

БЕСПРОВОДНЫЕ ЛОКАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

5.0.1.1

В настоящее время одним из самых динамично развивающихся сегментов рынка сетевых технологий являются беспроводные КС (wireless networks). Этому сильно способствует массовое производство различных типов мобильных устройств.

5.0.1.2

Как и следует из названия, в качестве СрПД в той или иной мере **используют** эфир.

В общем случае, оборудование беспроводных КС, совместно с другим телекоммуникационным оборудованием, разделяет различные частотные диапазоны (в первую очередь **интересны радиочастотный, микроволновой и инфракрасный**). При этом многие из уже имеющихся и разрабатываемых решений несовместимы.

Почти в каждой из стран предусмотрены нелицензируемые частотные диапазоны, в том числе для радиолюбителей.

5.0.1.3

Какие **еще** частотные диапазоны вы знаете?

Рассчитайте длину волны для частоты 5 GHz.

5.0.1.4

Power & telephony	Radio waves	Infra-red	Visible light	Ultra-violet	X-rays	Gamma rays	Cosmic rays					
RF (Radio Frequencies)						Microwaves						
ELF (Extremely Low Frequency)	SLF (Super Low Frequency)	ULF (Ultra Low Frequency)	VLF (Very Low Frequency)	LF (Low Frequency)	MF (Medium Frequency)	HF (High Frequency)	VHF (Very High Frequency)	UHF (Ultra High Frequency)	SHF (Super High Frequency)	EHF (Extremely High Frequency)	EHF (Tremendously High Frequency)	
30 Hz	30 Hz	300 Hz	3 kHz	30 kHz	300 kHz	3 MHz	30 MHz	300 MHz	3 GHz	30 GHz	300 GHz	3 THz
								Decimetric	Centimetric	Millimetric		

5.0.2.1

Основой для построения беспроводных ЛКС -- Wireless LANs (WLANS) -- является семейство стандартов IEEE 802.11, определяющих правила взаимодействия беспроводных устройств и известных под общей аббревиатурой Wi-Fi (Wireless Fidelity).

Для продвижения и сертификации оборудования беспроводных ЛКС в 1999 г. был создан альянс WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), который в 2002 г. был переименован в Wi-Fi Alliance.

5.0.2.2а

В настоящее время под аббревиатурой Wi-Fi понимают следующие ключевые стандарты.

5.0.2.2b

Wi-Fi	Каналы	Модуляция и кодирование	Скорости	Ориентировочная дальность
802.11b (1999, вместо 802.11)	2,4 GHz; до 4 x 20 MHz (до 7 x 20 MHz — с учетом перекрытий)	802.11 (DSSS, DBPSK, DQPSK); DSSS; CCK, PBCC	802.11 (1, 2 Mbit/s); 5,5, 11 Mbit/s	до 30 м (типовые условия)
802.11a (1999)	5 GHz; до 19 x 20 MHz	OFDM; BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM и BCC	6, 12, 24 Mbit/s (обязательные); 9, 18, 36, 48, 54 Mbit/s	меньше 802.11b
802.11g (2003)	2,4 GHz; 802.11b (при OFDM до 3 x 20 MHz)	802.11b; OFDM, PBCC, DSSS-OFDM	802.11b; 6, 12 и 24 Mbit/s (обязательные); 9, 18, 36, 48, 54 Mbit/s	примерно равно 802.11b
802.11n (2009)	2,4 GHz; 802.11b (либо 2 x 40 MHz — с учетом перекрытия); 5 GHz; 802.11a + 4 x 20 MHz либо до 11 x 40 MHz	802.11a; 802.11g; MIMO (SU, до 4x4:4) OFDM; BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM и BCC, LDPC	до 600 Mbit/s (на практике меньше)	больше 802.11b
802.11ad (WiGig) (2012)	2,4 GHz; 802.11n; 5 GHz; 802.11n; 60 GHz (основная область); 4 x 2,16 GHz	DMG Control; SC; OFDM; DBPSK, SQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, π/2-BPSK, π/2-QPSK, π/2-16QAM и LDPC, блочные коды	до 6,8 Gbit/s	до 10 м
802.11ac (2013)	5 GHz; 802.11n + 1 x 20 MHz либо 802.11n + 1 x 40 MHz либо до 6 x 80 MHz либо до 2 x 160 MHz либо несмежные 80+80 MHz	802.11n (без 802.11g); SU-MIMO (до 8x8:8), MU-MIMO (только downlink, до 4 пользователей, до 4 потоков на пользователя, всего до 8 потоков) OFDM; BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM и BCC, LDPC	до 1,3 Gbit/s (Wave 1); до 5,2 Gbit/s (Wave 2); до 6,9 Gbit/s (в теории)	примерно равно 802.11n
802.11ax (Wi-Fi 6) (чертёжник)	2,4 GHz; 802.11n; 5 GHz; 802.11ac; 6 GHz; до 59 x 20 MHz либо до 29 x 40 MHz либо до 14 x 80 MHz либо до 7 x 160 MHz либо несмежные 80+80 MHz	802.11g; 802.11ac; SU-MIMO (до 8x8:8), MU-MIMO (downlink и uplink, аналогично 802.11n) OFDM; OFDMA; BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM и BCC, LDPC	до 9,6 Gbit/s (в теории)	больше 802.11ac

Семейство стандартов Wi-Fi

5.0.2.3

Существуют и другие стандарты семейства 802.11: уже совсем устаревшие, используемые редко, перспективные.

Разработка и внедрение более новых стандартов (таких как 802.11n, 802.11ac, 802.11ax) происходили и происходят постепенно, причем реализации появляются на рынке еще в процессе «обкатки» стандартов (до официального утверждения).

WiGig и HaLow «отходят» от основной «линейки».

5.0.2.4



Некоторые логотипы Wi-Fi

5.0.2.5

Вспомните теорию Wi-Fi.

Что такое Wi-Fi CSMA/CA (а это то же самое что DCF)?

Какие шаги необходимы для «привязки» оконечного устройства к координатору?

Что такое NAV?

Как определяется длина кадра Wi-Fi? Есть ли в кадре поле Length?

Что такое MSDU и MPDU?

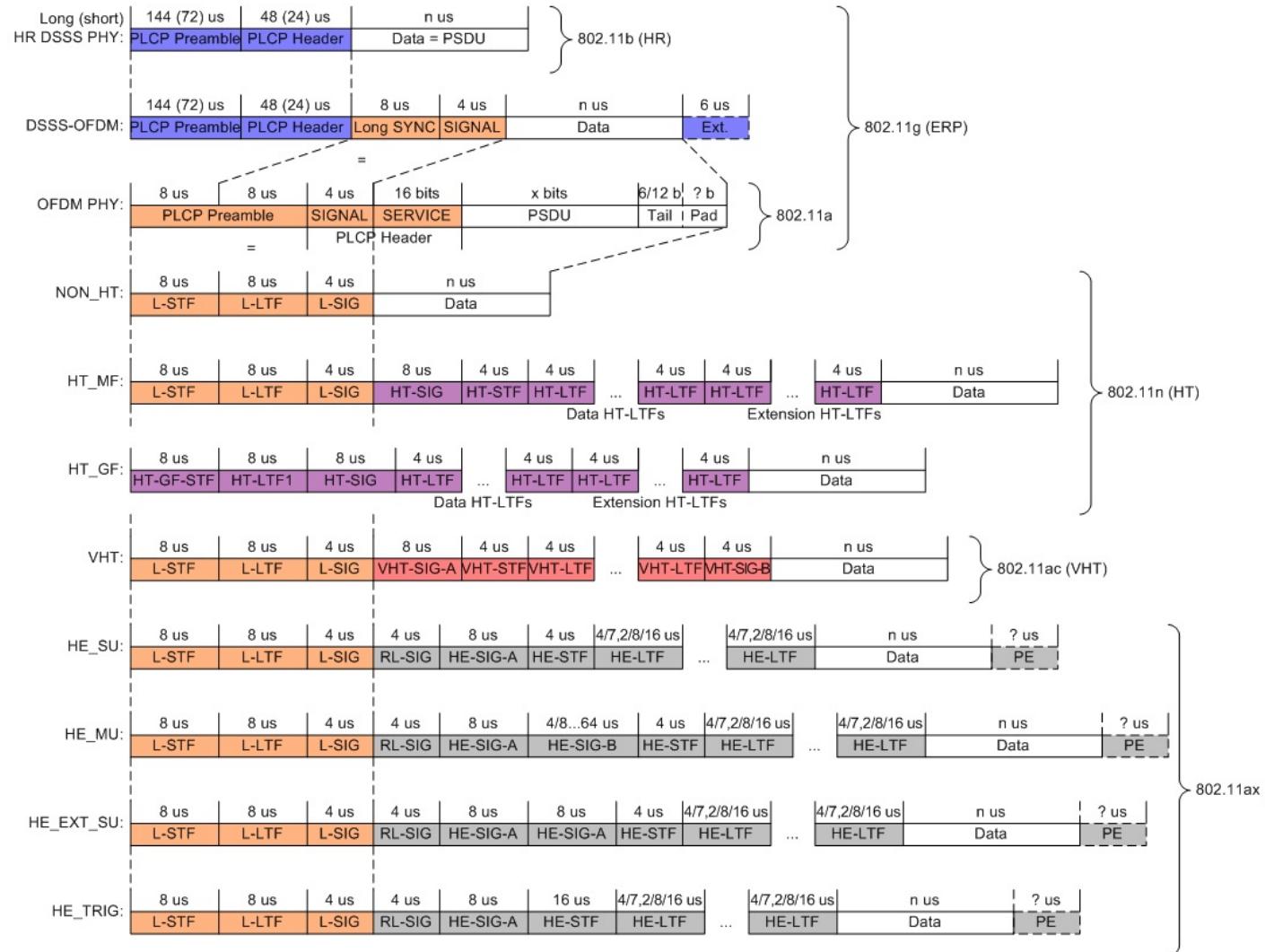
5.0.2.6

Очевидно, физический уровень Wi-Fi устроен сложно.

В отличие от Ethernet, переход от канального уровня к физическому предполагает дополнительную инкапсуляцию и заключается в том, что CSMA/CA (равно DCF) задействует PLCP (Physical Layer Convergence Protocol).

При этом MPDUs (собственно кадры Wi-Fi, рассмотренные ранее) вкладываются в PPDUs (PLCP Protocol Data Units) -- вкладываются как PSDUs (PLCP Service Data Units).

5.0.2.7a



Упрощенные форматы PPDUs

5.0.2.7b

Где:

HR -- High Rate, ERP -- Extended Rate PHY, HT -- High Throughput (PHY),
VHT -- Very High Throughput, HE -- High Efficiency;
DSSS и OFDM -- варианты модуляции;
MF -- Mixed Format, GF -- GreenField, SU -- Single-User, MU -- Multi-User,
EXT = EXTended range, TRIG = TRIGger based;
L -- Legacy, STF -- Short Training Field, LTF -- Long Training Field, SIG =
SIGNAL, RL -- Repeated Legacy, PE -- Packet Extension.

Упрощенные форматы PPDUs

5.0.2.8

Формат PPDU очень вариативен.

При передаче полей PPDU (кроме PSDU), несмотря на их цифровую природу, строго выдерживают соответствующие временные интервалы.

PLCP-преамбула состоит из предопределенных соответствующим образом модулируемых символов (symbols) разной длительности (коротких или длинных).

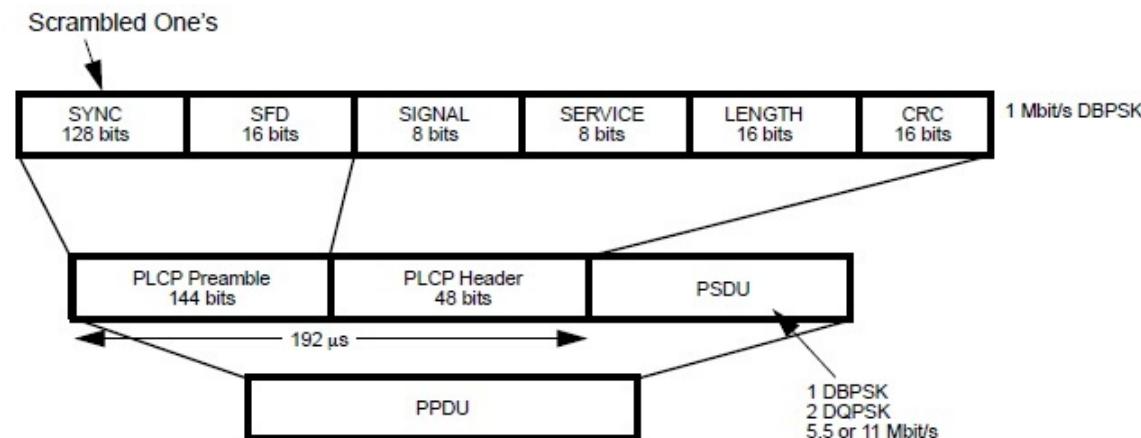
Кроме символов для синхронизации, преамбула может содержать разграничитель начала кадра.

