

## 中华人民共和国通信行业标准

YD/T 2873.4—2017

---

### 基于载波的高速超宽带无线通信技术要求 第4部分：双载波空中接口物理层

Technical requirements of high-rate ultra wideband wireless  
communication system based on carriers - Part 4: Physical layer of dual  
carriers air interface

2017-11-07 发布

2018-01-01 实施

---

中华人民共和国工业和信息化部 发布

## 目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语.....	3
5 PHY 层概述.....	4
6 信号定义.....	5
7 PHY 层结构和功能.....	7
7.1 工作频段.....	7
7.2 PHY 层的特征.....	8
7.3 PHY 层的帧结构.....	8
7.4 PHY 层的功能结构.....	8
7.5 PLCP 子层.....	8
7.6 PMD 子层.....	24
7.7 PHY 层管理实体.....	24
7.8 PHY 层时间参数.....	24
8 发射机规范.....	25
8.1 发射功率谱密度模板.....	25
8.2 发射中心频率容限.....	26
8.3 符号时钟频率容限.....	26
8.4 时钟同步.....	26
8.5 相位一致.....	26
8.6 发射功率控制.....	26
8.7 发射机星座图误差.....	27
9 接收机规范.....	28
9.1 接收机灵敏度.....	28
9.2 接收机 CCA 性能.....	28
9.3 链路质量指示器.....	28
10 与 MB-OFDM 兼容性描述.....	29
10.1 统一的 MAC.....	29
10.2 双模 PHY.....	29
附录 A（规范性附录）FCS 字段.....	30

## 前 言

YD/T 2873《基于载波的高速超宽带无线通信技术要求》分为4个部分：

—第1部分：MB-OFDM空中接口物理层；

—第2部分：单载波空中接口物理层；

—第3部分：空中接口MAC层；

—第4部分：双载波空中接口物理层。

本部分为YD/T 2873的第4部分。

本部分依据GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国通信标准化协会提出并归口。

本部分起草单位：清华大学、中国信息通信研究院、东南大学、电子科技大学、中国科技大学。

本部分主要起草人：葛宁、裴玉奎、朱亮、吕松栋、金德鹏、陆建华、高宏、王洪博、刘云。

# 基于载波的高速超宽带无线通信技术要求

## 第 4 部分：双载波空中接口物理层

### 1 范围

本部分规定了双载波高速超宽带无线通信系统的空中接口物理层协议，规范了物理层帧结构和数据传输方式，包括调制编码方式、物理时间参数、发射机和接收机指标要求，以及与 MB-OFDM 载波体制的兼容性。

本部分适用于公用电信网环境下的基于载波的高速超宽带无线通信系统，专用电信网也可参照使用。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

YD/T 2873.1 基于载波的高速超宽带无线通信技术要求 第 1 部分：MB-OFDM 空中接口物理层

ISO/IEC 26907: 2009, 信息技术—系统间通信及信息交换—高速超宽带物理层及媒体访问控制层标准 (Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — High-rate ultra-wideband PHY and MAC standard)

ISO/IEC 26908: 2007, 信息技术—系统间通信及信息交换—适用于 ISO/IEC 26907 的媒体访问控制层及物理层接口定义 (Information technology -- Telecommunications and information exchange between systems -- MAC-PHY Interface for ISO/IEC 26907)

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件：

#### 3.1

设备 device

包含本部分实现的实体。

#### 3.2

伪随机数产生 pseudo-random number generation

通过给定种子产生确定比特序列的过程，当种子未知时，该序列具有随机比特序列的统计特性。

### 3.3

**随机数产生器 random number generator**

提供不可预测的比特序列的方法或设计。

注：随机密码产生器就是一个特定的类型。

### 3.4

**超帧 superframe**

周期性时间间隔，用来协调设备之间的帧传输，它包含了一个信标周期，随后是数据周期。

### 3.5

**扰码器种子 scrambler seed**

扰码器的初始数据位。

### 3.6

**编码速率 code rate**

编码前与编码后的数据位数之比。

### 3.7

**帧载荷 frame load**

设备发射数据帧中的有效数据部分。

### 3.8

**抗混叠滤波 anti-aliasing filter**

采用模拟低通滤波器来抑制大于  $2f_s$  的信号频率，使频谱不出现混叠现象。

### 3.9

**捕获 acquisition**

接收机迫使本地扩频序列与接收到的扩频序列同步的过程。

### 3.10

**伪随机序列 pseudo-random sequence**

一个序列，一方面它是可以预先确定的，并且是可以重复地生产和复制的；一方面它又具有某种随机序列的随机特性（即统计特性）。

### 3.11

**自适应训练 adaptive training**

采用自适应机制，使抽头系数调整到合适的值。

## 3.12

**双载波超宽带 dual carriers ultra wideband**

符合超宽带技术定义，同时采用双路载波调制和相应信号结构的传输方式。

## 3.13

**标准模式传输 standard mode transmission**

一种连续的相对低速的传输模式。

## 3.14

**突发模式传输 burst mode transmission**

为了支持随机的多用户接入而采用的模式，相比标准模式传输，其信道估计的序列较短，可以获得更大的系统容量。

## 4 缩略语。

下列缩略语适用于本文件。

ADC	模拟数字转换器	Analog-to-Digital Converter
AGC	自动增益控制	Automatic Gain Control
AWGN	加性高斯白噪声	Additive White Gaussian Noise
BM	突发方式	Burst Mode
BIT/SK	二进制相移键控	Binary Phase Shift Keying
CCA	空闲信道评估	Clear Channel Assessment
CCITT	国际电报电话咨询委员会	International Consultative Committee on Telephone and Telegraph
CRC	循环冗余校验	Cyclic Redundancy Check
DAC	数字模拟转换器	Digital-to-Analog Converter
DEV	设备	DEvice
DS	直接扩频序列	Direct Sequence Spread Spectrum
ECMA	欧洲计算机制造商协会	European Computer Manufacturers Association
FCC	美国联邦通信委员会	Federal Communications Commission
FCS	帧校验序列	Frame Check Sequence
FER	误帧率	Frame Error Rate
FFT	快速傅立叶变换	Fast Fourier Transform
HCS	头校验序列	Header Check Sequence
ID	标识符	Identifier
IE	信息元素	Information Element
IFFT	快速傅立叶逆变换	Inverse Fast Fourier Transform



IFS	帧间间隔	Inter-Frame Space
LDPC	低密度奇偶校验码	Low Density Parity Check Code
LQE	链路质量估计器	Link Quality Estimator
LQI	链路质量指示器	Link Quality Indicator
MAC	媒体访问控制	Medium Access Control
MIFS	最小帧间间隔	Minimum Interframe Spacing
PAN	个域网	Personal Area Network
PDU	协议数据单元	Protocol Data Unit
PER	误包率	Packet Error Rate
PHY	物理层	Physical Layer
PLCP	物理层汇聚协议	Physical Layer Convergence Protocol
PLME	物理层管理实体	Physical Layer Management Entity
PMD	物理媒体相关部分	Physical Medium Dependent
PN	伪噪声序列	Pseudo-noise
PPDU	PLCP 协议数据单元	PLCP Protocol Data Unit
PPM	百万分之一	Parts Per Million
PRBS	伪随机二进制序列	Pseudo-Random Binary Sequence
PSD	功率谱密度	Power Spectral Density
PSDU	PHY 服务数据单元	PHY Service Data Unit
PT	前导类型	Preamble Type
QPSK	四相相移键控	Quadrature Phase Shift Keying
RF	射频	Radio Frequency
RX	接收或接收机	Receive or Receiver
DC-UWB	双载波超宽带	Dual Carriers Ultra Wideband
SNR	信噪比	Signal to Noise Ratio
SFD	帧定界符	Start Frame Delimiter
SIFS	短帧间间隔	Short Interframe Spacing
TPC	发射功率控制	Transmit Power Control
TX	发送或发射机	Transmit or Transmitter
UWB	超宽带	Ultra Wide Band

