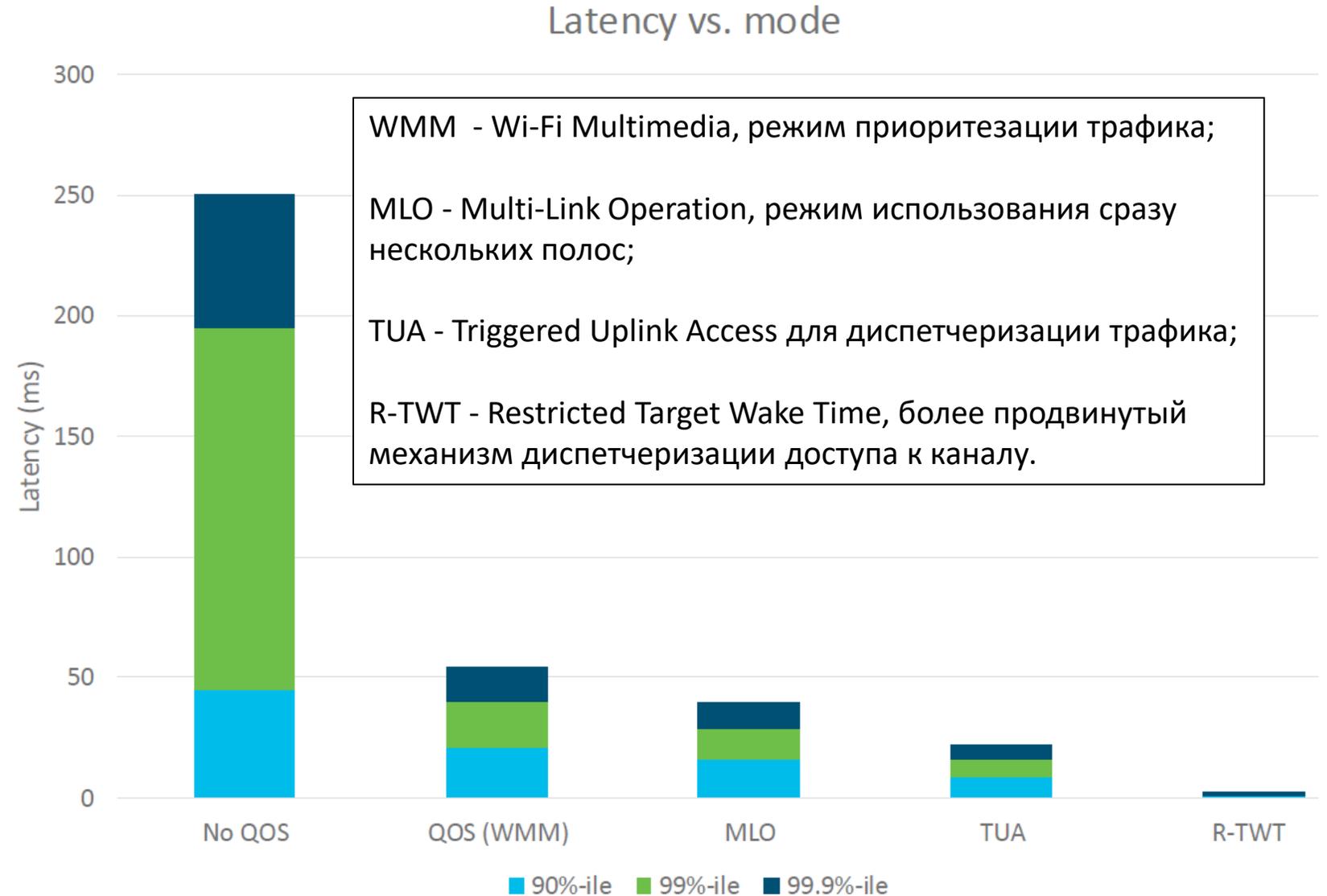
Preamble Puncturing



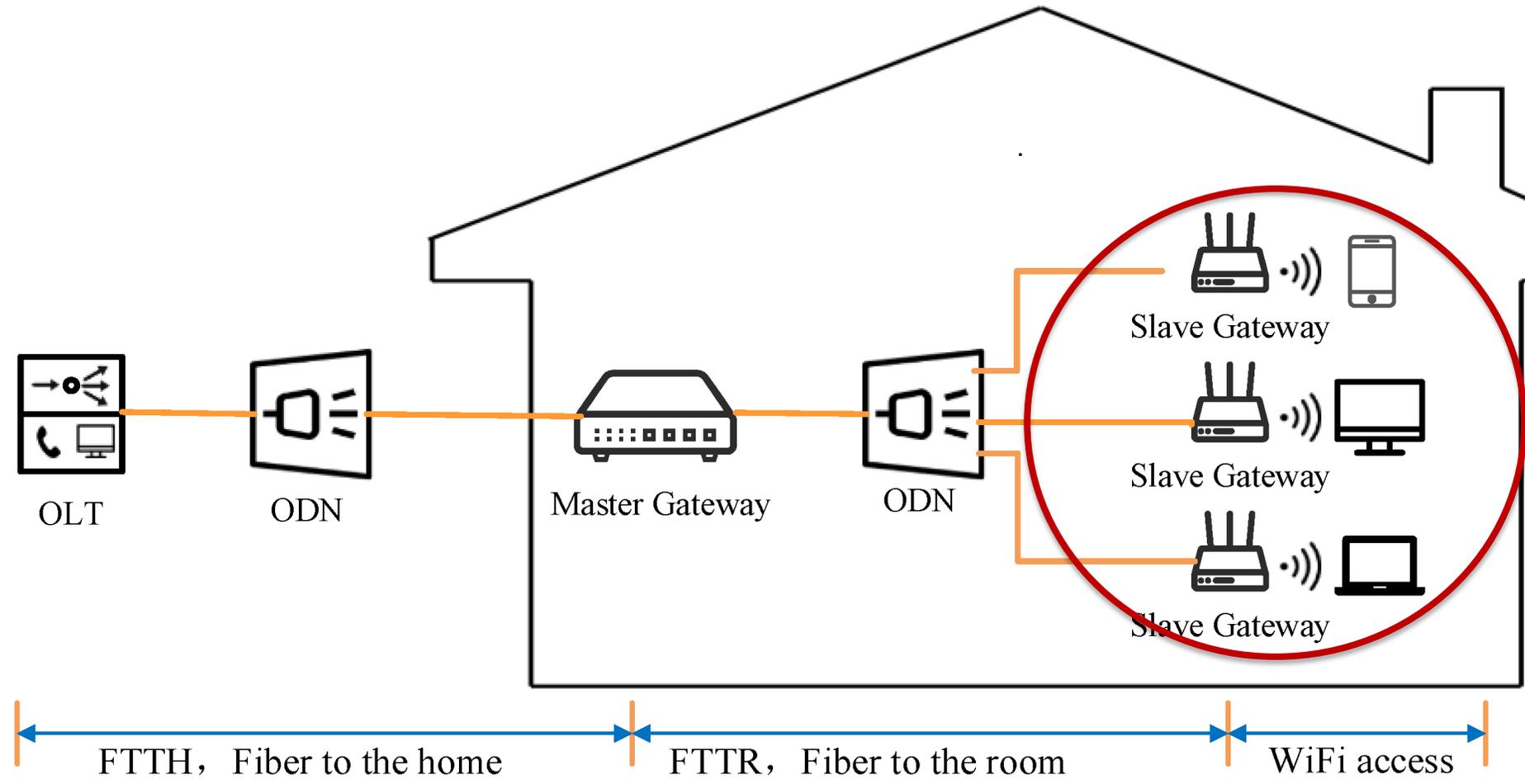
Дополнительные нововведения в стандарте Wi-Fi 7 для снижения задержки