В PLCP-заголовке содержатся специальные поля, описывающие процесс передачи PSDU.

В процессе передачи PPDU, для лучшего разделения модулируемых символов, «проскальзывают» защитные интервалы (guard intervals, не путать с межкадровыми).

Необходимость «выравнивания» составляющих PPDU (в том числе разнородных) обуславливает наличие различных хвостовиков (tails, речь не о хвостовиках кадров), наполнителей и расширителей.

5.0.2.9a



Long PLCP SIGNAL field

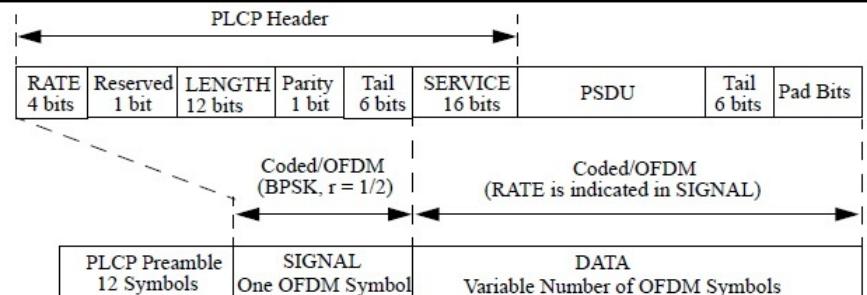
- a) X'0A' (msb to 1sb) for 1 Mbit/s;
- b) X'14' (msb to 1sb) for 2 Mbit/s;
- c) X'37' (msb to 1sb) for 5.5 Mbit/s;
- d) X'6E' (msb to 1sb) for 11 Mbit/s.

SERVICE field definitions

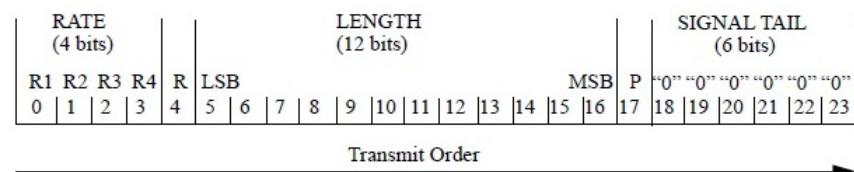
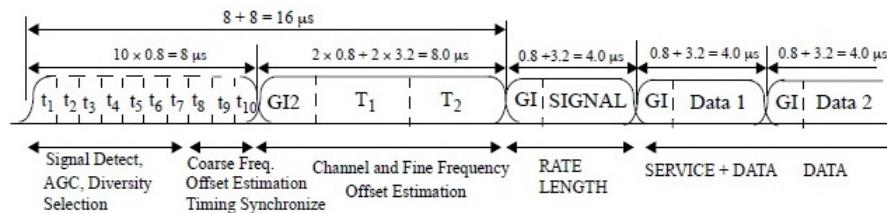
b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
Reserved	Reserved	Locked clocks bit 0 = not 1 = locked	Mod. selection bit 0 = CCK 1 = PBCC	Reserved	Reserved	Reserved	Length extension bit

802.11b Long PPDU [IEEE]

5.0.2.9b

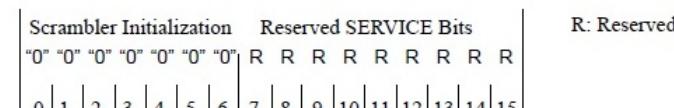


PLCP preamble (SYNC)



Transmit Order →

SIGNAL field bit assignment



Transmit Order →

SERVICE field bit assignment

Rate (Mbits/s)	R1–R4
6	1101
9	1111
12	0101
18	0111
24	1001
36	1011
48	0001
54	0011

802.11a PPDU [IEEE]

5.0.2.10

Начиная с 802.11n, поддерживается агрегация PDUs, причем в двух формах: A-MSDU (Aggregate MSDU) -- optionalное слияние MSDUs с одинаковыми адресами RA и TA, и A-MPDU (Aggregate MPDU) -- слияние MPDUs.

Начиная с 802.11ax, поддерживается динамическая фрагментация MSDU (A-MSDU), то есть кроме фрагментов одинаковой длины (исключая последний), допускаются фрагменты разной длины.

Агрегация и фрагментация, а также моделируемые символы и защитные интервалы разной длительности позволяют повысить гибкость (адаптируемость к условиям передачи).

5.0.2.11

Таким образом, используют четыре частотные области (bands): 2,4, 5, 6 и 60 GHz.

Области 2,4 и 5 GHz известны как ISM (Industrial, Scientific and Medical) и U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) соответственно (законодательство США) и освоены в первую очередь.

В области 5 GHz четко выражены три поддиапазона (sub-bands).

5.0.2.12

Базовый алгоритм Wi-Fi предполагает использование в качестве канала (здесь термин *channel*) одной более или менее узкой полосы частот.

Каналы могут быть шириной примерно 20 (как в 802.11b), 40, 80 и 160 MHz (в WiGig еще 2,16 GHz). Так же допустимы каналы, сформированные из пар несмежных каналов шириной 80 MHz.

Заметно, что «распараллеливание» реализуют не одновременным использованием нескольких каналов (с канальным перемежением и фрагментацией), а «слиянием» (своебразной агрегацией) каналов.

5.0.2.13

Обобщенно, один канал представлен одной несущей (carrier).

Однако, по правилам модуляции OFDM, несущую делят на множество поднесущих (subcarriers) -- от 64 в каналах шириной 20 MHz до 512 в каналах шириной 160 MHz.

Увеличение ширины канала позволяет увеличить количество поднесущих и, следовательно, скорость.

Часть поднесущих используют для служебных целей: нулевые (null) позволяют лучше изолировать каналы, а так называемые пилотные (pilot) позволяют лучше детектировать каналы (например, 48 информационных плюс 12 нулевых плюс 4 пилотных).

5.0.2.14

Наличие поднесущих, на следующем шаге развития, позволяет по-своему повысить гибкость.

Так, по правилам модуляции OFDMA из поднесущих разрешено формировать так называемые блоки ресурсов (resource units) -- чтобы ресурсы канала можно было динамически распределять для обеспечения «параллельного» взаимодействия более чем двух устройств (от 26 до 996 фиксированных информационных поднесущих в одном блоке).

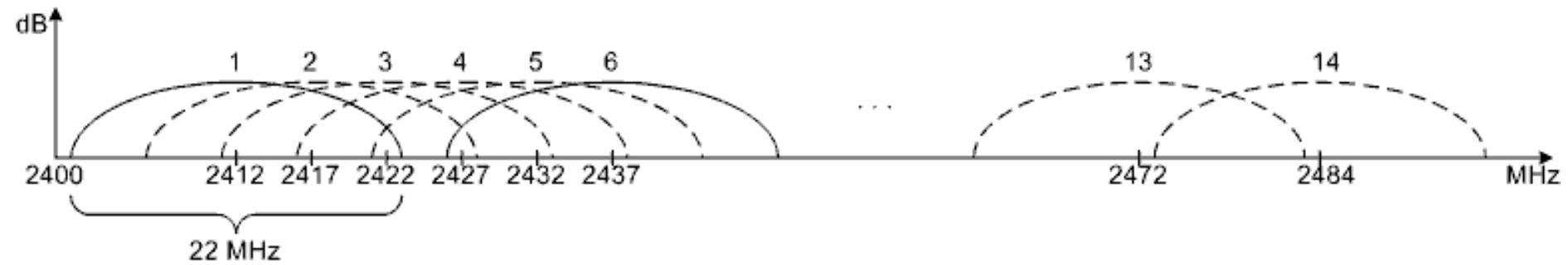
5.0.2.15

В стандартах Wi-Fi приведена одна из систем нумерации каналов. Существует и ряд альтернативных систем нумерации (в том числе не связанных с Wi-Fi).

Наборы каналов вариативны, так как на использование тех или иных каналов в разных странах наложены свои ограничения. В таблице указано максимальное количество одновременно доступных для выбора каналов.

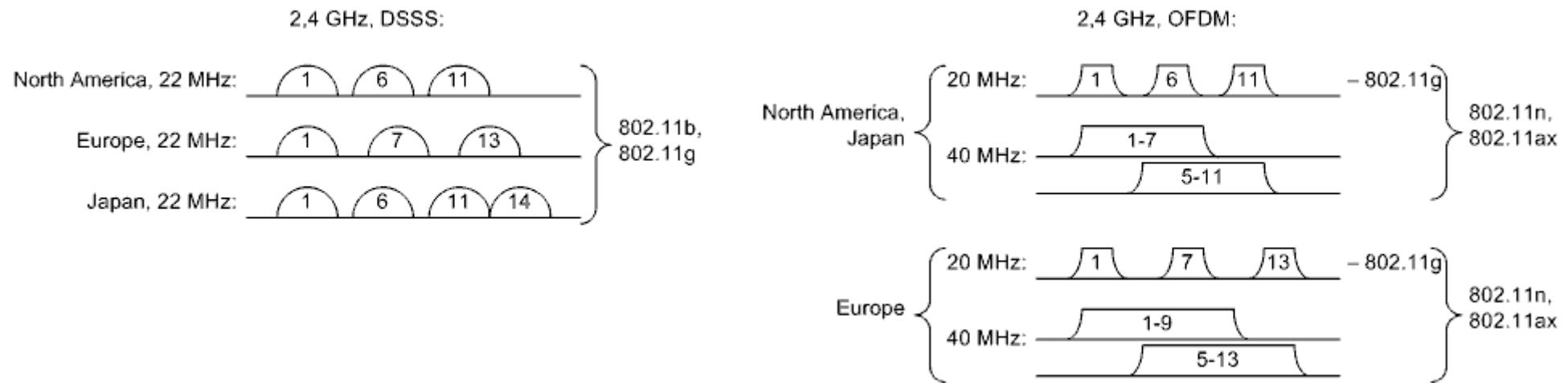
Допустимо перекрытие (overlap) каналов, что актуально в отношении сложно организованных и конфликтующих беспроводных сегментов. Но на практике перекрытие каналов порождает проблемы, поэтому его следует избегать. В этом смысле показательна область 2,4 GHz с каналами 802.11b.

5.0.2.16



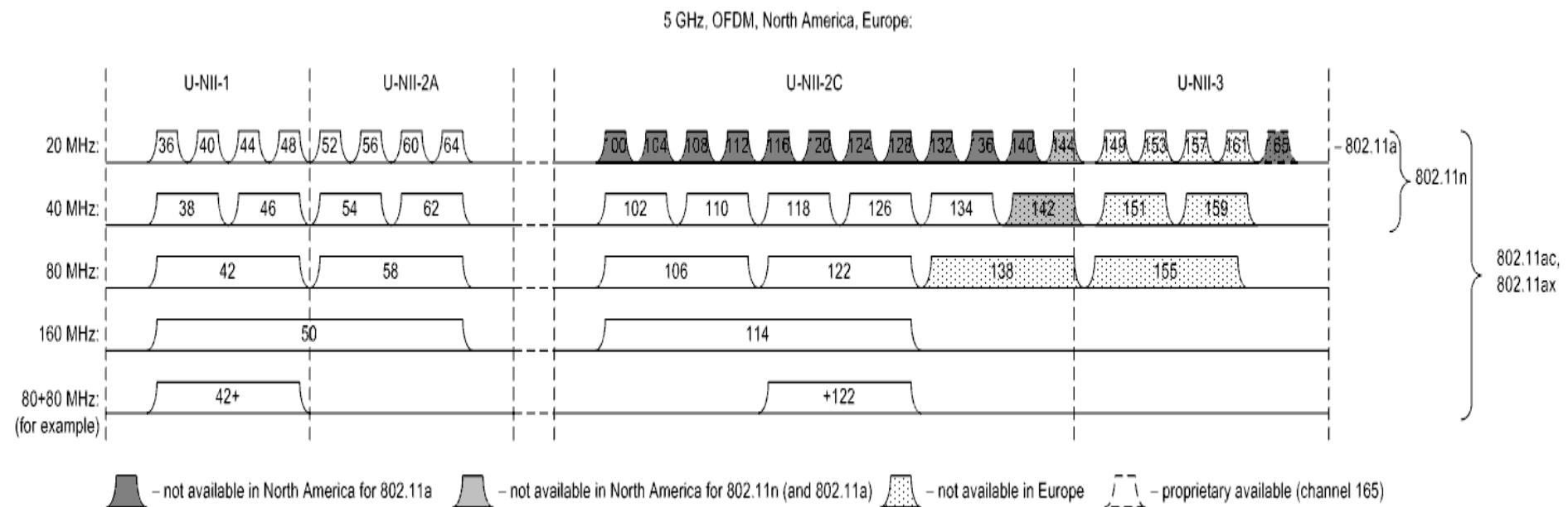
Каналы 802.11b

5.0.2.17



Каналы в области 2,4 GHz

5.0.2.18



Каналы в области 5 GHz

5.0.2.19

При изготовлении беспроводного оборудования производители закладывают (на аппаратном уровне) поддержку целевого региона (regulatory domain).

