

802.11a WLAN协议介绍



上海交通大学微电子学院





❖ **WLAN**技术简介

❖ 802.11a物理层技术介绍



- ❖ 无线局域网（Wireless Local Area Networks，简称 WLAN） WLAN是利用无线射频技术实现快速接入以太网的技术。
- ❖ 利用射频(Radio Frequency; RF)的技术，取代传统的双绞铜线所构成的局域网络，
- ❖ 无线局域网是固定局域网的一种延伸。没有线缆限制的网络连接。
- ❖ 对用户来说是完全透明的，与有线局域网一样。

WLAN协议标准简介



- ❖ 1990年IEEE802标准化委员会成立IEEE802.11 WLAN标准工作组。
- ❖ IEEE 802.11（别名：Wireless Fidelity, Wi-Fi, 无线保真）是在1997年6月由大量的局域网以及计算机专家审定通过的标准，该标准定义物理层和媒体访问控制(MAC)规范。物理层定义了数据传输的信号特征和调制。
- ❖ 目前常见的协议：IEEE 802.11b、IEEE 802.11g、IEEE 802.11a

WLAN协议标准简介



(1) IEEE 802.11b

- ❖ 1999年9月IEEE 802.11b被正式批准，该标准规定WLAN工作频段在2.4-2.4835 GHz;
- ❖ 数据传输速率达到11Mbps, 传输距离控制在50-150英尺。
- ❖ 采用补偿编码键控调制方式，在数据传输速率方面可以根据实际情况在11 Mbps、5.5 Mbps、2 Mbps、1 Mbps等不同速率间自动切换。
- ❖ IEEE 802.11b已成为主流的WLAN标准，被多数厂商所采用，所推出的产品广泛应用于办公室、家庭、宾馆、车站、机场等众多场合，但是由于许多WLAN新标准的出现，IEEE 802.11a和IEEE 802.11g更是倍受业界关注。



(2) IEEE 802.11a

- ❖ 1999年，IEEE 802.11a标准制定完成，该标准规定WLAN工作频段在5.725-5.850 GHz;
- ❖ 数据传输速率达到54Mbps, 传输距离控制在10-100米。
- ❖ 采用正交频分复用（OFDM）的独特扩频技术。
- ❖ IEEE 802.11a标准是IEEE 802.11b的后续标准，其设计初衷是取代802.11b标准，然而，工作于2.4GHz频带是不需要执照的，该频段属于工业、教育、医疗等专用频段，是公开的；而工作于5.725-5.850 GHz频带需要执照的。而且IEEE802.11a卡片价格昂贵也大大的限制了该技术的发展一些公司更加看好当时最新混合标准—IEEE802.11g

。



(3) IEEE 802.11g

- ❖ 802.11a与802.11b两个标准都存在着缺陷，802.11b的优势在于价格低廉,但速率较低（最高11Mbps）；而802.11a优势在于传输速率快（最高54Mbps）且受干扰少，但价格相对较高。
- ❖ 目前最流行的IEEE 802.11g认证标准,该标准提出拥有IEEE 802.11a的传输速率，安全性较IEEE 802.11b好，采用2种调制方式，含802.11a中采用的OFDM与IEEE802.11b中采用的CCK，做到与802.11a和802.11b兼容。
- ❖ IEEE802.11g标准的诞生到流行，无论对用户还是对整个业界都是一个推动，它将把无线局域网的性能提升到一个新的高度，同时降低构建网络的成本。

WLAN的技术标准



标准	802.11b		802.11g	802.11a
网络拓扑	ad hoc, Infrastructure			
LLC协议	802.2 LLC			
MAC协议	802.11 MAC: CSMA/CA (DCF和PCF(可选), RTS/CTS)			
安全机制	IEEE 802.11 WEP协议、WPA、WPA2、WAPI			
工作频段	2.4GHz, ISM频段(83.5MHz)			5 GHz, UNII频段(300MHz)
抗干扰通信机制	DSSS/FHSS/IR		DSSS(CCK), OFDM	OFDM
信道带宽	FHSS	DSSS	14个信道, 每个 22MHz	20MHz, 16.6MHz(-3dB)
	75个信道, 每个 1MHz	14个信道, 每个 22MHz		
调制方式	GFSK	BPSK/QPSK	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
数据速率	1, 2, 5, 11 Mbps	1, 2, 5, 11Mbps	1, 2, 5, 11Mbps/6, 9, 12, 18, 24, 36, 48和54 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48和54 Mbps
编码	CCITT CRC-1/6卷积码, 码率1/2, 2/3, 3/4			K=7 卷积码, 码率1/2, 2/3, 3/4
发射功率	20dBm			16dBm
覆盖范围	室内: 150m; 室外: 300m			室内: 50m室外: 150m



(4) IEEE 802.11n

- 为了实现高带宽、高质量的WLAN服务，使无线局域网达到以太网的性能水平，802.11n应运而生。
- 在传输速率方面，802.11n可以将WLAN的传输速率由目前802.11a及802.11g提供的54Mbps提高到108Mbps，甚至高达500Mbps。这得益于将MIMO(多入多出)与OFDM(正交频分复用)技术相结合而应用的MIMO OFDM技术，这个技术不但提高了无线传输质量，也使传输速率得到极大提升。
- 在覆盖范围方面，802.11n采用智能天线技术，通过多组独立天线组成的天线阵列，可以动态调整波束，保证让WLAN用户接收到稳定的信号，并可以减少其它信号的干扰。因此其覆盖范围可以扩大到好几平方公里，使WLAN移动性极大提高。

WLAN协议标准简介



(5) IEEE 802.11ac

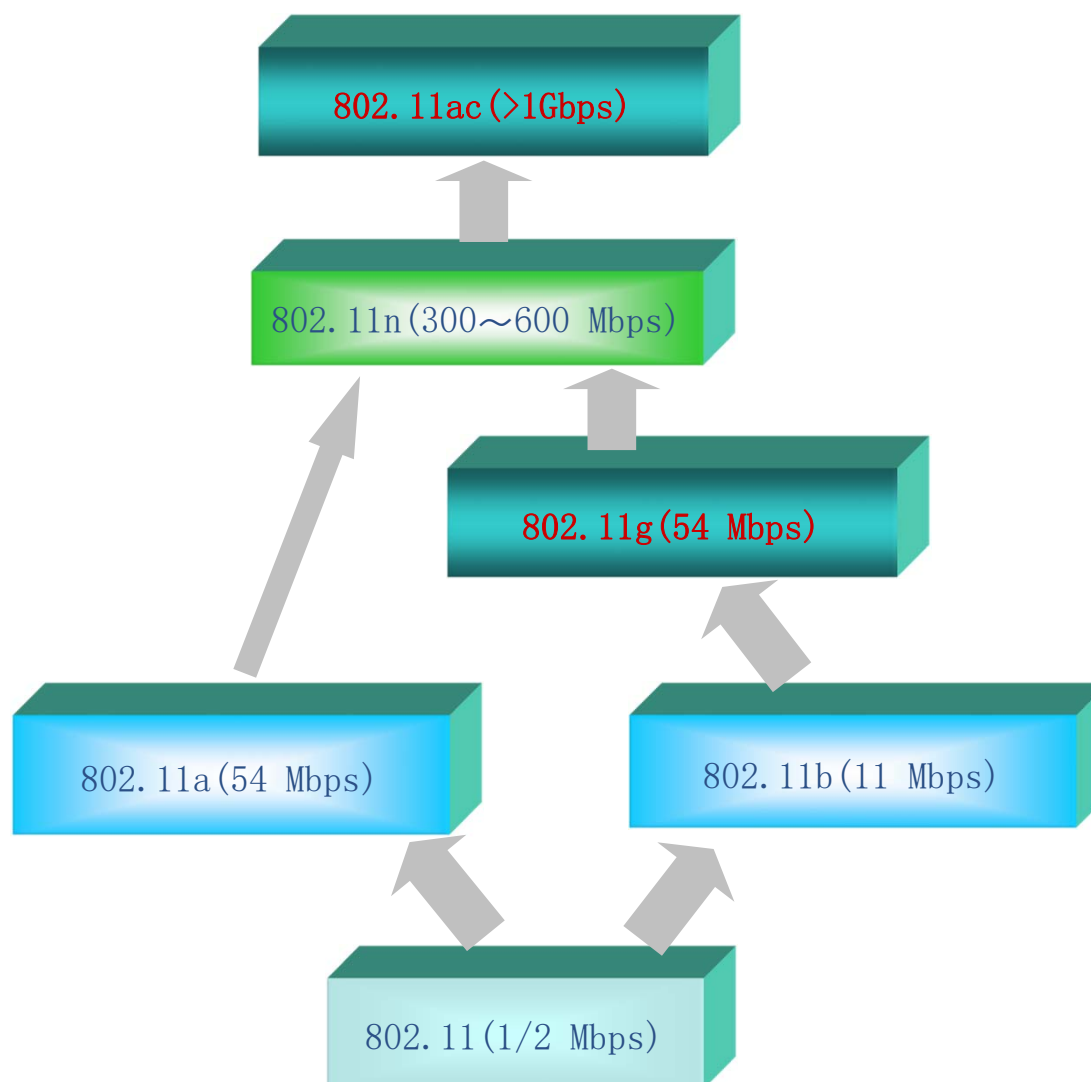
更宽的信道
更高阶的调制
更多的空间流和天线 (高达8个)
多用户 MIMO

新!

功能	必选项	可选项
信道带宽	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz	160 MHz, 80+80 MHz
FFT 大小	64, 128, 256	512
数据子载波/导频	52 / 4, 108 / 6, 234 / 8	468 / 16
调制类型	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	256QAM
MCS 支持	0 到 7	8 和 9
空间流和MIMO	1	2 到 8 发射波束成形, 时空块编码 多用户MIMO (MU-MIMO)
运行模式 / PPDU 格式	极高吞吐量 VHT	

数据速率: 1.56 Gb/s (80 MHz, 4 Tx, MCS9) “合理” 情形
6.93 Gb/s (160 MHz, 8 Tx, MCS9, short GI) 最佳情形

IEEE 802.11 物理层协议及其演进



IEEE 802.11ac平台





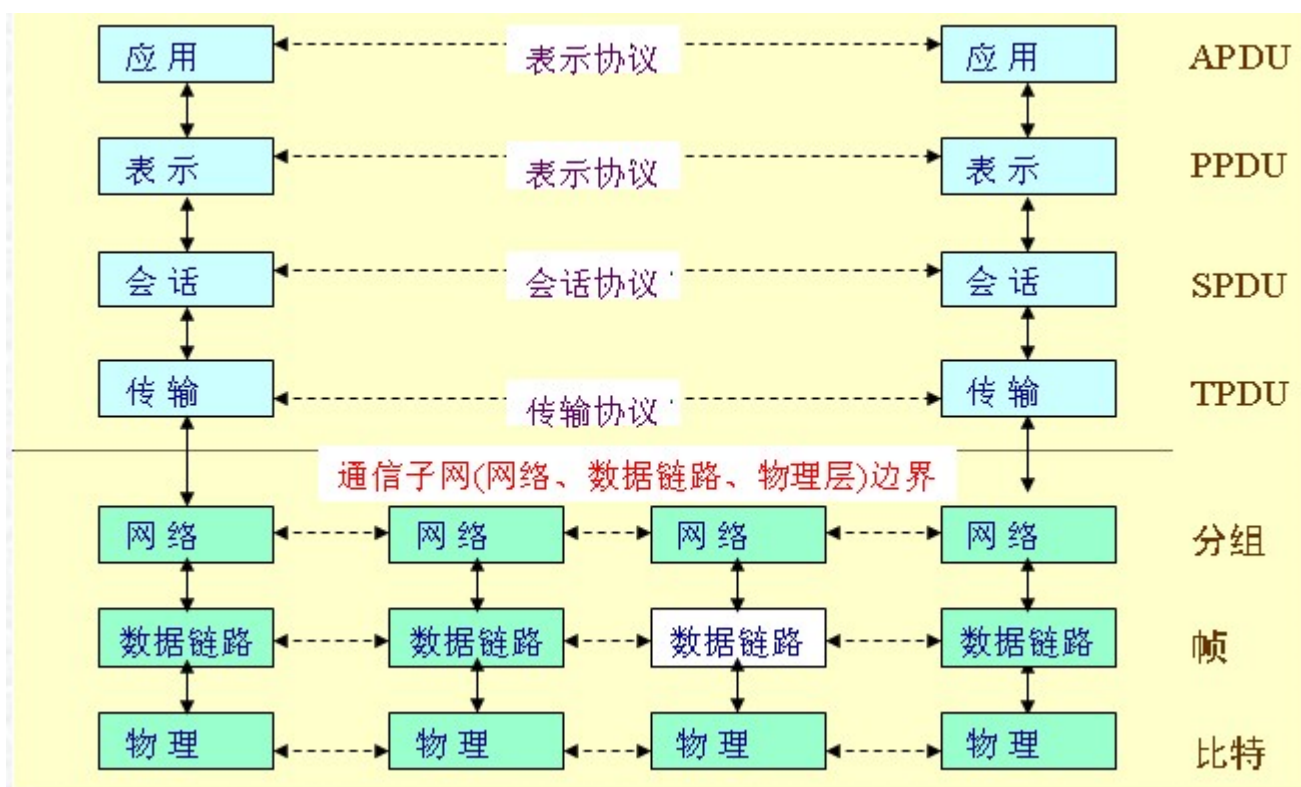
❖ WLAN技术简介

❖ **802.11a**物理层技术介绍

OSI参考模型



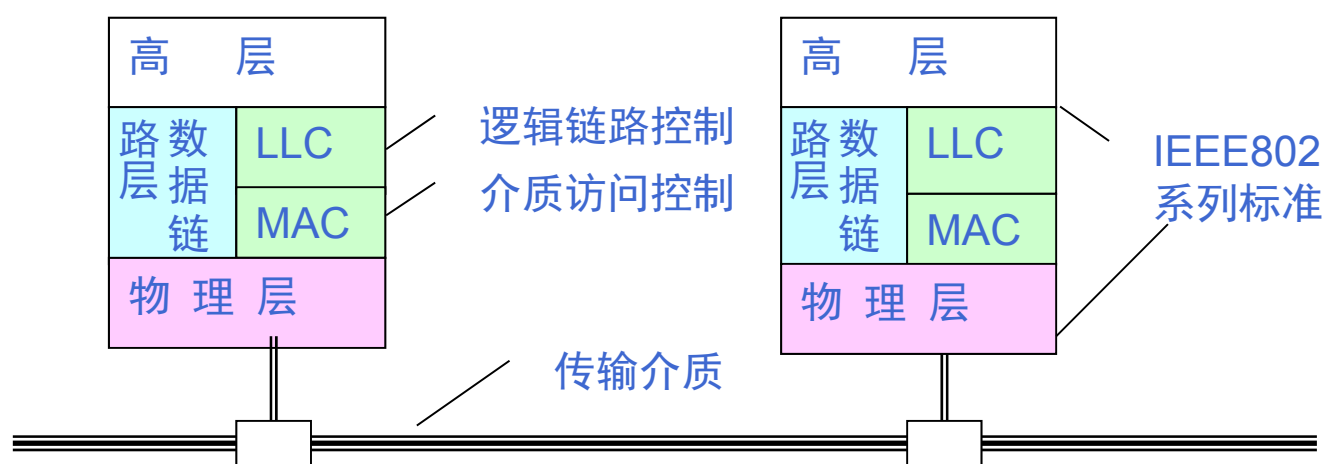
➤ISO制定了OSI参考模型，便于计算机之间互联--1984



局域网协议体系



局域网体系结构参考模型中，将ISO/OSI七层网络参考模式中的应用层、表示层、会话层和传输层和并在一起称为“**高层**”协议。在所制订的IEEE 802系列标准中并未对局域网高层做特别规定，而是只涉及到**数据链路层**和**物理层**，并且把数据链路层划分为逻辑链路控制（**LLC**）和媒体访问控制（**MAC**）两个子层。