- Avg. 90% CU
- 40MHz
- WMM Won't meet 10ms
- R-TWT required for 1mS 99.9%

Источник: Qualcomm



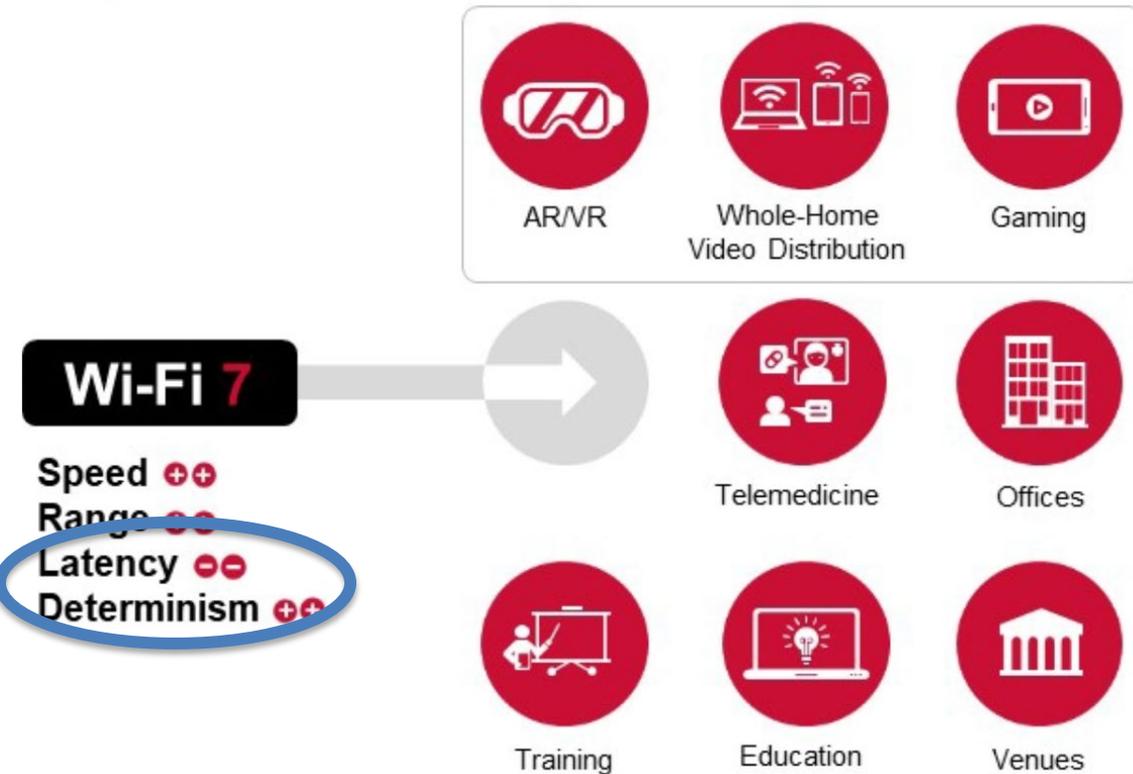
Активное использование возможностей Wi-Fi 7 в комбинации с Fiber To The Room



Встроенные механизмы борьбы с помехами от соседних точек доступа (в предыдущих версиях Wi-Fi требовались дорогостоящие проприетарные решения)