Изначально выделяли североамериканский (FCC), европейский (ETSI) и японский (TELEC) регионы. Остальные страны примыкали к североамериканскому либо европейскому. Это по-прежнему основные регионы.

По мере освоения новых частот возникает все большее разнообразие и список регионов расширяется. В частности, с появлением 802.11ac для США ввели альтернативный регион (с большим количеством каналов), и ввели глобальный регион.

В настоящее время, формально, Беларусь отнесена к израильскому региону (в отличие от всех остальных стран Европы).

Подключаемое беспроводное устройство согласует регион с помощью управляющих кадров со специальным информационным элементом в поле данных.

5.0.2.20

Item	Specification
Frequency band and 20-MHz operating channels	<p>A (A regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.462 GHz; 11 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels• 5.500 to 5.700 GHz; 8 channels (excludes 5.600 to 5.640 GHz)• 5.745 to 5.825 GHz; 5 channels <p>B (B regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.462 GHz; 11 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels• 5.500 to 5.720 GHz; 12 channels• 5.745 to 5.825 GHz; 5 channels <p>C (C regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.472 GHz; 13 channels• 5.745 to 5.825 GHz; 5 channels <p>D (D regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.462 GHz; 11 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels• 5.745 to 5.825 GHz; 5 channels <p>E (E regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.472 GHz; 13 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels• 5.500 to 5.700 GHz; 8 channels (excludes 5.600 to 5.640 GHz) <p>F (F regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.472 GHz; 13 channels• 5.745 to 5.805 GHz; 4 channels <p>G (G regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.472 GHz; 13 channels• 5.745 to 5.825 GHz; 5 channels <p>H (H regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.472 GHz; 13 channels• 5.150 to 5.350 GHz; 8 channels• 5.745 to 5.825 GHz; 5 channels <p>I (I regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.472 GHz; 13 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels <p>K (K regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.472 GHz; 13 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels• 5.500 to 5.620 GHz; 7 channels• 5.745 to 5.805 GHz; 4 channels <p>N (N regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.462 GHz; 11 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels• 5.745 to 5.825 GHz; 5 channels <p>Q (Q regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.472 GHz; 13 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels• 5.500 to 5.700 GHz; 11 channels <p>R (R regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.472 GHz; 13 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels• 5.660 to 5.805 GHz; 7 channels <p>S (S regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.472 GHz; 13 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels• 5.500 to 5.700 GHz; 11 channels• 5.745 to 5.825 GHz; 5 channels <p>T (T regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.462 GHz; 11 channels• 5.280 to 5.320 GHz; 3 channels• 5.500 to 5.700 GHz; 8 channels (excludes 5.600 to 5.640 GHz)• 5.745 to 5.825 GHz; 5 channels <p>Z (Z regulatory domain):</p> <ul style="list-style-type: none">• 2.412 to 2.462 GHz; 11 channels• 5.180 to 5.320 GHz; 8 channels• 5.500 to 5.700 GHz; 8 channels (excludes 5.600 to 5.640 GHz)• 5.745 to 5.825 GHz; 5 channels

Note: Customers are responsible for verifying approval for use in their individual countries. To verify approval and to identify the regulatory domain that corresponds to a particular country, visit <http://www.cisco.com/go/aironet/compliance>

Cisco regulatory domains [Cisco]

5.0.2.20а

В стандартах 802.11 описан ряд способов модуляции и кодирования:

1. PPM (Pulse Position Modulation) -- модуляция позициями импульсов (изначально в 802.11, для IR).
2. FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) -- широкополосная модуляция со скачкообразным изменением частоты (изначально в 802.11, для 2,4 GHz).
3. DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) -- широкополосная модуляция с прямым расширением спектра.
4. BPSK (Binary Phase Shift Keying) и QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) -- соответственно двоичное и квадратичное манипулирование фазовыми сдвигами.
 - +5. DBPSK (Differential BPSK) и DQPSK (Differential QPSK) -- дифференциальные варианты BPSK и QPSK.
 - +6 SQPSK (Spread QPSK) -- раздвоенный вариант QPSK.
7. CCK (Complementary Code Keying) -- манипулирование дополнительными кодами.
8. BCC (Binary Convolutional Coding) -- двоичное сверточное кодирование.
- +9. PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) -- пакетный вариант BCC.

5.0.2.20b

- 10. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) -- мультиплексирование с ортогональным частотным разделением.
- +11. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) -- множественный доступ с ортогональным частотным разделением.
- 12. QAM (Quadrature Amplitude Modulation) -- квадратурная амплитудная модуляция.
- 13. MIMO (Multiple Input, Multiple Output) -- множественный ввод-вывод (с использованием нескольких антенн).
- +14. SU-MIMO (Single-User MIMO) -- однопользовательский вариант MIMO.
- +15. MU-MIMO (Multi-User MIMO) -- многопользовательский вариант MIMO.
- 16. LDPC (Low-Density Parity Check) -- низкоплотная проверка паритета.
- 17. DMG Control -- контроль DMG (контроль в особом режиме называемом DMG).
- 18. SC (Single Carrier) -- использование одной несущей.
И некоторые другие.

5.0.2.21а

Физическая модуляция сильно переплетена с канальным кодированием в отношении PPDU.

Канальное кодирование может быть как проявлением модуляции, так и дополнительным преобразованием данных.

Модуляция может быть многоуровневой (например, в связке с OFDM, к отдельно взятой поднесущей может применяться QAM).

И канальное кодирование может быть многоуровневым (например, LDPC всегда предшествует простейшее «перемешивание» -- scrambling -- с целью равномерного распределения нулей и единиц).

Поддержка той или иной модуляции (кодирования) может быть как обязательной, так и опциональной.

С учетом совместимости, модуляция (кодирование) автоматически подбирается в зависимости от требующейся скорости.

В рамках одного стандарта, одни и те же каналы могут использоваться по-разному.

5.0.2.21b

Начиная с 802.11n, formalизован более цельный параметр физического уровня под названием MCS (Modulation and Coding Scheme) -- это индекс, позволяющий определить модуляцию и скорость канального кодирования (но не сам канальный код -- другой параметр).

Поскольку используются избыточные (в англоязычной терминологии FEC -- Forward Error Correction) канальные коды, изменение коэффициента избыточности (coding rate) приводит к изменению скорости.

5.0.2.22

Можно сказать, что Wi-Fi ориентирован на среднестатистические помещения.

Высокие скорости достижимы на небольших расстояниях и при отсутствии препятствий. Конечно, многое зависит и от антенн.

Под дальностью в таблице понимается расстояние, на котором при использовании среднестатистических антенн (и при прочих равных условиях) не происходит потеря эффективности.

5.0.2.23

В стандарты изначально заложено энергосбережение.

Беспроводное пользовательское устройство информирует станцию-координатор о переходе в режим (выходе из режима) энергосбережения с помощью флага в поле контроля кадра. Предназначенные «спящему» устройству информационные кадры должна буферизировать станция-координатор. «Спящее» устройство может только принимать кадры-«маяки» и передавать специальные контролирующие (не управляющие) кадры (power save poll). Если анализ информационного элемента TIM (Traffic Indication Map) в кадре-«маяке» говорит о наличии буферизованных информационных кадров, то передается соответствующий запрос. «Пробуждение» происходит при необходимости принимать или передавать информационные кадры.

Начиная с 802.11ax (точнее, 802.11ah), поддерживается TWT (Target Wake Time), что позволяет согласовать время «пробуждения» беспроводного пользовательского устройства (группы устройств).

5.0.3.1

Следует упомянуть и прочие стандарты беспроводной пересылки данных на различные расстояния с различной скоростью.

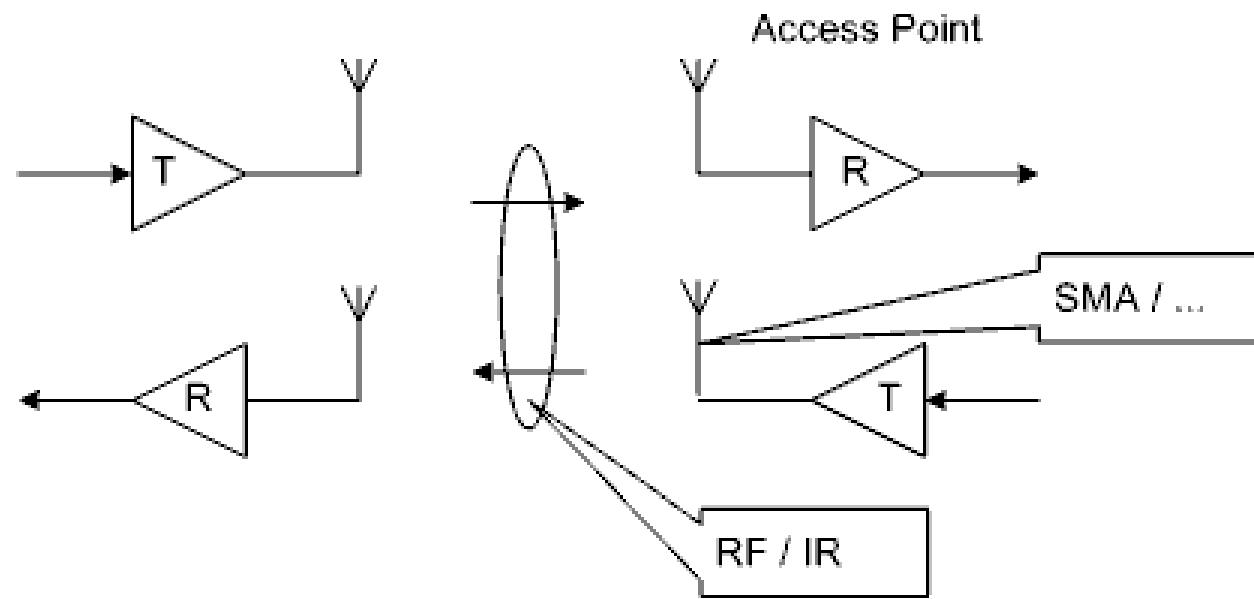
Но прежде нужно отметить, что кроме WLAN еще выделяют WWANs, WMANs, WPANs и другие беспроводные сети.

5.0.3.2

Теперь стандарты:

1. Satellite broadband -- спутниковая связь; LMDS и MMDS; скорость ориентировочно до 10 Mbit/s.
 2. Cellular broadband -- мобильная связь; поддержка доступна начиная со второго поколения мобильных телефонов (2G); 2G: GSM, CDMA и TDMA; 3G: EDGE, CDMA2000, HSPA+, UMTS; 4G: WiMAX и LTE; **5G (пока много вопросов)**.
 3. WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) -- для городских и глобальных сетей; 802.16; расстояние до 50 km; скорость до 1 Gbit/s.
 4. Bluetooth -- для персональных сетей; 802.15; три версии; расстояние (v3) до 100 м (long range), до 10 м (ordinary range), до 10 см (short range); скорость (v3) до 24 Mbit/s.
 5. NFC (Near-Field Communication) -- для широкого применения на очень коротких расстояниях; до 10 см; скорость до 0,5 Mbit/s.
- И другие: HomeRF, Wireless 1394, xG, ...

5.0.4.1



Пример структуры беспроводного сегмента

5.0.4.2

Практически используют внутренние и внешние антенны самых разных конструкций вплоть до ФАР (фазированных антенных решеток).