局域网络体系结构参考模式

OSI参考模型和局域网的协议体系



❖ **PHY:** 任务是定义与实现建立, 维持和拆除物理连接所需的机械的、电气的、功能的特性及规则。目的在于保证可靠的, 按照比特位单位的同步与传输。

- **MAC:** 任务:从LLC接收数据、决定是否要把其发给物理层、给发送数据加载控制信息, 并将数据帧传递给物理层; 从物理层接收数据帧、检查帧中的控制信息, 并判断数据正确性, 去掉控制信息, 交给LLC。
- **LLC:** 任务: 完成两个通信实体间点到点链路上的数据帧传输与控制。实际中LLC通过本层的SAP来构建逻辑连接的。

数据包服务: 无确定连接

虚链路服务: 面向连接, 有确定的逻辑链路。

无线局域网的协议体系



无线局域网协议层次



IEEE802.11委员会提出了无线局域网的协议体系。和其它IEEE802系列局域网标准一样，它对OSI七层网络模式中的链路层以上未作具体规定，而只定义了媒体访问控制（MAC）和物理（PHY）两个层次。

无线局域网的协议层次



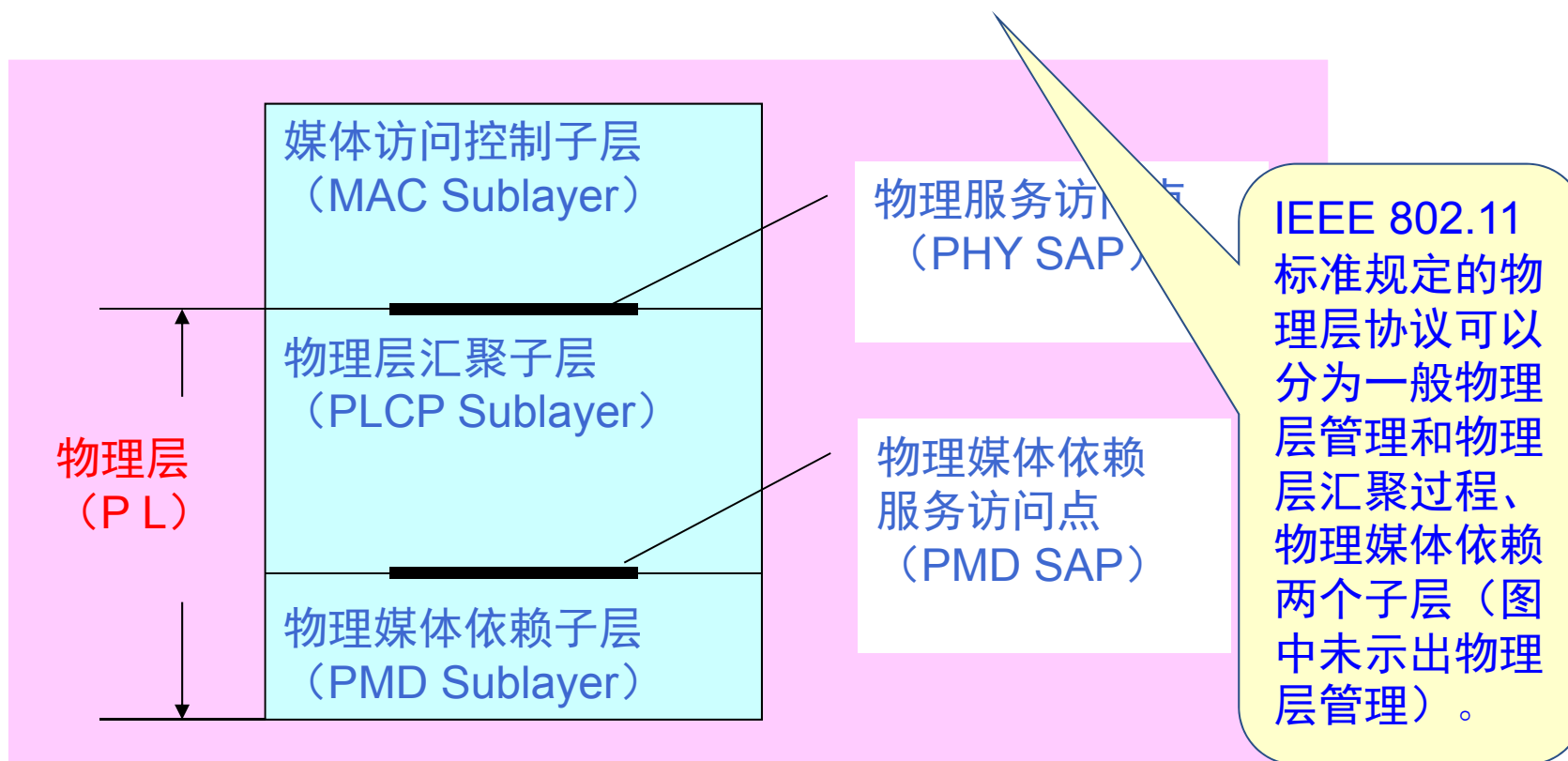
无线局域网的MAC协议

无线局域网(WLAN)的MAC协议的主要功能和操作基本原理原则上与有线局域网没有什么本质区别。由于所采用的**传输媒体**不同，而媒体访问控制(MAC)不能不和媒体有关。无线局域网(WLAN)的MAC协议必须考虑与所用无线传媒相关的一些特定问题，使得在与信道有关的**差错控制、解决隐藏终端**等方面有别于有线局域网。另外，无线局域网(WLAN)的MAC协议在**网络业务功能、网络安全机制**以及协议的具体操作上都比原有的有线局域网MAC协议有较大的改进。