Использование Wi-Fi 7 для различных применений

Расширение возможностей в традиционных сферах применения Wi-Fi

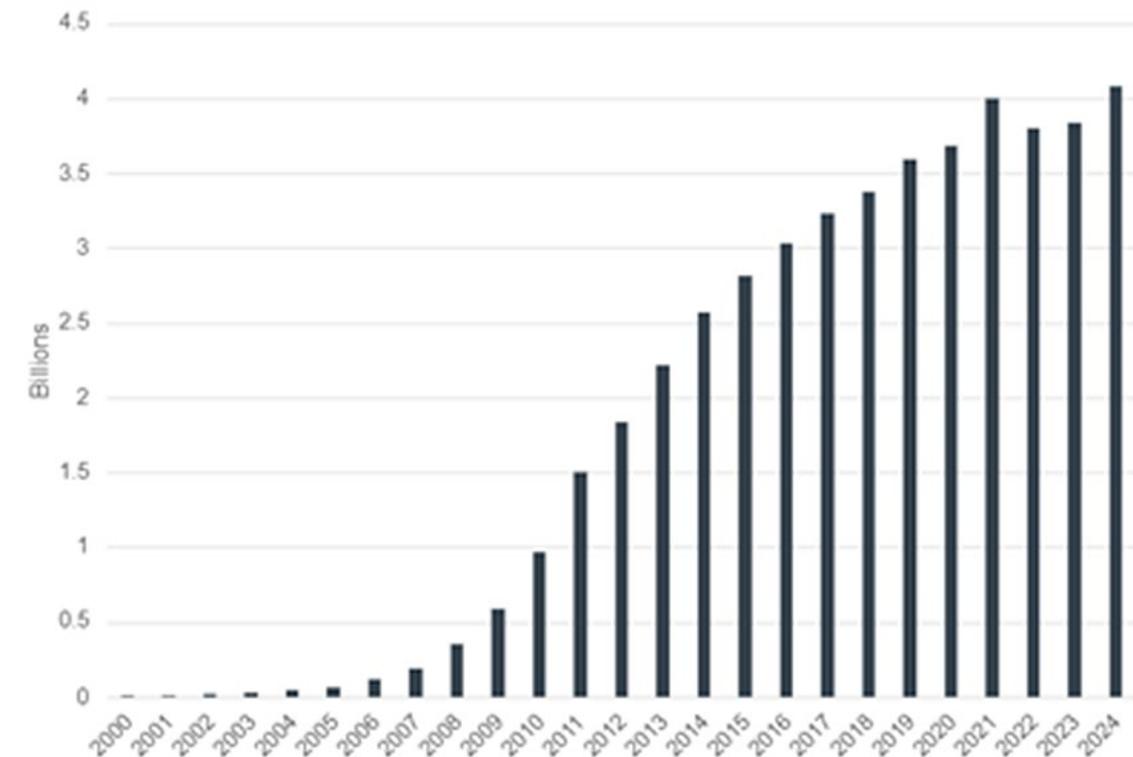


Возможность продолжить конкурировать с частными сетями 5G в промышленных применениях

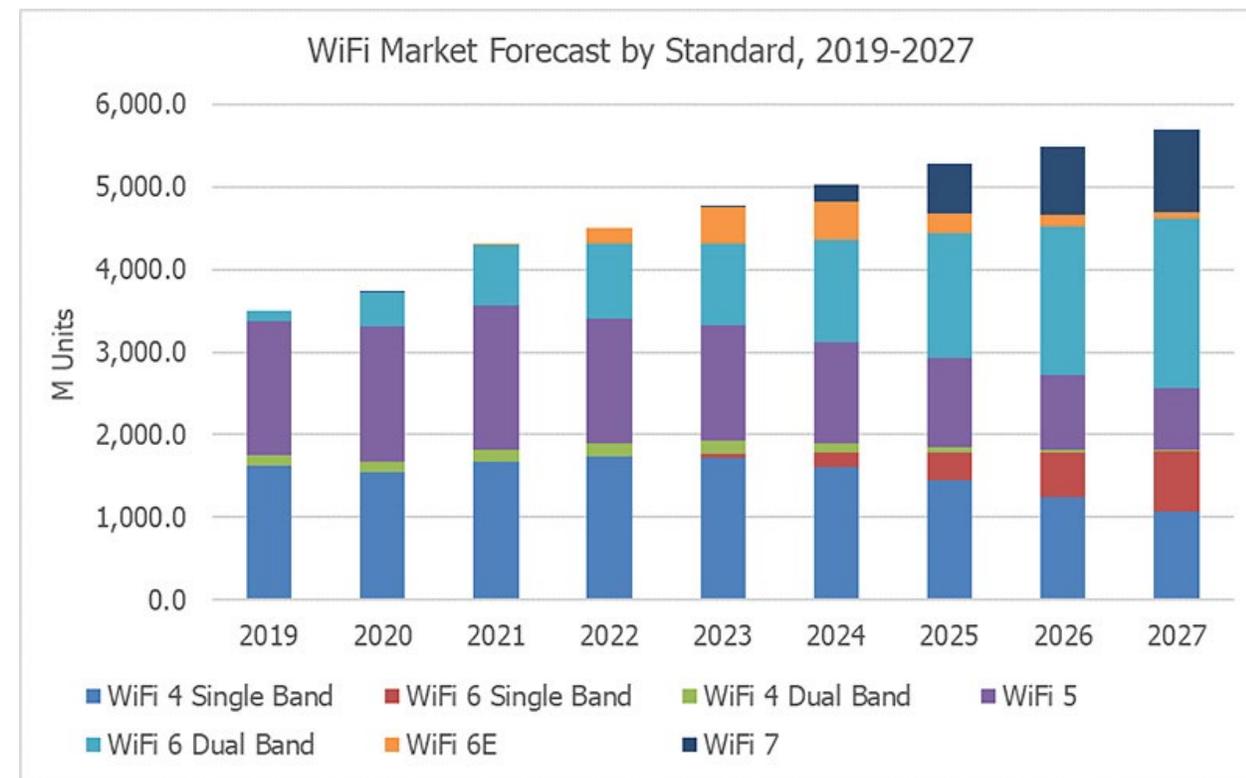
- Автономные мобильные роботы (AMR)
- Автоматически управляемые тележки (AGV)
- Видео аналитика для AMR
- Автомобильные применения
- Контроллеры безопасности
- Датчики и сенсоры
- Промышленные применения AR/VR/XR



Ежегодные поставки модулей Wi-Fi



Прогноз поставок модулей Wi-Fi с поддержкой различных версий



Содержание доклада

- История развития стандарта IEEE 802.11
- Вопросы радиочастотного обеспечения
- Текущее развитие Wi-Fi (Wi-Fi 6/6E/7)
- Дальнейшие перспективы (Wi-Fi 8/9)

