

IEEE 802.11 A/B/G/N WLAN 技術

概述

1 前言

近幾年來不論是蜂巢式通信網路或者非蜂巢式通信網路，都被新的無線通信應用要求提高資料傳輸速率。為了滿足這些應用需求，最普及的無線區域網路的通信標準IEEE 802.11(WLAN)也持續在提升通信速率中。在這篇文章將會從IEEE 802.11b開始介紹，然後接下來的 IEEE 802.11 a/g/n，完整的敘述WLAN IEEE 802.11 a/b/g/n 的基本特性。

2 IEEE 802.11 標準

2.1 802.11 在IEEE 標準中的位置

在IEEE 內的802群組詳細說明這個標準是為了區域網路(Local Area Network, LAN)及都會型網路(Metropolitan Area Network ,MAN)。在802工作群組內有些群組定義此標準不同部分及觀點:



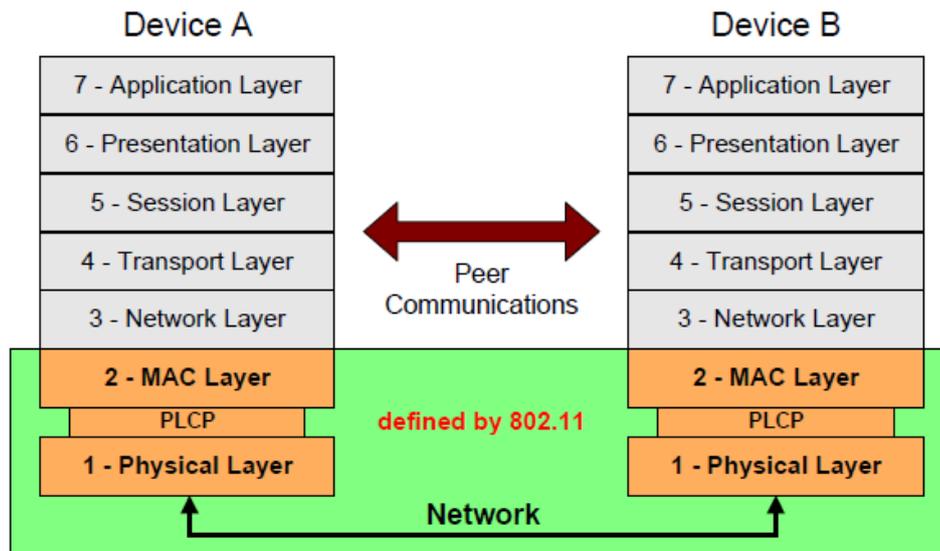
Standard	Name
802.1	Management of 802.x
802.2	standards for LLC (Logical Link Control)
802.3	CSMA/CD (carrier sense multiple access / collision detection) based LAN ("Ethernet")
802.4	Token Passing / Token Bus
802.5	Token Ring / FDDI (Fiber Distributed Data Interface)
802.6	DQDB WAN (Distributed Queue Dual Bus WAN)
802.7	recommended practices for Broadband LAN's (BBTAG)
802.8	recommended practices for fiber optics (FOTAG)
802.9	IsoEnet (Isochronous Ethernet) (ISLAN)
802.10	protocol for security LAN
802.11	protocol for wireless LAN
802.12	100VG AnyLAN (demand priority access method)
802.13	unused
802.14	protocol for cable TV and cable modem
802.15	WPAN (Wireless Personal Area Network)
802.16	WirelessMAN (Wireless Metropolitan Area Networks)
802.17	RPRWG (Resilient Packet Ring Working Group)

表一: 在IEEE 802群組內工作群組列表

Standard	Context
802.11	1 and 2 Mbps on 2.4GHz, FHSS, DSSS and IR
802.11a	6 – 54 Mbps on 5GHz, OFDM
802.11b	5.5 and 11Mbps extension to DSSS
802.11b+	22 MBit/s on 2.4GHz, PBCC, based on TI-ACX100 Chipset
802.11c	Wireless Bridging between Access Points according to ISO/IEC 10038 (IEEE 802.1D)
802.11d	Definitions and requirements to allow the 802.11 Standard in different countries
802.11e	Quality of Service (QoS) for IEEE 802.11
802.11f	Inter-Access Point Protocol - IAPP. Roaming across access points
802.11g	Improvement of the 802.11b using CCK and OFDM, data rates up to 54 Mbps on 2.4GHz. Backwards compatible with 802.11b.
802.11h	Dynamic Frequency Selection (DFS) and Transmit Power Control (TPC) in 5GHz.
802.11i	Enhanced security and authentication mechanisms on 802.11 MAC (AES, WEP+, WPA)
802.11j	Channel selection for 4.9GHz and 5GHz in Japan
802.11k	Definition of Radio Resource Measurement enhancements (e.g. Location-based Services)
802.11m	Maintenance of the IEEE 802.11 Standard
802.11n	Improvements on 802.11, data rates of 108 Mbps and more