物理层结构与主要功能

物理层结构



IEEE 802.11 物理 (PHY) 层结构

802.11物理层与MAC层



❑ 物理介质依赖子层（PMD）

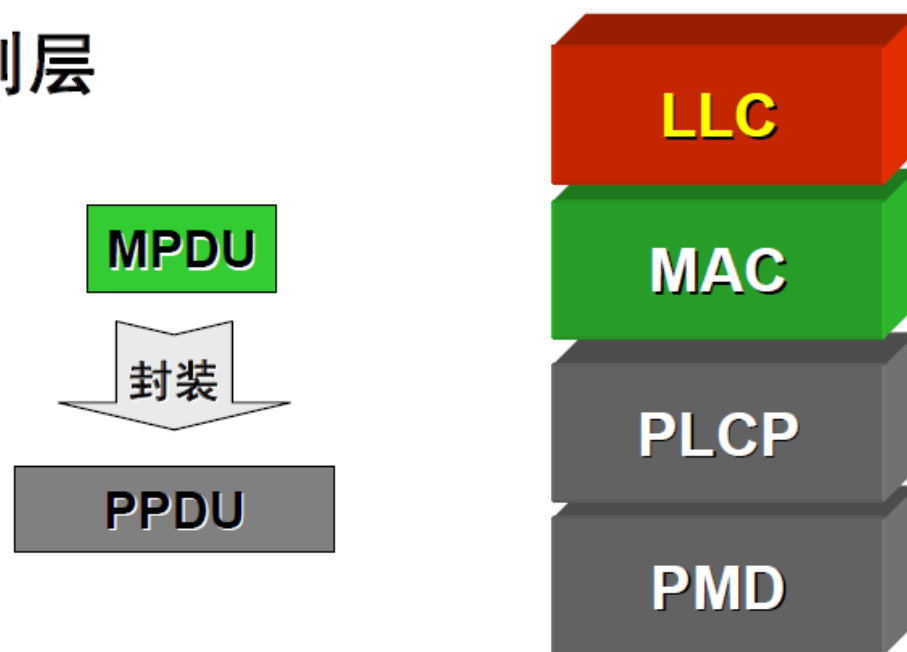
- 调制解调和编码/解码

❑ 物理层汇聚协议（PLCP）

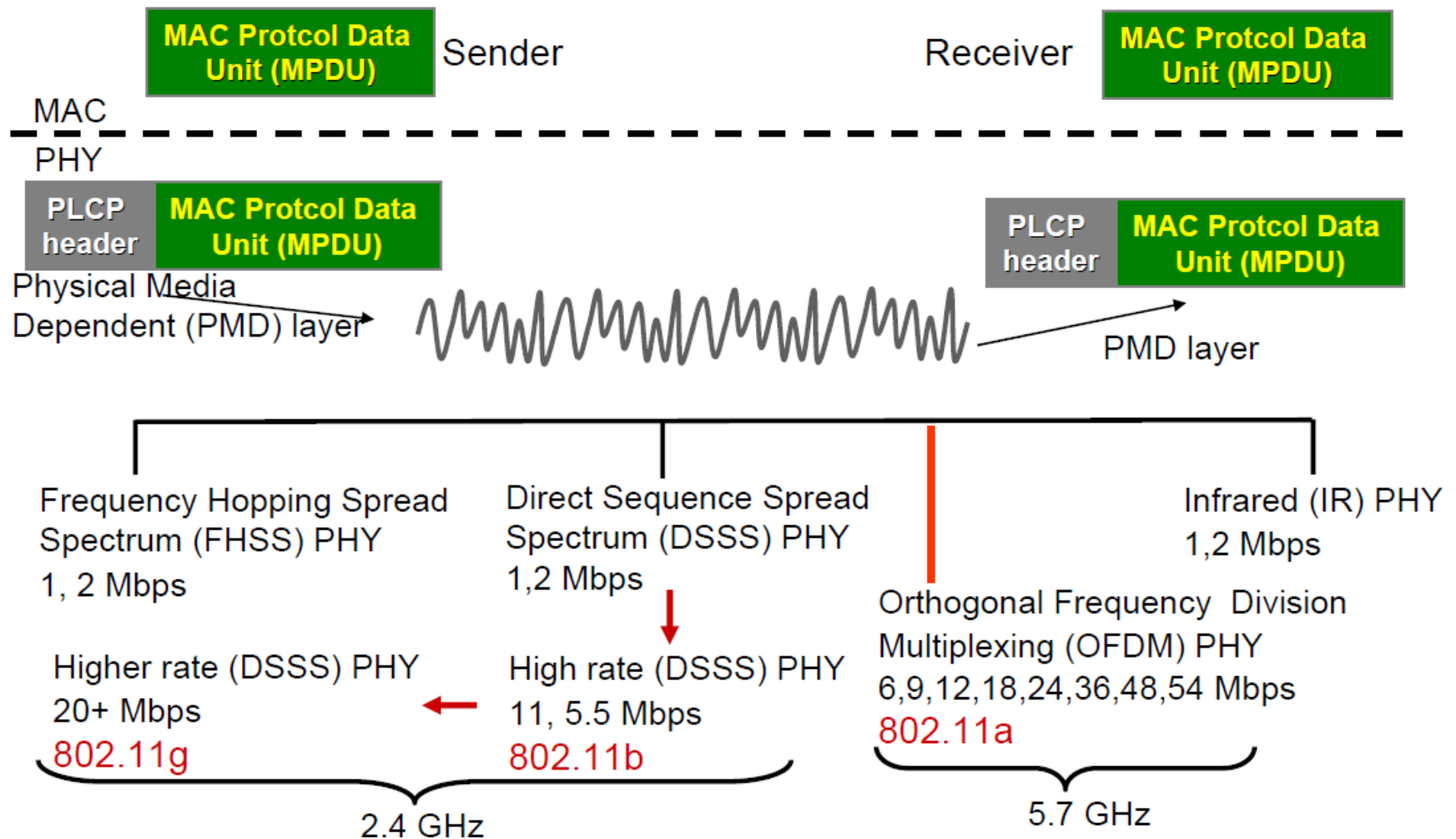
- 向上提供独立于传输技术的物理层访问点（SAP）

❑ 802.11介质访问控制层

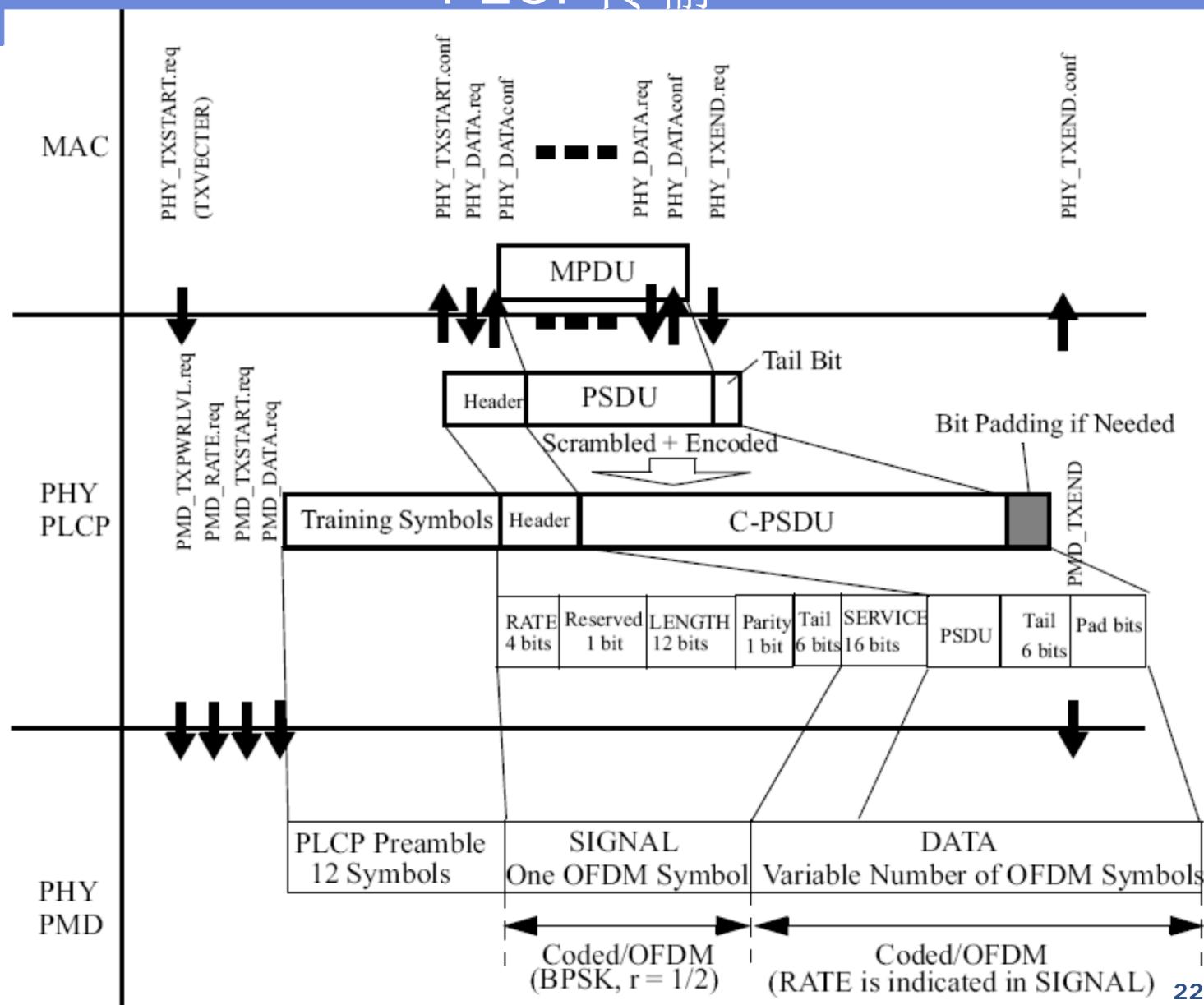
- 控制介质访问
- 用户数据分段
- 加密



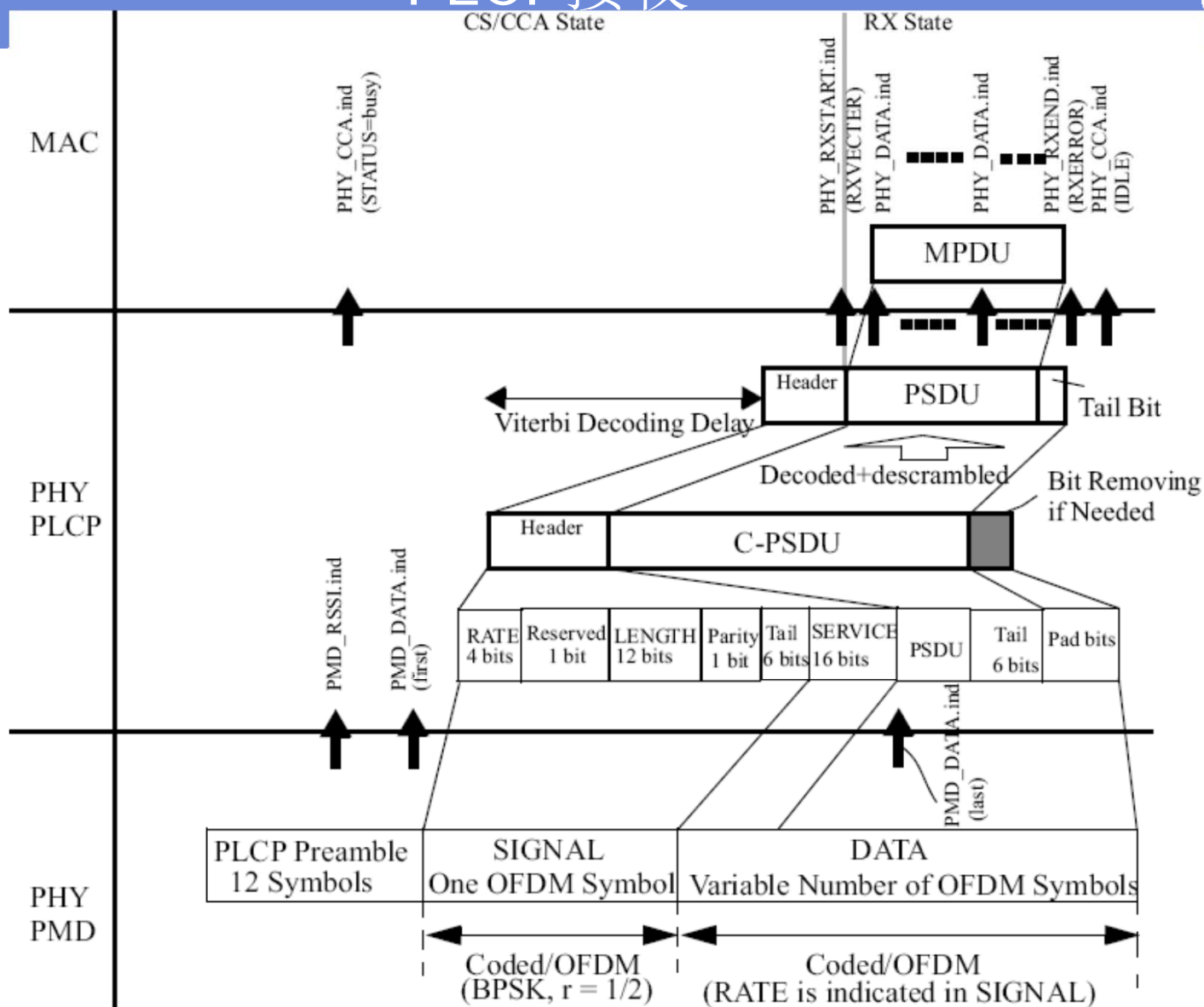
802.11PHY



PLCP传输



PLCP接收

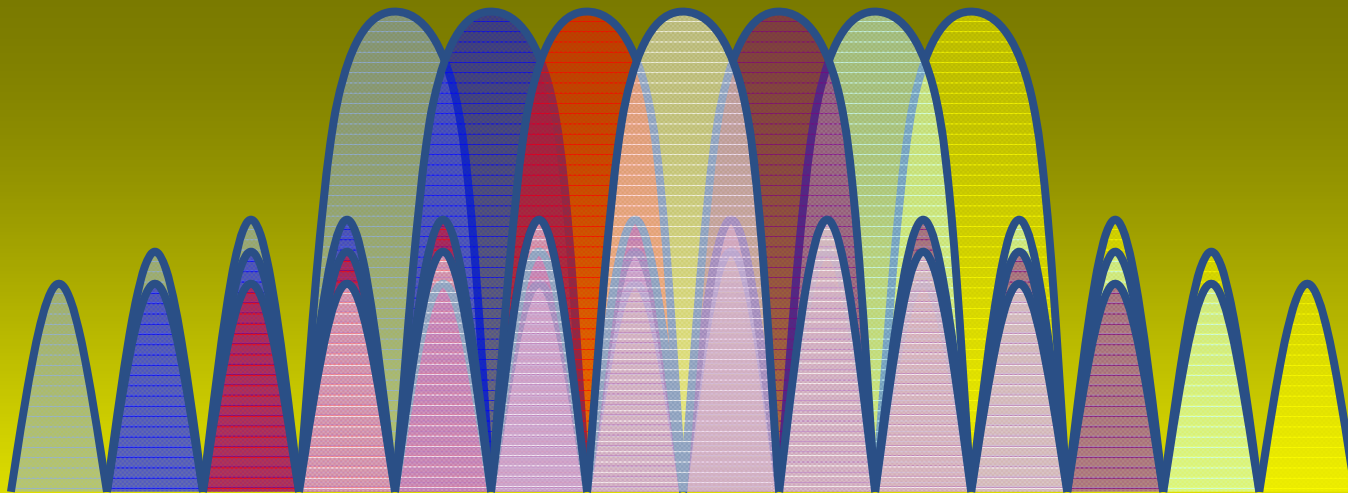


802.11a PHY SPEC. for the 5GHz



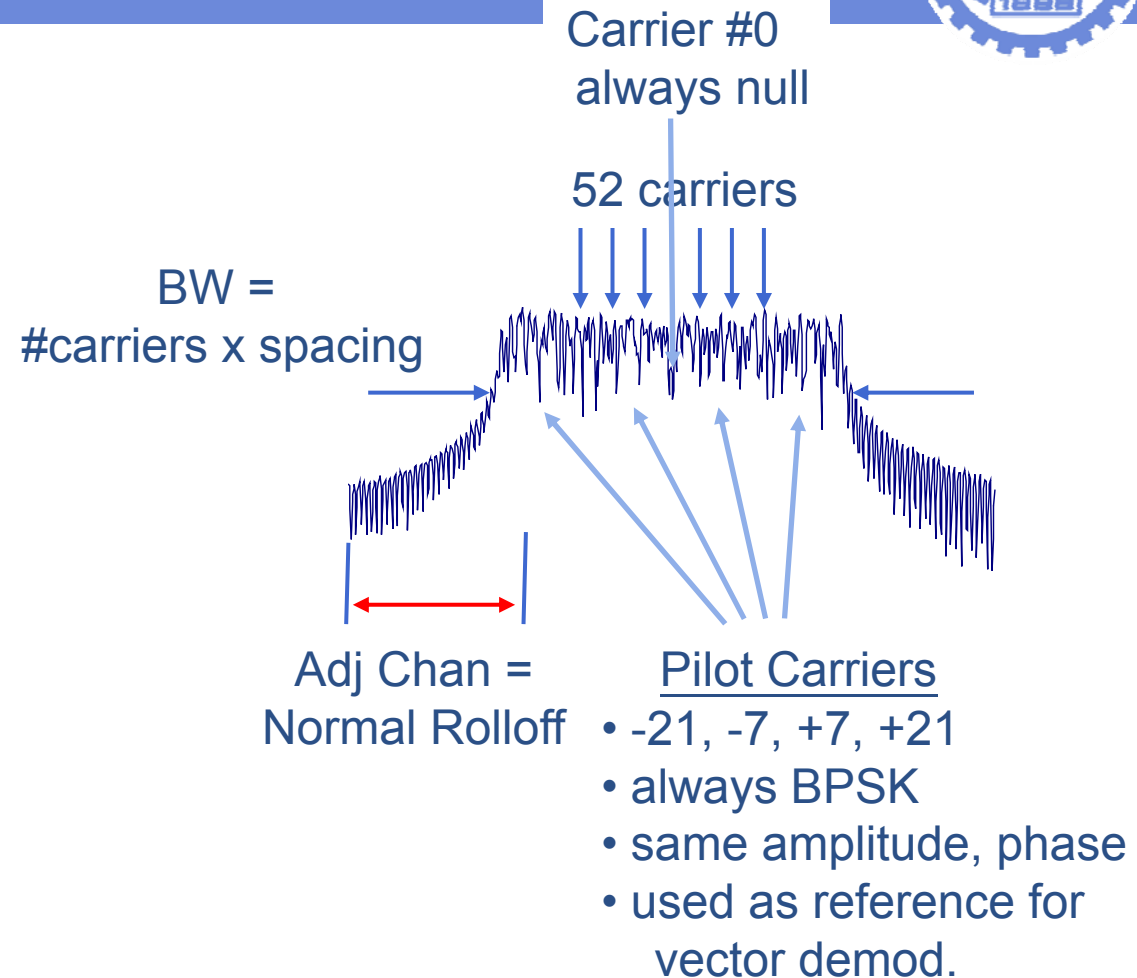
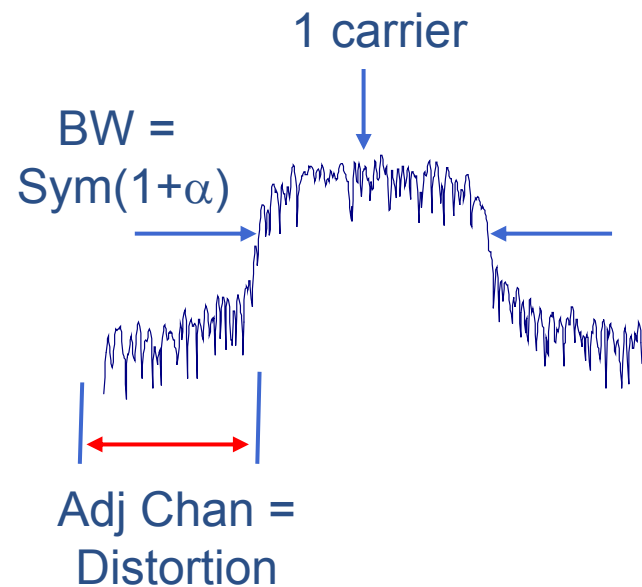
- ❖ The radio frequency (RF) WLAN system is initially aimed for the **5.15-5.25, 5.25-5.35, & 5.725-.5825**GHz unlicensed national information infrastructure (U-NII)band
- ❖ The support of transmitting & receiving at data rates of **6, 12, 24** Mbit/s mandatory (**9, 18, 36, 48, 54Mbit/s** may be supported)
- ❖ The system uses 52 subcarriersthat are modulated using
 - binary or quadraturephase shift keying (BPSK/QPSK)
 - 16-quadrature amplitude modulation (QAM), or 64-QAM
- ❖ Forward error correction coding (convolutionalcoding) is used with a coding rate of **1/2, 2/3, or 3/4**

OFDM: Orthogonal Carriers



- Closely spaced carriers overlap
- Nulls in each carrier's spectrum land at the center of all other carriers for Zero Inter-Carrier Interference

OFDM vs. Single Carrier Modulation

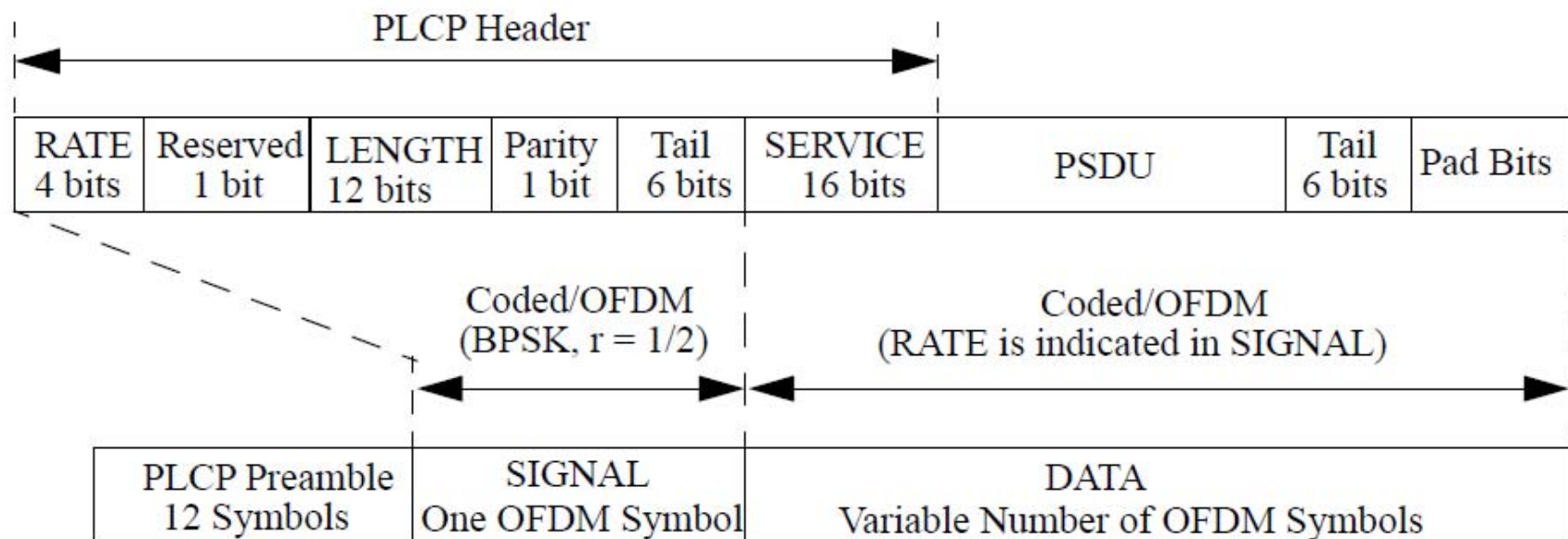


PPDU Frame Format



PLCP Frame Format

The PPDU includes the OFDM PLCP preamble, OFDM PLCP header, PSDU, tail bits, and pad bits.