## 5 PHY 层概述

频率范围被分为 12 个子频带，每个频带带宽为 264MHz。前 2 个子频带为第一组，后 10 个子频带为第二组，即共分为 2 个频带组。

本部分使用双载波对编码数据进行传输，两个载波相对独立，各自根据子频带的信道状况占用不同的子频带。根据不同的子频带使用状况，双载波占用子频带的模式共用 66 种。

数据传输码片速率为 150Mchip/s，码片速率是待发送数据经过加扰、编码和扩频之后的数据速率，为了方便描述，本部分中提到的数据速率都是指未经加扰、编码和扩频的数据速率。数据速率支持 500Mbit/s、300Mbit/s、250Mbit/s、150Mbit/s、125Mbit/s、75Mbit/s 等模式。调制在 300Mbit/s 和 500Mbit/s 速率下采用 QPSK，其他情况采用 BIT/SK 方式；数据段在 125Mbit/s、75Mbit/s 速率下扩频比为 2，其他情况为 1；编码在 500Mbit/s 速率下有 LDPC 编码和卷积编码两种形式，其他情况只采用卷积编码，编码速率在 150Mbit/s、75Mbit/s 时为 1/2，其他数据速率下为 5/6。

## 6 信号定义

双载波超宽带射频信号由两个载波信号组成，这两个载波信号形式相同。其射频信号为：

$$S_{RF}(t) = Re \left\{ \sum_{i=1}^2 \sum_{n=0}^{N_{packet}-1} S_n(t - nT_{SYM}) \exp(j2\pi f_{ci}t) \right\}$$

$T_{SYM}$ ——信号的长度；

$N_{packet}$ ——包中符号个数；

$f_{ci}$ ——该载波的中心频率（双载波， $i=1,2$ ）；

$S_n(t)$ ——第  $n$  个符号的基带信号复数表示，应满足：

$$S_n(t) = 0 \quad t \notin [0, T_{SYM}]$$

$$S_n(t) = \begin{cases} S_{sync,n}(t) & 0 \leq n < N_{sync} \\ S_{hdr,n-N_{sync}}(t) & N_{sync} \leq n < N_{sync} + N_{hdr} \\ S_{frame,n-N_{sync}-N_{hdr}}(t) & N_{sync} + N_{hdr} \leq n < N_{packet} \end{cases}$$

$S_{sync,n}(t)$ ——第  $n$  个符号的前导符；

$S_{hdr,n}(t)$ ——第  $n$  个符号的头部；

$S_{frame,n}(t)$ ——第  $n$  个符号的 PSDU；

$N_{sync}$ ——前导符中的符号个数；

$N_{hdr}$ ——帧头中包含的符号个数；

$N_{packet} = N_{frame} + N_{sync} + N_{hdr}$ ——负载中的符号个数。

此外，本部分还涉及以下符号：

LENGTH——帧负载中八位位组数；

pSIFS——接收到发送转换时间的最大值；

pSIFS——发送到接收转换时间的最大值；

pSIFS——标准模式下 PLCP 长度字段为 0 时的包后帧间间隔；

pMIFS——标准模式下 PLCP 长度字段为非零时的包后最小帧间间隔；

pBandSwitchTime——频带间的最大转换时间；

pClockPeriod——时钟周期；

pNumberOfClockCycleperSuperframe——设备在每个超帧中计数的时钟数；

pNumberOfClockCycleperBeaconSlots——每个信标时隙计数的时钟周期数；



RDSX——无编码时的净数据传输速率（下标表示类别）。

将离散时间信号  $S_n[k]$  的实部和虚部分别通过 D/A 转换和抗混叠滤波器就能够得到时域信号  $S_n(t)$ ，如图 1 所示。如果离散时间信号  $S_n[k]$  是实信号，那么只需要将实部进行变换。

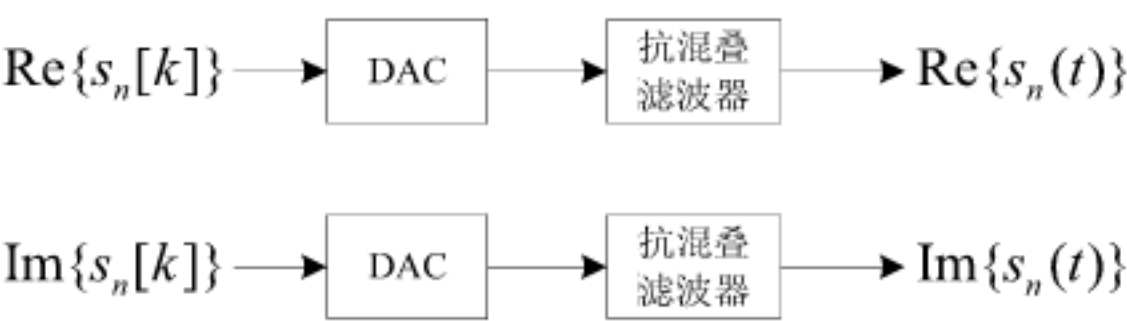


图 1 离散信号到连续信号的变换

图 2 所示给出了射频信号如何利用不同子频带传输。在图中，传输双载波组的中心频率分别是 6.336GHz 和 7.128GHz。在外部干扰环境不变的情况下，传输的占用子频带持续不变。传输符号间可以存在间歇和停顿，但是双载波的信号需要同步，共同组成一个完整的符号，不允许两个子频带的异步占用。在图 2 中的符号是添加补 0 后缀的时域载波信号的输出。利用补 0 形成帧间间隔的目的有两个：一是减少多径传输的干扰；二是提供了时间窗口使得收发两端有充分的时间进行双工切换，以及不同设备有充分的时间进行多址切换。

