



Нов български университет

Интегрални схеми в безжичните локални мрежи

Доц. Д-р Емил Стоилов

Департамент по Информатика на НБУ

София, Януари 2016

Съдържание

1. Еволюция на безжичните технологии в локалните мрежи.	3
2. Стандарти в безжичните локални мрежи - IEEE 802.11	4
2.1 IEEE 802.11b	5
2.2 IEEE 802.11a	5
2.3 IEEE 802.11g	6
2.4 IEEE 802.11n	6
2.5 IEEE 802.11ac	7
3. Набори от интегрирани микросхеми предназначени за WLAN	7
3.1 Компоненти на чипсетите за безжични мрежи	7
3.1.1 Контролер за достъп до преносната среда (MAC) и бейсбенд процесор (BBP)	8
3.1.2 Радиочестотен приемо-предавател (Radio Frequency Transceiver)	8
3.2 Производители на чипсетове (Chipset Makers)	8
4. Чипсетове по стандарта 802.11ac	10
4.1 Чипсетове на фирмата Broadcom	10
4.1.1 Чипсетове за клиентски устройства (5G WiFi 802.11ac Client)	10
4.1.2 Чипсетове за инфраструктурни устройства (5G WiFi 802.11ac Gigabit Transceiver)	10
4.2 Безжични адаптери на Intel	10
4.2.1 Intel Dual Band Wireless-AC 8260	10
4.2.2 Intel Dual Band Wireless-AC 3165	10
4.2.3 Intel Wireless-AC 8x70	10
4.3 Чипсетове на фирмата MediaTek	11
4.3.1 MT7612E	11
4.3.2 MT7615	11
4.4 Чипсетове на фирмата Qualcomm Atheros	11
4.4.1 QCA9880	11
4.4.2 QCA9980	11
4.5 Чипсетове на фирмата Realtek	12
4.6 Чипсетове на фирмата Quantenna Communications	12
4.6.1 QSR1000	12
4.6.2 QSR10G	12
4.7 Чипсетове на Cisco	13
5. Заключение	13

Напоследък сме свидетели на невероятно бързото развитие и внедряване на радиочестотните (Radio Frequency – RF) технологии в локалните и глобални компютърни мрежи. Различни производители разработиха множество специализирани интегрални схеми за приложение в безжичните локални мрежи (Wireless Local Area Networks – WLAN). Целта на този доклад е да се направи един преглед на най-използваните такива схеми като се сравнят техните характеристики. Това ще улесни специалистите в процеса на проектирането на WLAN. Обикновените потребители на WLAN също могат да използват тази информация при закупуване на устройства с вградени безжични Wi-Fi възможности.

1. Еволюция на безжичните технологии в локалните мрежи

Wi-Fi (също така изписвано като Wifi или WiFi) е популярна технология, която позволява електронните устройства да се свързват помежду си безжично, използвайки радиовълни. Тази технология се използва в безжичните локални мрежи, които са базирани на спецификациите IEEE 802.11. Първоначално тя е разработена, за да се използва от преносимите компютри в локалните мрежи, но сега все повече се среща и в други приложения, включително за връзка към Интернет, за телефония по IP протокол (VoIP), базово свързване на потребителска електроника, като телевизори, DVD устройства или цифрови камери. Wi-Fi и Wi-Fi CERTIFIED са регистрирани търговски марки на Wi-Fi Alliance – търговската организация, която тества и сертифицира оборудването съгласно стандартите от серията 802.11. В Таблица 1 е показан процеса на развитие на Wi-Fi технологията.

Генерация	Година	Стандарт	Скорост	Използване
1	1997	802.11	2 Mbps	Свързване с Интернет
2	1999	802.11b	11 Mbps	Ефективно използване на електронна поща
3	2002	802.11g/a	54 Mbps	Разнообразен достъп до Web приложения
4	2007	802.11n	До 600 Mbps, разработените приложения обикновено са до 150 Mbps, увеличен обхват получаваме с използване на MIMO	Видео приложения със средна резолюция, висока производителност
5	2012	802.11ac	До 3.6 Gbps, Първите приложения < 1.8 Gbps	Производителност сравнима с кабелно видео разпространение