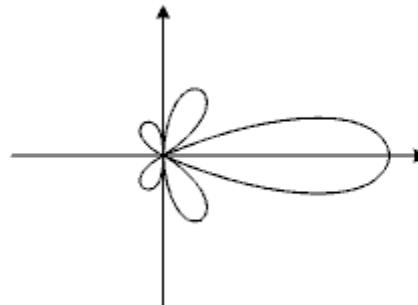
Например, применительно к SOHO, очень часто используют антенны Single Detachable Reverse SMA.



5.0.4.3

Антенна излучает энергию во всех направлениях, но неравномерно. Основным параметром, определяющим эффективность антенны в определенном направлении является диаграмма направленности -- зависимость мощности излучения от пространственных координат.

Примером может служить диаграмма направленности параболической антенны.



Направленная параболическая антенна обеспечивает усиление сигнала:

$$G = 4\pi A / \lambda^2, \text{ dB},$$

где A -- площадь; λ -- длина волны несущей.

5.0.4.4

Основой устойчивой связи является прямая видимость между передающей и принимающей антеннами.

При передаче в эфир, ключевую роль в поглощении волн в атмосфере играет вода в том или ином виде. Дождь, снег или туман могут существенно ухудшить качество связи.

В добавок, на более низких частотах влияют в основном грозовые разряды, а на более высоких -- космическое излучение.

Затухание радиоволн в беспрепятственной воздушной среде рассчитывают по упрощенной формуле:

$$L = 32,44 + 20\lg(F) + 20\lg(D), \text{ dB},$$

где F -- частота в GHz; D -- расстояние (в метрах).

5.0.4.5a

Plasterboard wall: 3dB

Glass wall with metal frame: 6dB

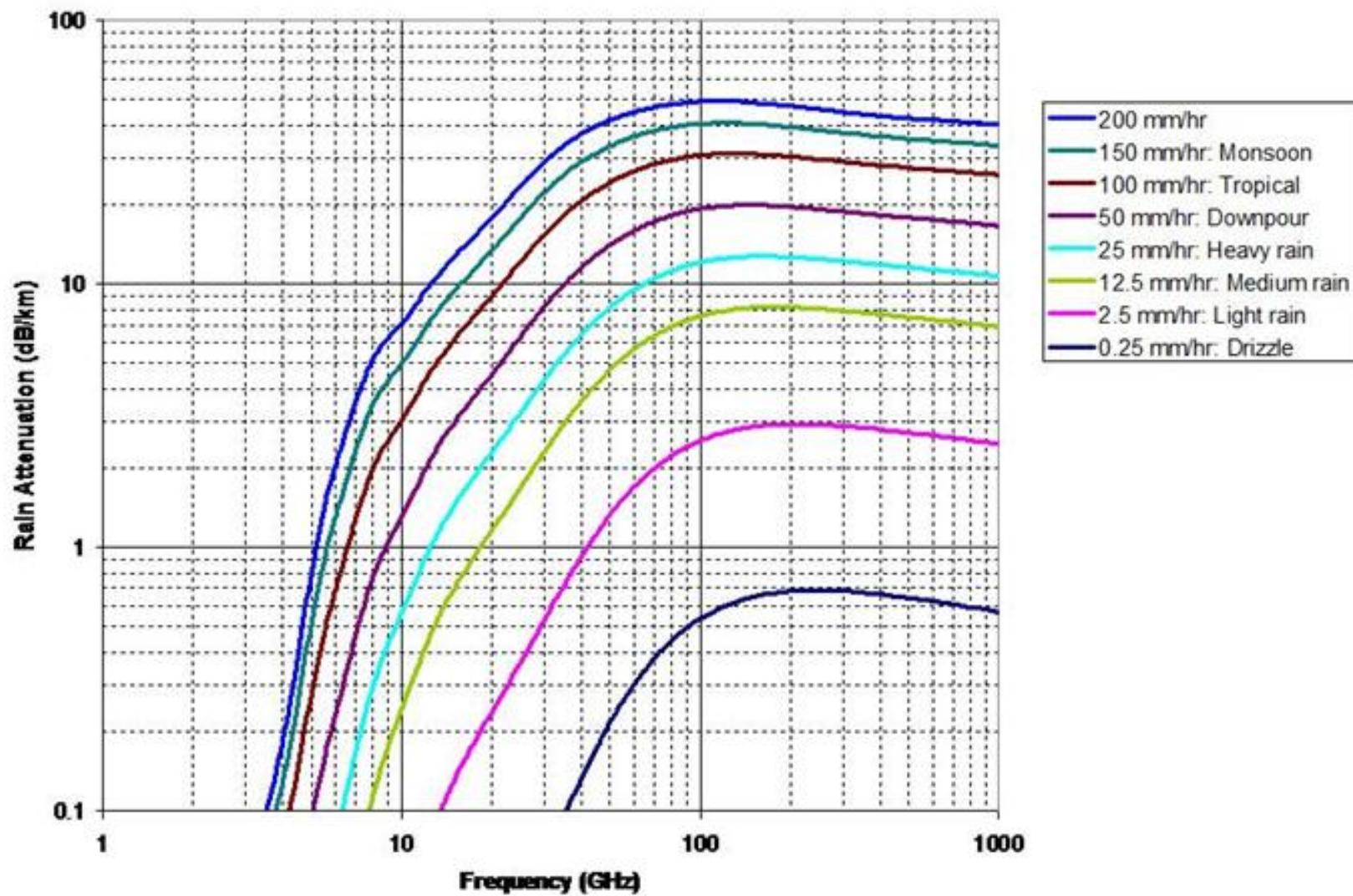
Cinderblock wall: 4dB

Office window: 3dB

Metal door: 6dB

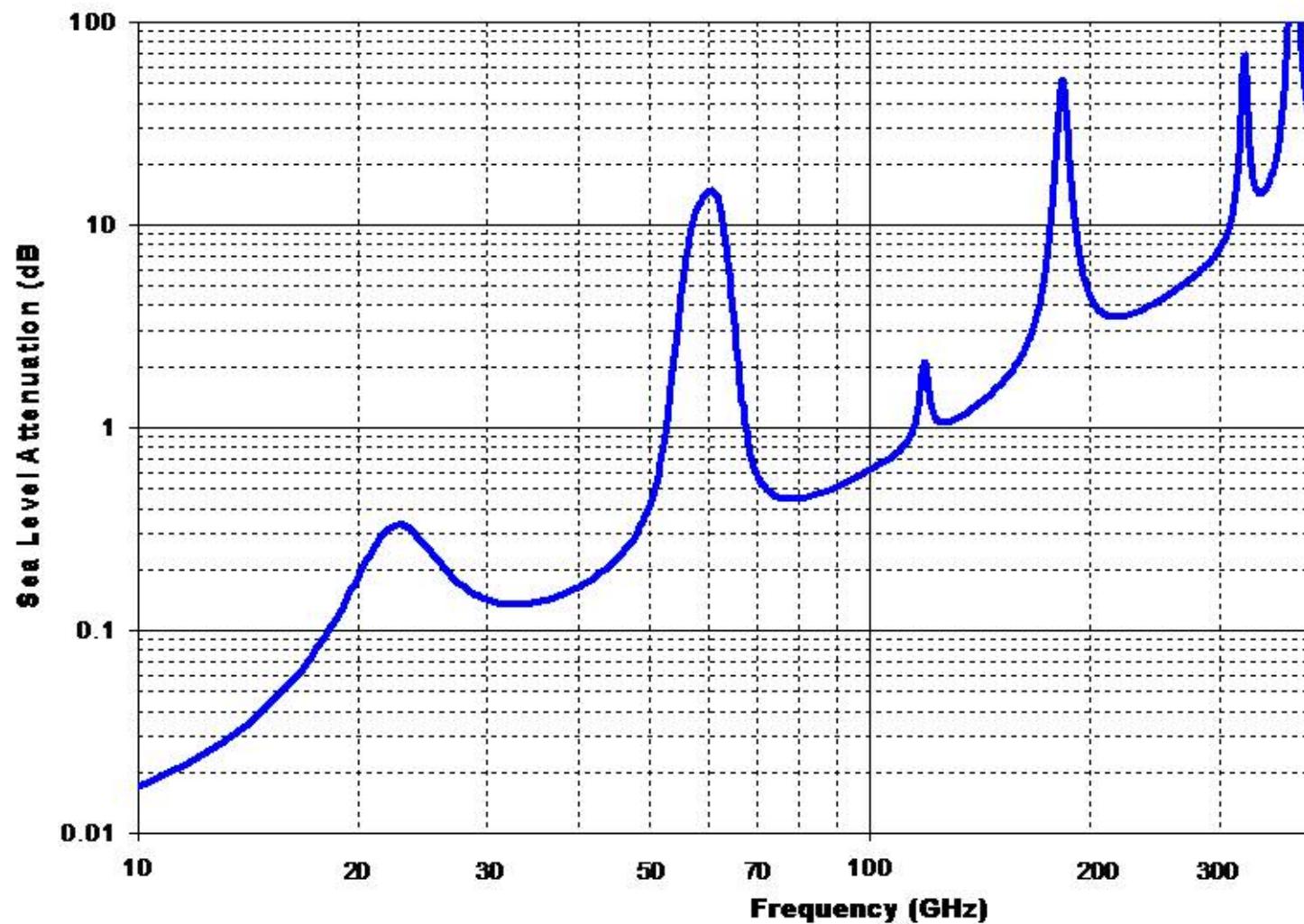
Metal door in brick wall: 12.4dB

5.0.4.5b



Влияние дождя [ITU-R]

5.0.4.5c



Влияние космического излучения [ITU-R]

5.0.4.6

Типичный Wi-Fi-передатчик имеет мощность около 20 dBm (≈ 200 mW) на всех используемых частотах, типичный приемник имеет чувствительность около -80 dBm (0,00000001 mW). Это обеспечивает запас по затуханию около 100 dB.

Типичная Wi-Fi-антенна дает дополнительное усиление до 6 dBi (если антенна подключена через кабель, то и в кабеле возникает небольшое затухание).

При применении Wi-Fi по назначению (мощность передатчиков ограничена стандартами) этого вполне достаточно.

При расчетах нужно также учитывать, что просто размещение подключаемого мобильного устройства относительно антенны уже может дать затухание около 5 dB.

(Пусть dBm и dBi вас не смущают.)

5.0.4.7

Рассчитайте, смогут ли взаимодействовать мобильное устройство и точка доступа Cisco AIR-CAP-2602I-E-K9 (технические характеристики приведены в документации) по стандарту 802.11g с максимальной производительностью, если они находятся в разных комнатах на расстоянии 40 м и разделены двумя кирпичными стенами средней толщины.

5.0.4.8

Еще одна серьезная проблема заключается в интерференции волн от разных передатчиков, особенно если априори необходимо обеспечить сплошное покрытие.

5.0.4.9

Как побороть интерференцию?

5.0.4.10

Кроме использования разных частот, весьма действенным способом борьбы с интерференцией является использование направленных антенн (beamforming).

5.0.5.1

Беспроводное сетевое оборудование делят на три типа:

1. Для домашних и офисных КС.
2. Для распределенных и городских КС.
3. Для беспроводных каналов связи.

Кроме того, в отличие от проводного сетевого оборудования, оно может быть не только indoor, а и outdoor.

5.0.5.2

Первым шагом в истории беспроводной компьютерной связи стали радиомодемы (выпускают до сих пор).



[ATC]

5.0.5.3

В дальнейшем, специфика беспроводных сетей привела к возникновению нового типа активного сетевого оборудования -- *точек доступа* (access points). Точки доступа предназначены для интеграции беспроводных и традиционных проводных сегментов.



[D-Link]

5.0.5.4

Классические точки доступа выполняют функции мостов.

Все современные точки доступа, по сути, являются беспроводными маршрутизаторами, то есть маршрутизаторами, в которых кроме проводных сетевых интерфейсов имеются беспроводные.

А вот под *беспроводными мостами* часто понимают беспроводные сегменты, связывающие проводные.

5.0.5.5

Точки доступа делят на два типа:

1. *Автономные* (autonomous, stand-alone, heavy) -- самодостаточны в смысле работоспособности и администрирования.
2. Так называемые *легковесные* (lightweight) -- администрируют централизованно посредством контроллеров -- WLCs (Wireless LAN Controllers).

Некоторые могут работать и в том, и в другом режиме.

5.0.5.6

WLCs позиционируют как средство для облегчения администрирования при массовом использовании точек доступа.