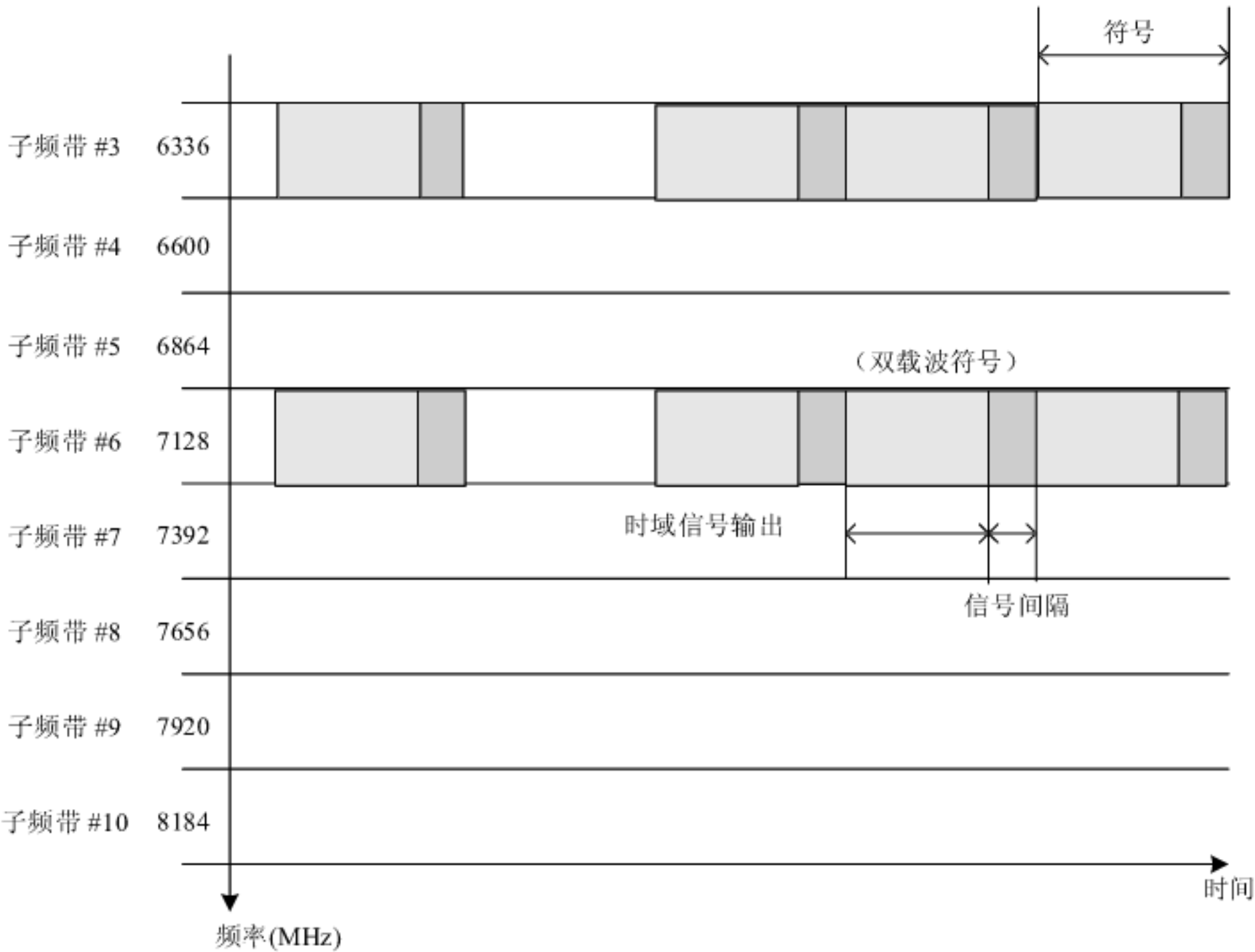


图 2 射频信号双载波传输示例

7 PHY 层结构和功能

7.1 工作频段

双载波高速超宽带无线通信系统的工作频率范围

物理层工作频段为 4.2GHz~4.8GHz 和 6.0GHz~9.0GHz。

中心频率 $f_c$ 和频带编号 $f_b$ 之间的关系如下式：

$$f_c(n_b) = 4092 + 264 \times n_b \text{ (MHz)} \quad n_b = 1, 2$$
$$f_c(n_b) = 5544 + 264 \times n_b \text{ (MHz)} \quad n_b = 3, \dots, 12$$

如图 3 所示，工作频率范围分为 2 个频带组，前 2 个子频带为第一个频带组,后 10 个子频带为第二个频带组。频带组分配见表 1。

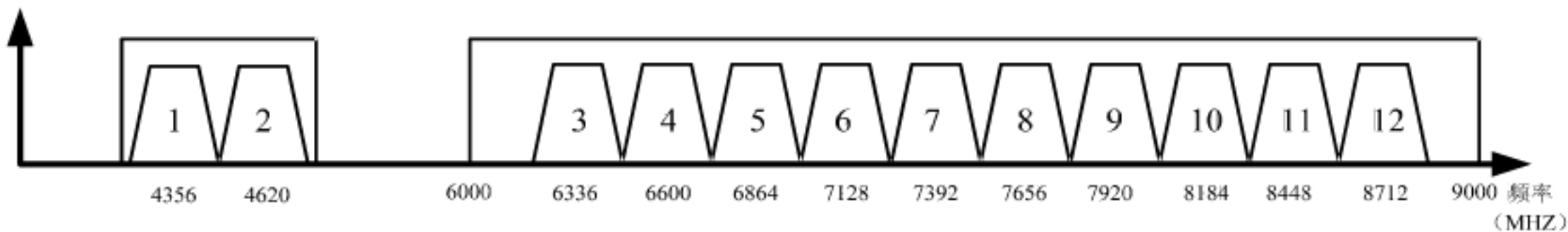


图 3 频带组分配

表 1 频带组分配

频带组	频带编号 ( $n_b$ )	低频 (MHz)	中频 (MHz)	高频 (MHz)
1	1	4224	4356	4488
	2	4488	4620	4752
2	3	6204	6336	6468
	4	6468	6600	6732
	5	6732	6864	6996
	6	6996	7128	7260
	7	7260	7392	7524
	8	7524	7656	7788
	9	7788	7920	8052
	10	8052	8184	8316
	11	8316	8448	8580
	12	8580	8712	8844

双载波高速超宽带 PHY 应具有子频带选择功能，要求如下：

- a) 设备初始化阶段需要侦听子频带信道使用状况，当 CCA 显示信道为忙时，该子频带应避免使用；
- b) 设备通信过程中如有子频带帧差错率超过预定门限时，该子频带可以进行调整，回避使用；
- c) 具体协商方法通过上层协议规定。

7.2 PHY 层的特征

- 双载波高速超宽带 PHY 具有以下特征：
- 支持对单个帧的标准方式传输和突发方式传输的接收；
  - 支持适用于 PHY 包头结构的 PLCP 包头错误指示。

7.3 PHY 层的帧结构

PHY 层帧结构如图 4 所示。

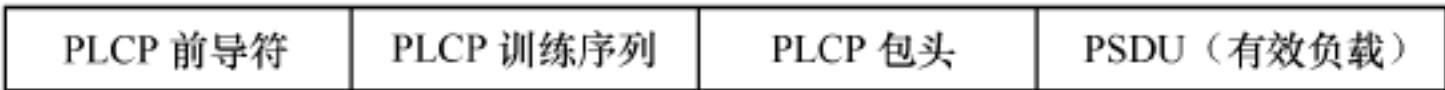


图 4 PHY 层的帧结构

- 前导符可分为：标准类型和突发类型；
- PLCP 包头受到 HCS 的保护；
- 帧有效负载之后跟随 FCS（见附录 A）。

帧以恒定的比特顺序通过 PHY 从源设备发送到目的设备。帧起点由在本地天线的 PHY 帧第一个符号的上升沿确定，帧的终点则由 PHY 帧最后一个符号的下降沿确定。

7.4 PHY 层的功能结构

PHY 层包括 3 个功能实体：

- PMD 功能；
- PHY 汇聚功能；
- 层管理功能。

通过 PHY 层服务原语，向 MAC 层提供服务。MAC 层应符合 ISO/IEC 26907:2009 标准。MAC-PHY 之间的接口应符合 ISO/IEC 26908:2007。

7.5 PLCP 子层

7.5.1 PPDU 结构

7.5.1.1 PSDU 格式

PPDU 的格式如图 5 所示，PLCP 前导符，PLCP 训练序列，PLCP 包头和 PSDU，按传输顺序排列。

当发送数据包时，首先发送 PLCP 前导符，接着是 PLCP 训练序列，PLCP 包头，最后是 PSDU。由于双载波传输，PPDU 在每个载波上的形式相同，总速率是单个载波传输速率的 2 倍，以下均用“2×R”表示总速率为 2R，对应单个载波传输速率为 R。当 PSDU 以所期望速率：2×37.5Mbit/s，2×62.5Mbit/s，2×75Mbit/s，2×125Mbit/s，2×150Mbit/s 或 2×250 Mbit/s 发送时，PLCP 包头则总是以 2×37.5 Mbit/s 的速率发送，对于不同的编码速率和扩频比，码片速率都是 2×150Mchip/s。数据在发送前是按字节存储，发送时字节的八位位组中的最低有效位将首先被发送。