Таблица 1 Еволюция на Wi-Fi технологията

Използваното в таблицата съкращение MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) представлява метод за увеличение на производителността на радиовръзката като се използват множество антени за излъчване и приемане. Това е теоретичното възприятие на този термин. Сега под MIMO обикновено се разбира практически метод за изпращане и получаване едновременно на повече от един сигнал с данни в един и същи радиоканал като се използва многосочно разпространение (multipath propagation). Това означава, че не е толкова важен физическият брой на антените, колкото възможността за реализиране на независими пространствени потоци (spatial streams) от данни. В спецификациите на 802.11ac съществува и възможност за предаване към и приемане от много потребители едновременно (вместо само към един потребител в определен момент от време). Тази технология се нарича MU-MIMO (Multiuser MIMO). Днес 802.11ac поддържа до 3 потока от данни, като е предвидено в бъдеще броят на потоците да се увеличи до 8. Броят на предаващите и приемащите антени и конфигурацията на потоците се отбелязват например

като 1x1 (един поток за предаване и един за приемане), 2x2 (два потока за предаване и два потока за приемане), 3x3 и т.н. В Таблица 2 са показани такива конфигурации.

Конфигурация Configuration	Максимална скорост за 802.11n Max Speed for 802.11n	Максимална скорост за 802.11ac Max Speed for 802.11ac
1x1	150 Mbps	433 Mbps
2x2	300 Mbps	867 Mbps
3x3	450 Mbps	1.3 Gbps

Таблица 2 Максимални скорости в зависимост от конфигурацията

2. Стандарти в безжичните локални мрежи – IEEE 802.11

Нормативните стандарти при безжичните технологии съществуват, за да ни напътстват и да служат като отправна точка за оперативна съвместимост и ефективност. Не забравяйте, че стандартите са просто насоки и не са задължителни. Поради тази причина хората, държавите и промишлените отрасли могат да избират дали да се придържат към тях.

Стандартите са важни поради няколко причини, включително следните:

- **Оперативна съвместимост.** Стандартите помагат за насърчаване на оперативната съвместимост между устройствата, произведени от различни производители. Спазвайки определен стандарт, всеки производител може да гарантира, че неговите устройства ще могат да работят заедно с устройствата създадени от други производители.
- **Ефективност.** Инженерите могат да използват повторно съществуващи решения, които се опират на определен стандарт, вместо да търсят нови индивидуални решения. Идеята е, че стандартът се разработва веднъж, но може да се използва в много случаи и с много изделия.
- **Предотвратяване на привързването към една фирма.** Стандартите осигуряват на потребителите свободата да избират и купуват различни продукти, които те харесват, което спомага за преодоляване на зависимостта от технологичните решения на конкретна фирма. Когато решенията са проектирани в съответствие със стандартите и спецификациите, външни фирми могат да осигурят постоянната подкрепа или допълващи решения, когато първоначалния доставчик вече не е в състояние или не желае да поддържа своите продукти.

Фамилията IEEE 802.11 включва различни отделни стандарти, които покриват безжичните мрежови технологии. Тези стандарти непрекъснато се адаптират и развиват, за да отговорят по-пълно на технологичните нужди. В Таблица 3 са показани някои от основните IEEE 802.11 стандарти.

Стандарт (Standard)	Средна честота (Center Frequency)	Честотна лента Bandwidth (MHz)	Скорост в поток Stream Data Rates (Mbps)	MIMO потоци MIMO streams	Модулация (Modulation)	Разстояния (m) (Ranges)	
						Вътре (Indoor)	Навън (Outdoor)
802.11a	5 GHz	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	N/A	OFDM	35	120
802.11b	2.4 GHz	22	1, 2, 5.5, 11	N/A	DSSS	35	140
802.11g	2.4 GHz	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	N/A	OFDM	38	140

802.11n	2.4 GHz	20	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	4	OFDM	70	250
802.11n	5 GHz	40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150	4	OFDM	70	250
802.11ac	5 GHz	20	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2, 86.7, 96.3	8	OFDM	35	115
802.11ac	5 GHz	40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150, 180, 200	8	OFDM	35	115
802.11ac	5 GHz	80	32.5, 65, 97.5, 130, 195, 260, 292.5, 325, 390, 433.3	8	OFDM	35	115
802.11ac	5 GHz	160	65, 130, 195, 260, 390, 520, 585, 650, 780, 866.7	8	OFDM	35	115

Таблица 3 Основни характеристики на IEEE 802.11 стандартите

2.1 IEEE 802.11b

Този стандарт се появи в момента, когато отношението към WLAN технологията започна да става много сериозно. IEEE 802.11b определя максимална скорост на предаване от 11 Mbps. Това на времето си представляваше драматичен напредък, тъй като съществуващия тогава стандарт IEEE 802.11 се ограничаваше до 2 Mbps. Той използва Direct-sequence spread spectrum (DSSS) като базова модулационна схема. Стандартът определя честотната лента в 2.4 GHz диапазон, следователно мрежовите устройства са подложени на смущения от страна на други устройства, работещи в същия диапазон (като микровълнови печки и безжични телефони).