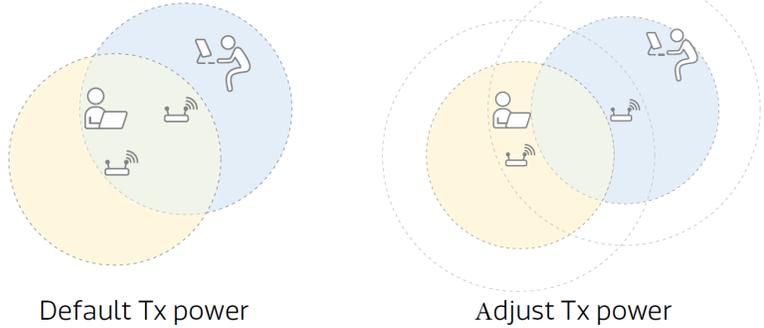
Рассматриваемые технологии и нововведения для Wi-Fi 8 (IEEE 802.11bn)

Сравнение с последними поколениями Wi-Fi

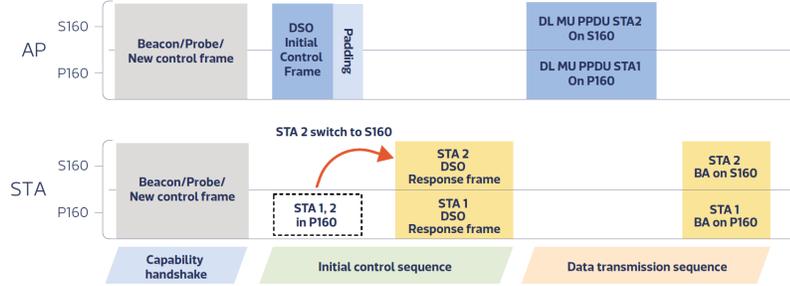
Feature	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7	Wi-Fi 8
Maximum Channel Bandwidth (MHz)	160	320	320
Frequency Bands (GHz)	2.4, 5 and 6	2.4, 5 and 6	2.4, 5 and 6
Max PHY rate	1200Mbps * 8 ~9.6Gbps	2880Mbps*8 ~23Gbps1	2880Mbps * 8 ~23Gbps
Modulation	1024 QAM	4096 QAM	4096 QAM
Spatial Streams	8	8	8
MU-MIMO	UL & DL	UL & DL	UL & DL
Target Wait Time	Individual, broadcast	Restricted	Coordinated
OFDMA (# RU per STA)	Yes (single)	Yes (multiple)	Yes (multiple)
Multi-Link Operation		Yes	Yes
Multi-AP Coordination			Yes
DSO/NPCA			Yes
dRU			Yes
IEEE Standard	11ax	11be	11bn

Источник: Mediatek

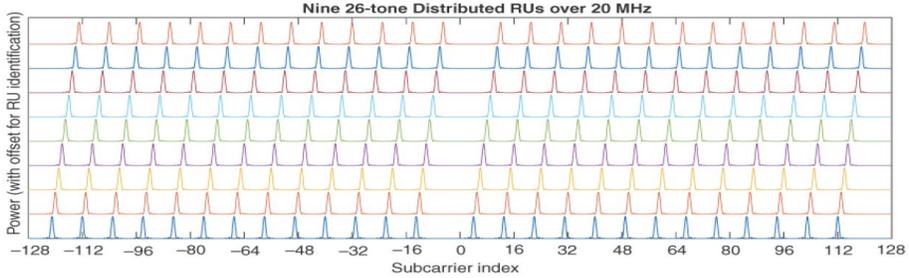
Multi-AP Coordination (снижение помех)



Dynamic Sub-channel Operation (оптимизация канала)