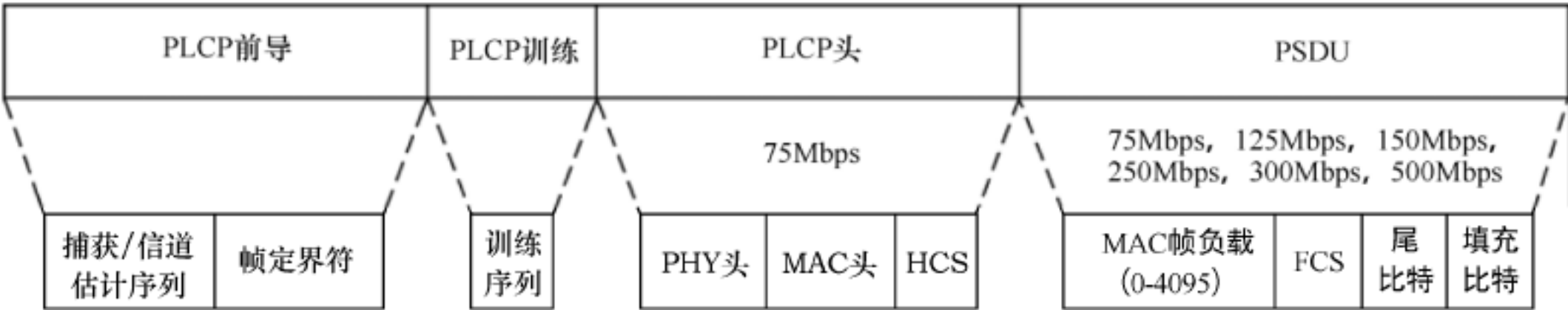


图 5 PPDU 结构

7.5.1.2 PSDU 参数

PSDU 参数在各种速率情况下的编码效率、调制方式和扩频比情况，见表 2。

表 2 依赖于速率的 PSDU 参数

名称	速率 $f_{\text{bit}}$	编码效率 $\eta$	调制方式	编码方式	扩频码长度N
RDS <sub>L</sub>	500Mbit/s	5/6	QPSK	LDPC	1
RDS <sub>1</sub>	500Mbit/s	5/6	QPSK	卷积码	1
RDS <sub>2</sub>	300Mbit/s	1/2	QPSK	卷积码	1
RDS <sub>3</sub>	250Mbit/s	5/6	BIT/SK	卷积码	1
RDS <sub>4</sub>	150Mbit/s	1/2	BIT/SK	卷积码	1
RDS <sub>5</sub>	125Mbit/s	5/6	BIT/SK	卷积码	2
RDS <sub>6</sub>	75Mbit/s	1/2	BIT/SK	卷积码	2

其中，编码效率、调制方式和扩频比的取值均按照码片速率为 150Mchip/s 计算得到。。在其他速率模式下的编码方式都采用卷积编码。码片速率  $f_{\text{chip}}$  和数据速率  $f_{\text{bit}}$  的关系如下所示：

$$f_{\text{chip}}=f_{\text{bit}}\times N/\eta/\chi$$

$\chi=\log_2$ （调制相位数），即一个符号所表示的二进制数据位宽。采用 QPSK 调制时相位数为 4， $\chi$  就为 2；采用 BIT/SK 调制时相位数为 2， $\chi$  则为 1。

7.5.1.3 帧参数

PHY 层帧参数见表 3。

表 3 帧参数

参数	描述	值
$f_{\text{chip}}$	码片速率	150Mchip/s
$T_{\text{chip}}$	一个码片持续时间	0.0067 $\mu$ s
$N_{\text{pf}}$	捕获/信道估计序列符号数	标准模式：24 突发模式：12

表 3 帧参数（续）

参数	描述	值
$N_{pfc}$	捕获/信道估计序列码片数	标准模式：3048 突发模式：1524
$T_{pf}$	捕获/信道估计序列持续时间	标准模式：20.32μs 突发模式：10.16μs
$N_{sg}$	帧定界符号数	1
$N_{sgc}$	帧定界码片数	127
$T_{sg}$	帧定界符持续时间	0.847μs
$N_{sync}$	PLCP前导符码片数	标准模式：3175 突发模式：1651
$T_{sync}$	PLCP前导符持续时间	标准模式：21.167μs 突发模式：11.007μs
$N_{tr}$	训练序列符号数	标准模式：768 突发模式：128
$N_{trc}$	训练序列码片数	标准模式：768 突发模式：128
$T_{tr}$	训练序列持续时间	标准训练序列：5.12μs 突发训练序列：0.853μs
$N_{hdp}$	PHY头部序列符号数	40
$N_{hdpc}$	PHY头部序列码片数	160
$T_{hdp}$	PHY头部序列持续时间	1.067μs
$N_{hdm}$	MAC头部序列符号数	88
$N_{hdmc}$	MAC头部序列码片数	352
$T_{hdm}$	MAC头部序列持续时间	2.347μs
$N_{hcs}$	HCS序列符号数	16
$N_{hcsc}$	HCS序列码片数	64
$T_{hcs}$	HCS序列持续时间	0.427μs
$N_{hdr}$	PLCP包头码片数	576
$T_{hdr}$	PLCP包头持续时间	3.840μs
$N_{frame}$	PSDU符号数	$N_{IBP4S} \times \left\lceil \frac{8 \times LENGTH + 32 + 64}{N_{IBP4S}} \right\rceil$
$N_{framec}$	PSDU码片数	$N_{IBP4S} \times \left\lceil \frac{8 \times LENGTH + 32 + 64}{N_{IBP4S}} \right\rceil \times \frac{N}{\eta \cdot \chi}$

表 3 帧参数（续）

参数	描述	值
$T_{frame}$	PSDU持续时间	$N_{IBP4S} \times \left\lceil \frac{8 \times LENGTH + 32 + 64}{N_{IBP4S}} \right\rceil \times \frac{N}{\eta \cdot \chi} \times T_{chip}$
$N_{packet}$	包码片总数	$N_{sync} + N_{trc} + N_{hdr} + N_{framec}$
$T_{packet}$	包持续时间	$(N_{sync} + N_{trc} + N_{hdr} + N_{framec}) \times T_{chip}$

PHY 层帧的其他参数规定如下：

- PLCP 前导符由长度 127 比特的 PN 序列进行扩频，并且采用 BIT/SK 的调制方式，码片数=符号数×127，PLCP 前导符码片数=捕获/信道估计序列码片数+帧定界符码片数。
- 训练序列由长度为 2 比特的短序列进行扩频，同时采用 QPSK 的调制方式映射，码片数=符号数。
- PLCP 包头由长度为 2 比特的短序列进行扩频，同时编码效率为 1/2，调制方式为 BIT/SK，码片数=符号数×4，PLCP 包头码片数=PHY 头部码片数+MAC 头部码片数+HCS 码片数。
- 数据部分中 LENGTH 是指数据字节数，即 8 位组数，32 是 4 个字节的 FCS 的长度，64 是尾比特的长度，64 位尾比特全为 0。N<sub>IBP4S</sub> 是每组信息位的个数，PSDU 部分符号数填充为 N<sub>IBP4S</sub> 的整数倍，译码深度为 64，编码效率有 1/2 和 5/6 两种方式。

7.5.1.4 前导符

7.5.1.4.1 前导符结构参数

PLCP 前导符分为标准 PLCP 前导符和突发 PLCP 前导符。

PLCP 前导符结构由两个主要部分组成：捕获/信道估计序列和帧定界符，标准模式和突发模式的 PLCP 前导符参数示意如图 6 所示。



图 6 PLCP 前导符结构参数

PLCP 前导符是一种伪随机序列，在接收端的解扩、解码及解扰之前需用相同的 PN 序列进行同步及帧定界。

7.5.1.4.2 捕获/信道估计序列

捕获/信道估计序列由 24 或 12 个相同的 PN 序列组成。PN 序列为 m 序列，长度为 127，定义为见表 4 规定长度为 127 的 PN 序列不仅仅限于此序列。