Да отбележим, че максималните скорости на предаване, специфицирани във всеки от IEEE 802.11 стандартите, се постигат само на зелено. На зелено е инженерен жаргон, който описва почти перфектна среда. На зелено за безжична среда означава, че нямаме никакви ограничения, наложени от съществуващите безжични мрежи или други източници на смущения.

2.2 IEEE 802.11a

IEEE 802.11a определя за използване честотите в 5 GHz диапазон. Той използва същата Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) модулация, която се използва в стандарта IEEE 802.11g (който ще разгледаме след малко). Максималната скорост на предаване е 54 Mbps.

Тъй като IEEE 802.11a не използва претъпкания 2.4 GHz диапазон, той е по-малко податлив на смущения. Въпреки това, използването на по-висока честота има и някои недостатъци: целият обхват е намален, радиосигналите се поглъщат по-лесно и следователно имаме по-

големи загуби при по-малката дължина на вълната.

Макар устройствата базирани на IEEE 802.11a да могат да съжителстват успешно с другите безжични устройства функциониращи в 2.4 GHz диапазон, то тези устройства не могат да комуникират едно с друго. Те работят на различни честоти и използват различни модулационни техники.

Устройствата работещи по този стандарт не са така разпространени, както устройствата използващи другите стандарти.

2.3 IEEE 802.11g

Стандартът IEEE 802.11g определя за използване честотите на 2.4 GHz диапазон. Максималната скорост на предаване е фиксирана на 54 Mbps. Използва се вариант на OFDM модулационна схема, а също така и DSSS модулация.

Хардуерът, базиран на IEEE 802.11g стандарта е обратно съвместим с хардуера на IEEE 802.11b стандарта. Тази обратна съвместимост е голямо предимство, тъй като дава сигурност на потребителите и системните интегратори, че техните инвестиции в IEEE 802.11b хардуер няма да пропаднат.

Тъй като поддържането на обратна съвместимост със съществуващите 802.11b устройства е основен ръководен принцип на дизайна и спецификациите на 802.11g, тук са дефинирани три различни режима на работата на устройствата:

- **Само g режим (g only mode).** Клиентите с устройства по IEEE 802.11b не участват в комуникацията. Устройствата, работещи в този режим, използват само OFDM модулационна схема и са в състояние да поддържат по-висока производителност, отколкото би била възможна, ако работеха в някой от другите режими.
- **Само b режим (b only mode).** Само безжични клиенти, които използват DSSS модулация участват в комуникацията. Това е нещо като понижение (downgrade) на 802.11g устройствата, тъй като те са принудени да използват по-ниски скорости на предаване. Общата пропускателна способност в този режим е приблизително равна на тази на най-бавните устройства – в този случай на 802.11b устройствата – и следователно трябва да се очаква скорост на предаване 11 Mbps или по-малка.
- **Режим b и g (b and g mode).** При този режим всички устройства работещи по стандарт 802.11g или 802.11b участват в комуникацията. Тук обаче съществува правило, което определя поведението на участниците. Това правило се нарича „защитен механизъм” (“protection mechanism”). То оптимизира производителността на безжичната мрежа при едновременна работа на 802.11b и 802.11g клиенти.

Подобно на другия безжичен хардуер, който функционира в претъпкания 2.4 GHz диапазон, 802.11g устройствата страдат от смущенията, предизвикани от другите устройства.

2.4 IEEE 802.11n

IEEE 802.11n бързо набра широко одобрение. Много производители на комуникационно оборудване включват множество продукти в своите портфейли, които прилагат стандарта в една или друга форма. Стандартът дефинира действията в честотните обхвати на 2.4 и 5 GHz. Той предлага максимални скорости до 600 Mbps. Използва схема на OFDM-базирана модулация.