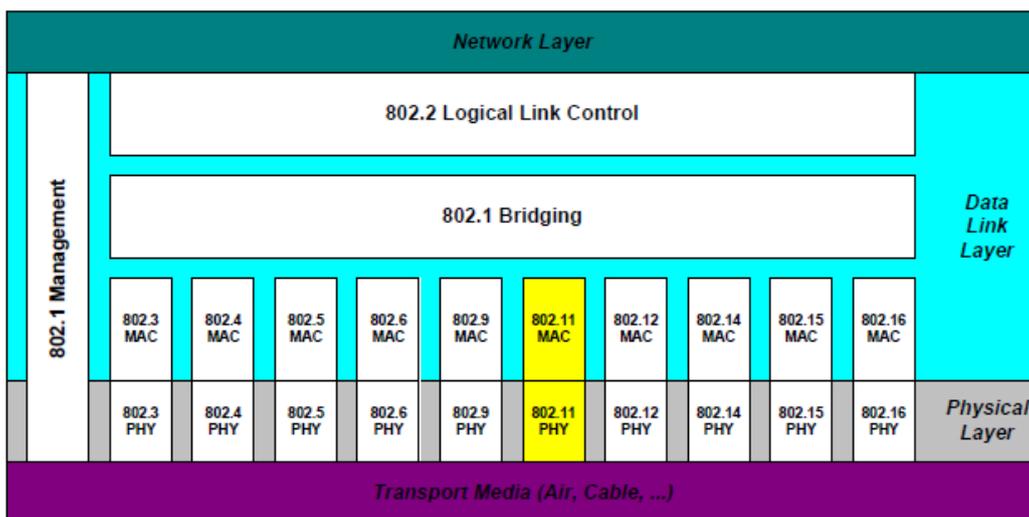
表二: IEEE 802 子群組 – 黃色部分為物理層定義

因為篇幅限制，在本文中只討論標準802.11 在OSI 參考模型的最低兩層，如圖一。



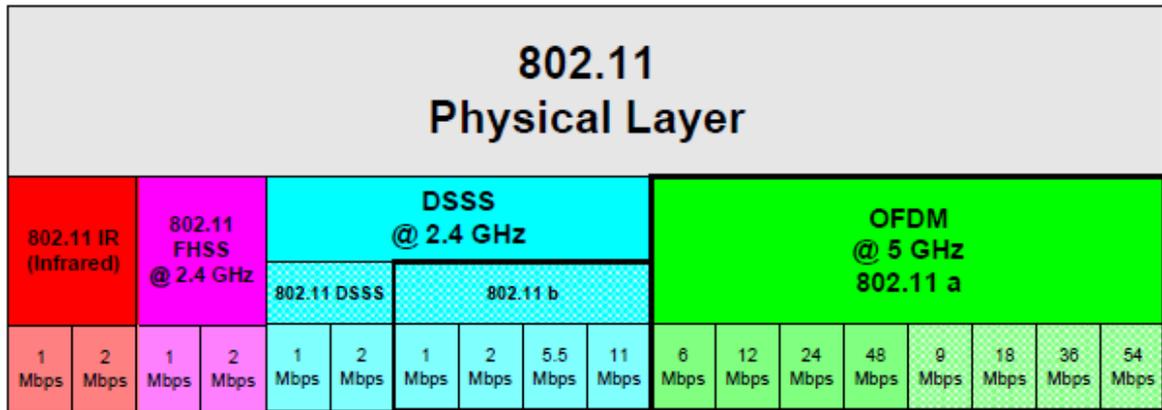
圖一: 標準 IEEE 80200套用SI 參考模型的分層

如同在圖二所示，標準 IEEE 802描述物理層(PHY)及媒體接入層(MAC)。另外，有一介面稱之為物理層匯合協議 (Physical Layer Convergence Protocol · PLCP)被插入這兩層中間。IEEE 802標準的其他部分的作用可以參考底下圖示。