表 4 127 位长的 PN 序列

1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1
1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1
-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
-1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	1
-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1
1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	

捕获/信道估计序列在标准模式下共  $24 \times 127 = 3048$  个码片，在突发模式下共有  $12 \times 127 = 1524$  个码片。PN 序列有三个功能：

- AGC；
- 序列捕获；
- 信道估计。

标准模式中每一帧的长度不同，突发模式每一帧的长度一致。

7.5.1.4.3 帧定界符

帧定界符为 1 位数据，为了与前面的捕获/信道估计序列中的 PN 序列分别开，这里的帧定界符的这位数据为-1，而扩频/信道估计序列的 24/12 位数据都为+1。用一个 PN 序列去扩频一位-1，将得到这个 PN 序列按位取反，共 127 个码片。通过它实现帧同步，找到帧的起始位置。

7.5.2 训练序列

在标准模式下，自适应均衡器抽头系数从 0（参考位对应的抽头系数为 1）开始训练调整，此时将训练序列设置为 768 比特；在突发模式下，自适应均衡器抽头系数不清零，直接将上一帧接收后的抽头系数作为初始值开始训练调整，此时的训练序列为 128 比特。

训练序列的产生使用基于多项式的方法。多项式选择初始序列为全 1 的序列，生成伪随机训练序列。训练序列生成不需要输入序列。

生成的训练序列先经过 QPSK 星座图映射调制，符号数减半，之后按扩频码[-1 +1]进行两倍扩频，实现码片级数据，码片数和未经调制的符号数一致，完成训练序列的生成过程。

7.5.3 PLCP 包头

7.5.3.1 PLCP 包头结构

PLCP 包头用于传输关于 PHY 层和 MAC 层的信息。PLCP 包头由三部分组成：5 字节 PHY 头部、11 字节 MAC 头部和 2 字节 HCS 如图 7 所示。

HCS 是对 PHY 头部和 MAC 头部共 16 字节进行 CRC 校验的序列，校验时 PHY 头部和 MAC 头部按图 7 所示顺序摆放。除 PHY 头部不经过加扰外，PLCP 包头其他部分是加扰后的比特级数据，进行

1/2 码率的卷积编码后调制映射及扩频，整个过程如图 8 所示。



图 7 PLCP 包头结构

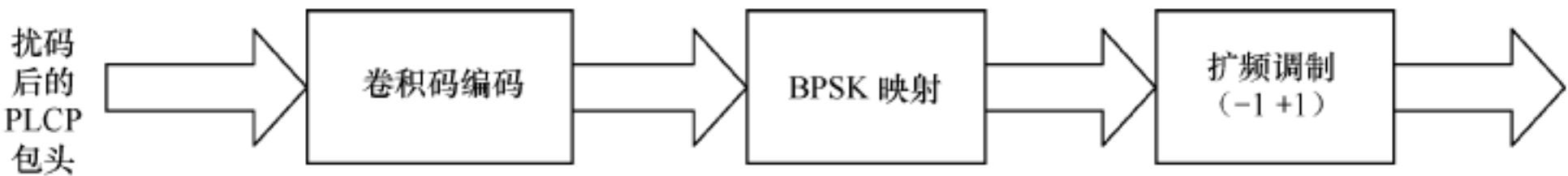


图 8 扰码后的 PLCP 包头形成过程

7.5.3.2 PHY 包头

7.5.3.2.1 PHY 包头组成

PHY 包头包含了 MAC 帧主体的帧负载的长度，数字扰码器的种子标识和下一个包的传输信息。

PHY 包头字段由 5 个字节组成，如图 9 所示。第一字节的 3~7 位携带帧负载段的速率字段信息，包括调制方式，译码速率，传送 MAC 帧主体的扩展因子等；8~19 位是长度字段，最低有效位最先发送；22、23 位代表扰码器初始状态的种子值，用于与接收端的解扰码器同步；26 位表示包是否以突发模式发送。如果包在突发模式下传输，27 位携带下一个数据包的前导符的模式；其他信息位为预留位且设置为 0。

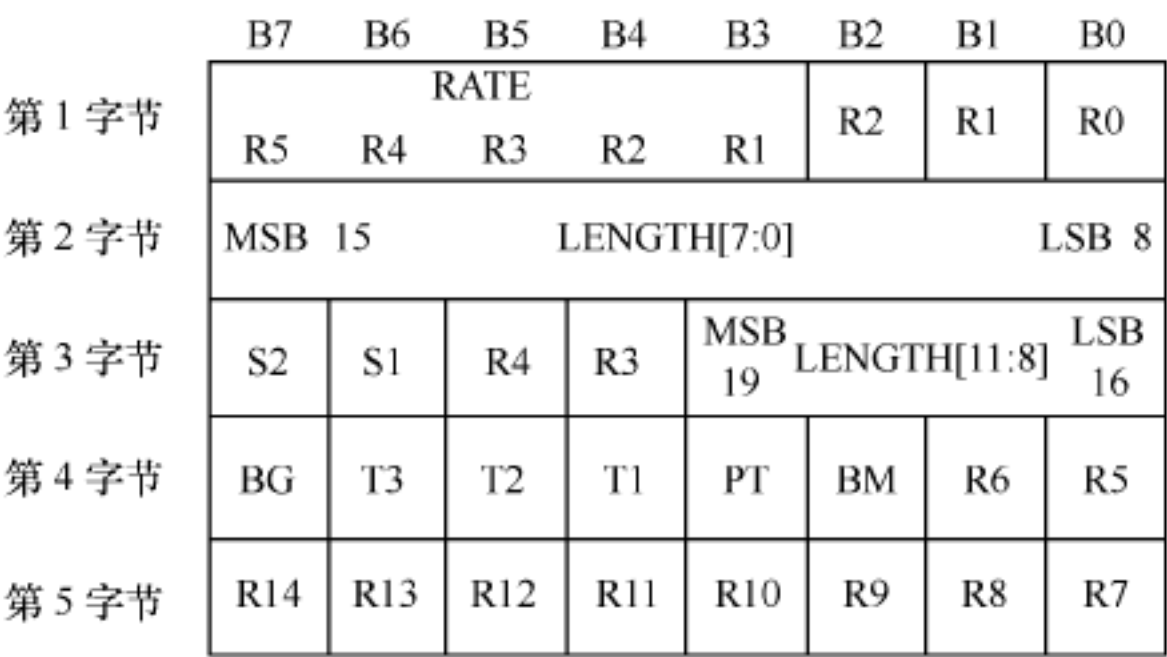


图 9 PHY 头部结构

7.5.3.2.2 数据速率字段

R1-R5 比特的值标示数据传输速率，根据表 5 的值设置，其他值作为保留码。

表 5 速率依赖参数

名称	速率 $f_{\text{bit}}$	R1-R5
RDS <sub>L</sub>	500Mbit/s	00000
RDS <sub>1</sub>	500Mbit/s	00001
RDS <sub>2</sub>	300Mbit/s	00010
RDS <sub>3</sub>	250Mbit/s	00011
RDS <sub>4</sub>	150Mbit/s	00100
RDS <sub>5</sub>	125Mbit/s	00101
RDS <sub>6</sub>	75Mbit/s	00110
保留	保留	其他

7.5.3.2.3 PLCP 长度字段

PLCP 长度字段的值是无符号的 12 比特整数，表示帧负载中的八位位组数，不包括 FCS 以及填充位。在突发模式下，LENGTH 的最小值为 1；标准模式 LENGTH 的最小值为 0。