IEEE 802.11n предлага цялостно подобрене в сравнение с предходните стандарти. Една значителна промяна, която спомага за тези подобрения, е употребата на MIMO

технологията. IEEE 802.11n прилага също така и свързване на каналите (bonding), при което се използват два неприпокриващи се и съседни канала в 5 GHz честотна лента за RF комуникация. Това е известно също като използване на 40 MHz широчина на канала, тъй като са комбинирани два канала, всеки със широчина от 20 MHz.

В стандарта са вградени няколко механизма, с помощта на които едновременно се обслужват безжични устройства работещи по стандартите 802.11n, 802.11b, 802.11g, и 802.11a. Един такъв механизъм позволява на 802.11n устройствата да вградят предаването си вътре в предаванията на 802.11g или 802.11a. Това напълно удовлетворява устройствата по 802.11g и 802.11a, защото изглежда така, като че ли всички говорят на един и същи език и предават на максималната си възможна скорост.

Значителните подобрения в производителността на 802.11n го правят привлекателен за използване в такива приложения като поточно видео, безжичен пренос на глас по IP (VoIP), видеоконферентни връзки и др.

2.5 IEEE 802.11ac

Този стандарт беше разработен в периода от 2011 до 2013 година и одобрен през януари 2014 година. Той предоставя висока пропускателна способност в безжичните локални мрежи в диапазона на 5 GHz. От тези спецификации се очаква постигане на обща пропускателна способност в WLAN не по-малко от 1 Gbps, а на единична връзка - не по-малко от 500 Mbps. Това се постига с разширяване на възможностите на концепциите използвани вече в стандарта 802.11n, а именно като се разшири честотната лента до 160 MHz и като се увеличи броя на MIMO потоците до 8. Освен това има възможност за осъществяване на връзка надолу към множество MIMO потребители (до четири клиента)(т.е използване на MU-MIMO) и прилагане на модулация с висока плътност (до 256-QAM).

3. Набори от интегрирани микросхеми предназначени за WLAN

В света на информационните технологии чипсетът (chipset) е в известна степен абстрактно понятие – той винаги присъства, но може да бъде трудно да се посочи или да му се даде точно определение. Въпреки че ние го смятаме за самостоятелен хардуерен компонент, в действителност той е група от специализирани интегрални схеми, които са проектирани да работят заедно за изпълнение на конкретни задачи. За да стане въпросът още по-заплетен, чипсетът може да има различни значения в зависимост от индустрията, в която терминът се използва (например в графичните контролери, в звуковите карти, или пък в мрежовите комуникации).

Тук ще разгледаме чипсетите използвани в областта на безжичните мрежови комуникации. Тези чипсетове се използват главно за анализиране, интерпретиране и манипулиране на радиосигнали, известно също и като обработка на сигнали (signal processing). По-специално, ние се интересуваме от чипсетове, които прилагат IEEE 802.11 и други безжични стандарти.

3.1 Компоненти на чипсетите за безжични мрежи

Чипсетът се състои от няколко отделни компоненти, които работят в синхрон, и така се създава илюзията, че това е едно устройство. Всъщност повечето чипсетове, използвани в областта на безжичните комуникационни системи, се състоят от отделни интегрални схеми, които реализират функциите на контролера за достъпа до преносната среда (Media Access Control – MAC), на бейсбанд процесора (Baseband Processor - BBP), както и някои чисто радио функции. По прищявка на производителя на чипсета, в него могат да бъдат реализирани и други различни функции, като например хардуерно базирано криптиране.

3.1.1 Контролер за достъп до преносната среда (MAC) и бейсбанд процесор (BBP)

Хардуерният MAC компонент договаря и контролира достъпа до преносната среда за радио вълните. В нашия случай преносната среда е въздух или свободно пространство (вакуум). Терминът бейсбанд се използва в електрониката когато говорим за оригинална (неподправена) група от сигнали (битове) с произход от източник на данни, преди да се извърши върху тези сигнали някакъв вид модулация. Хардуерът BBP се грижи за превръщането на тези бейсбанд сигнали от цифрова в аналогова форма (известно като *модулация*) и след това обратно (известно като *демодулация*) в другия край на комуникационния канал. По принцип в BBP се извършва модулацията и демодулацията.