圖二: IEEE 802 標準在OSI 參考模型各層上下關係圖

針對標準 IEEE 802.11裡的 802.11 a/b/g，如果讀者想要約略簡單了解其物理層的部分，可以參考底下圖三。



圖三: 802.11 a/b/g 物理層概觀

2.2 頻率分配

針對WLAN 頻率分配上，總共有16 個頻道分配給 5GHz 的 802.11a，14個頻道分配給 2.4 GHz 的802.11b/g。在不同國家頻道的分配會依據各個國家國內的規定，表三列出各個國家依據國內法規所分配頻道。

Standard	Channel Number	Frequency [MHz]	Assigned in / by														
			USA (FCC)	Canada (IC)	EMEA (ETSI)	Spain	France	Japan (MKN)	Japan (TELEC)	Singapore	Taiwan	China (MIIT)	Israel (MC)				
802.11 a	34	5 170			✓						✓	✓					
	36	5 180	✓		✓						✓	✓					
	38	5 190									✓	✓					
	40	5 200	✓		✓							✓	✓				
	42	5 210										✓	✓				
	44	5 220	✓		✓							✓	✓				
	46	5 230										✓	✓				
	48	5 240	✓		✓							✓	✓				
	52	5 260	✓		✓								✓	✓			
	56	5 280	✓		✓								✓	✓			
	60	5 300	✓		✓								✓	✓			
	64	5 320	✓		✓								✓	✓			
	100	5 500			✓												
	104	5 520			✓												
	108	5 540			✓												
	112	5 560			✓												
	116	5 580			✓												
	120	5 600			✓												
124	5 620			✓													
128	5 640			✓													
132	5 660			✓													
136	5 680			✓													
140	5 700			✓													
149	5 745	✓															
153	5 765	✓															
157	5 785	✓															
161	5 805	✓															
802.11 b/g	1	2 412	✓	✓	✓						✓				✓		
	2	2 417	✓	✓	✓						✓				✓		
	3	2 422	✓	✓	✓						✓				✓		
	4	2 427	✓	✓	✓						✓				✓		
	5	2 432	✓	✓	✓						✓				✓		
	6	2 437	✓	✓	✓						✓				✓		
	7	2 442	✓	✓	✓						✓				✓		
	8	2 447	✓	✓	✓						✓				✓		
	9	2 452	✓	✓	✓						✓				✓		
	10	2 457	✓	✓	✓	✓	✓				✓				✓		
	11	2 462	✓	✓	✓	✓	✓				✓				✓		
	12	2 467			✓		✓				✓						
	13	2 472			✓		✓				✓						
	14	2 848									✓						



表三: 802.11 各國頻道及頻率分配表

頻道與頻率間的換算公式如下:

- 802.11a: Frequency = 5000 MHz + (Channel-Nr. * 5 MHz)
- 802.11b/g: Frequency = 2407 MHz + (Channel-Nr. * 5 MHz)

2.3 調變

2.3.1 概述

表四表列802.11a/b/g 調變架構包括對應關係及理想傳送速率。

Standard	Data Rate [Mbit/s]	Modulation per Carrier	Data Carriers	Pilot Carriers	Coding Rate	Mapping		
						from	to	Using
802.11 a / g	6	BPSK	48	4	1/2	48 Bits	1 OFDM symbol	48 BPSK carriers
	9	BPSK	48	4	3/4	48 Bits	1 OFDM symbol	48 BPSK carriers
	12	QPSK	48	4	1/2	96 Bits	1 OFDM symbol	48 QPSK carriers
	18	QPSK	48	4	3/4	96 Bits	1 OFDM symbol	48 QPSK carriers
	24	16QAM	48	4	1/2	192 Bits	1 OFDM symbol	48 16QAM carriers
	36	16QAM	48	4	3/4	192 Bits	1 OFDM symbol	48 16QAM carriers
	48	64QAM	48	4	1/2	288 Bits	1 OFDM symbol	48 64QAM carriers
	54	64QAM	48	4	3/4	288 Bits	1 OFDM symbol	48 64QAM carriers
802.11 b	1	DBPSK	1	0	1/11	1 Bit	11 Bit	Barker Sequences
	2	DQPSK	1	0	2/11	2 Bits	11 Complex IQ Values	Barker Sequences
	5.5	DQPSK	1	0	1/2	4 Bits	8 Complex IQ Values	CCK
		BPSK	1	0	1/2	1 Bit	1/2 Complex IQ Value	PBCC
	11	DQPSK	1	0	1	8 Bits	8 Complex IQ Values	CCK
		QPSK	1	0	1/2	1 Bit	1 Complex IQ Value	PBCC
	22	8PSK	1	0	1	2 Bit	1 Complex IQ Value	PBCC
	33	8PSK ¹⁾	1	0	1	2 Bit	1 Complex IQ Value	PBCC
44								