Попытки стандартизировать проприетарный протокол Cisco для взаимодействия между точками доступа и WLCs сначала привели к созданию LWAPP (LightWeight Access Point Protocol) (RFC 5412), который в настоящее время считают устаревшим.

Позже, статус официального стандарта был придан расширению LWAPP под названием CAPWAP (Control And Provisioning of Wireless Access Points) (RFC 5415), но и оно пока не приобрело широкую поддержку у производителей.

5.0.5.7

Более того, касательно SOHO, тенденции интеграции (например, поддержка USB) уже привели к возникновению еще одного типа оборудования -- медиацентров (media centers). Существующие медиацентры сочетают ряд функций: **access point, router, media player** и другие.



[Linksys]

5.0.5.8

Новые условные графические обозначения.



-- смартфон



-- точка доступа



-- беспроводной маршрутизатор



-- контроллер точек доступа



-- беспроводная СрПД

5.0.5.9

Производители беспроводного сетевого оборудования совпадают с производителями проводного.

5.0.6.1а

Топологически, в основу беспроводных сетей (**не только Wi-Fi**) положена так называемая сотовая структура.

В общем случае предполагают наличие точек доступа -- режим инфраструктуры (*infrastructure*).

СПД может состоять из одной либо нескольких *сотов* (*cells*).

Каждая сота управляет персональной точкой доступа.

Точка доступа и **ассоциированные с ней беспроводные пользовательские устройства** образуют базовую зону обслуживания -- BSS (Basic Service Set).

Точки доступа многосотовой сети взаимодействуют между собой посредством *распределенной системы* -- DS (Distribution System).

DS -- это обычная проводная инфраструктура второго уровня (**наполнение стандартами не регламентировано**).

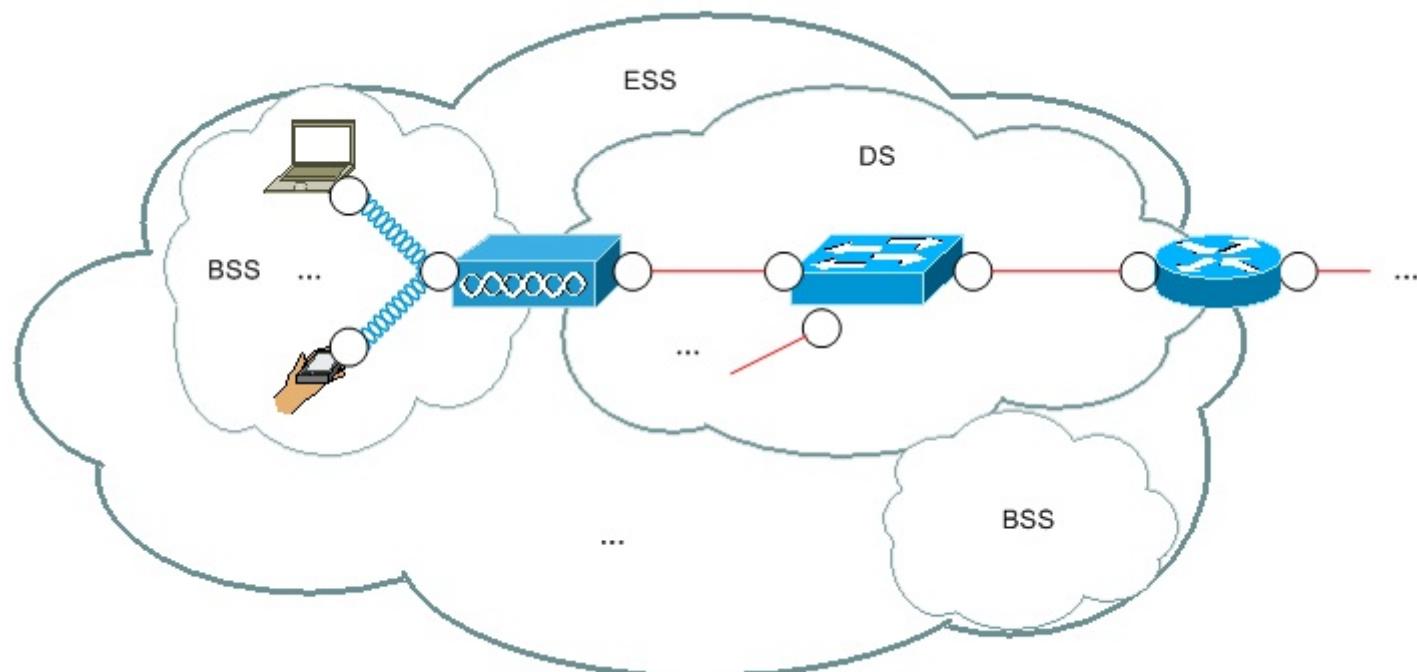
Совокупность BSSes и DS образует расширенную зону обслуживания -- ESS (Extended Service Set).

Из данной структуры закономерно «вытекает» что и находящиеся в одной соте беспроводные пользовательские устройства взаимодействуют посредством точки доступа.

5.0.6.1b

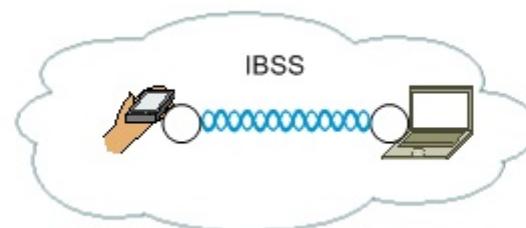
Для обеспечения возможности перемещения мобильных беспроводных пользовательских устройств из одних сот в другие предусмотрен роуминг (roaming, mobility -- в терминологии Cisco).

Таким образом, ESS -- представляет собой отдельную сущность беспроводного сегмента (в общем случае, устроенного сложно).



5.0.6.2

Если же два беспроводных пользовательских устройства взаимодействуют не посредством точки доступа, а напрямую -- режим ad hoc, то образуется независимая базовая зона обслуживания -- IBSS (Independent BSS).

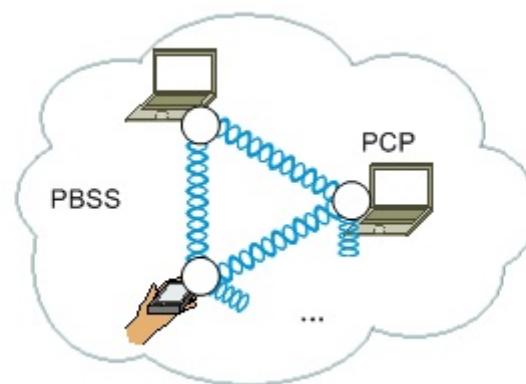


5.0.6.3

WiGig допускает использование еще одной (третьей) структуры -- режим DMG (Directional Multi-Gigabit).

При этом образуется *персональная базовая зона обслуживания* -- PBSS (Personal BSS), в которой одну из станций назначают *точкой контроля* -- PCP (PBSS Control Point).

Беспроводные пользовательские устройства взаимодействуют друг с другом напрямую, но под управлением точки контроля (предполагают наличие в каждом из устройств нескольких направленных антенн).



BSS, IBSS и PBSS являются проявлениями BSA (Basic Service Area), ESS соответствует ESA (Extended Service Area).

5.0.6.4

Отдельно взятые ESAs и BSAs идентифицируют с помощью SSIDs (Service Set IDentifiers) длиной до 32 байтов (набор недопустимых символов зависит от конкретной реализации).

От SSID (иногда называют ESSID) следует отличать BSSID.

Все соты имеют общий уникальный идентификатор SSID, плюс каждая из сот имеет собственный уникальный идентификатор BSSID.

SSID вкладывается в поле данных при формировании управляющего кадра как один из информационных элементов.

BSSID используется как один из четырех адресов в кадре Wi-Fi, тем самым позволяя распознавать соту (в BSS равен MAC-адресу беспроводного интерфейса обслуживающей соту точки доступа, в PBSS -- аналогично, а в IBSS случайно генерируется первым активным устройством).

5.0.6.5

Любая точка доступа должна сама взаимодействовать с беспроводными пользовательскими клиентами (как координатор).

Следовательно, беспроводной интерфейс либо беспроводные интерфейсы точки доступа должны иметь MAC-адреса.

DS не заменяет адреса SA и DA в транзитных кадрах, в том числе при преобразованиях из Wi-Fi в Ethernet и наоборот.

IBSS может быть составной частью DS -- как беспроводной мост (в передаваемых через такой мост кадрах установлены оба флага -- To DS и From DS).

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	RA = DA	TA = SA	BSSID	–
0	1	RA = DA	TA = BSSID	SA	–
1	0	RA = BSSID	TA = SA	DA	–
1	1	RA	TA	DA	SA

5.0.6.6

Концепция виланов вполне совместима с WLANs, правда с учетом особенностей.

Беспроводные виланы представлены различными SSIDs, существующими в рамках одной ESS (иногда приравнивают к multiple SSIDs).

При рассмотрении классического порта доступа подразумевают, что стационарная пользовательская станция имеет доступ только к одному физическому порту, однако «спрятать» от мобильной пользовательской станции доступные SSIDs невозможно.

Точка доступа должна ставить в соответствие беспроводные виланы (SSIDs) проводным (VIDs), следовательно, должна работать в режиме моста.

Для управления самой точкой доступа создают административный вилан. Вне административного вилана может быть создан отдельный вилан, посредством которого легковесная точка доступа взаимодействует с WLC.

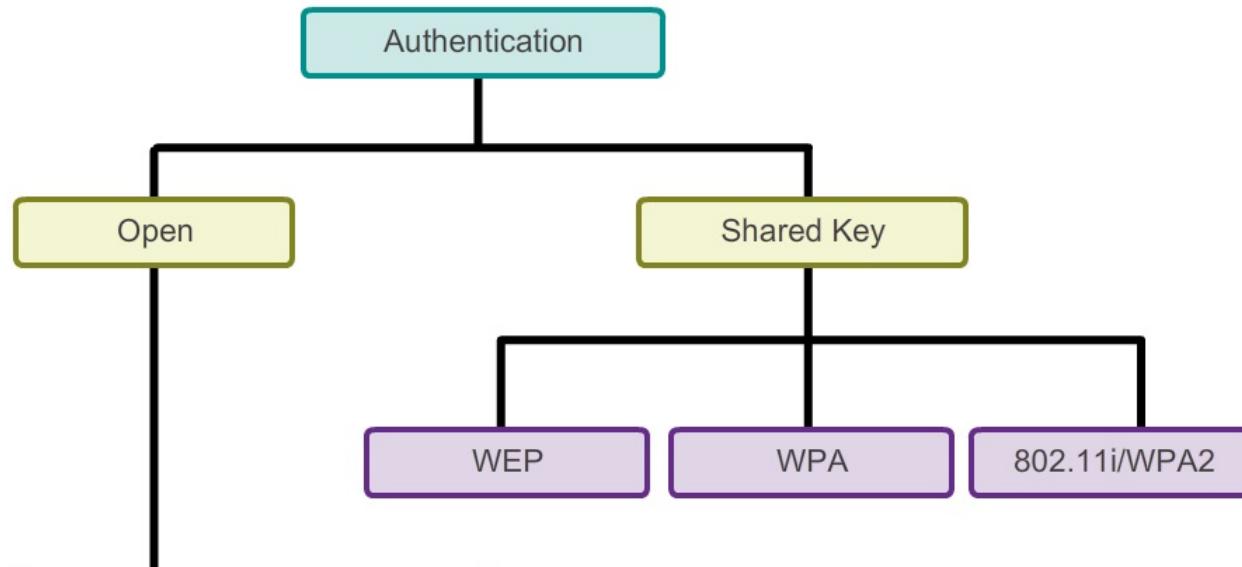
Расширения виланов 802.1X также применимы, в том числе для динамического включения пользователей в виланы.

5.0.7.1

Для обеспечения защиты информации предусмотрен комплекс мер, отчасти выраженный в WEP (Wired Equivalent Privacy) и WPA (Wi-Fi Protected Access).

Подробное рассмотрение безопасности Wi-Fi «выходит» за рамки дисциплины.

5.0.7.2



- No password required.
- Any willing client can associate.
- Ideal to provide free Internet access.