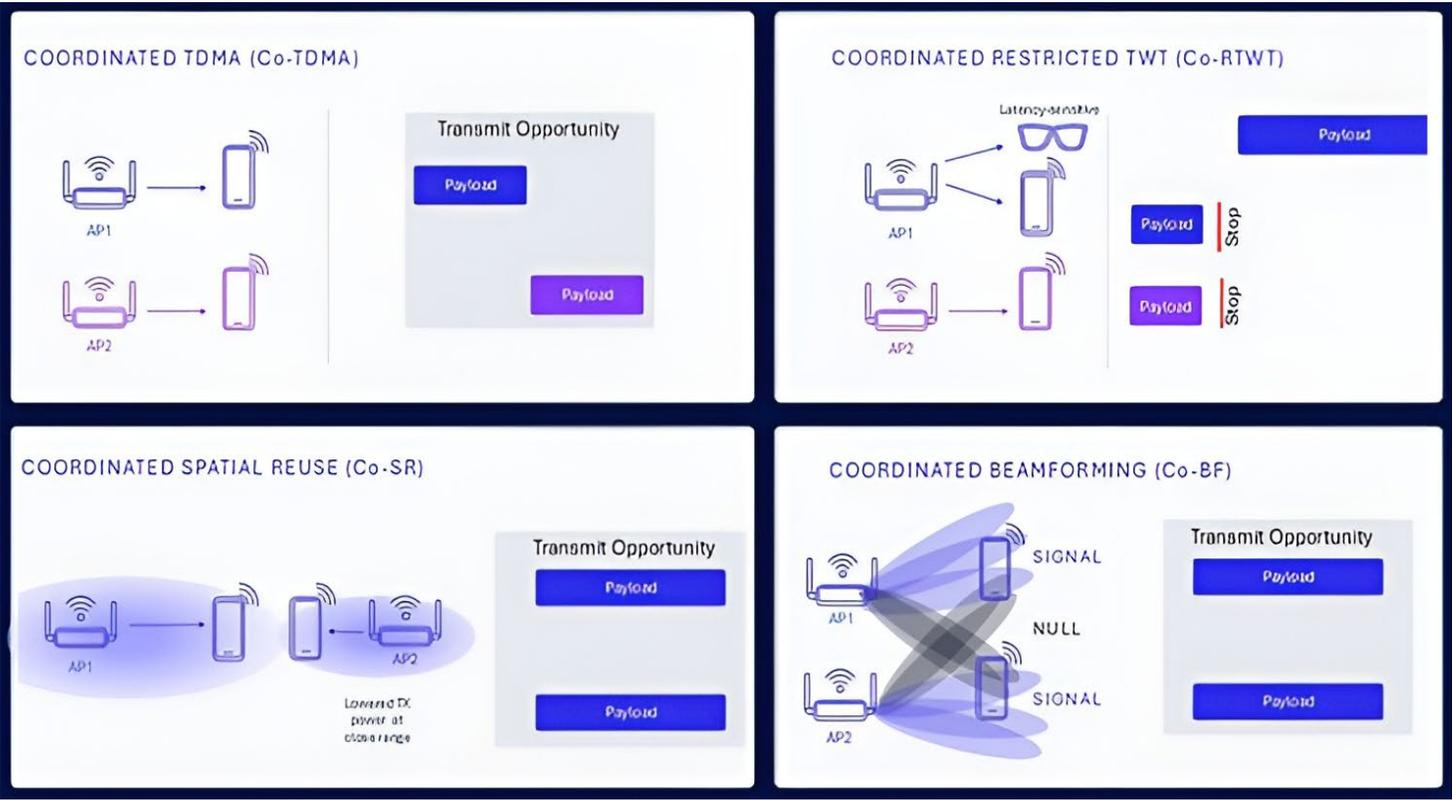


Distributed resource units (повышение дальности)