7.5.3.2.4 PLCP 扰码器字段

MAC 层根据扰码器种子标识符的值设置 S1~S2 比特。两个比特的值与针对数据扰码器选择的种子值对应。

7.5.3.2.5 突发模式字段

MAC 层会按照表 6 的定义设置突发模式的值，用来表示下一个包是否是一个突发包的一部分。

表 6 BM 字段的取值

突发模式（BM）比特	下一包状态
1	下一包不是突发的一部分
0	下一包是突发的一部分

7.5.3.2.6 前导类型符字段

在突发模式下，MAC 层设置 PT 的值表示下一包的 PLCP 前导符类型（见表 7）。

表 7 PT 字段的值

前导符模式（PT）比特	用于下一包的前导符模式
0	标准前导符
1	突发前导符

前导符类型比特只有在突发传输模式下才有意义。当设备不是突发传输模式时，前导符类型比特值

应设为 0。

7.5.3.3 头校验序列

头校验序列对 PHY 包头和 MAC 包头进行 CRC 校验，长度等于 2 个八位位组的 CCITT CRC-16 头校验序列。CCITT CRC-16 码的值是通过多项式  $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$  将 PHY 包头和 MAC 包头联合合并进行模 2 除法所得的余数的补数。HCS 比特应按发送顺序进行处理。所有 HCS 的计算应在数据扰码之前进行，处理顺序的原理图如图 10 所示。寄存器应该初始化为全 1 状态。由于采用双载波传输存在冗余，对于校验不正确的包头，其包头数据需要丢弃，需使用校验正确的包头数据，当两个包头均校验正确时，可以任选一个使用。

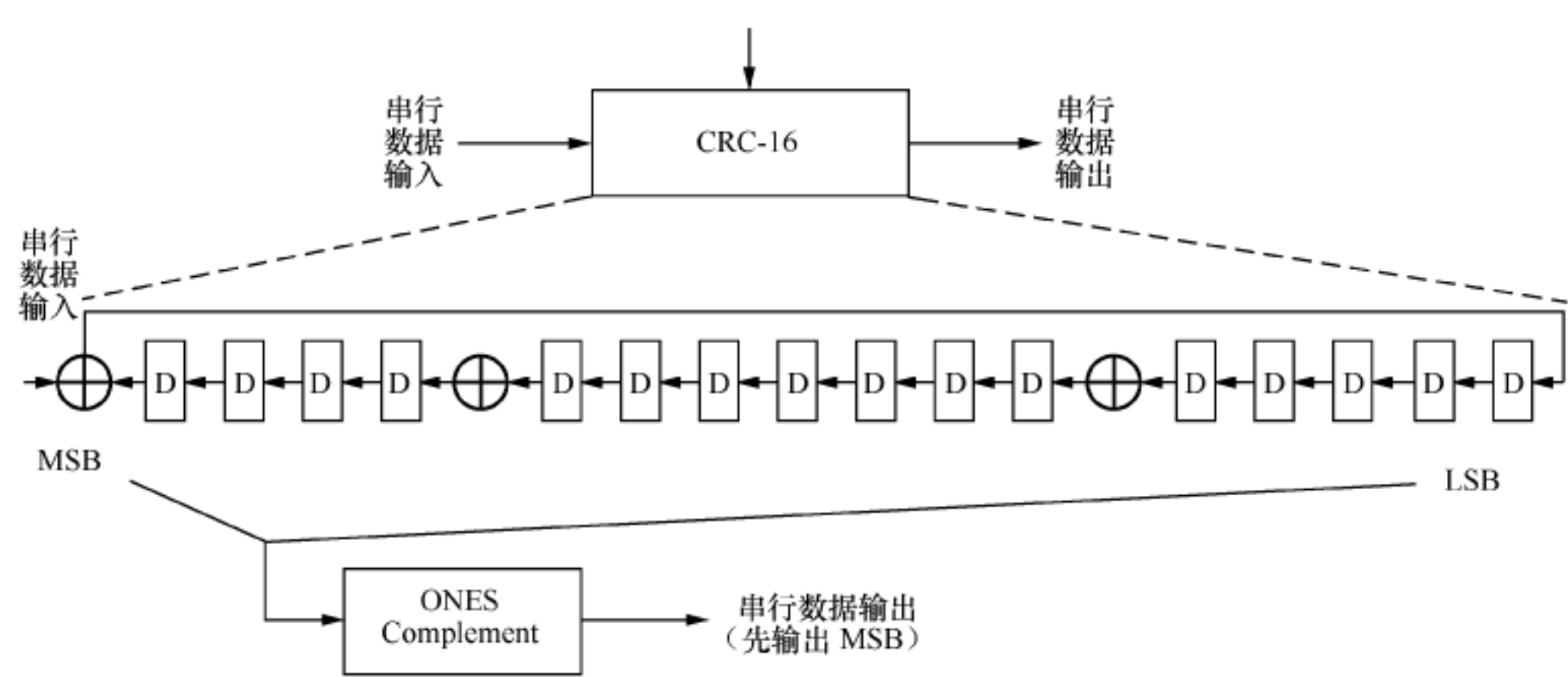


图 10 CRC-16 模块图

7.5.4 PSDU 负载

7.5.4.1 PSDU 结构

PSDU 是 PPDU 的最后主要组成部分，构架如图 11 所示。

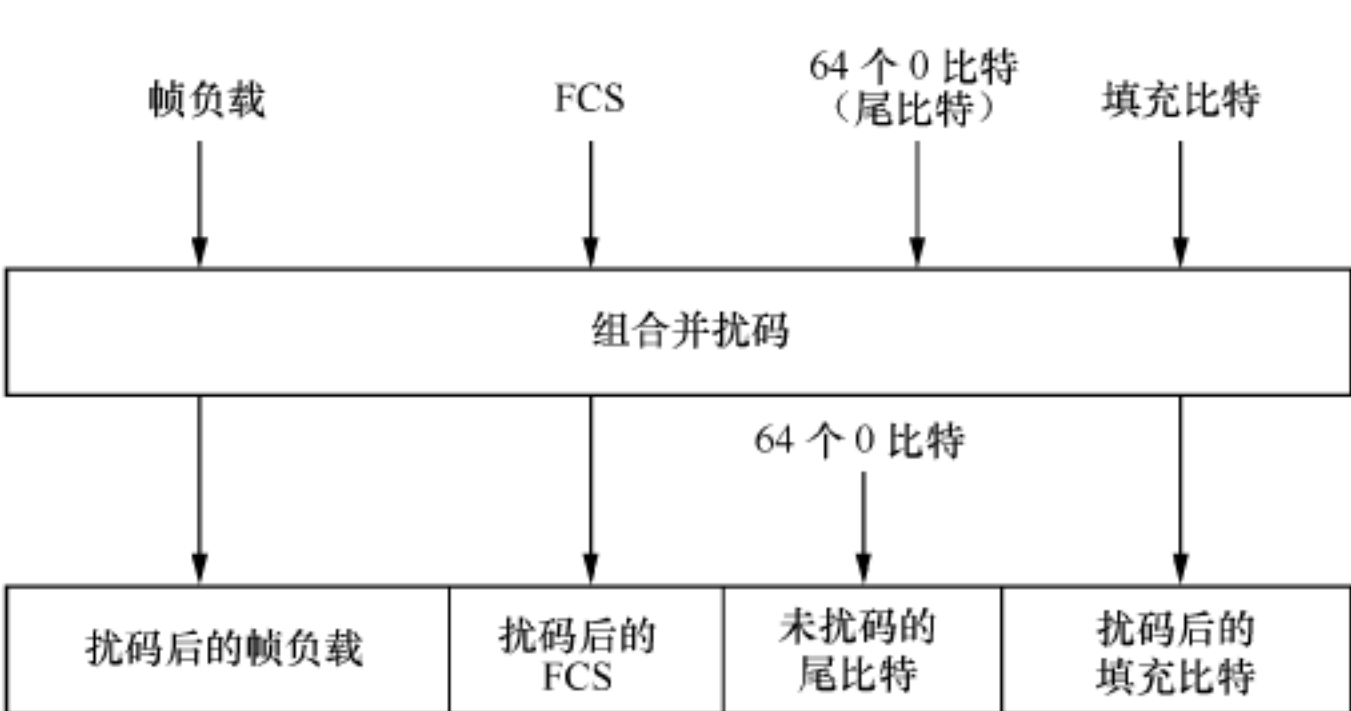


图 11 PSDU 的架构

FCS 对 MAC 帧负载进行帧校验, 如果 PLCP 长度字段为 0, 则 PSDU 没有 MAC 帧负载字段, 也没有 FCS 字段; 如果 PLCP 长度字段不为 0, 则 FCS 为 4 个字节, 在帧负载中添加 4 个八位位组的 FCS, 64 个尾比特和足够多的填充比特。PSDU 中的 64 个尾比特还需通过将这 64 个“0”扰码之后的比特替换成 64 个“0”。