	WEP	WPA	802.11i/WPA2
Authentication Method	Pre-shared key	PSK or 802.1x	PSK or 802.1x
Encryption	RC4	TKIP	AES
Message Integrity	CRC-32	MIC	CCMP
Security	Weak	Strong	Stronger

Wi-Fi **security** [Cisco]

5.0.8.1а

Рекомендации по развертыванию WLAN:

1. На основании имеющихся предпосылок выбрать беспроводную технологию.
2. Определить наличие ранее установленных WLANs в непосредственной близости, определить зоны их покрытия и частоты.
3. Экспериментальным или другим способом определить необходимое количество точек доступа (лучше, чтобы каждая точка доступа обслуживала менее десяти мобильных или стационарных беспроводных пользовательских станций).
4. Окончательно определиться с беспроводной технологией.

5.0.8.1b

5. Установить точки доступа с учетом наилучшего покрытия и интерференции, подключить их к проводным сегментам (лучше обеспечить некоторое перекрытие BSSes).
6. Выполнить базовую настройку точек доступа (задать IP-адреса, частоты, идентификаторы зон обслуживания и так далее).
7. Настроить права доступа на точках доступа (если требуется, шифрование -- WPA2, аутентификацию -- локальную или RADIUS/TACACS, списки MAC-адресов и другое).
8. Настроить дополнительные сетевые сервисы на точках доступа (обычно DHCP или NAT).
9. Наконец, настроить пользовательские станции (в соответствии с предыдущими пунктами).

5.0.8.2

Необходимо уметь конфигурировать беспроводные сетевые адAPTERы и точки доступа.

5.0.9.1

По состоянию на октябрь 2021 года беспроводное оборудование Cisco делят на пять основных целевые категорий.

Wireless products

[View all wireless products](#). Or try the Cisco wireless selector to find the best products for your needs.

[Explore wireless selector](#)



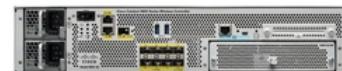
Indoor access points

Update your wireless network with Cisco Catalyst Wi-Fi 6 access points.



Outdoor and industrial access points

Deliver Wi-Fi 6 access to people, apps, and network resources outdoors.



Wireless controllers

Power your network with the Cisco AI/ML technology in our intelligent controllers.



Cloud-managed access points

Get fast deployment, simplified administration, and rich visibility with Cisco Meraki.



Controllerless access points

Cisco Embedded Wireless Controllers deliver enterprise-class access to small and midsize networks.

5.0.9.2

Приблизительно в 2000 году, в результате приобретения компании Aironet, Cisco начала производство точек доступа enterprise/industrial -- под торговой маркой Aironet, и постепенно нарастила номенклатуру изделий.

С 2003 по 2013 год Cisco владела компанией Linksys (торговая марка Linksys by Cisco), которой была отведена «львиная доля» направления SOHO/SMB. С 2010 года Cisco представлена своими моделями этого направления.

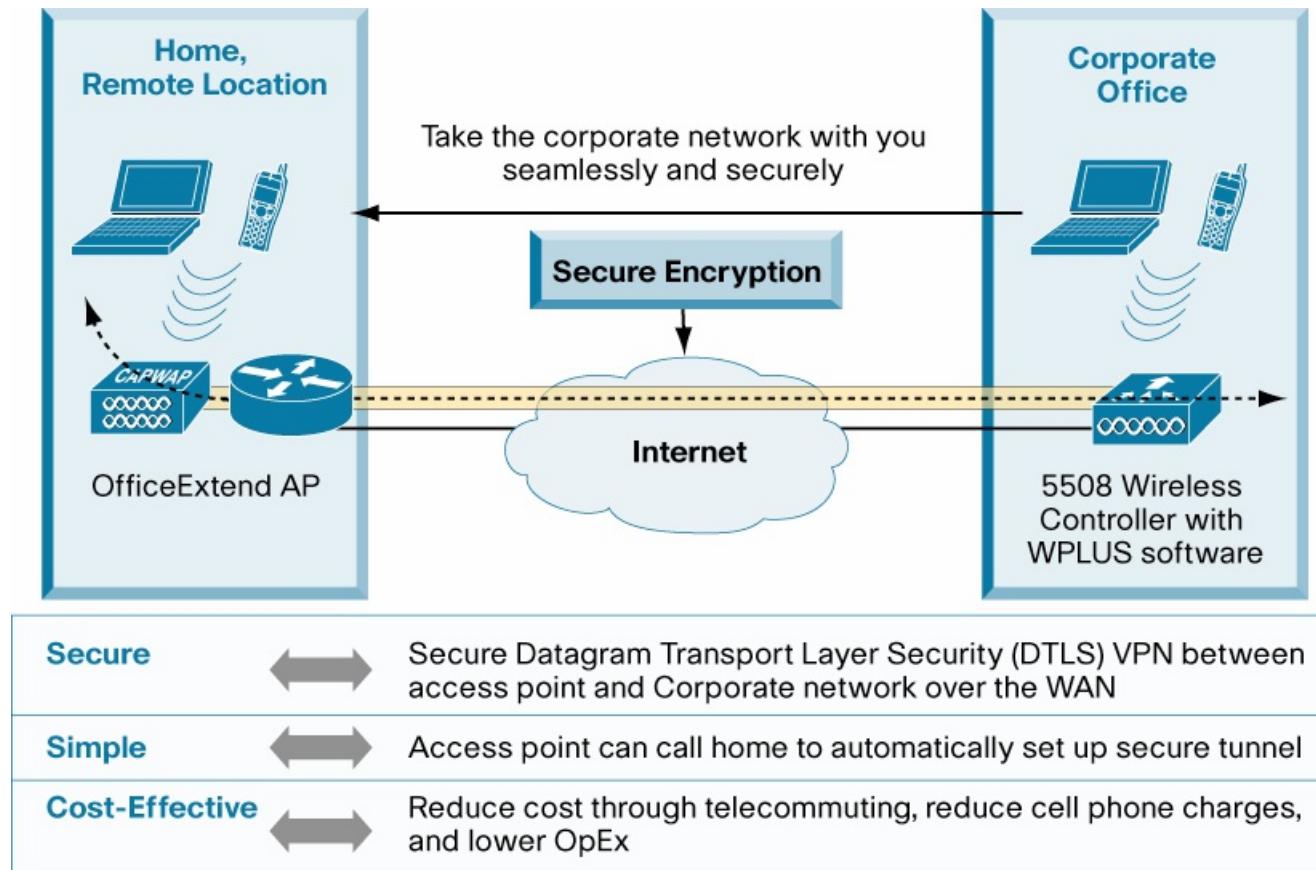
С 2005 года Cisco выпускает легковесные точки доступа и WLCs.

5.0.9.3

Технология Cisco CleanAir позволяет обеспечить интеллектуальное существование точки доступа с другими точками доступа в «агрессивном» окружении, решая проблему интерференции.

5.0.9.4

Технология Cisco OfficeExtend позволяет защищенным образом связать WLAN удаленного офиса и основную корпоративную WLAN.

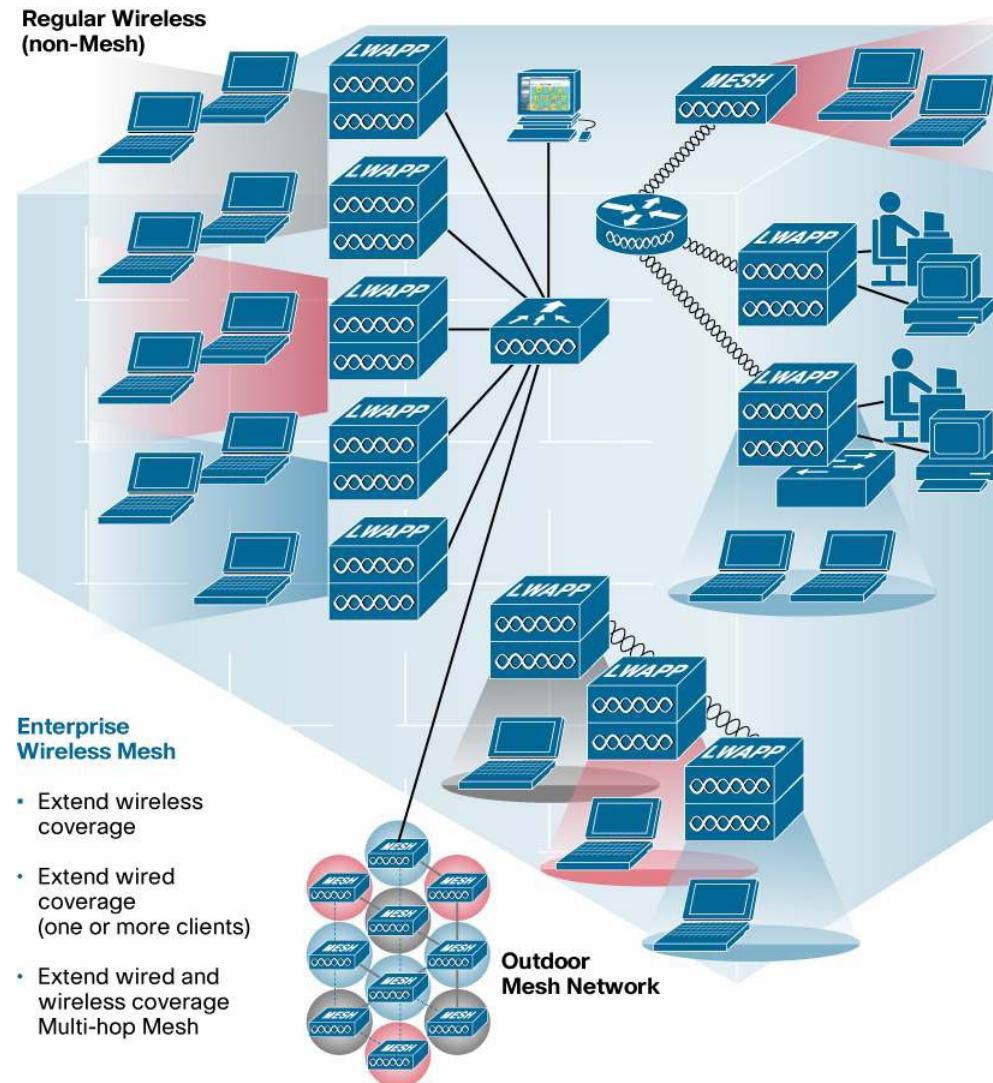


5.0.9.5a

Несколько особняком стоит оригинальная технология Cisco Wireless Mesh, позволяющая без усилий строить на базе расставленных в outdoor-окружении специальных точек доступа полнофункциональную сеть с произвольной физической топологией, динамически формировать каналы, находить ближайший WLC, оптимизировать трафик (своеобразная динамическая маршрутизация).

Для этих целей разработан новый протокол -- AWPP (Adaptive Wireless Path Protocol).

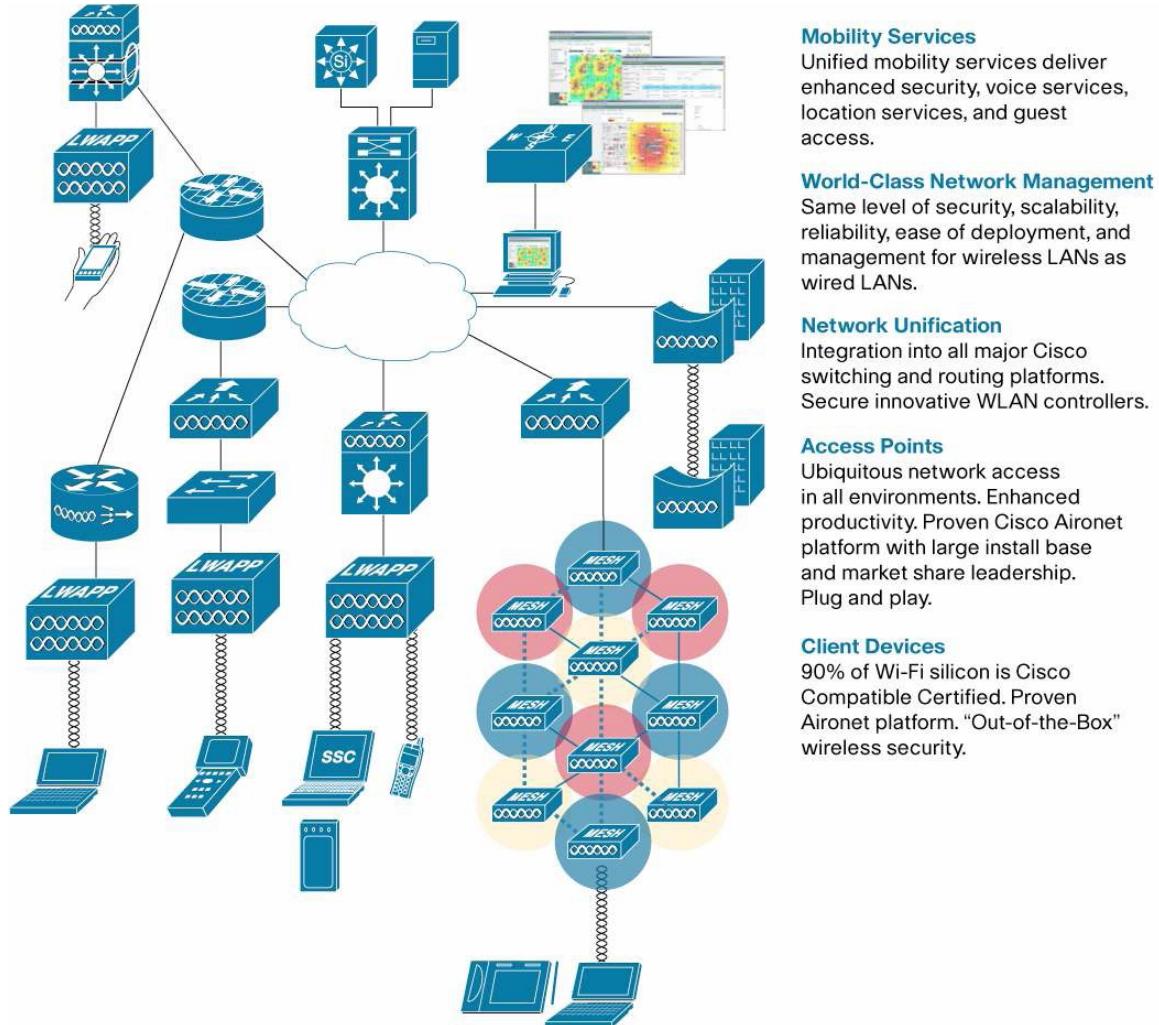
5.0.9.5b



[Cisco]