Компонентът MAC/BBP на чипсетите на безжичните мрежи изпълнява следните функции:

- Взаимодейства с цифровата част на мрежовото устройство по някаква магистрала (bus) или друг тип интерфейс, например по Peripheral Component Interconnect (PCI), CardBus, Mini PCI, или Universal Serial Bus (USB).
- Извършва аналогово-цифрово преобразуване (Analog-to-Digital Conversion - ADC).
- Извършва цифрово-аналогово преобразуване (Digital-to-Analog Conversion - DAC).
- Изпълнява функциите по управлението на захранването на чипсета.
- Изпълнява протокола за достъп до преносната среда, като например Множествен достъп с откриване на носещата и избягване на колизиите (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance - CSMA/CA).
- Изпълнява изискванията на физическия слой (Physical Layer - PHY) на IEEE 802.11 или други стандарти, включително и различните видове модулация и демодулация.

3.1.2 Радиочестотен приемо-предавател (Radio Frequency Transceiver)

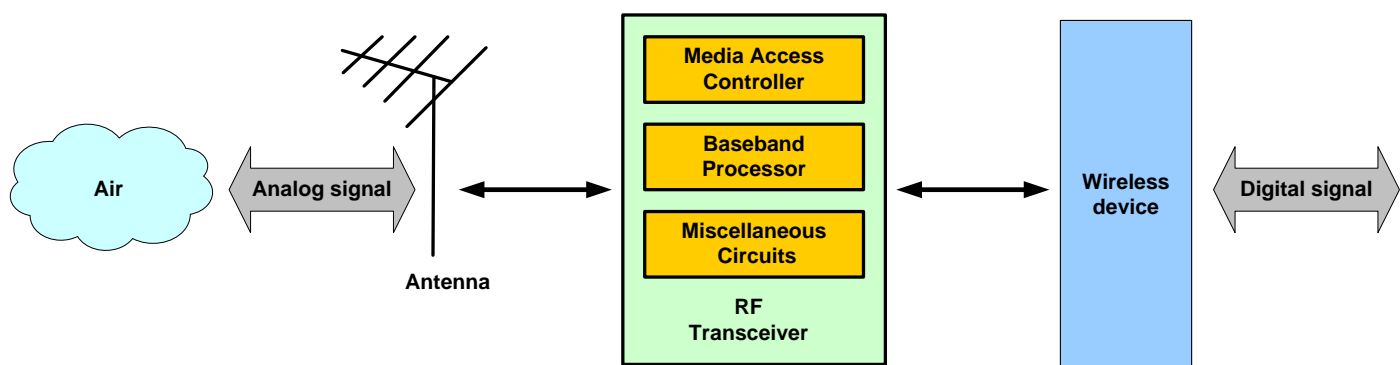
Интегралните схеми на радиочестотния приемо-предавател на чипсета на безжичната мрежа изпълняват следните функции:

- Приемат RF сигнали.
- Предават RF сигнали.
- Поддържат ниско ниво на шума и усилват мощността.
- Когато е приложимо, осигуряват връзката (интерфейса) с антената.

Фигура 1 показва местоположението на чипсета в безжичната комуникационна система.

3.2 Производители на чипсетове (Chipset Makers)

Производството на чипсетове е доминирано от няколко производители (вертикален пазар) и всеки производител на безжични устройства, които изискват функционалност предоставяна от чипсетите, е принуден да закупи тези чипсетове от някой от тези производители. Ето защо толкова много различни хардуерни продукти, от различни производители, използват един и същи чипсет. Това обяснява и защо едни и същи безжични хардуерни драйвери се използват в различните устройства.



Фигура 1 Чипсет в безжична комуникационна система

Тези производители на безжични устройства правят някакви козметични промени, пакетират продуктите, поставят своята марка, издават множество рекламни материали и дебели ръководства, след което поставят устройствата на рафтовете на магазините (хоризонтален пазар).

Някои производители на чипсетове и фирми, които използват техните продукти, са показани в Таблица 4. Тази таблица отразява състоянието на пазара до появата на стандарта 802.11ac. Тъй като това са по-стари решения и едва ли ще бъдат използвани и новопоявяващите се безжични устройства (особено в съвременните смартфони и таблети), няма да се спираме подробно на тях. Чипсетовите по стандарта 802.11ac ще бъдат разгледани в следващия раздел.