表四 – 802.11 調變架構及對應關係一覽表

2.3.2 802.11a

標準802.11a 使用正交頻率區分多工(Orthogonal Frequency Division Multiplex · OFDM)

傳送技術，包含八種不同資料傳輸速率。為了設計易開發的傳輸系統，定義64個載波，但只有使用其中內部的52個載波(-26 ... -1, 1 ... 26)。4個前導載波(± 21 and ± 7) 傳送固定內容格式而其他載波則負責傳送資料。每個載波寬度 312.5 kHz · 總共信號頻寬為16.6 MHz.

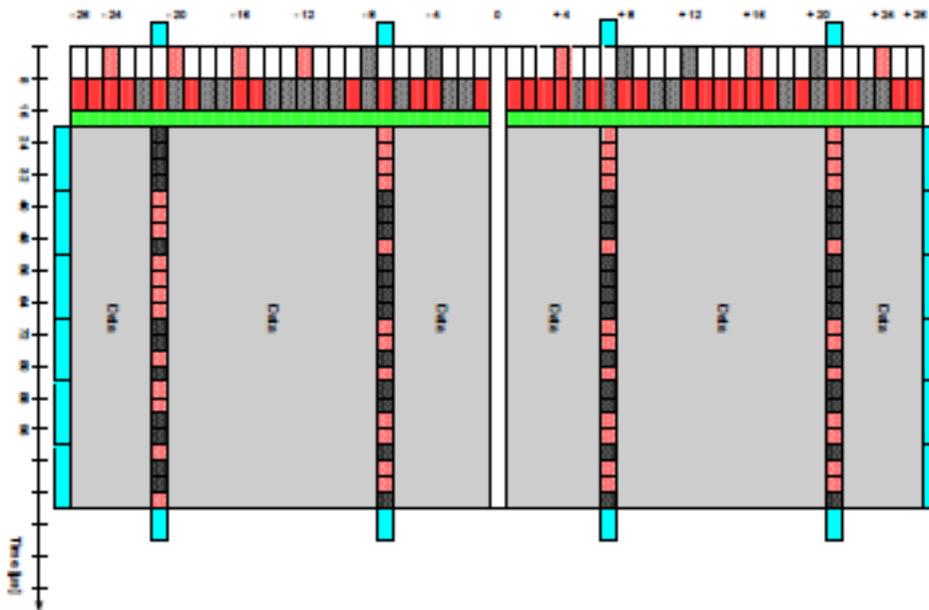
這些載波資料內容每4微秒(µs) 改變一次，4微秒即為一個時槽的時間長度(slot

time)而前置資料(preamble)時間週期為8微秒。802.11a 框架格式(Frame format)如下:

- 前置資料(preamble)包含用來做為接收機頻率校準及通道估算的訓練序列資訊。
- 緊接在後信號欄位(4微秒長)包含調變，傳輸長度及其他額外資訊。

- 最後接著實體層服務單元(PLCP Service Data Unit · PSDU)