5.0.9.6

Все вышеперечисленное «собрано» в архитектуру Cisco Unified Wireless Network, состоящую из пяти основных компонентов.



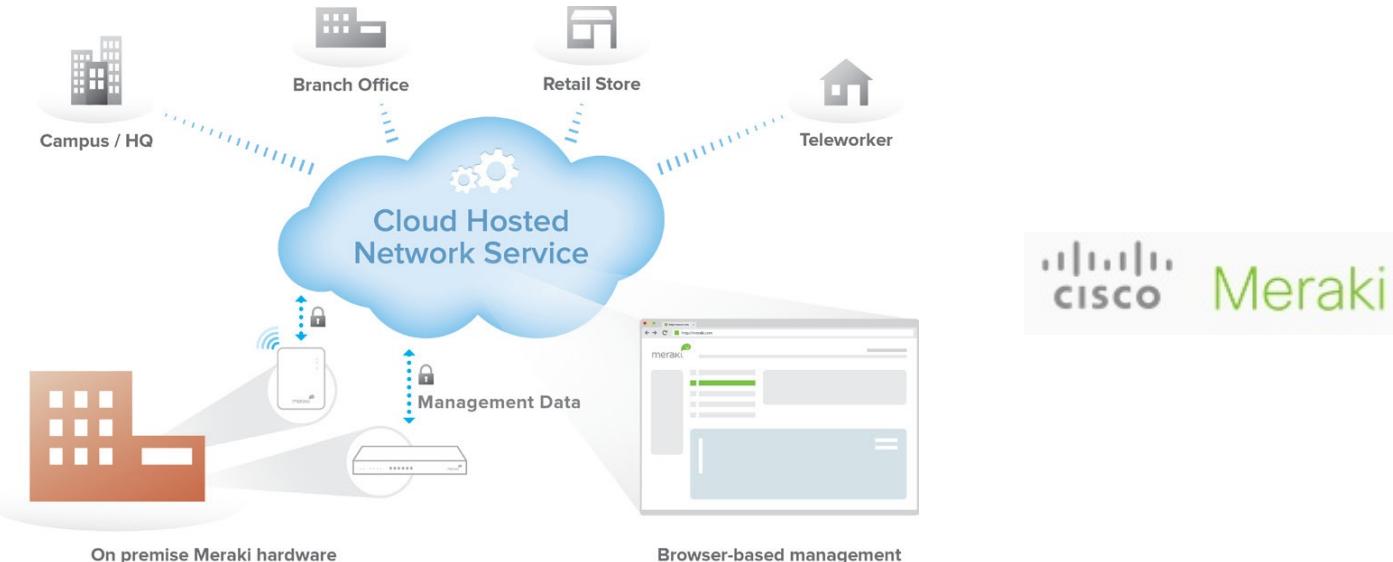
[Cisco]

5.0.9.7

Еще одним интересным направлением является интеграция беспроводных технологий с облачными. В 2012 году Cisco приобрела перспективную компанию Meraki.

Архитектура Cisco Meraki Cloud Managed включает три основных компонента:

1. MR Cloud Managed Wireless APs -- управляемые из облака беспроводные точки доступа серии MR.
2. Meraki Cloud Controller (MCC) -- контроллер на базе облака.
3. Web-based Dashboard -- панель управления на основе web-интерфейса.



5.0.9.8

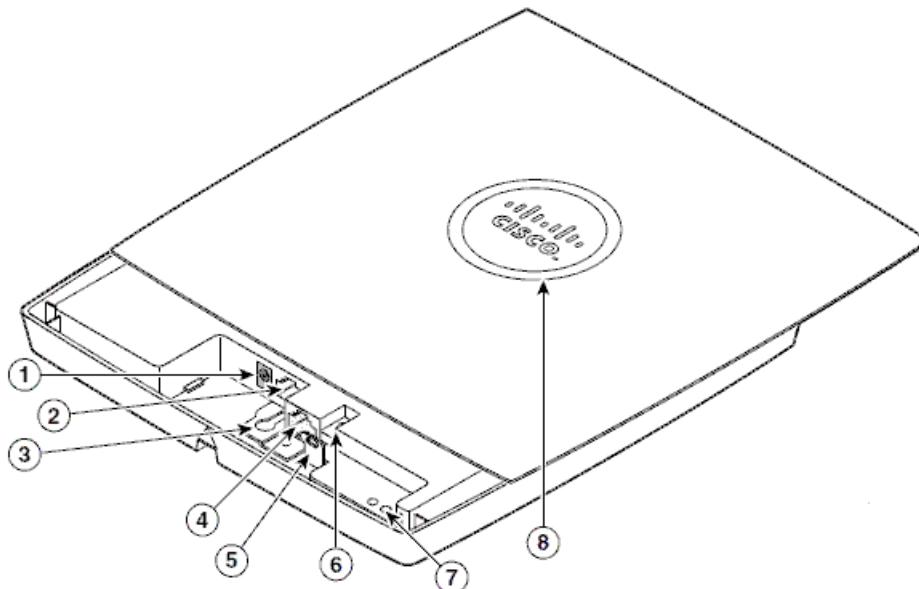
В настоящее время наибольший интерес представляют точки доступа серий: 1130AG (802.11a, 802.11g) (по-прежнему); 2600 (802.11n); 1850 и 2800 (802.11ac Wave 2); 9120 (802.11ax).

Большинство моделей доступны в нескольких исполнениях: автономном (как вариант, с интегрированным WLC) либо легковесном, с внутренними либо внешними антеннами (challenging environment).

Наиболее актуальные серии WLCs: 2500, 5500; 3500, 9800.

Программа CCNA пока еще ориентирована на точки доступа Linksys (подходят любые, так как web-интерфейс аналогичен).

5.0.9.9a



1	48-VDC power port	5	Padlock post
2	Ethernet port (RJ-45)	6	Mode button
3	Keyhole slot	7	Ethernet (E) and radio (R) LEDs
4	Console port (RJ-45)	8	Status LED

Aironet 1130AG [Cisco]

5.0.9.9b



Aironet 2600 [Cisco]

5.0.9.9c



Aironet 2800 [Cisco]

5.0.9.9d



Catalyst 9120 [Cisco]

5.0.9.9e



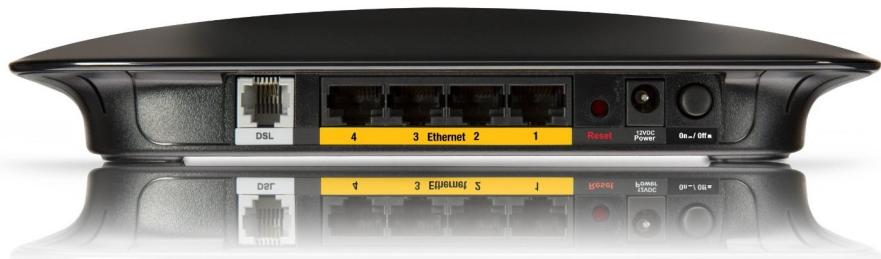
WLC 2504 [Cisco]

5.0.9.9f



WLCs Catalyst 9800-L [Cisco]

5.0.9.9g



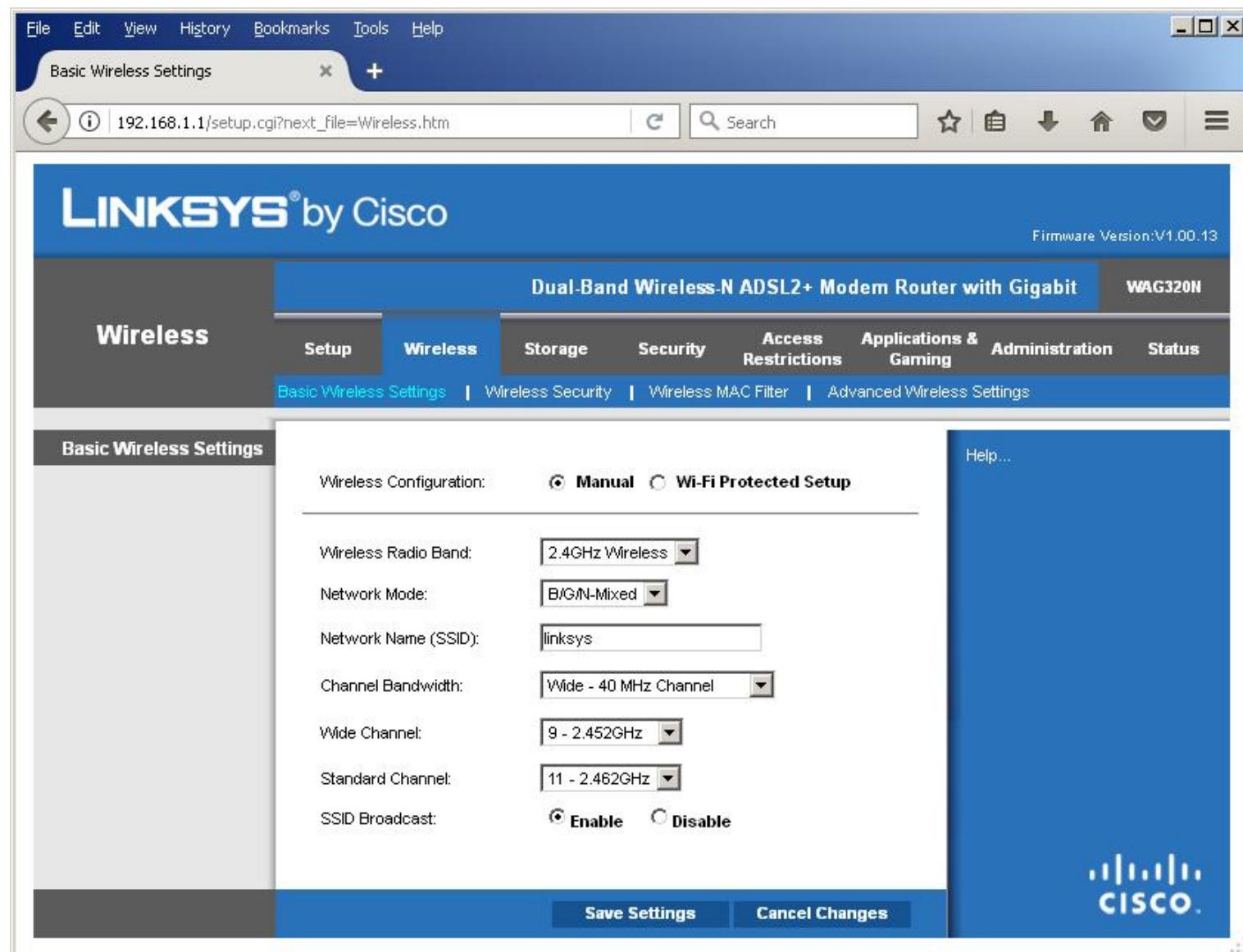
Linksys WAG120N [Linksys]

5.0.9.9h



Linksys WRT1900AC [Linksys]

5.0.9.10



Linksys web interface

5.0.9.11

Точки доступа Aironet могут использовать внешние антенны трех типов:

1. Omnidirectional -- всенаправленные (для применения на открытых пространствах).
2. Dipole -- дипольные (позволяют корректировать направленность).
3. Directional -- направленные (для применения в ограниченных пространствах), включая:
 - patch -- патч-антенны или, по-другому, полосковые (для применения при небольшой дальности).
 - yagi -- так называемые «яги» или, по-другому, «волновой канал» (для применения при повышенной дальности).