Производител на чипсетове Chipset Manufacturer	Означения на чипсетове Chipset Code	Производител на безжично оборудване Wireless Equipment Manufacturer
Atheros	Series AR5000, AR5400, AR6000, AR9000, AR9100, AR9200, AR9500	Netgear, D-Link, TRENDnet, Belkin, Gigabyte
Broadcom	Bcm43xx, BCM4322, BCM4342, BCM4704	Apple, Belkin, Dell
Cisco Systems	Aironet	Cisco
Texas Instruments	acx111, acx100, acx100_usb	D-Link, US Robotics, Airlink, Netgear, Linksys
Alcatel-Lucent	Orinoco, Hermes	3Com, Apple, D-Link, Intel, Microsoft, Toshiba, Farallon, Avaya
Intel	Intel PRO/Wireless (IPW) 2200BG/2915ABG/3945ABG/4965AGN	Dell, Intel
Realtek Semiconductor	RTL818x, RTL8187B, RTL8192	Netgear, Belkin, D-Link, Linksys, Zonet
MediaTek (Ralink Technology)	RT2500, RT2501, RT2600, RT2501USB, RT2800, rt2x00	Gigabyte Technology, Linksys, D-Link, Belkin, Nintendo

Таблица 4 По-известни производители на чипсетове

Да отбележим, че някои реализации на чипсетовите работят в съчетание с вграден софтуер (firmware) и функционалността на чипсета е тясно обвързана с него. В този вграден софтуер

се намира основната програма, която се изпълнява от чипсета на безжичния контролер. Този проблем ще бъде разглеждан подробно по-късно.

4. Чипсетове по стандарта 802.11ac

4.1 Чипсетове на фирмата Broadcom

4.1.1 Чипсетове за клиентски устройства (5G WiFi 802.11ac Client)

Разработени и произведени са цяла гама от такива интегрални схеми с означения BCM430, BCM4350, BCM4354, BCM4356, BCM4358, BCM4369, BCM43162, BCM43570. В тях са имплементирани възможностите за предаване едновременно на един или два потока от данни съгласно 802.11ac, с което се постигат скорости съответно 433 Mbps и 867 Mbps. Те са обратно съвместими с онаследените 802.11b/g/a/n устройства.

4.1.2 Чипсетове за инфраструктурни устройства (5G WiFi 802.11ac Gigabit Transceiver)

В чипсета BCM4360 е имплементирана възможност за предаване едновременно на три потока от данни с което се постига скорост до 1.3 Gbps. Той е предназначен за вграждане в безжичните точки за достъп (Wireless Access Points), в различните безжични маршрутизатори (routers), DSL и кабелни шлюзове (DSL/cable gateways). В чипсета BCM43526 имаме два потока от данни (скорост до 867 Mbps), като той е предназначен за вграждане в персоналните компютри и в битовата цифрова TV електроника. Аналогични са и характеристиките на BCM4352, с тази разлика, че той подобно на BCM4360 е предназначен за инфраструктурните устройства в безжичните локални мрежи.

4.2 Безжични адаптери на Intel

Тук ще се спрем само на произведените от Intel през 2015 година адаптери.

4.2.1 Intel Dual Band Wireless–AC 8260

Този адаптер принадлежи на третото поколение адаптери по 802.11ac произведени от Intel. Той работи в 2.4 и 5 GHz диапазон, обслужва два потока от данни (2x2 Wi-Fi) като постига максимална скорост 867 Mbps. Има вградена персонална мрежа Bluetooth 4.2. При него захранващата мощност е намалена в сравнение с предишни разработки и има пълна поддръжка от Microsoft 10 с драйверите WiDi и HCI. Сертифициран е за 802.11ac от Wi-Fi CERTIFIED. Обикновено се използва заедно с процесорите Core на Intel.

4.2.2 Intel Dual Band Wireless–AC 3165

Това е адаптер от второ поколение по 802.11ac произведени от Intel. Той работи в 2.4 и 5 GHz диапазон, като обслужва само един поток от данни (1x1 Wi-Fi) и постига максимална скорост от 433 Mbps при честотна лента от 80 MHz. Има също така вградена персонална мрежа Bluetooth 4.2 и пълна поддръжка от Microsoft 10 .