信号：**24**比特，包括速率**4bits**，预留**1**，长度**12**，奇偶校验**1**，**6**个尾**bits**。

- ❖ 速率**4bits**表示调制方式和编码速率
- ❖ 预留**1bit**作为保留比特
- ❖ 长度**12bits**规定了PSDU中的字节数
- ❖ 尾比特用来刷新卷积编码器和终止编码器中的码网格。



数据（Data）包括服务域，PSDU数据和6个尾比特和填充比特。

- ❖ 服务域的前7个bit为0，用来初始化解扰码器，剩余的9bit用于保留
- ❖ 6个尾bit是加在PPDU后的0，保证卷积码编码器能回归到0状态。

PLCP Preamble



❖ PLCP前导序列用于系统同步，由10个短符号和2个长符号组成

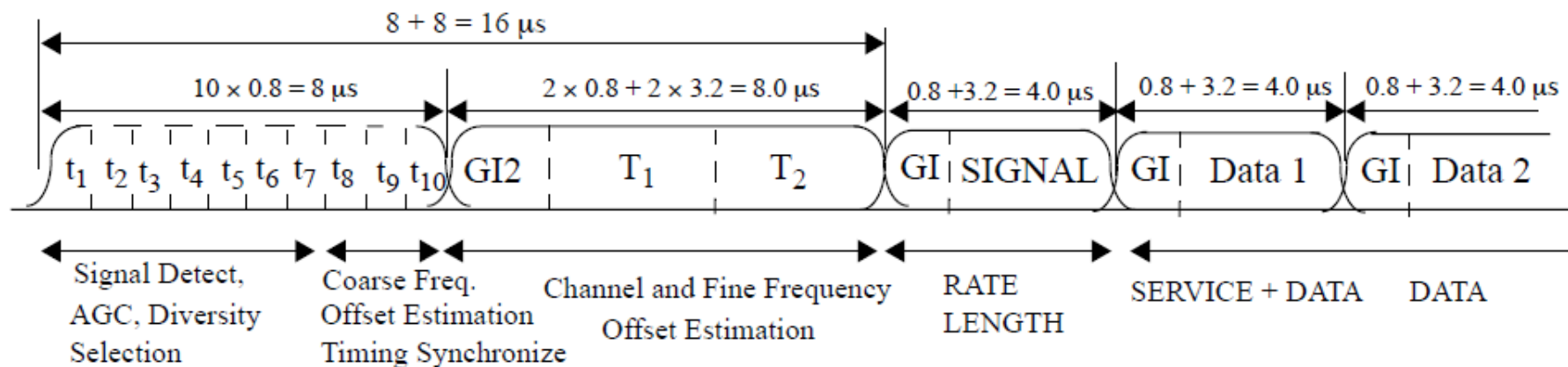
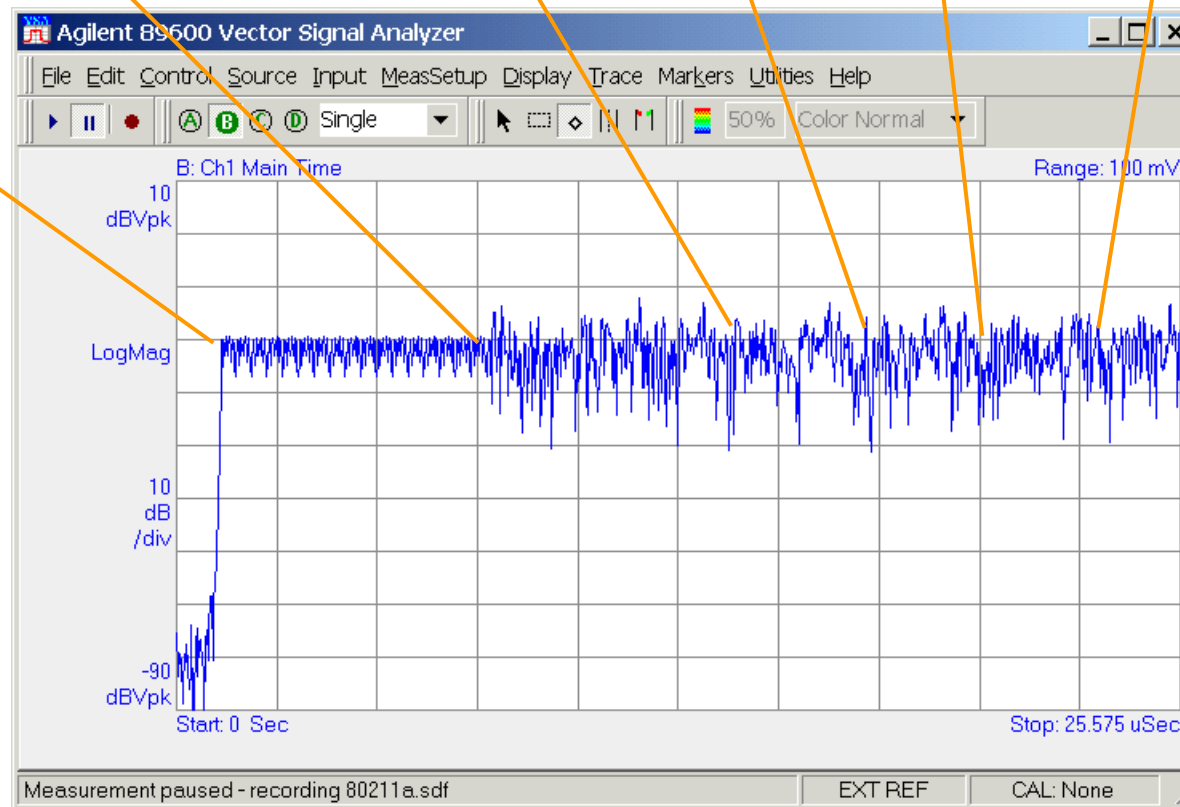


Figure 110—OFDM training structure

Structure of IEEE802.11a OFDM Frame



Short Training Symbol



$$S_{-26, 26} = \sqrt{(13/6)} \times \{0, 0, 1+j, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0\}$$

Short Training

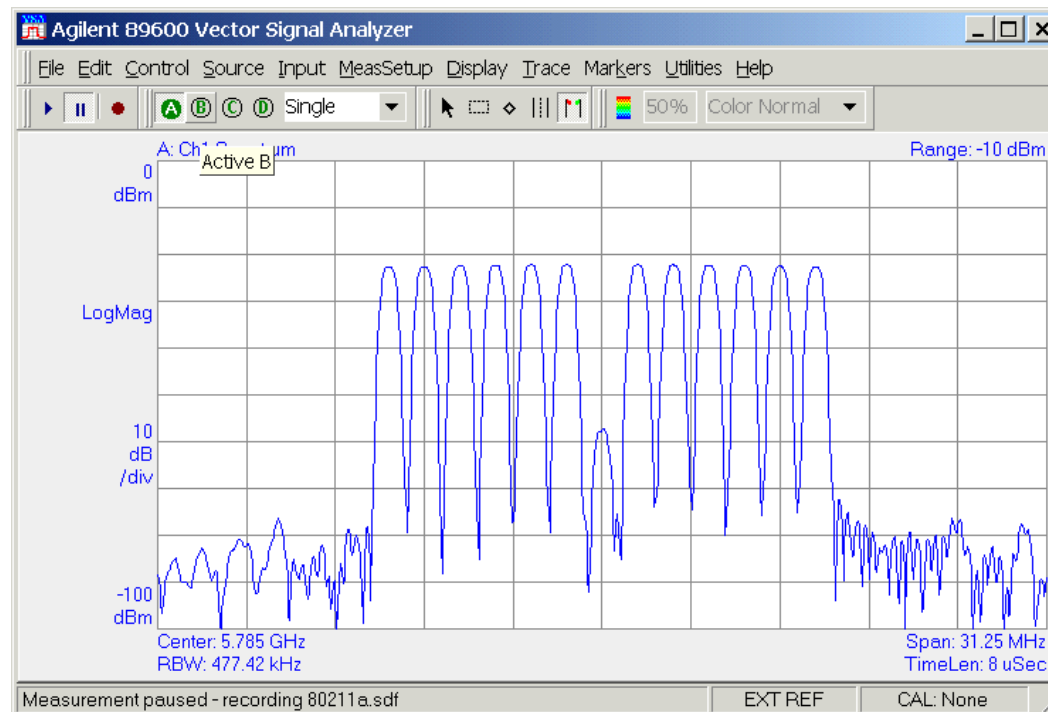
Chan. Estimation

SIGNAL

Data 1

Data 2

...Data N . . .



Short Training Seq.

- 8 uSec length
- Every 4th carrier, equal amplitude/phase
- Signal detect, AGC, timing synchronization, coarse freq. estimation.

Long Training Symbol



$$L_{-26, 26} = \{1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 0, \\ 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1\}$$

Short Training

Chan. Estimation

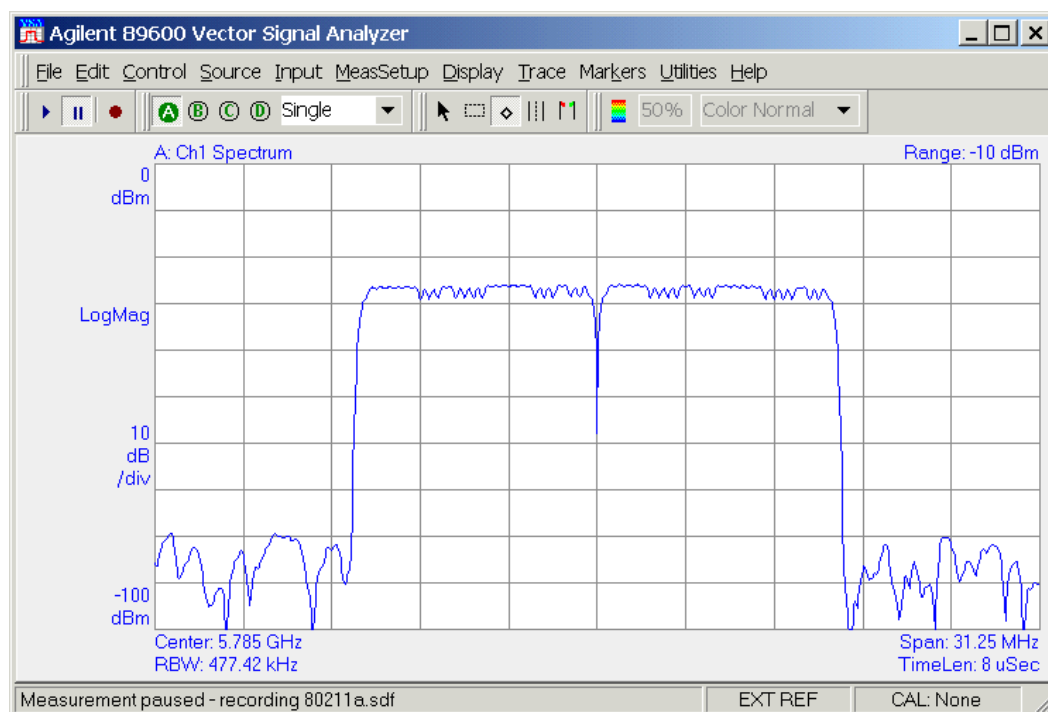
SIGNAL

Data 1

Data 2

...Data N

...



Channel Estimation

- 8 uSec length
- Every carrier, equal amplitude and phase.
- Channel equalization, fine freq. estimation.

Structure of IEEE802.11a OFDM Frame



Short Training

Chan. Estimation

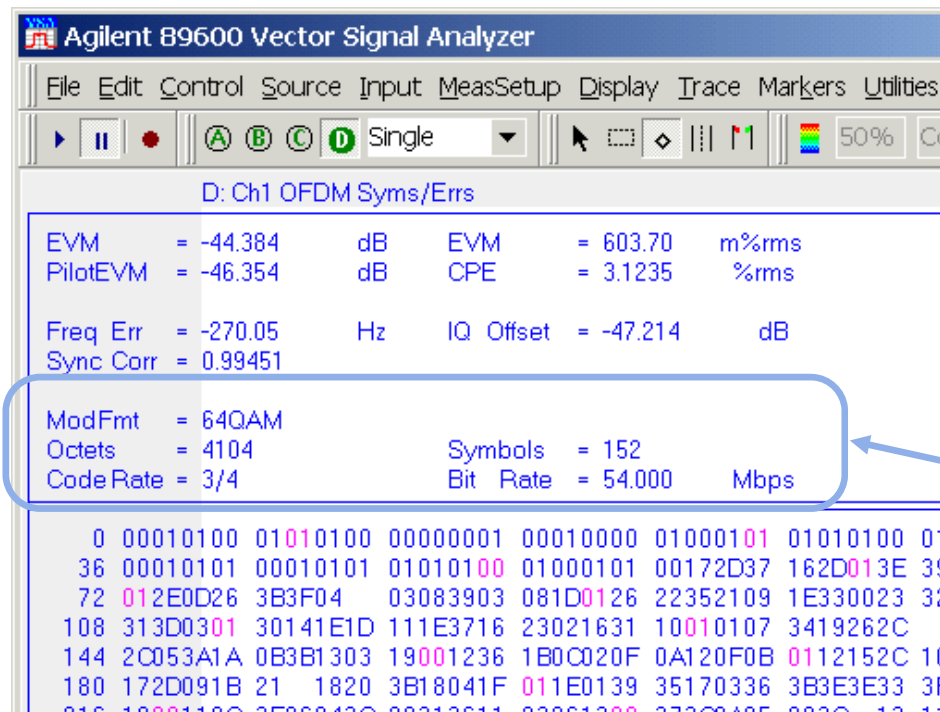
SIGNAL

Data 1

Data 2

...Data N

...



SIGNAL Symbol

- 4 uSec length
- Always BPSK.
- Describes this frame's rate, length.

These parameters are read from signal under test.
(IEEE802.11a only)

Structure of IEEE802.11a OFDM Frame



Short Training

Chan. Estimation

SIGNAL

Data 1

Data 2

...Data N . . .

Data Rate	Mod. Format	Coding Rate	Bits per Symbol
6 Mbits/sec	BPSK	1/2	24
9	BPSK	3/4	36
12	QPSK	1/2	48
18	QPSK	3/4	72
24	16QAM	1/2	96
36	16QAM	3/4	144
48	64QAM	2/3	192
54	64QAM	3/4	216

Data Symbols

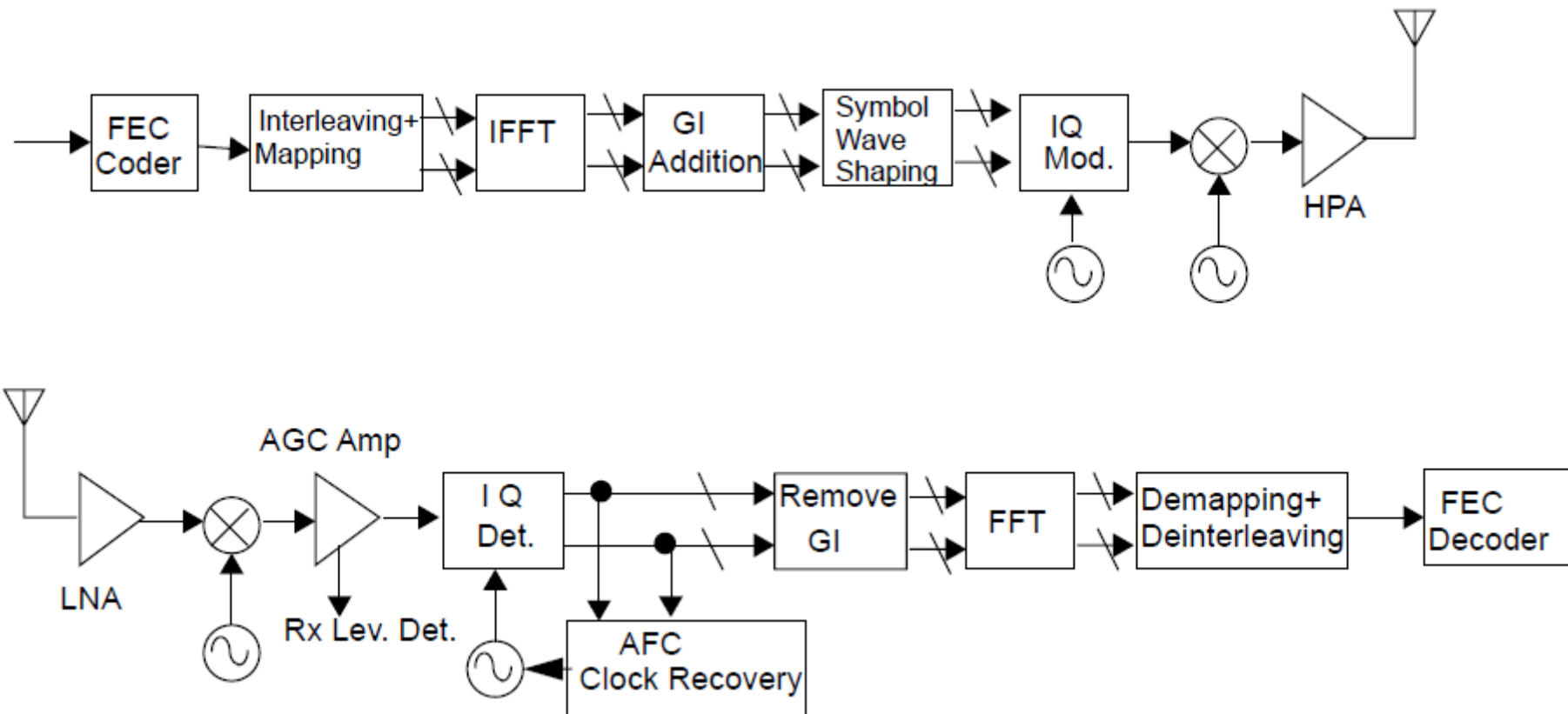
- 1 symbol =
 - 4 uSec length
 - 1 FFT
 - 52 carriers (48 + 4)
 - 52 constellation dots
- Format varies
- Coding varies
- Max 4096 symbols per frame.
- *MAC layer starts here.*