5.0.9.12



Aironet-антенны: omnidirectional, dipole, patch и yagi соответственно [Cisco]

5.0.9.13

Применительно к типовым помещениям с небольшой плотностью людей, у которых нет необходимости постоянно просматривать видео, Cisco рекомендует планировать покрытие из расчета: одна точка доступа на примерно 5000 ft^2 , что соответствует кругу с радиусом около 15 м или квадрату со стороной около 20 м. И состыковывать соты так, чтобы квадраты, вписанные в соответствующие покрытию отдельных точек доступа круги, примыкали друг к другу, что дает перекрытие 18 %.

5.0.9.14

Точки доступа и WLCs от Cisco конфигурируют как посредством web-интерфейса так и посредством CLI.

Специально для WLCs разработана AireOS, которая сильно отличается от классической IOS.

5.0.9.15

Screenshot of the Cisco WLC 2504 web interface showing the Summary page.

The page includes the following sections:

- Controller Summary:**

Management IP Address	192.168.1.1
Software Version	7.0.220.0
Field Recovery Image Version	7.6.101.1
License Level	base
System Name	Cisco_8e:ed:c4
Up Time	0 days, 0 hours, 5 minutes
System Time	Sat Jan 1 00:07:10 2000
Internal Temperature	+29 C
802.11a Network State	Enabled
802.11b/g Network State	Enabled
Local Mobility Group	mobility
CPU(s) Usage	0%
Individual CPU Usage	0%/0%, 0%/1%
Memory Usage	48%
- Access Point Summary:**

	Total	Up	Down	
802.11a/n Radios	0	0	0	Detail
802.11b/g/n Radios	0	0	0	Detail
All APs	0	0	0	Detail
- Rogue Summary:**

Active Rogue APs	0	Detail
Active Rogue Clients	0	Detail
Adhoc Rogues	0	Detail
Rogues on Wired Network	0	
- Top WLANs:** (Table with columns: Profile Name, # of Clients)
- Most Recent Traps:**
 - Controller time base status - Controller is out of sync with the central timebase.
 - Cold Start:
 - Link Up: Slot: 0 Port: 1 Admin Status: Enable Oper Status: Link Up
 - A RF group member has been added on 802.11a network on controller with IP 192.168.1.1(MAC 00:9e:1e)
 - A RF group member has been added on 802.11b/g network on controller with IP 192.168.1.1(MAC 00:9e:1f)

[View All](#)
- This page refreshes every 30 seconds.

WLC 2504 web interface

5.0.9.16

Так как точка доступа Aironet сочетает в себе и беспроводной маршрутизатор, входящие в ее состав беспроводные интерфейсы являются L3-интерфейсами.

Причем на современной точке доступа представлены парой: `dot11radio 0 (2,4 GHz)` и `dot11radio 1 (5 GHz)`.

5.0.9.17

WLAN создают созданием SSID.

Для SSID должна быть задана схема аутентификации.

SSID нужно привязать к одному либо обоим беспроводным интерфейсам (с одной и той же схемой аутентификации).

При использовании виланов, SSID также нужно привязать к одному из виланов.

5.0.9.18

На точке доступа часто создают bridge-groups.

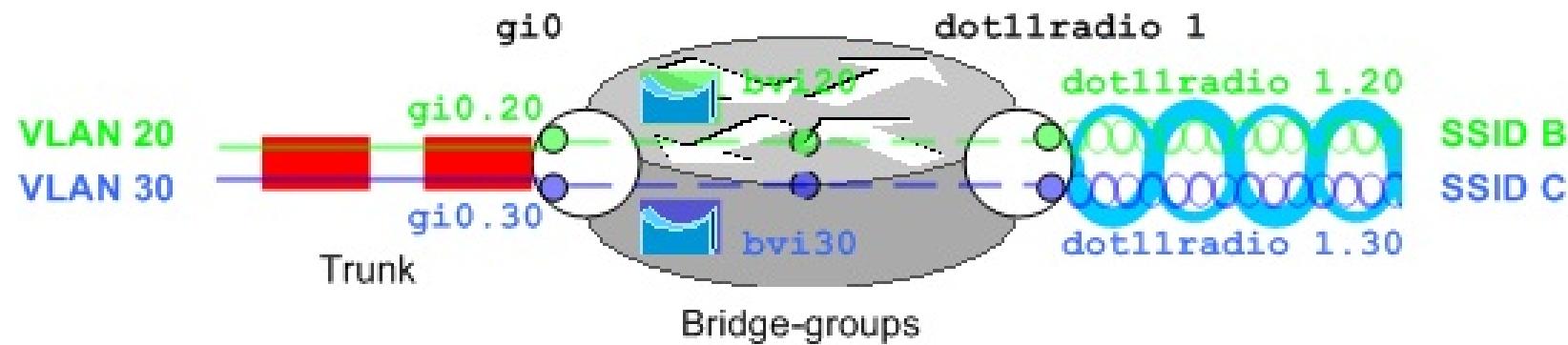
Bridge-group позволяет связать подключенные к виленам (как правило, с одинаковыми VIDs) подинтерфейсы двух либо более разных сетевых интерфейсов в рамках маршрутизатора, то есть превратить маршрутизатор в мост между соответствующими виртуальными сегментами.

Bridge-group можно создать и на основе «цельных» сетевых интерфейсов.

Bridge-groups изолированы друг от друга и соответствуют виртуальным сетевым интерфейсам BVI (Bridge group Virtual Interfaces). При этом, если точку доступа нужно адресовать в рамках соответствующего виlena, то IP-адрес нужно присвоить не какому-либо подинтерфейсу, а BVI.

BVI можно создать только после включения IRB (Integrated Routing and Bridging) -- командой `bridge irb`. Более того, маршрутизацию в отношении BVI (а значит и между bridge-groups) разрешают особым образом -- командой `bridge ... route ip` с указанием номера bridge-group.

5.0.9.19



Cisco bridge-groups

5.0.9.20

```
APa0ec.f9c2.fe7e#dot11 ssid WLAN_for_Students
APa0ec.f9c2.fe7e(config-ssid)#vlan 20
APa0ec.f9c2.fe7e(config-ssid)#authentication open
APa0ec.f9c2.fe7e(config-ssid)#authentication key-management wpa version 2
APa0ec.f9c2.fe7e(config-ssid)#wpa-psk ascii My_Key_20
APa0ec.f9c2.fe7e(config-ssid)#exit

APa0ec.f9c2.fe7e(config)#interface fa0
APa0ec.f9c2.fe7e(config-if)#bridge-group 1
APa0ec.f9c2.fe7e(config-if)#exit

APa0ec.f9c2.fe7e(config)#interface dot11radio 0
APa0ec.f9c2.fe7e(config-if)#ssid WLAN_for_Students
APa0ec.f9c2.fe7e(config-if)#bridge-group 1
APa0ec.f9c2.fe7e(config-if)#exit

APa0ec.f9c2.fe7e(config)#interface fa0.20
APa0ec.f9c2.fe7e(config-subif)#encapsulation dot1q 20
APa0ec.f9c2.fe7e(config-subif)#bridge-group 20
APa0ec.f9c2.fe7e(config-subif)#exit

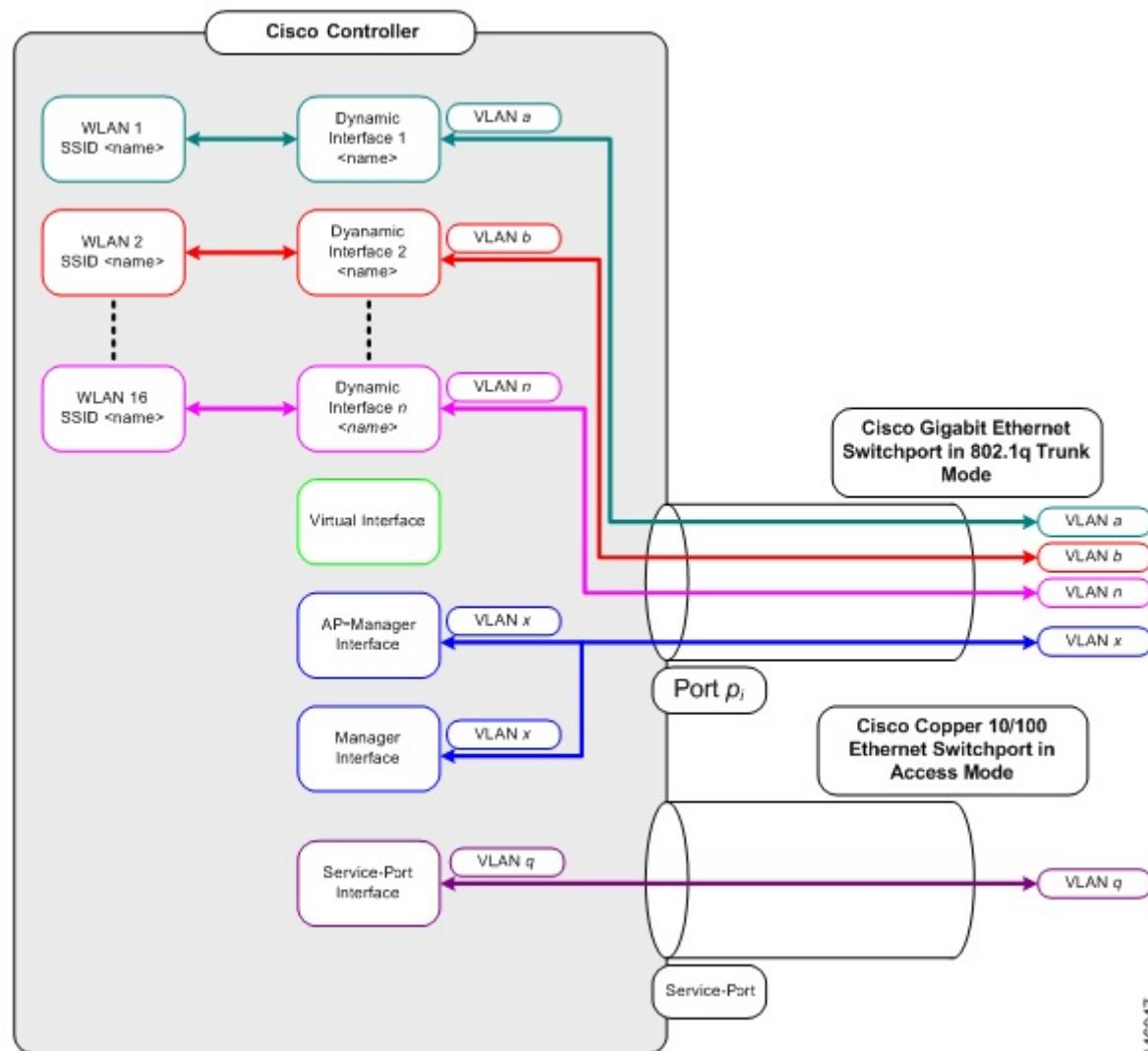
APa0ec.f9c2.fe7e(config)#interface dot11radio 0.20
APa0ec.f9c2.fe7e(config-subif)#encapsulation dot1q 20
APa0ec.f9c2.fe7e(config-subif)#bridge-group 20
APa0ec.f9c2.fe7e(config-subif)#exit

APa0ec.f9c2.fe7e(config)#bridge irb

APa0ec.f9c2.fe7e(config)#interface bvi1
APa0ec.f9c2.fe7e(config-if)#ip address 10.0.0.10 255.255.255.0
APa0ec.f9c2.fe7e(config-if)#exit

APa0ec.f9c2.fe7e(config)#bridge 1 route ip
```

5.0.9.21



146947

Сетевые интерфейсы WLC 2504 [Cisco]