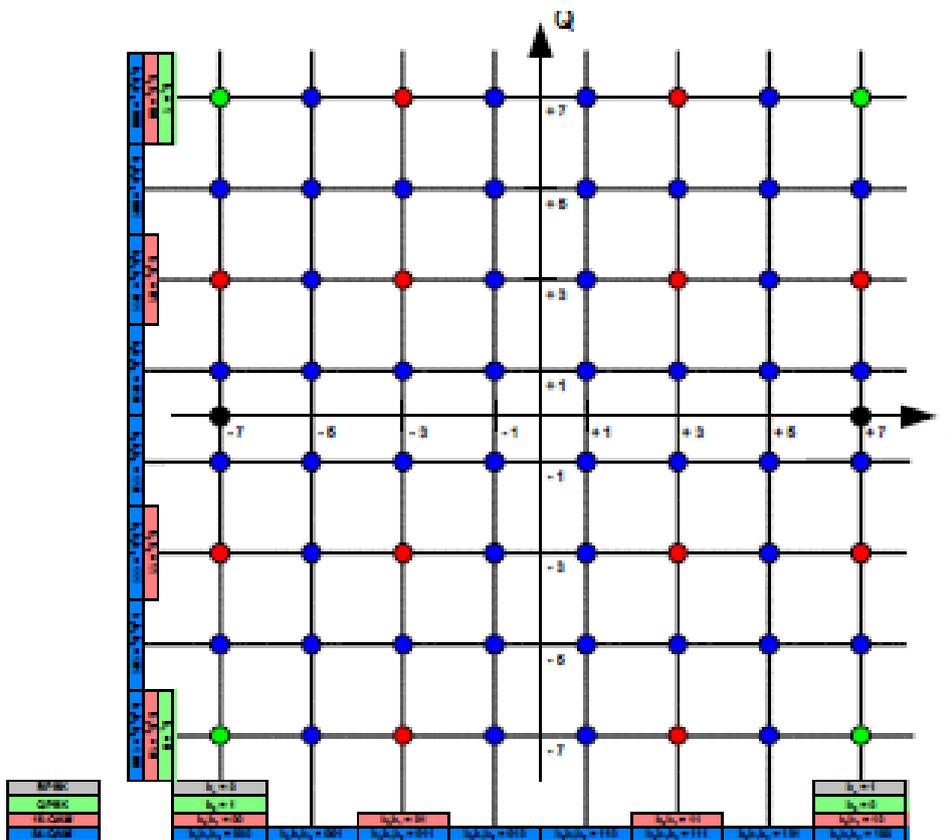
下圖以頻譜圖的方式展現802.11a信號。



圖四: 802.11a頻譜圖(載波 vs 時間)

48個載波的每一個都能被以BPSK · QPSK · 16QAM或是 64 QAM調變方式呈現 · 以不同碼率組合得到從6Mbits/s 到54 Mbits/s 的傳輸速率。下圖是以不同調變結合的星座圖 · 其中b

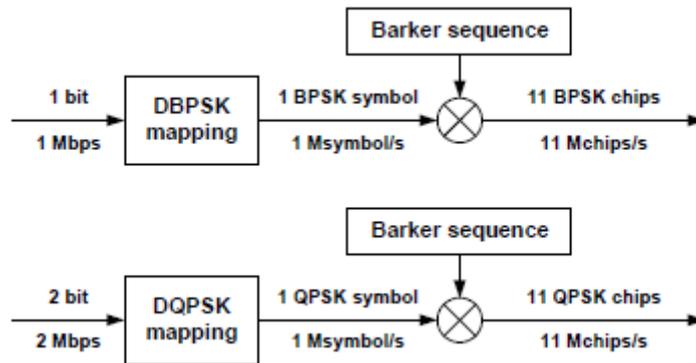
指標代表在星座點上比特資料流分布(藍點也包含綠點和紅點占據部分 · 紅點也包含綠點占據部分)。



圖五: 802.11a 載波星座圖

2.3.3 802.11b

802.11b使用 BPSK / QPSK 調變技術傳送資料包含四種不同資料速率。針對1 Mbps 和 2 Mbps 這兩個最低傳輸速率，使用貝克序列(Barker sequence)結合 DBPSK或DQPSK調變技術傳送資料，貝克序列(Barker sequence)使用在802.11b定義為 11 比特長的序列(101101110000) 其具有很好自相關性。下圖為 1 Mbps 和 2 Mbps 調變信號產生的示意圖。

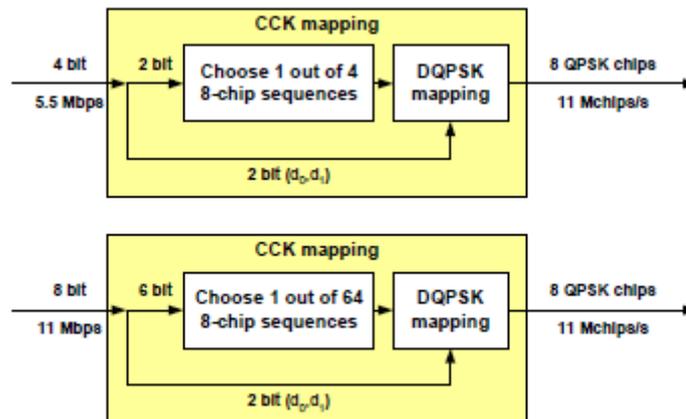


圖六: 802.11b 1 Mbps 和 2 Mbps 調變信號產生示意圖

針對5.5 Mbps 和 11 Mbps For 5.5 and 11 Mbps, 兩種不同型式的調變定義如下:

- 互補碼調變(Complementary Code Keying · CCK)

使用比特序列和DQPSK調變組合，下圖為其信號產生示意圖。



圖七: 802.11b 5.5 Mbps 和 11 Mbps 調變信號產生示意圖

2.3.4 802.11g

802.11g 結合802.11a 和802.11b兩個標準，使用頻帶落在2.4 GHz，也就是802.11b的頻率範圍，並增加兩個使用類802.11b調變方式傳輸模式22 Mbit/s 和 33 MBit/s。下表為802.11g傳輸模式及源自哪個標準。

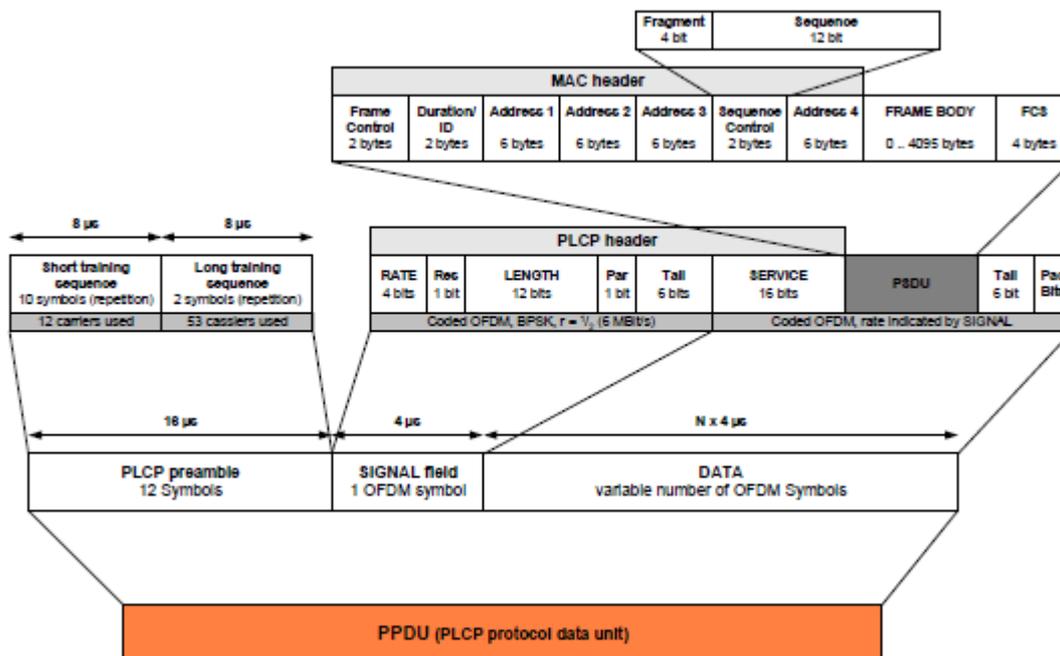
Name	Data Rates [Mbit/s]	Derived from
ERP-DSSS	1, 2	802.11b
ERP-CCK	5.5, 11	802.11b
ERP-OFDM	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	802.11a
ERP-PBCC	5.5, 11, 22, 33	802.11b
DSSS-OFDM	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	802.11a+b