Timing Related Parameters



Parameter	Value
N_{SD} : Number of data subcarriers	48
N_{SP} : Number of pilot subcarriers	4
N_{ST} : Number of subcarriers, total	52 ($N_{SD} + N_{SP}$)
Δ_F : Subcarrier frequency spacing	0.3125 MHz (=20 MHz/64)
T_{FFT} : IFFT/FFT period	3.2 μ s ($1/\Delta_F$)
$T_{PREAMBLE}$: PLCP preamble duration	16 μ s ($T_{SHORT} + T_{LONG}$)
T_{SIGNAL} : Duration of the SIGNAL BPSK-OFDM symbol	4.0 μ s ($T_{GI} + T_{FFT}$)
T_{GI} : GI duration	0.8 μ s ($T_{FFT}/4$)
T_{GI2} : Training symbol GI duration	1.6 μ s ($T_{FFT}/2$)
T_{SYM} : Symbol interval	4 μ s ($T_{GI} + T_{FFT}$)
T_{SHORT} : Short training sequence duration	8 μ s ($10 \times T_{FFT} / 4$)
T_{LONG} : Long training sequence duration	8 μ s ($T_{GI2} + 2 \times T_{FFT}$)

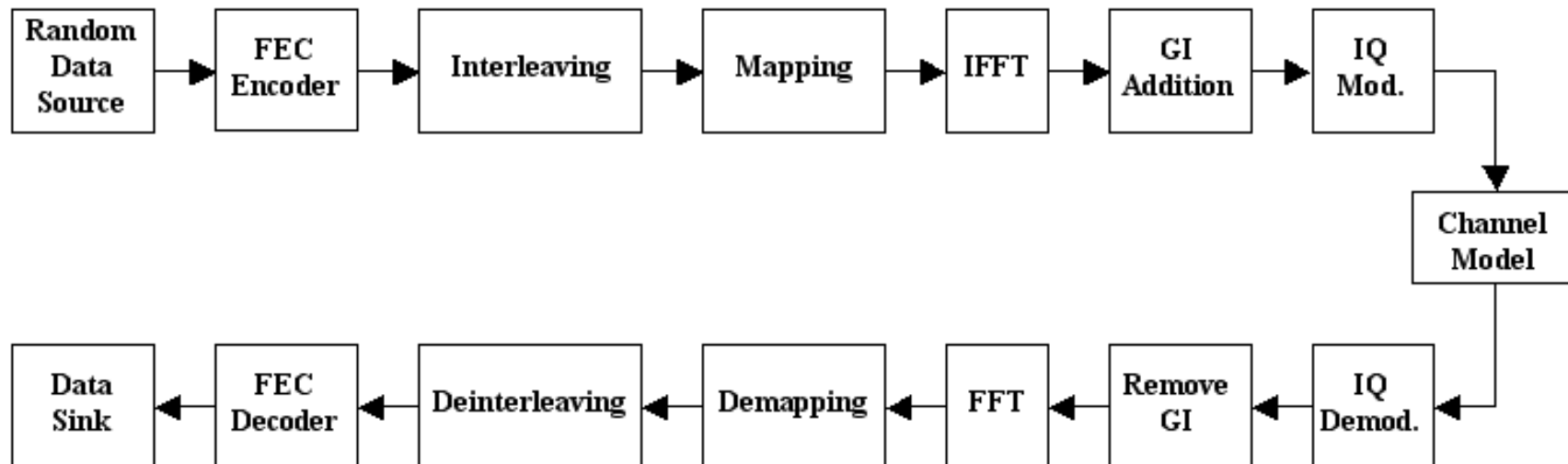
802.11a Transmitter and Receiver



System Overview



❖ Transceiver block diagram for the OFDM PHY

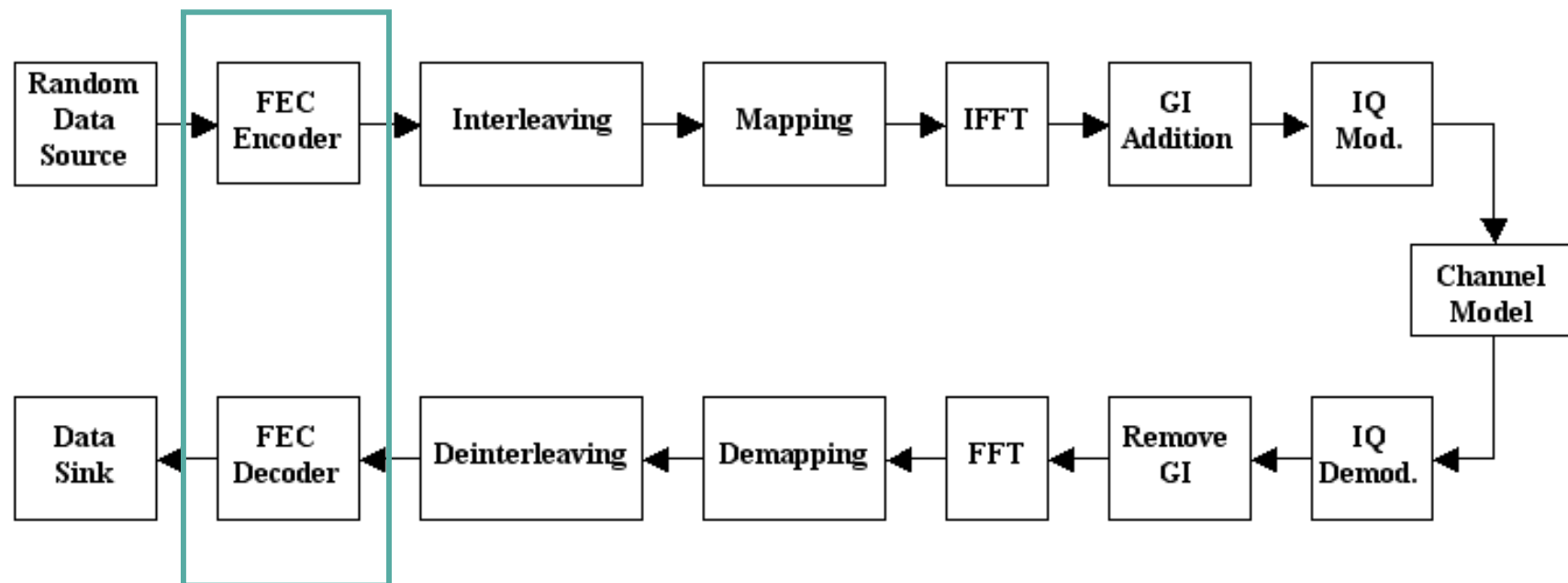


Channel Coding



❖ Punctured Convolutional Coding

- Coding Rate = $1/2$, $2/3$, or $3/4$



卷积编码器(Convolutional encoder)



- ❖ 为实现编码速率为 $R=1/2, 2/3, 3/4$ 所对应的数据速率, IEEE802.11标准中规定使用标准的编码速率为 $1/2$ 的卷积码编码器,其中 $g_0=(133)_8, g_1=(171)_8$,如下图所示:

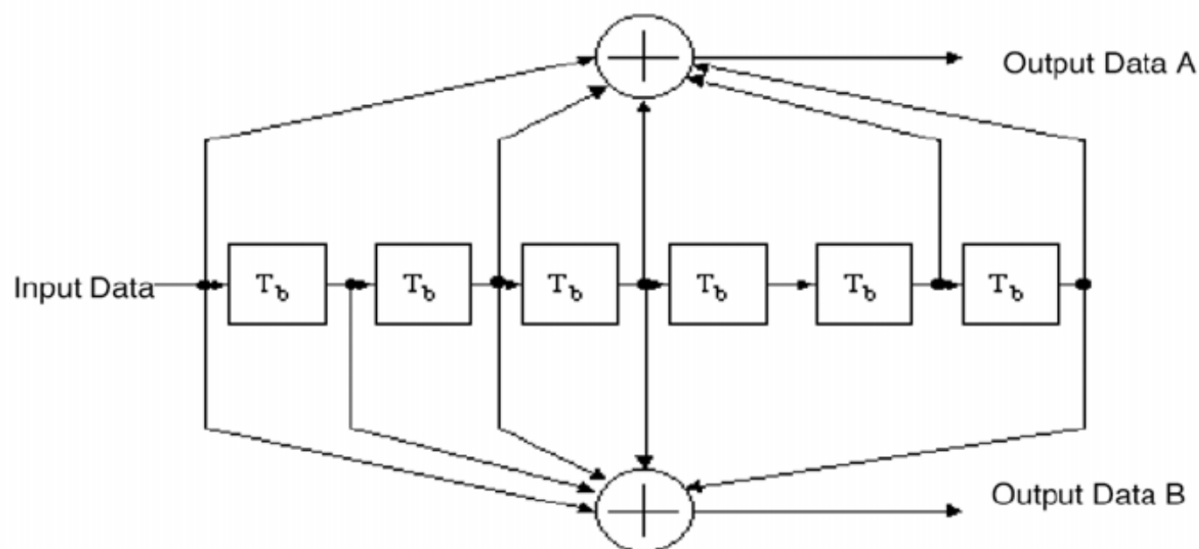


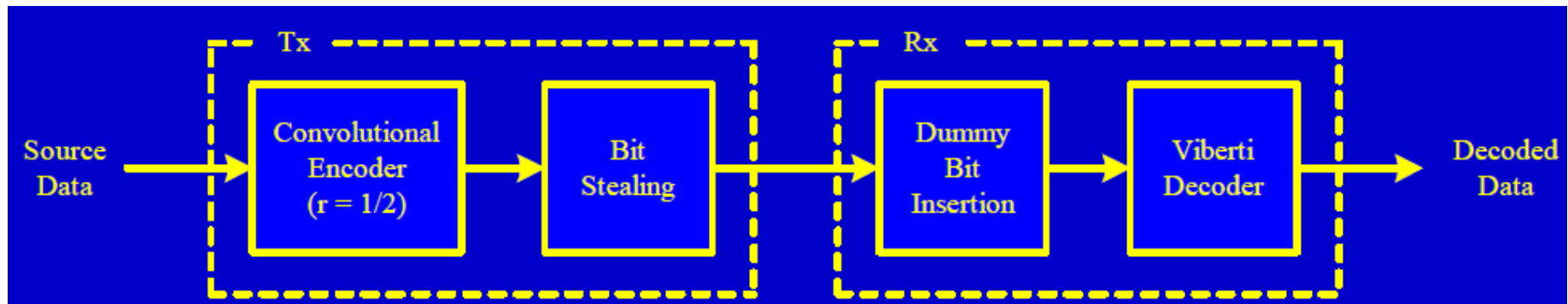
Figure 17-8—Convolutional encoder ($k = 7$)

为了实现更高码率的编码,采用凿孔的方式,即将编码后的某些位放弃不予传送,而在接收端只在相应的地方补0即可.

Punctured Coding



- ❖ Higher rates are derived from it by employing “puncturing”
- ❖ Puncturing is a procedure for omitting some of the encoded bit in the Tx



Punctured Coding



Punctured Coding ($r = 3/4$)

Source Data

X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Encoded Data

A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
B_0	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8



Stolen Bit



Bit Stolen Data
(sent/received data)

A_0	B_0	A_1	B_1	A_2	B_2	A_3	B_3	A_4	B_4	A_5	B_5	A_6	B_6	A_7	B_7	A_8	B_8
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Bit Inserted Data

A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
B_0	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8



Inserted Dummy Bit



Decoded Data

y_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Punctured Coding



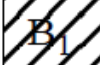
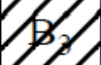

Punctured Coding ($r = 2/3$)

Source Data

X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
-------	-------	-------	-------	-------	-------



Encoded Data

A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
B_0		B_2		B_4	



Stolen Bit

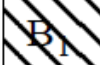
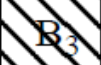
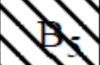


Bit Stolen Data
(sent/received data)

A_0	B_0	A_1	A_2	B_2	A_3	A_4	B_4	A_5
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Bit Inserted Data

A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
B_0		B_2		B_4	



Inserted Dummy Bit



Decoded Data

y_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
-------	-------	-------	-------	-------	-------

Free Distance



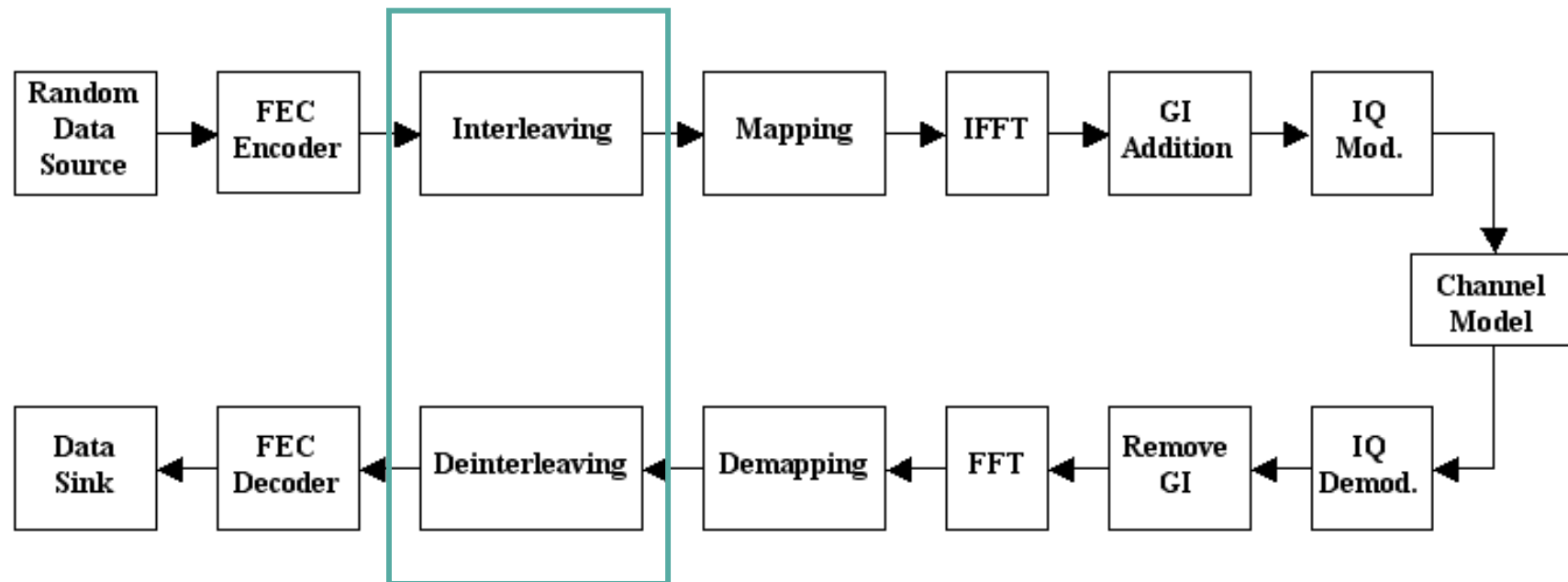
- ❖ 分组码通过最小汉明距离 d_{\min} 表征码的纠错能力，在一个码字中不超过 $(d_{\min}-1)/2$ 个的错误均可纠正。
- ❖ 卷积码有最小自由距离 d_{free} ，卷积码能纠 $(d_{\text{free}}-1)/2$ 个错误

Code Rates	Punctured Free Distance	Punctured Coding Gain	Optimum Free Distance	Optimum Coding Gain
1/2	—	—	10	7.0 dB
2/3	6	6.0 dB	7	6.7 dB
3/4	5	5.7 dB	6	6.5 dB