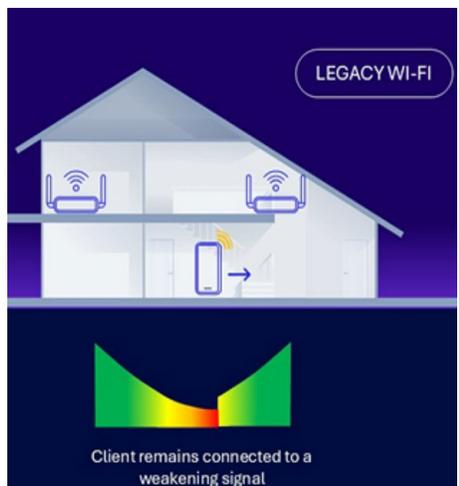


Обеспечение работы множественных точек доступа - ключевое достижение Wi-Fi 8

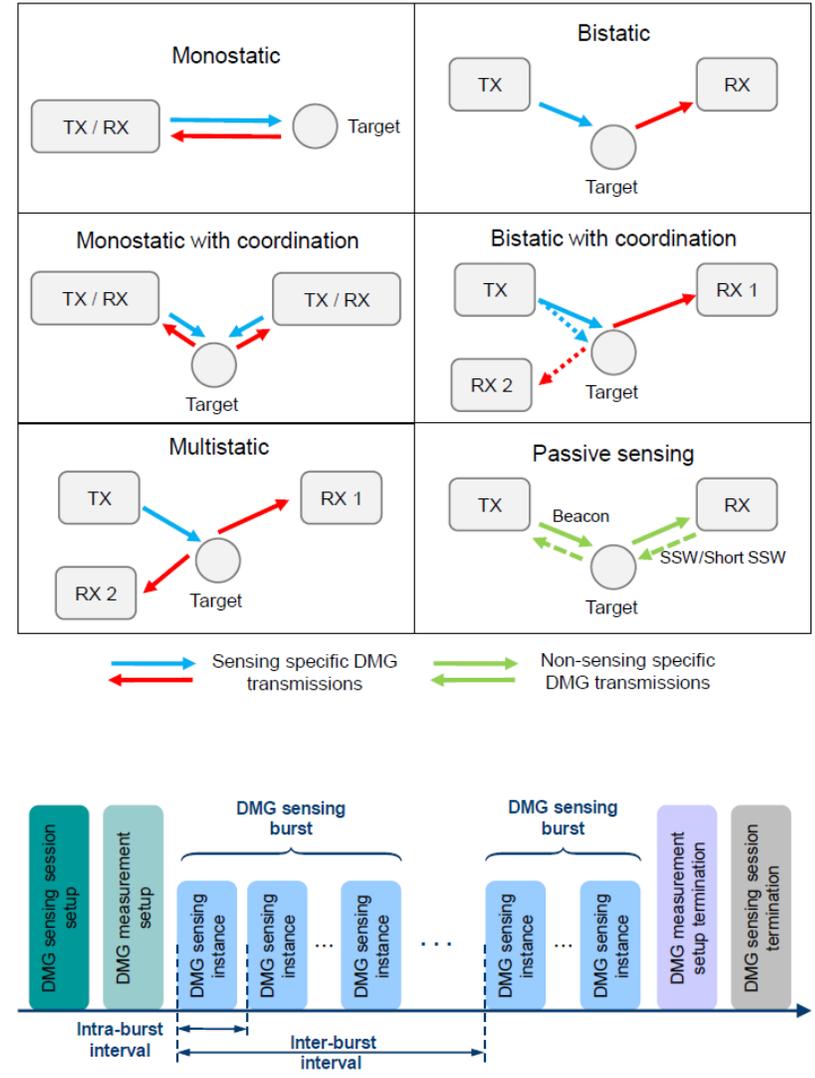
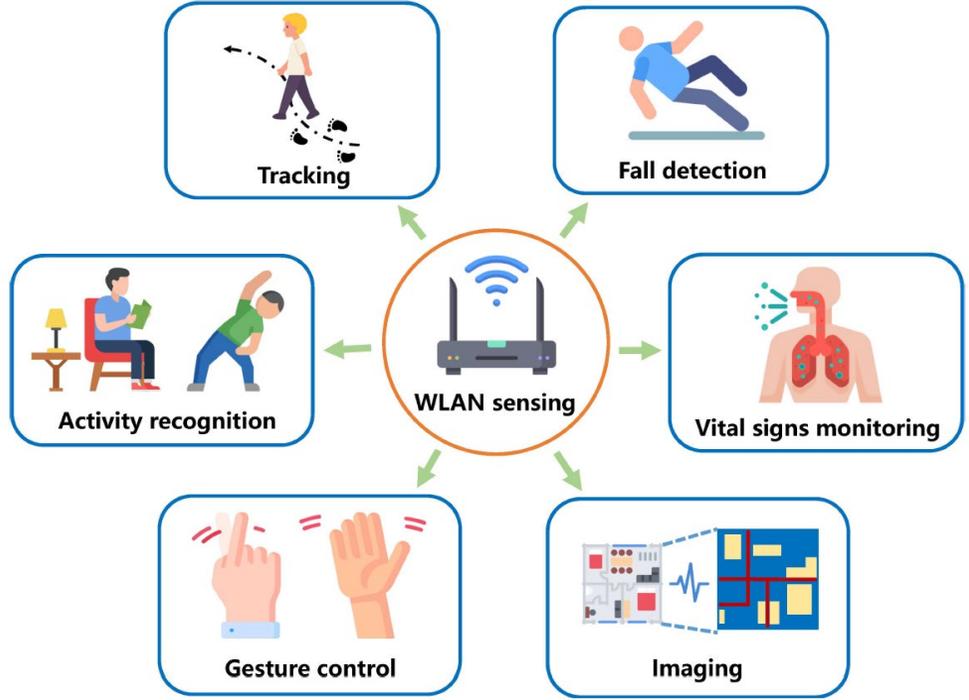
Multi-AP Coordination