4.2.3 Intel Wireless–AC 8x70

Intel Wireless-AC 8x70 (WCS8x70) е първият безжичен комбиниран и предназначен за индустрията продукт произведен по 28nm технология. Създаден е специално за смартфони и таблети, като съчетава WLAN 802.11ac 2x2 MIMO (налична е и опция 1x1) с Bluetooth и FM радио в една единствена интегрална схема. Предоставянето на данни със скорост от 700 Mbps, високата степен на интегриране в продукта и ниската консумация на енергия позволяват създаването на компактен дизайн на мобилните устройства, без компромис по отношение на потребителския опит, живота на батерията и общите размери.

4.3 Чипсетове на фирмата MediaTek

4.3.1 MT7612E

Чипсетът MT7612E на фирмата MediaTek е една 2x2 Wi-Fi интегрална схема, която поддържа скорост на предаване до 867 Mbps. Той работи в 2.4 и 5 GHz диапазон и изцяло съответства на стандартите на IEEE 802.11ac, като предлага богат набор от различни функции за безжична връзка. Неговата оптимизирана RF архитектура и използваните бейсбанд алгоритми осигуряват превъзходна пропускателна способност и ниска консумация на енергия. Използват се хардуерни ускорители за обработка на данните. Схемата MT7612E е проектирана да подпомага стандартните функции в областта на сигурността и качеството на услугите, като предоставя голяма производителност на крайните потребители при всякакви обстоятелства.

4.3.2 MT7615

Чипсетът MT7615 на фирмата MediaTek е една 4x4 Wi-Fi интегрална схема, която поддържа скорост на предаване до 1733 Mbps. Той е напълно съвместим с IEEE 802.11ac и IEEE 802.11a/b/g/n стандартите. В него е имплементирано MU-MIMO с до четири потребителя и честотна лента 160 MHz. Съществуват модификации MT7615B (3x3 Wi-Fi и скорост 1300 Mbps) и MT7615S (3x3 Wi-Fi и скорост 600 Mbps)

4.4 Чипсетове на фирмата Qualcomm Atheros

4.4.1 QCA9880

С този чипсет няколко фирми създадоха адаптери с интерфейс MiniPCI Express V1.1 предназначени за вграждане в клиентски устройства. Техническите характеристики са следните:

- Работи в диапазона на 5 MHz
- Пълна съвместимост с 802.11ac и обратна съвместимост с 802.11a/n
- Използвана е технология 3x3 MIMO
- Скорост до 1.3 Gbps.

4.4.2 QCA9980

Този чипсет е предназначен за вграждане в инфраструктурни устройства като безжични маршрутизатори и шлюзове. Интерфейсът е MiniPCI Express V2.0. Техническите характеристики са следните

- Работи в диапазона на 5 MHz
- Пълна съвместимост с 802.11ac и обратна съвместимост с 802.11a/n
- Използвана е технология 4x4 MU-MIMO
- Скорост до 1.73 Gbps.

4.5 Чипсетове на фирмата Realtek

Realtek е разработил следните чипсетове по стандарта 802.11ac:

- RTL8811AU (интерфейс USB 2.0)
- RTL8812AE (интерфейс PCI Express 1.1)
- RTL8812AR (интерфейс PCI Express 1.1)
- RTL8812AU (интерфейс USB 3.0)

Те са напълно съвместими с 802.11ac и обратно съвместими с 802.11a/b/g/n. В диапазона от 5 MHz се използва 2x2 MIMO (с изключение на RTL8811AU, където имаме 1x1), 80 MHz честотна лента и се достига скорост от 867 Mbps. Много фирми вече са имплементирали тези чипсетове в техния клиентски и инфраструктурен безжичен мрежов хардуер. Да обърнем внимание, че при използването на приставка по USB 3.0 с чипсет RTL8812AU скоростта вече не е ограничена от USB интерфейса, а от възможностите на чипсета.

4.6 Чипсетове на фирмата Quantenna Communications

Quantenna Communications е водеща фирма в областта на високопроизводителните WiFi комуникации. Напоследък тя обедини усилията си с Texas Instruments за създаване на корпоративен инфраструктурен безжичен хардуер и на изключително малки базови клетъчни станции. Фамилията от чипсетове на тази фирма се нарежда на първите места във WiFi индустрията: QHS710 е първото в света техническо решение на 4x4 802.11n, QSR1000 е първият чипсет на 4x4 808.11ac предлаган за индустриални цели, а QSR10G е първото техническо решение покриващо параметрите на третия етап от развитието на WiFi комуникациите (виж Заключението).