表五:802.11 調變及傳輸速率對應表

2.4 封包格式

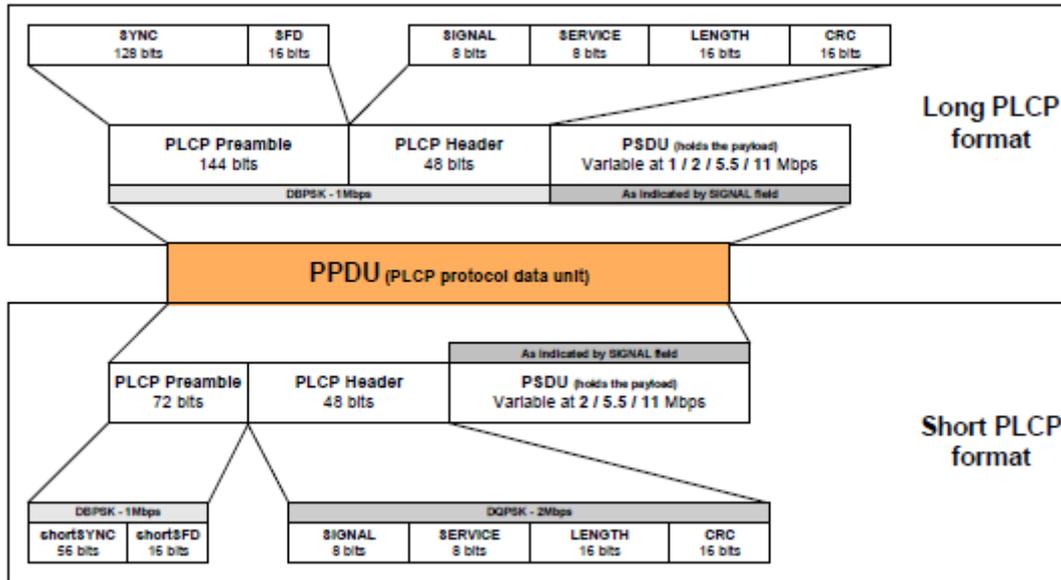
接下來的幾張圖像，分別簡短敘述 802.11a/b/g 的封包格式，如果想知道更進一步的資訊，請參考IEEE 802.11a/b 標準原始文件中的敘述

2.4.1 802.11a



圖八 – 802.11a 封包格式

2.4.2 802.11b



圖九 – 802.11b 封包格式

3 物理層修訂:WLAN 802.11n

為了符合資料傳輸量大幅增加的需求，IEEE 802.11-2007這份規格在2009年擴編，其中包含修訂版 5 (Amendment 5)，這修訂版裡定義了IEEE 802.11n，新增加章節

20，敘述如何施做高速率資料傳輸物理層(High Throughput physical layer，HT PHY)。與IEEE a/b/g/n WLAN 工作站(STA)相對比，高速率資料傳輸工作站(HT

STA)在物理層(PHY)和媒體存取層(MAC)有額外增加一些屬性，底下列出一些明顯不同點:

- 新的封包格式
- 新的發射傳輸模式，20 MHz和 40 MHz傳輸頻寬
- 新的調變及編碼架構
- 媒體存取層裡碼框聚合，最大長度的物理資料單元為65535 位元組
- 多重輸入，多重輸出(Multiple input multiple output，MIMO)，具有空間多工(spatial multiplexing)，空間時間區塊編碼(space-time block coding，STBC)，及空間對應(spatial mapping)

這些將整個資料傳輸量大大提高到600 Mbps，圖十為WLAN 802.11n所使用的封包格式示意圖。



圖十:WLAN 802.11n封包格式示意圖

802.11

a/g所使用的的封包格式也稱之為傳統格式，其並不能提供任何高速傳輸模式。傳統框架格式只用來維持與802.11 a/g相容性。高速傳輸混合模式(HT mixed)包含傳統封包格式的元素:在標頭部分的短訓練欄位(short training field · L-STF)，長訓練欄位(long training field · L-LTF)及信號欄位(signal field · L-SIG)。這確保高速傳輸混合模式封包和 IEEE 802.11 a/g之間的相容性，然而它擴增的調變及編碼架構允許用來提高資料傳輸速率。新的綠欄位格式模式不相容於傳統模式，這個模式允許用來傳輸最高資料速率。

IEEE 802.11n和IEEE 802.11a/g一樣使用OFDM為調變方式，在20 MHz 傳輸頻寬模式，也如同IEEE 802.11 a/g有64個子載波；在40 MHz

傳輸頻寬模式，有128個子載波。表六為在不同模式(傳統模式，混合模式，綠欄位模式)時，802.11n在發射模式不同傳輸頻寬(20MHz，40MHz)時的頻譜分布。



Physical Type	Physical Mode	TX Mode	Transmission Bandwidth		Spectrum
			20 MHz	40 MHz	
Data	LEGACY	L-20 MHz	x		
		L-Duplicate		x	
		L-Upper		x	
		L-Lower		x	
		CCK	x	x	
		PBCC	x	x	