Interleaving



❖ Two-Step Permutation



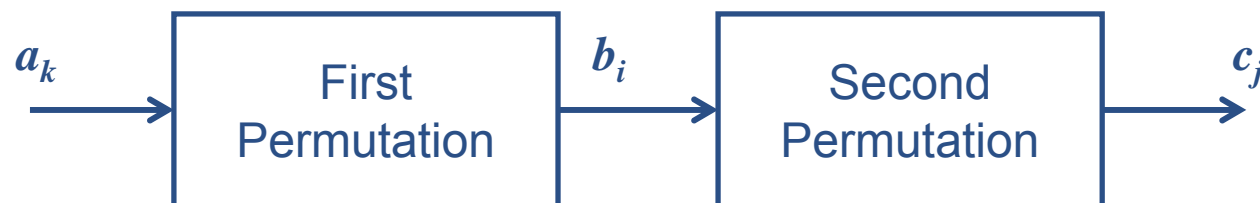
交织



❖ 在一个OFDM符号之中的所有编码之后的bit要进行交织

❖ Rule

- **First Permutation** 使相邻编码比特映射到不相邻子载波上
 - $i = (N_{\text{CBPS}}/16)(k \bmod 16) + \text{floor}(k/16), k = 0, 1, \dots, N_{\text{CBPS}} - 1$
- **Second Permutation** 使相邻编码比特交替映射到星座图重要性不同的比特位上
 - $j = s \times \text{floor}(i/s) + [i + N_{\text{CBPS}} - \text{floor}(16 \times i / N_{\text{CBPS}})] \bmod s, i = 0, 1, \dots, N_{\text{CBPS}} - 1$
 - $s = \max(N_{\text{BPSK}}/2, 1)$

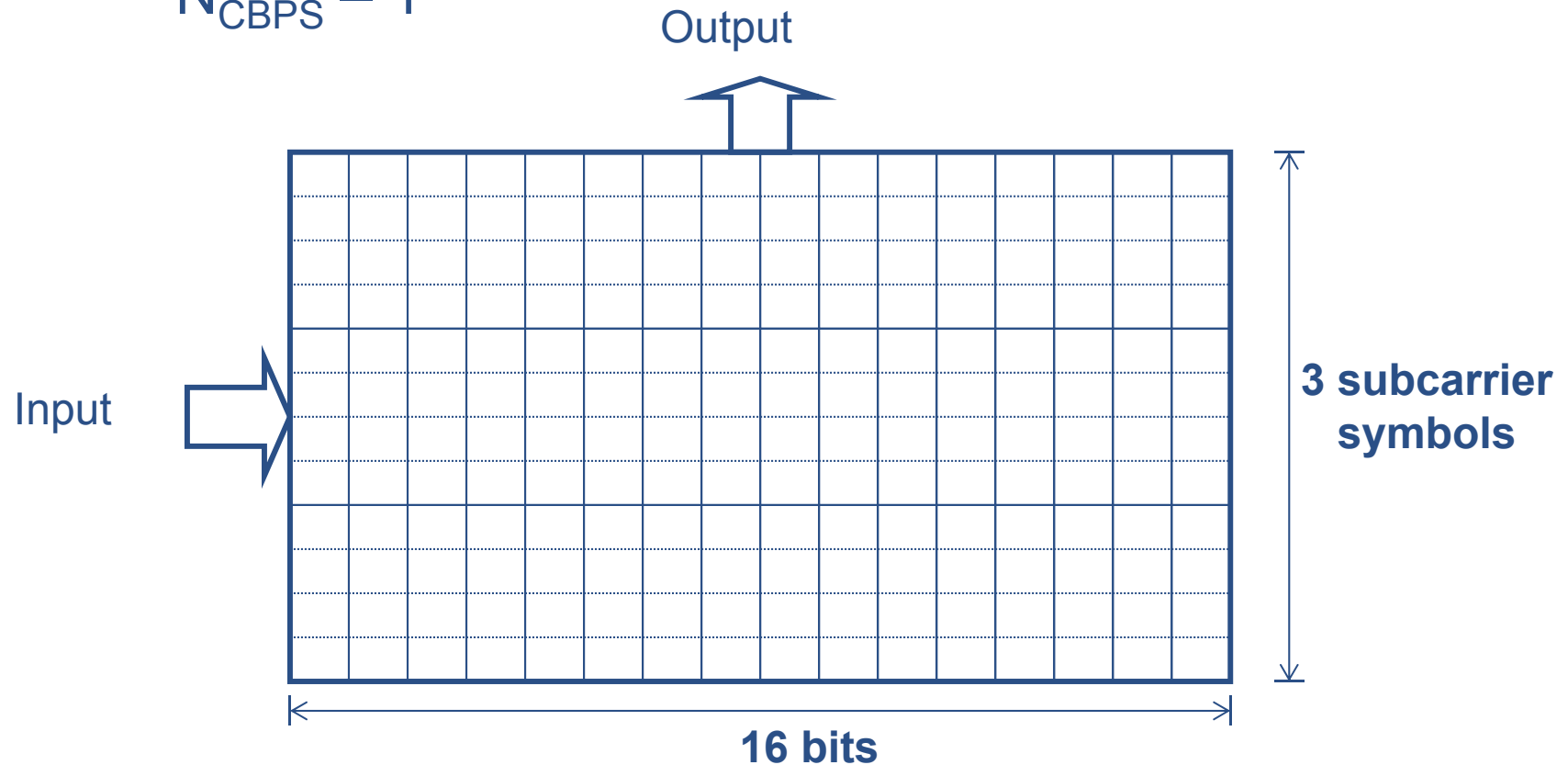


Interleaving



❖ First Permutation

- $i = (N_{\text{CBPS}}/16)(k \bmod 16) + \text{floor}(k/16)$, $k = 0, 1, \dots, N_{\text{CBPS}} - 1$



Interleaving



❖ First Permutation

- Example: 64-QAM

<i>k</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>i</i>	0	18	36	54	72	90	118	126	144	162	180	198	216	234	252	270
<i>k</i>	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
<i>i</i>	1	19	37	55	73	91	119	127	145	163	181	199	217	235	253	271
<i>k</i>	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287
<i>i</i>	17	35	53	71	89	117	125	143	161	179	197	215	233	257	269	287

Interleaving

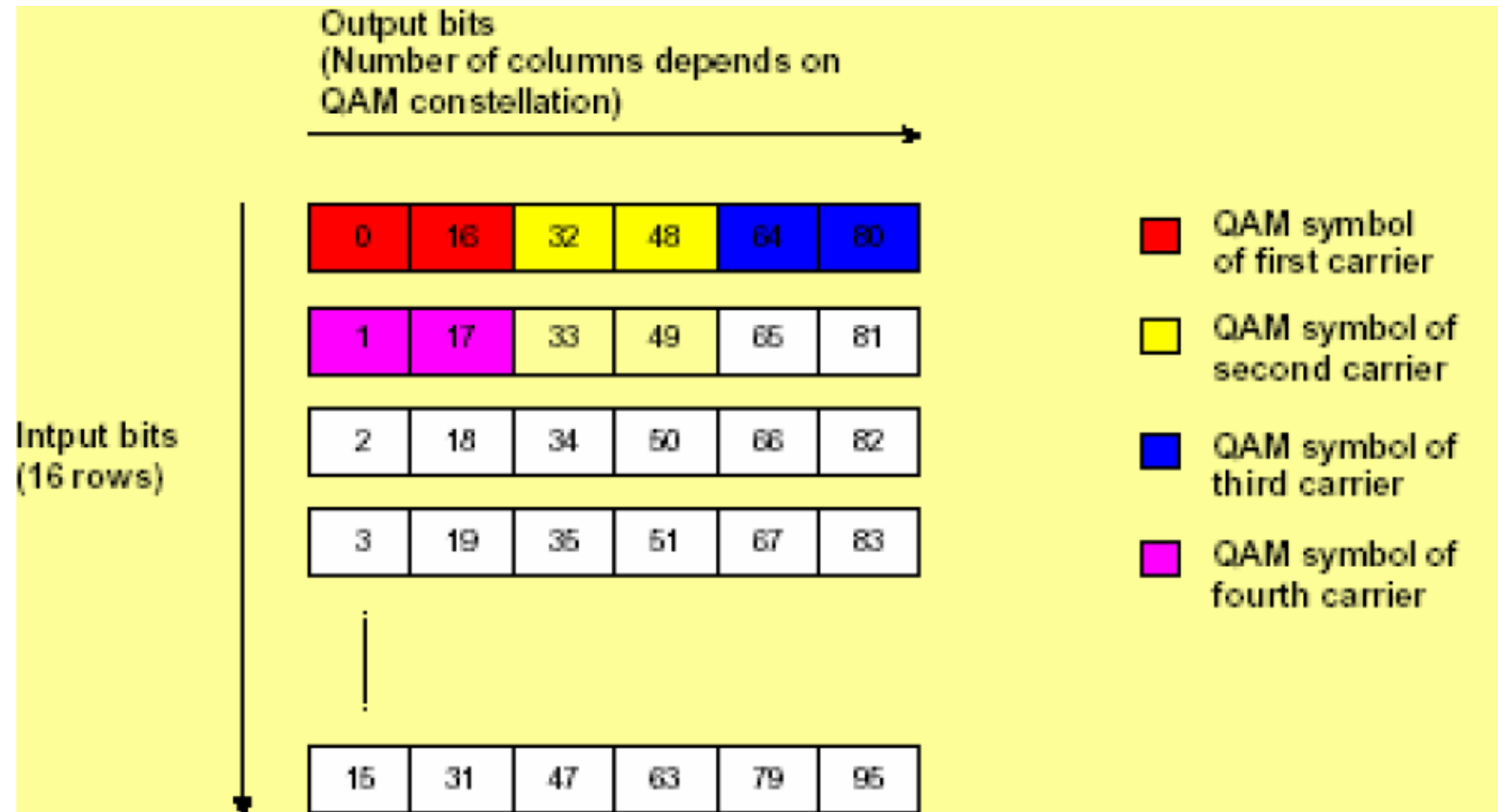


❖ Second Permutation

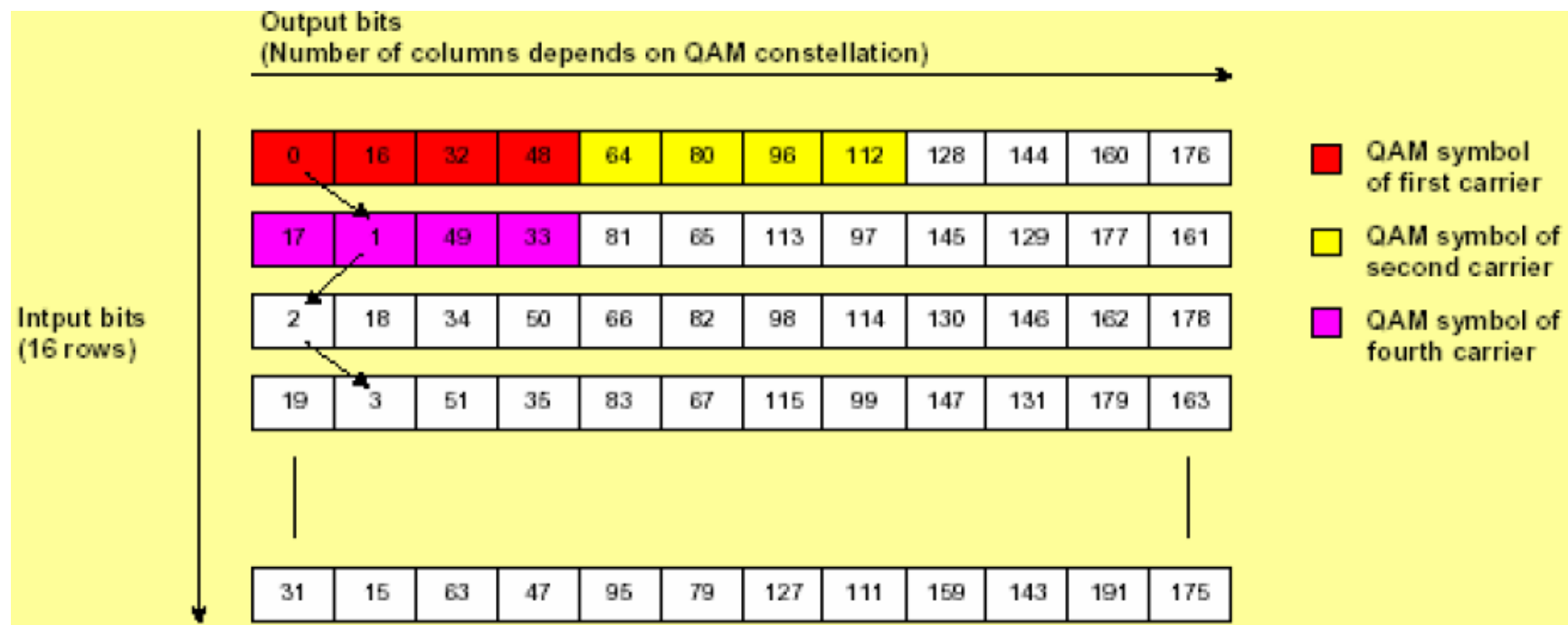
- Example: 64-QAM

i	j	i	j	i	j	i	j	i	j	i	j
0	0	18	20	36	37	54	54	72	74	90	91
1	1	19	18	37	38	55	55	73	72	91	92
2	2	20	19	38	36	56	56	74	73	92	90
3	3	21	23	39	40	57	57	75	77	93	94
4	4	22	21	40	41	58	58	76	75	94	95
5	5	23	22	41	39	59	59	77	76	95	93
6	6	24	26	42	43	60	60	78	80	96	97
7	7	25	24	43	44	61	61	79	78	97	98
8	8	26	25	44	42	62	62	80	79	98	96
9	9	27	29	45	46	63	63	81	83	99	100
10	10	28	27	46	47	64	64	82	81	100	101
11	11	29	28	47	45	65	65	83	82	101	99
12	12	30	32	48	49	66	66	84	86	102	103
13	13	31	30	49	50	67	67	85	84	103	104
14	14	32	31	50	48	68	68	86	85	104	102
15	15	33	35	51	52	69	69	87	89	105	106
16	16	34	23	52	53	70	70	88	87	106	107
17	17	35	34	53	51	71	71	89	88	107	105

Interleaver: QPSK



Interleaver: 16-QAM



Deinterleaving



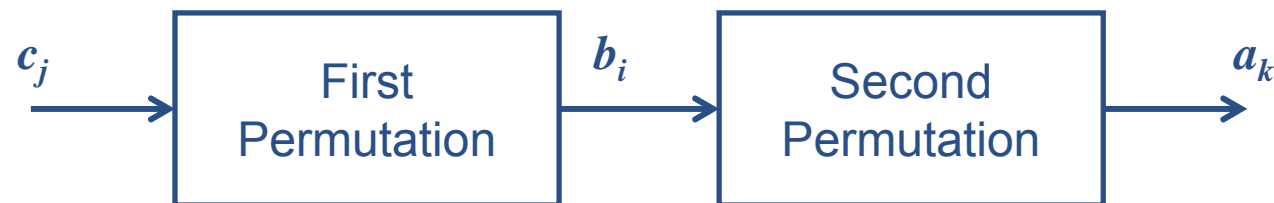
❖ Rule

■ First Permutation

- $i = s \times \text{floor}(j/s) + [j + \text{floor}(16 \times j / N_{\text{CBPS}})] \bmod s, j = 0, 1, \dots, N_{\text{CBPS}} - 1$
– $s = \max(N_{\text{BPSC}}/2, 1)$

■ Second Permutation

- $k = 16 \times i - (N_{\text{CBPS}} - 1) \text{floor}(16 \times i / N_{\text{CBPS}}), i = 0, 1, \dots, N_{\text{CBPS}} - 1$