扰码后的 PSDU 处理过程如图 12 所示, 先将 PLCP 包头与 PSDU 联合, 然后进行卷积编码, 经过 BIT/SK 映射, 最后经过扩频调制完成信号处理过程。



图 12 PSDU 形成过程

这里的编码方式、调制形式和扩频码选择都与数据速率有关, 除了  $RDS_L$  使用 LDPC 编码之外, 其他情况下均采用卷积编码, 卷积编码的原始码率都为 1/2, 而 5/6 的卷积编码是通过 1/2 卷积编码之后打孔形成的。扩频部分为一位扩频实等效于没有扩频。

#### 7.5.4.2 帧校验序列

帧校验序列 FCS 长度为 4 个字节。在接收数据后, 通过检验 FCS 得知该数据帧是否正常, 如果正常则作相应的译码和解扰处理, 否则发出相应的错误报告, 直接丢弃该帧或要求重传。

#### 7.5.4.3 尾比特

PHY 包头和 HCS 后的尾比特字段包含 64 个未扰码的 0。位于经过扰码的帧校验序列后的尾比特字段, 以 64 个未扰码 0 比特代替 64 个扰码后的 0 比特来产生。

#### 7.5.4.4 填充比特

在扰码和编码之前, 在 64 个尾比特后添加填充比特以确保合成的 PSDU 在卷积译码时被正确分组。填充比特的个数  $N_{pad}$  由每组符号的信息位个数  $N_{IBP4S}$  (320) 和帧负载的八位位组数  $LENGTH$  决定:

$$N_{pad} = N_{IBP4S} \times \left\lceil \frac{8 \times LENGTH + 96}{N_{IBP4S}} \right\rceil - (8 \times LENGTH + 96)$$

当 PLCP 长度字段的长度为非 0 值时 ( $LENGTH > 0$ ), 帧校验序列和尾比特的长度为 96。添加的填充比特将被设置为 0, 并和剩余的 PSDU 部分一起进行扰码。

#### 7.5.5 数据扰码器

数据扰码器使 PLCP 前导中的训练序列随机化, PLCP 包头的一部分 (MAC 包头和 HCS, 不包括 PHY 头) 以及整个 PSDU。MAC 层给出的扰码器初始种子值包含于 MAC 包头的起始部分, 在 PSDU 的起始处再重新初始化为相同的种子值。

训练序列, PLCP 包头和 PSDU 的加扰可使用相同的多项式。

本部分规定训练序列加扰需要特殊说明。实际起训练作用的序列应是训练序列加扰之后的序列, 在接收端进行自适应训练之时, PHY 包头还无法解析, 对训练的加扰应使用固定的种子, 规定为种子标



识符 (S1 S2) = (0 0) 对应的种子用于对训练序列进行加扰。

对 PLCP 包头和 PSDU 的加扰均使用 MAC 指定的种子标识符所对应的种子，PLCP 包头和 PSDU 的加扰需要重新加载种子。PLCP 包头的 PHY 包头并不参与加扰，仅 MAC 包头和 HCS 参与加扰；PSDU 所有部分都参与加扰。

$g(D)$ 是伪随机二进制序列生成多项式，具体为： $g(D)=1+D^{14}+D^{15}$ ，这里  $D$  是一个单比特延时单元。利用生成多项式，相应的伪随机二进制序列  $x[n]$ ，为：

$$x[n] = x[n-14] \oplus x[n-15], n = 0, 1, 2, \dots$$

下面的序列定义初始化向量， $x_{\text{init}}$  由表 8 的“种子值”参量指定。

$$x_{\text{init}} = [x_i[-1]x_i[-2]\cdots x_i[-14]x_i[-5]]$$

这里  $x_i[-k]$ 表示在第  $k$  个延时单元的输出端得二进制初始值。扰码数据位  $v_m$  的获取如图 13 所示：

$$v[m] = s[m] \oplus x[m], m = 0, 1, 2, \dots$$

$s[m]$ 表示未扰码数据位。在接收端的侧流解扰码器应以与发射端扰码器相同的初始化向量  $x_{\text{init}}$  进行初始化。初始化向量由接收帧的 PLCP 包头所包含的种子标识符决定。

15 比特的初始化向量或种子值应与种子标识符相符合，如表 8 的规定。当 PHY 初始化后，MAC 应将种子标识符设置为 00，PHY 每发送一个帧，则由一个 2 比特的翻转计数器对该值进行累加。

表 8 扰码器种子选择

种子标识符	种子值 $x_{\text{init}} = [x_i[-1]x_i[-2]\cdots x_i[-14]x_i[-5]]$	PRBS输出头16比特 $x[0]x[1]\cdots x[15]$
00	0011 1111 1111 1111	0000 0000 0000 1000
01	0111 1111 1111 1111	0000 0000 0000 0100
10	1011 1111 1111 1111	0000 0000 0000 1110
11	1111 1111 1111 1111	0000 0000 0000 0010

所有的相继包，包括重传，应以不同的初始种子值发送

基于反馈线性移位寄存器的扰码器结构如图 13 所示。



图 13 基于反馈线性移位寄存器的扰码器结构示意图



7.5.6 卷积码编码器

比特数据率为 75Mbit/s、125Mbit/s、150Mbit/s、250Mbit/s、300Mbit/s、500Mbit/s 时都采用了卷积编码的形式。在这些速率下，所使用的卷积编码器的原始码率均  $R=1/2$  码，生成多项式  $g_0=133_8, g_1=171_8$ ，如图 14 所示。标识为 A 的比特是编码器产生的第一比特，然后是标识为 B 的比特。其他的编码速率由“母”速率  $R=1/2$  卷积码通过打孔取得。打孔是一个在发送端忽略一些编码位的过程，并且在接收端的被忽略比特位中嵌入一个虚“0”。本部分规定需用的编码率有  $1/2$  和  $5/6$  两种， $1/2$  即为原始编码率，不需要打孔，而  $5/6$  的编码打孔图样如图 15 所示。在所有这些情况中，打孔格将由编码器输出位从左自右填满。对于最后的比特块，该过程将在编码器输出比特耗尽时终止，打孔图样应用于部分填充的比特块。

PLCP 包头应以  $R=1/2$  的码率编码。编码器应从全零状态开始。在 PLCP 包头编码完成后且在 PSDU 编码开始之前，编码器应复位为全 0 状态。换言之，PSDU 的编码将从全零状态开始，以合适的码率  $R=1/2$  或  $R=5/6$  编码，在接收端译码时使用维特比算法进行软译码。