4.6.1 QSR1000

Чипсетът QSR1000 представлява едно доказано решение от втория етап разработки с възможности за 4x4 MU-MIMO. Той е базиран на технологията Quantenna 4x4 MIMO и позволява скорости до 1.7 Gbps. Проектиран специално за широколентови шлюзове (Broadband Gateways) и самостоятелни WiFi мостове (stand-alone WiFi Bridges), сега той е широко използван от водещи доставчици на услуги. Този чип се предлага заедно с такива модерни софтуерни функции на Quantenna като iQStream за повишаване на качеството на обслужване (QoS), Smart Channel Selection, SuperDFS за оптимизиране на пропускателната способност, ZeroPER за високонадежден TV поток на живо и редица други възможности. При него се използва 80 MHz честотна лента.

4.6.2 QSR10G

QSR10G е първият чипсет от третия етап в развитието на WiFi мрежите и предлага несравнима скорост, капацитет, обхват и надеждност. Изградените с него точки за достъп (Access Points) поддържат скорост до 10 Gbps и 12 едновременни потока с True 8x8 MIMO конфигурация за 5 GHz мрежи и с 4x4 MIMO конфигурация за 2.4 GHz мрежи. Едновременно с това точките за достъп поддържат до четири клиента в група (MU-MIMO).

Ключовите функции и предимства на този чипсет са следните:

- Интегриран чипсет за точки за достъп работещ в два диапазона (5 GHz и 2.4 GHz)
- Поддръжка на 160 MHz канал за 5 GHz мрежи. Когато се използва и 8x8 MIMO конфигурация се получава 4 пъти по-голяма производителност отколкото при 80 MHz

канал и 4x4 MIMO.

- Уникално адаптивно конфигуриране на MIMO
- До 1024 QAM модулация при предаване на 5 GHz и 2.4 GHz
- Поддържа богат набор от интерфейси към външни източници като PCIe Gen3/Gen2, RXAUI, RGMII и други.

4.7 Чипсетове на Cisco

Чипсетите на Cisco обикновено не се предлагат на други производители за вграждане в техните продукти. Те се използват в продуктовата гама на фирмата и за тяхните възможности можем да съдим по възможностите на предлаганите от Cisco мрежови устройства. Тяхното описание може да се намери във фирмения сайт и няма необходимост тук да бъдат повтаряни.

5. Заключение

Създаването на мрежови устройства работещи по стандарта 802.11ac засега се осъществява в три етапа:

- При първия етап няма приложение на Multiuser MIMO. Достига се скорост от 1.3 Gbps. Честотната лента на каналите е 20, 40 или 80 MHz. Използва се модулация 256 QAM. Реализират се до три пространствени потока (3x3 Wi-Fi). Реално това ни позволява да обменяме информация на канално ниво със скорост от порядъка на 845 Mbps.
- При втория етап имаме вече приложение на Multiuser MIMO. Физическата скорост е в диапазона от 2.34 Gbps до 3.47 Gbps. Честотната лента на каналите е 20, 40, 80 или 1600 MHz. Използва се модулация 256 QAM. Реализират се до четири пространствени потока (4x4 Wi-Fi). Реално това ни позволява да обменяме информация на канално ниво със скорост от 1.53 Gbps до 2.26 Gbps.
- На третия етап се очаква да бъдат изпълнени всички изисквания на спецификациите IEEE 802.11ac, а именно да се достигне физическа скорост от 6.9 Gbps и да се реализират осем пространствени потока. Това ще позволи да обменяме информация на канално ниво със скорост от порядъка на 4.9 Gbps.

От прегледа на разработените чипсетове може да се направи извода, че първият етап е почти завършен и в момента се създават устройства покриващи изискванията на втория етап. Появяват се и единични чипсетове с характеристики на третия етап. Развитието е изключително бързо. Анализът на пазара на чипсетове показва, че една част от утвърдените фирми не се справят добре и по всяка вероятност ще го напуснат. Дори такъв гигант като Cisco среща затруднения.

По-нататъшното развитие на безжичните локални мрежи (след стандарта 802.11ac) в момента е непредсказуемо. То ще зависи в голяма степен от развитието на глобалните безжични комуникации.