Deinterleaving



❖ First Permutation

- Example:
64QAM

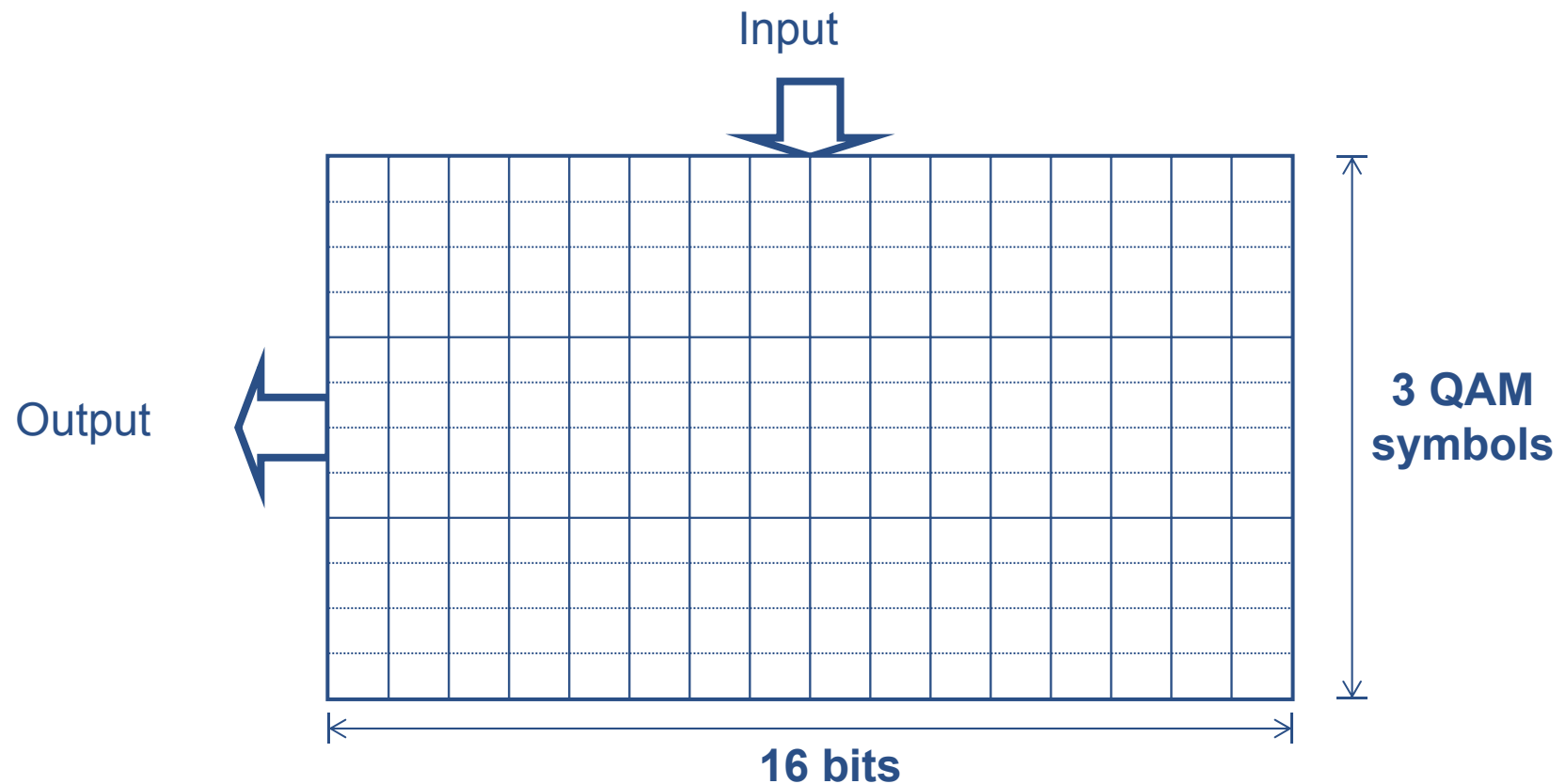
i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i
0	0	18	19	36	38	54	54	72	73	90	92
1	1	19	20	37	36	55	55	73	74	91	90
2	2	20	18	38	37	56	56	74	72	92	91
3	3	21	22	39	41	57	57	75	76	93	95
4	4	22	23	40	39	58	58	76	77	94	93
5	5	23	21	41	40	59	59	77	75	95	94
6	6	24	25	42	44	60	60	78	79	96	98
7	7	25	26	43	42	61	61	79	80	97	96
8	8	26	24	44	43	62	62	80	78	98	97
9	9	27	28	45	47	63	63	81	82	99	101
10	10	28	29	46	45	64	64	82	83	100	99
11	11	29	27	47	46	65	65	83	81	101	100
12	12	30	31	48	50	66	66	84	85	102	104
13	13	31	32	49	48	67	67	85	86	103	102
14	14	32	30	50	49	68	68	86	84	104	103
15	15	33	34	51	53	69	69	87	88	105	107
16	16	34	25	52	51	70	70	88	89	106	105
17	17	35	33	53	52	71	71	89	87	107	106

Deinterleaving



❖ Second Permutation

- $i = s \times \text{floor}(j/s) + [j + \text{floor}(16 \times j / N_{\text{CBPS}})] \bmod s$

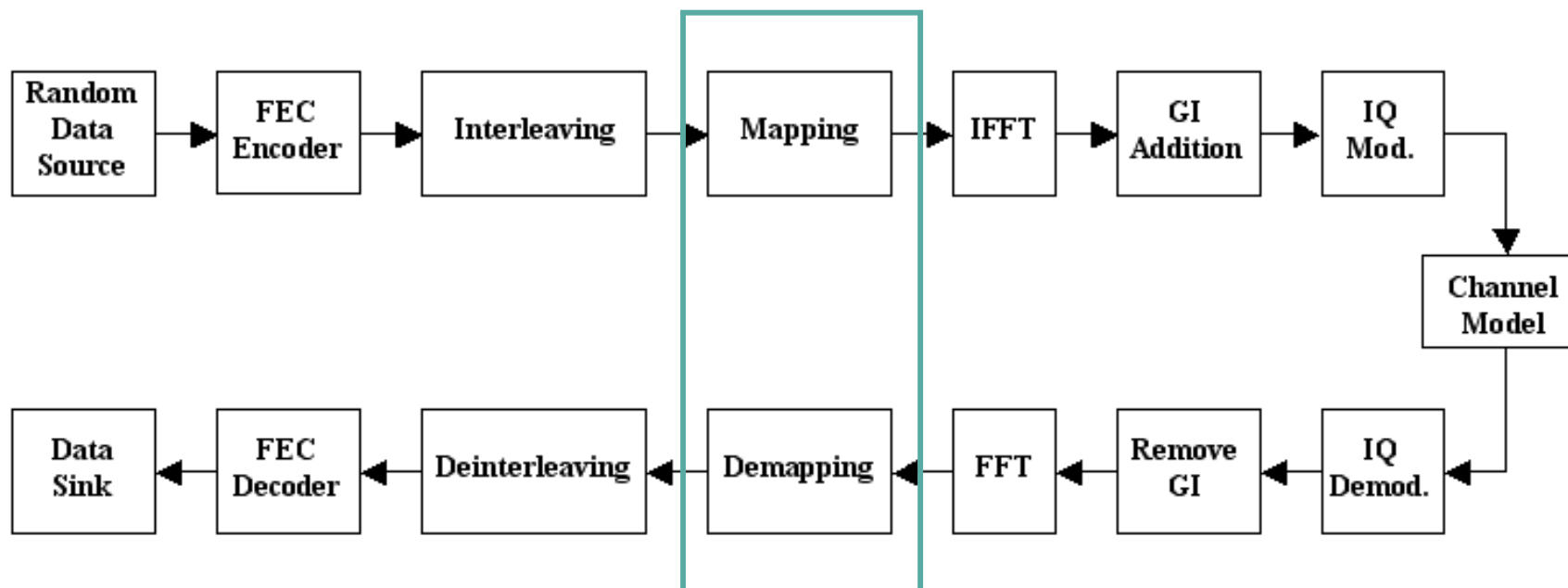


Subcarrier Modulation



❖ Modulation Type

- BPSK, QPSK, 16-QAM, or 64-QAM



Subcarrier Modulation

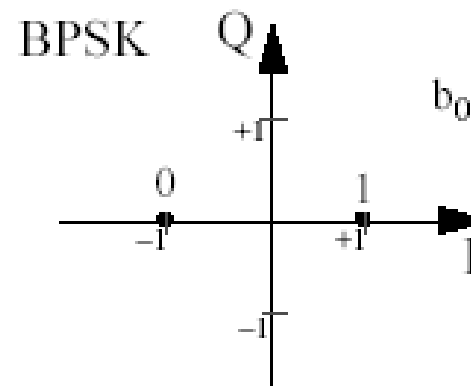


❖ BPSK

■ Encoding Table

Input bit (b_0)	I-out	Q-out
0	-1	0
1	1	0

■ Constellation



Subcarrier Modulation



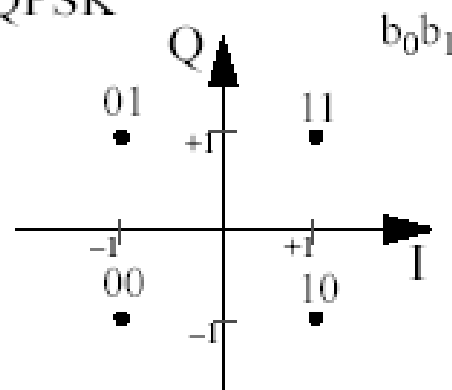
❖ QPSK

■ Encoding Table

Input bit (b_0)	I-out
0	-1
1	1

Input bit (b_1)	Q-out
0	-1
1	1

■ Constellation QPSK



Subcarrier Modulation



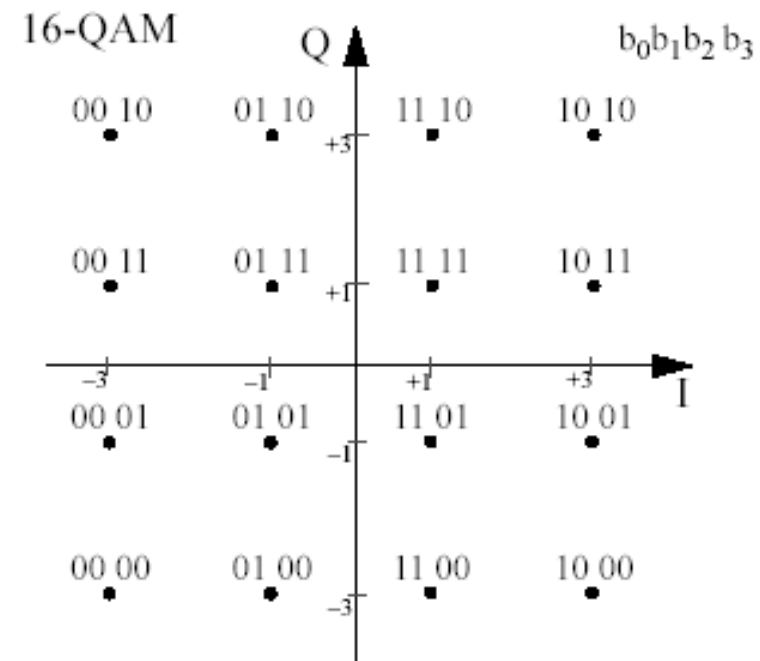
❖ 16-QAM

■ Encoding Table

Input bits ($b_0 b_1$)	I-out
00	-3
01	-1
11	1
10	3

Input bits ($b_2 b_3$)	Q-out
00	-3
01	-1
11	1
10	3

■ Constellation



Subcarrier Modulation



❖ 64-QAM

■ Encoding Table

Input bits (b_0 b_1 b_2)	I-out
000	-7
001	-5
011	-3
010	-1
110	1
111	3
101	5
100	7

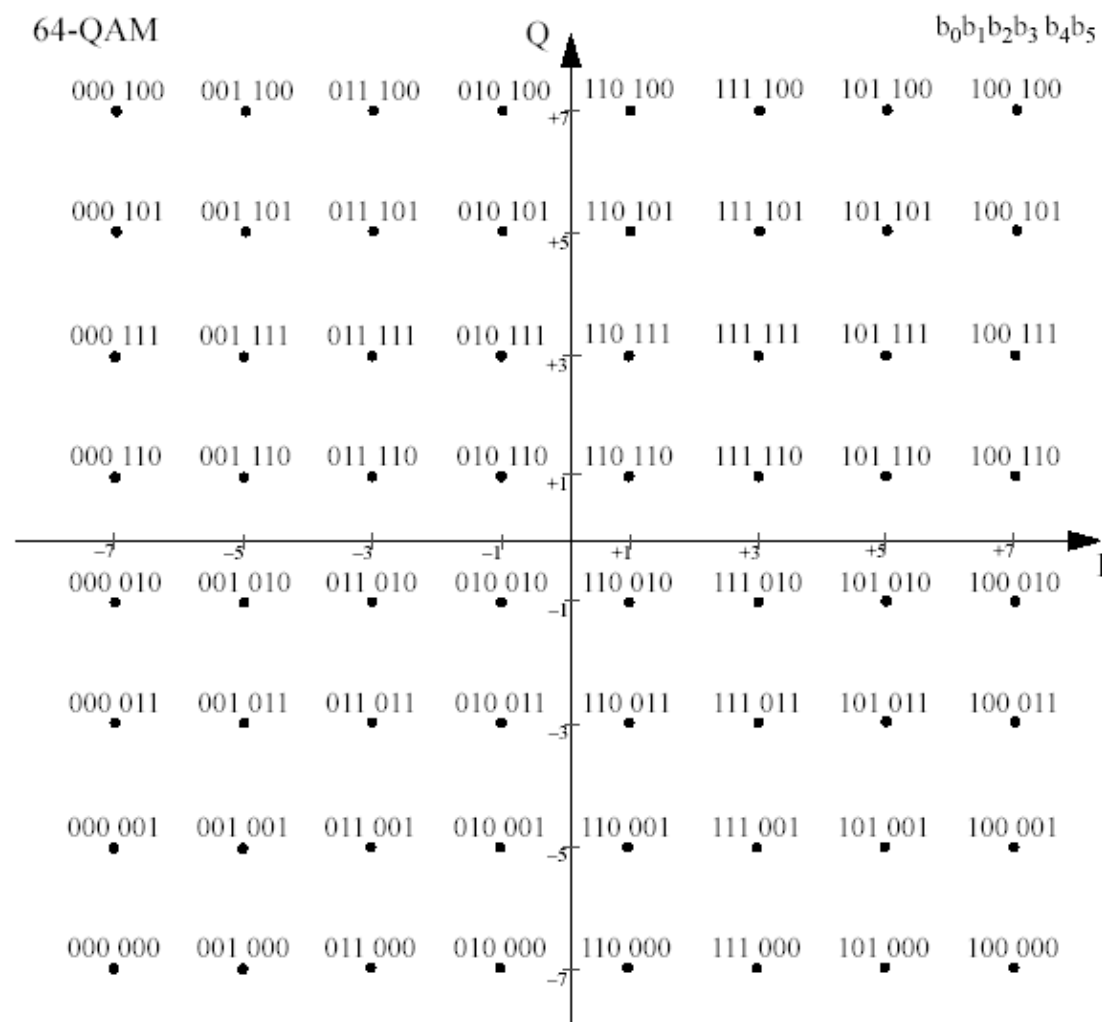
Input bits (b_3 b_4 b_5)	Q-out
000	-7
001	-5
011	-3
010	-1
110	1
111	3
101	5
100	7