Хендовер

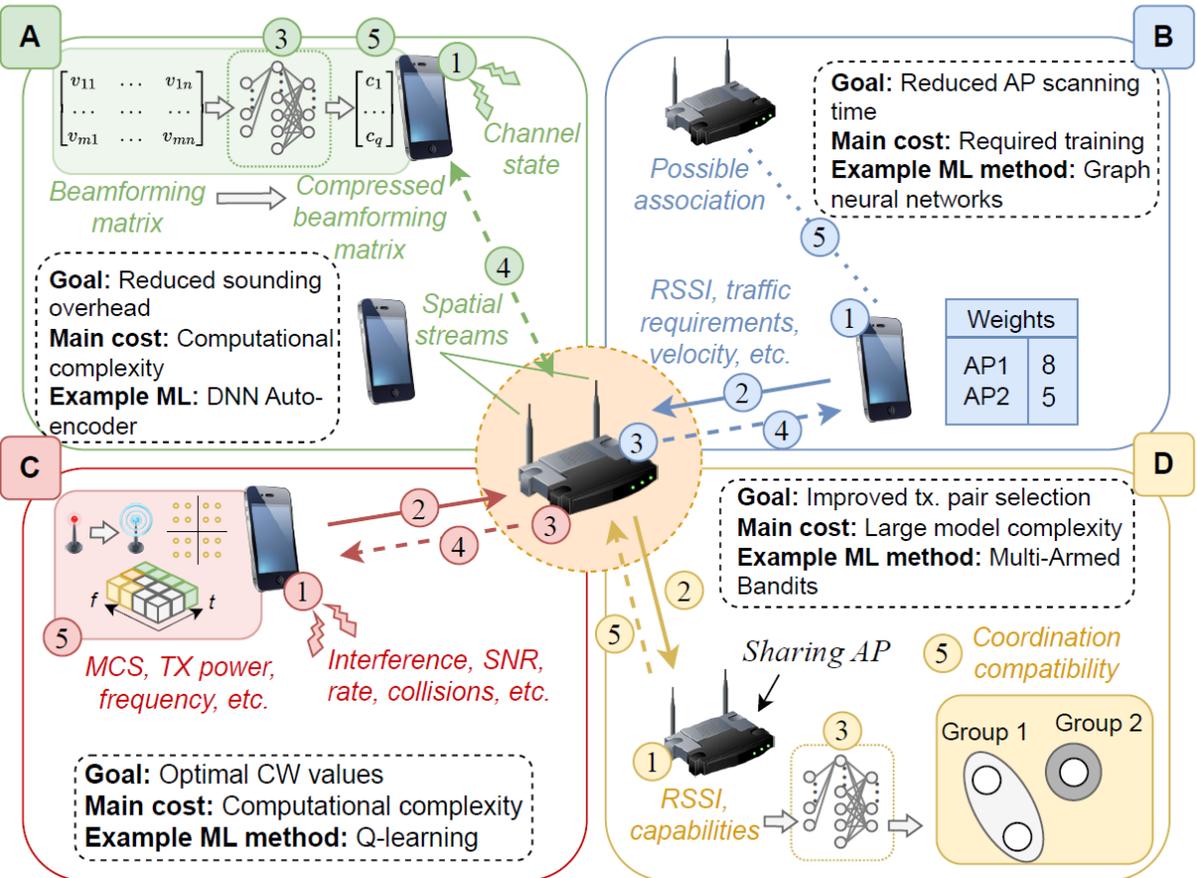


Отдельный стандарт IEEE 802.11bf



Рассматриваемые технологии и нововведения для Wi-Fi 9 - AI-native interface

IEEE 802.11 AI/ML Topic Interest Group



- (A) CSI feedback compression
- (B) Enhanced roaming
- (C) Deep Reinforcement Learning based channel access
- (D) Multi-access point coordination driven by AI/ML

ML operation steps/actions:

- ① Collect measurements (e.g., KPIs)
- ② Exchange measurements/data for ML models
- ③ Perform ML model inference
- ④ Exchange models, outputs, decisions, commands
- ⑤ Apply output to drive operation/optimization

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