Physical Type	Physical Mode	TX Mode	Transmission Bandwidth		Spectrum
			20 MHz	40 MHz	
Data / Sounding	MIXED MODE / GREEN FIELD	HT-20 MHz	x		
		HT-40 MHz		x	
		HT-Duplicate		x	
		HT-Upper		x	
		HT-Lower		x	

表六:發射模式及頻寬

802.11n另一個新的特色為通道量測，這個特點增加一個或者多個加強性的訓練欄位到物理層匯合協議數據單元 (PLCP Protocol Data Unit · PPDU)，這些能夠幫助改善射頻通道估算，在L-duplicate發射模式，上半部的通道相對於下半部通道會被旋轉+90°相位(這個功能能夠使用R&S 信號產生器 I/Q 交換功能輕易達到)。而量測儀器面對 802.11n 工作站測試需求有巨大挑戰，第一個挑戰就是802.11n 多樣的新信號需要產生和分析，到目前為止共有77種調變及編碼架構。第二個挑戰如何在測試儀器施做MIMO這項新的需求，在這之前，只有一路發射信號需要被量測，或者針對接收機測試所需產生一路下行信號。針對MIMO新的測試需求，測試儀器必須同時處理最多四個射頻信號，而這個需要只有產線測試要求或者儀器端必須處理詳細複雜研發端測試程序。 IEEE

802.11標準傾向被廣域的無線設備使用，不僅限於路由器之類產品。在WLAN USB 之類產品空間有限，難以施做四根天線在產品上實現 4x4 MIMO。另外，有產品價格壓力的低成本裝置，製造商僅能將少數的功能放進產品中；產品功耗也常常決定產品功能多寡。

針對上述理由，IEEE

802.11n訂定某些功能為主要功能，其他的功能便可讓製造商選擇性施做在產品上，表七即為802.11n 特性一覽表。



Properties	Mandatory	Optional
Legacy format, compatible to a, b, g	x	
HT Mixed format	x	
HT Greenfield format		x
20 MHz: up to 4 spatial streams		x
40 MHz: up to 4 spatial streams		x
BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	x	
Forward error correction convolutional coding (FEC)	x	
Low density parity check coding (LDPC)		x
400 ns short guard interval (TX and RX)		x
Beamforming		x
Space-time block coding (STBC)		x
HT non AP: all equal modulation rates for one spatial stream (MCS 0 through 7) using 20 MHz bandwidth	x	
HT AP: all equal modulation rates for one and two spatial streams (MCS 0 through 15) using 20 MHz bandwidth	x	

表七802.11 n 主要及可選特性一覽表

羅德史瓦茲量測儀器支持802.11

n物理層所有主要特性的量測，而大部分的可選的特性也都有測量解決方案。這包括針對接收機測試的信號處理，也就是對應不同調變，編碼架構進行一般標準信號 PER 測試及靈敏度量測。當然也包含WLAN 工作站在時間，頻率，碼域所有發射端信號射頻參數進行同步分析。羅德史瓦茲信號產生器能夠額外提供靜態及動態(選擇性衰落)的信號傳輸模擬，這些選項遠遠超過IEEE 802.11 標準的要求，然而，這些是開發人員針對發射機設計不可或缺的。羅德史瓦茲頻譜分析儀也能夠以數學計算方式解出工作站空間對應，讓空間時間資料流直接量測變為可能，另外也能將不想要IQ 不對稱信號進行量測及在信號處理中進行耦合。

4 總結

日前WIFI 聯盟在2018 年年初對WiFi 產業預測，WIFI 產業並沒有因為其他3GPP 5G方案，藍芽等通信技術造成其發展遲緩，在2018年將交付30億部WIFI設備，累積超過200億部（資料來源：ABI Research）產品。因此WIFI 將對全世界的住宅網路，零售應用，關鍵企業經營的通信網路持續產生重大影響。2018年將出現新的Wi-Fi功能提高Wi-Fi的安全性、容量和性能。在資料傳輸速度提高方面，除了原有802.11 a/b/g/n/ac標準外，另外新的802.11 ax 標準，讓整個資料傳輸速度最大可達9.6078 Gbps。最近相當熱門的物聯網，802.11ax將提供更大的容量使更多用戶能夠使用大頻寬應用和服務。802.11ax以現有Wi-Fi技術為基礎，將為設備密集的網路環境提供眾多顯著優勢。隨著更廣泛的下一代互聯網（包括5G網路部署）的到來，將使蜂巢網路的現有功能進入Wi-Fi環境，以支持5G商機。