Subcarrier Modulation



❖ 64-QAM

■ Constellation



Subcarrier Modulation Mapping



❖ Output Value

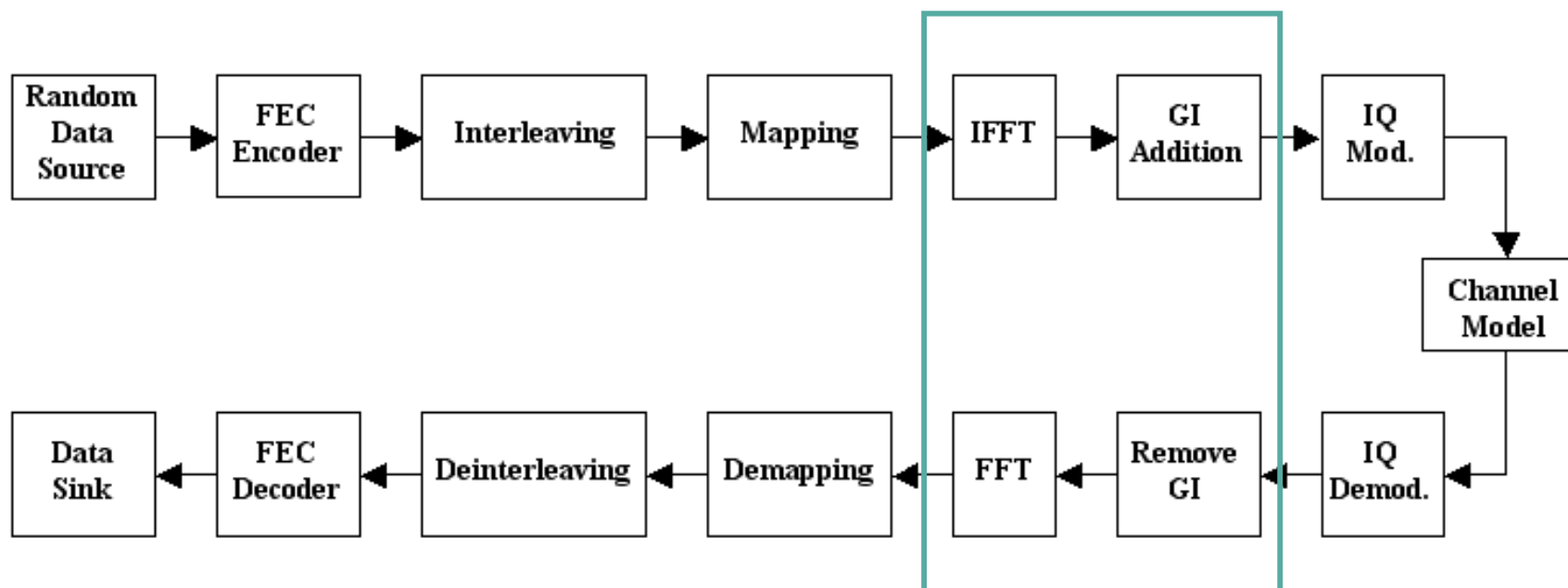
- $d = (I + j Q) \times K_{\text{MOD}}$
 - K_{MOD} : normalization factor

Modulation	K_{MOD}
BPSK	1
QPSK	$1/\sqrt{2}$
16-QAM	$1/\sqrt{10}$
64-QAM	$1/\sqrt{42}$

OFDM Modulation



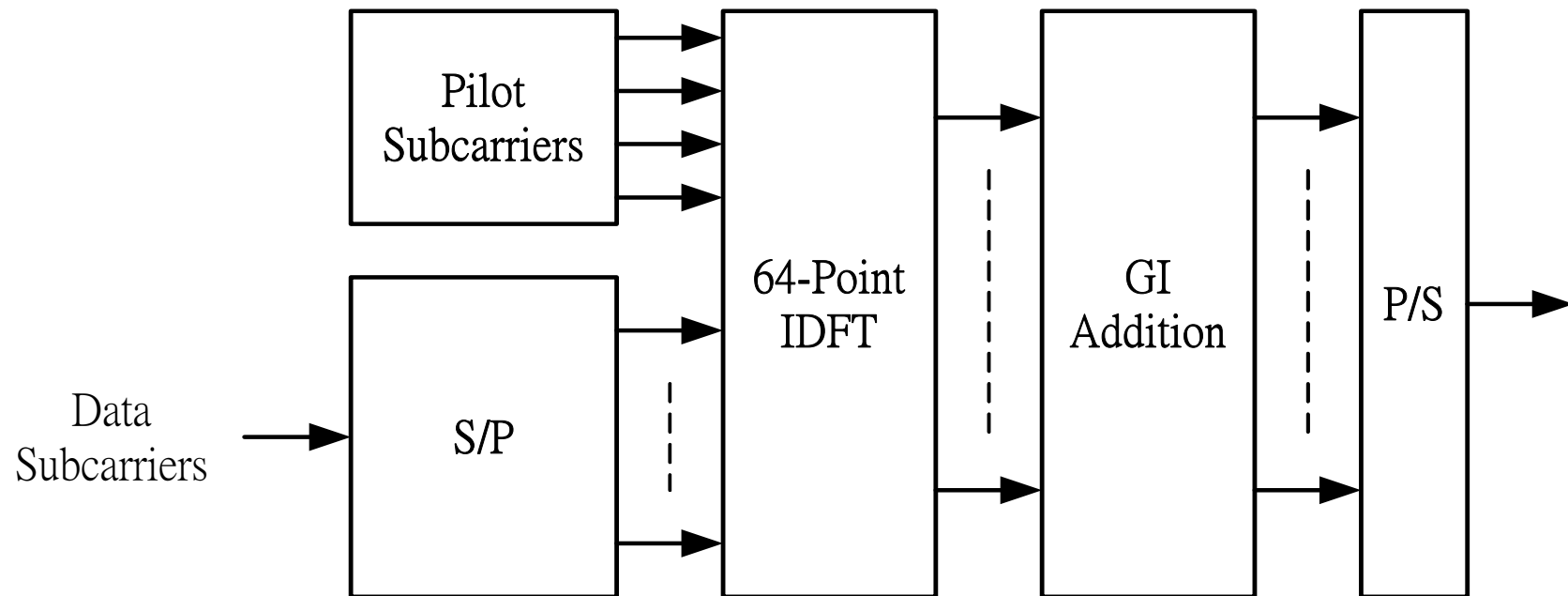
❖ 64-Point DFT/IDFT + 16-Point Cyclic Prefix



OFDM Modulation



❖ Block Diagram

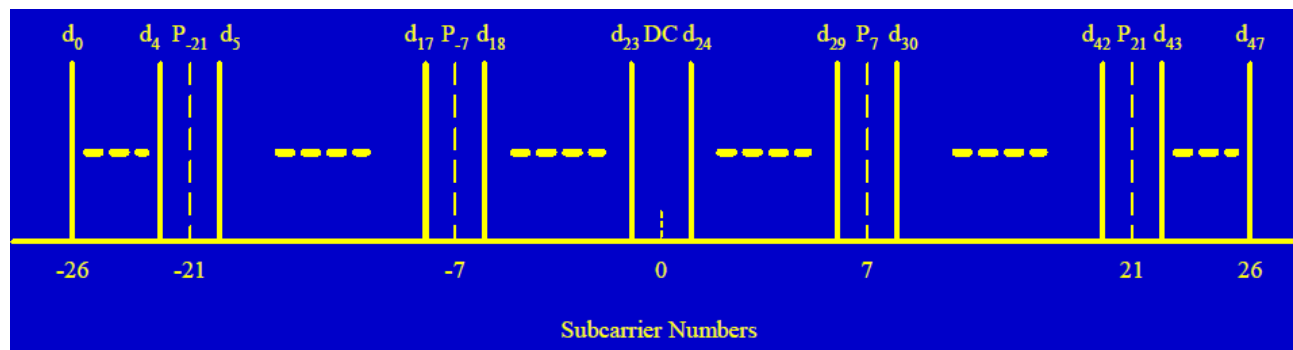
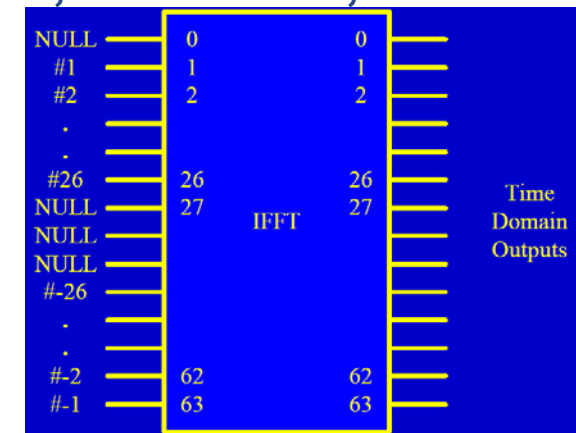


OFDM Modulation

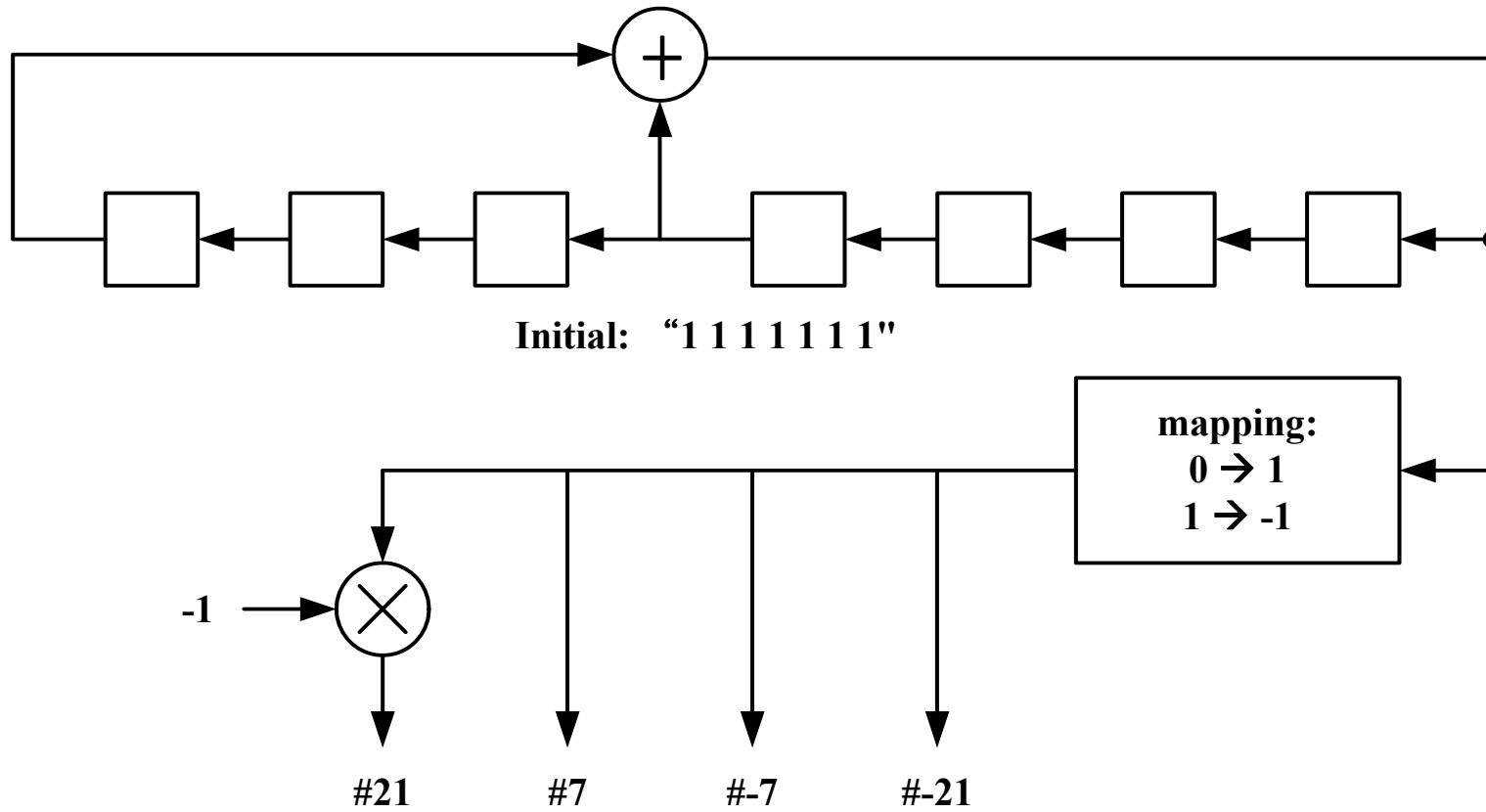


❖ Inputs and Outputs of IDFT

- Pilot Subcarriers: # -21, -7, 7, 21
- Data Subcarriers: # 1 ~ 6, 8 ~ 20, 22 ~ 26, -26 ~ -22, -20 ~ -8, -6 ~ -1



Pilot Subcarriers





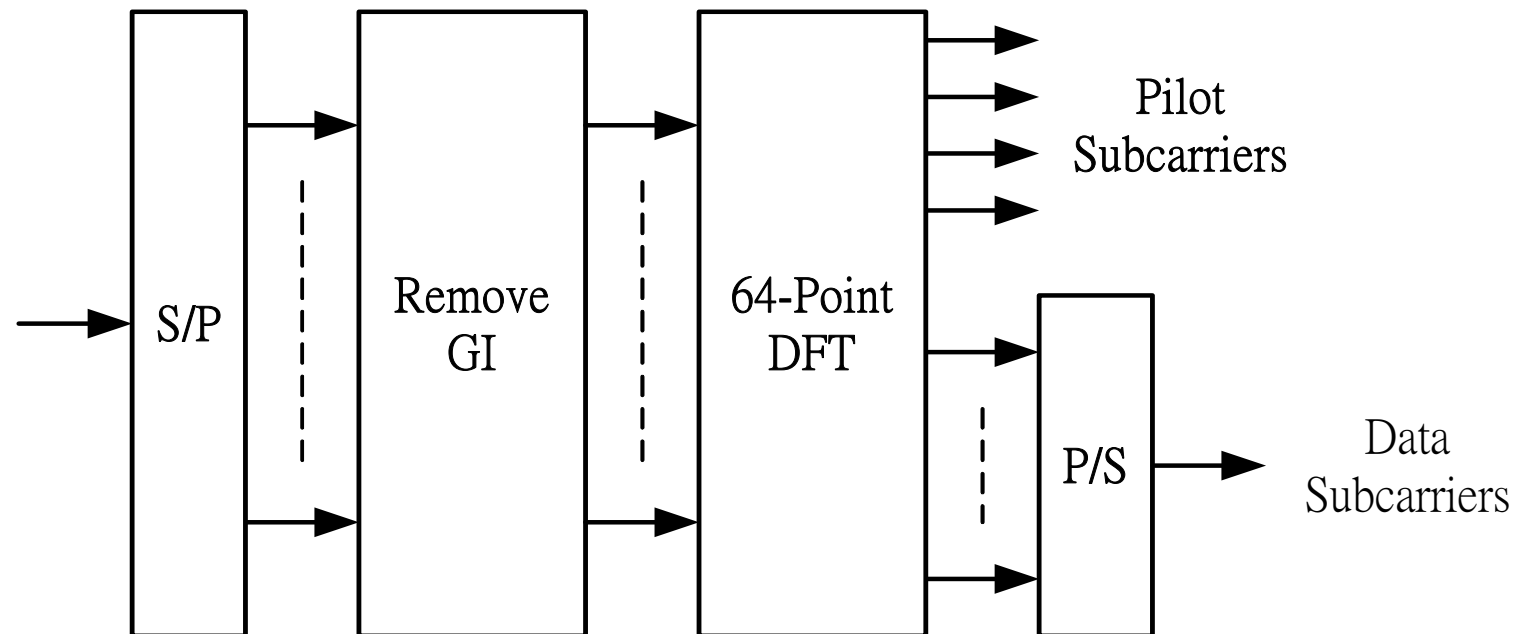
❖ Polarity of the Pilot Subcarriers

i	OFDM symbol	Element of p_i	Pilot at #-21	Pilot at #-7	Pilot at #7	Pilot at #21
0	SIGNAL	1	$1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$	$-1.0 + 0j$
1	DATA 1	1	$1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$	$-1.0 + 0j$
2	DATA 2	1	$1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$	$-1.0 + 0j$
3	DATA 3	1	$1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$	$-1.0 + 0j$
4	DATA 4	-1	$-1.0 + 0j$	$-1.0 + 0j$	$-1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$
5	DATA 5	-1	$-1.0 + 0j$	$-1.0 + 0j$	$-1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$
6	DATA 6	-1	$-1.0 + 0j$	$-1.0 + 0j$	$-1.0 + 0j$	$1.0 + 0j$

OFDM Demodulation



❖ Block Diagram



Question



- ❖ 1. steal bit对FEC的影响如何？为什么拿去几个bit还能保持一定的BER性能？
- ❖ 2. 为什么IFFT的时候子载波需要有个switch？
- ❖ 3. 为什么交织深度和调制方式还存在一定的联系呢？请给出16-QAM调制方式的交织和解交织过程