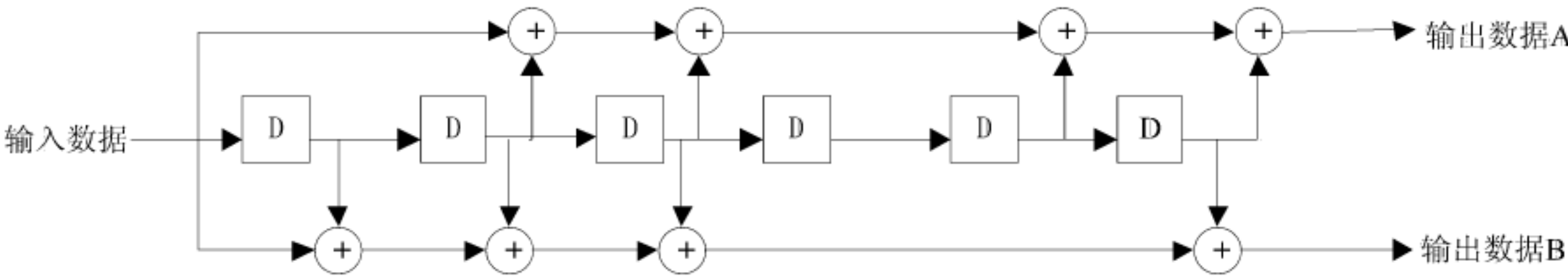


图 14 卷积编码器：码率  $R=1/2$ ，约束长度  $K=7$

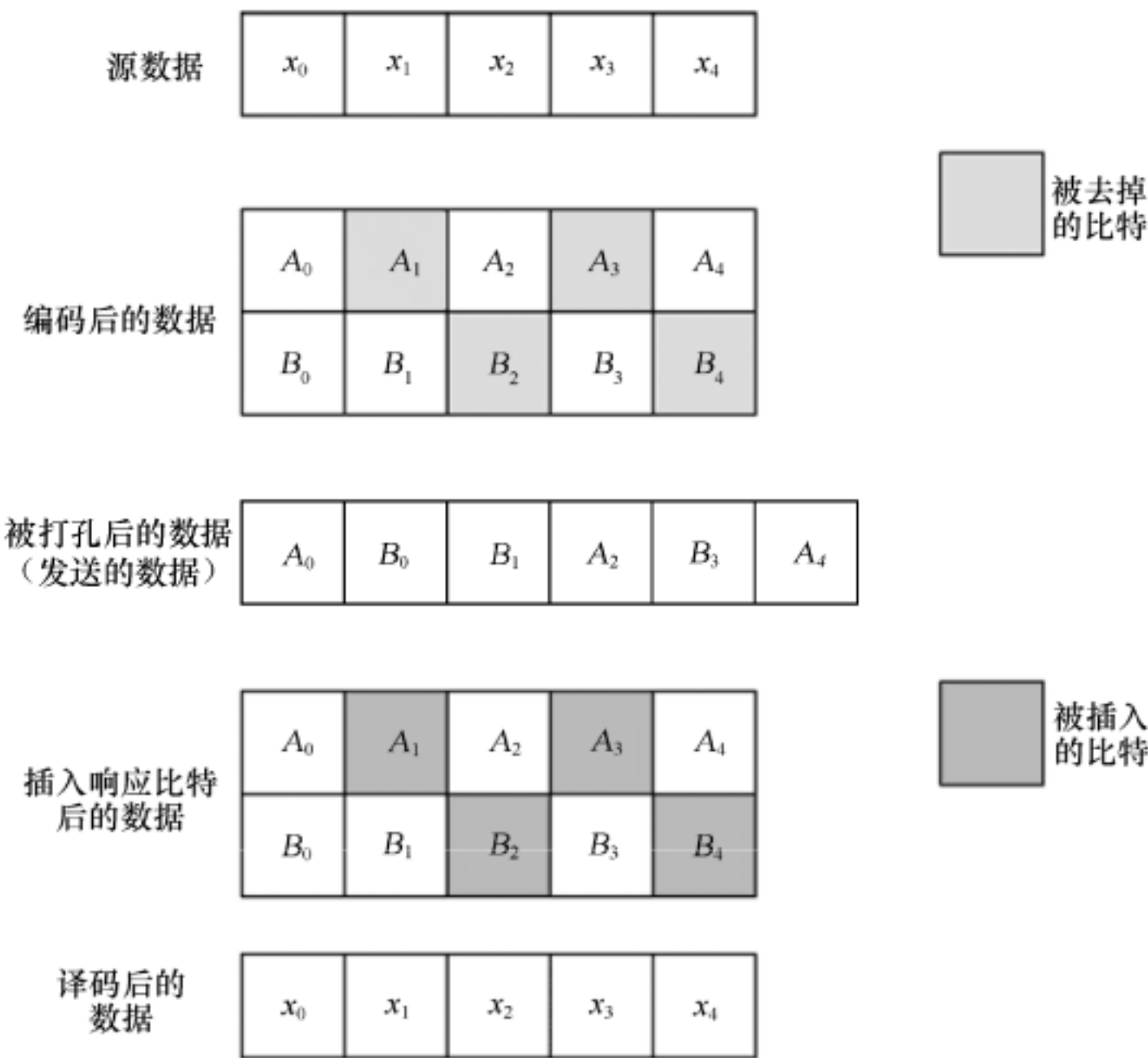


图 15  $R=5/6$  编码的打孔和比特填充示例

### 7.5.7 LDPC 编码器

在数据率为 500Mbit/s 的情况下,除了使用卷积编码打孔生成外,本部分规定一种通过 LDPC 编码的方式,将这种情况的数据率表示为  $RDS_L$ ,此时的 LDPC 编码率也为 5/6。数据在通过 LDPC 编码之后将被映射成为一系列码组,每个码组均为线性分组码,且由一个  $m \times n$  的监督矩阵  $H$  决定,这里  $n$  代表码组长度, $m$  代表码组中校验位位数,信息位数为  $k=n-m$ 。监督矩阵  $H$ ;

$$H = \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} & P_{0,2} & \cdots & P_{0,n_b-1} \\ P_{1,0} & P_{1,1} & P_{1,2} & \cdots & P_{1,n_b-1} \\ P_{2,0} & P_{2,1} & P_{2,2} & \cdots & P_{2,n_b-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m_b-1,0} & P_{m_b-1,1} & P_{m_b-1,2} & \cdots & P_{m_b-1,n_b-1} \end{bmatrix}$$

$P_{ij}$  是一个  $z \times z$  的 0-1 矩阵或者  $z \times z$  的 0 矩阵,  $z=127$ , 将这样的子矩阵看成一个块,  $H$  每一行有  $m_b$  块, 每一列有  $n_b$  块, 其中  $m=z \times m_b$ ,  $n=z \times n_b$ , 这里  $m_b=5$ ,  $n_b=30$ 。

0-1 矩阵的每一行或每一列中仅有 1 个元素为 1，其余 126 个元素为 0。这些 ‘1’ 的位置由两个数据 (x,y) 决定。x, y 按  $p(X)=1+X^3+X^7$  做伽罗华域  $GF(2^7)$  运算，第 i 行的 ‘1’ 所在的位置为  $x*y^i$ 。如基于 (121, 59) 运算得出每一行的 ‘1’ 所在的列号为：121 85 109 63 122 24 76 26 58 36 123 3583 126 125 48 17 52 116 72 127 70 47 117 115 96 34 104 97 25 119 5 94 99 111 7368 89 75 50 103 10 53 79 87 27 1 59 31 100 71 20 106 23 39 54 2 118 62 65 7 40 93 4678 108 4 101 124 11 14 80 51 92 21 81 8 67 113 22 28 41 102 49 42 43 16 15 107 4456 82 69 98 84 86 32 30 95 88 112 45 3 77 33 37 64 60 55 57 105 90 6 19 66 74 9 120110 114 91 61 12 38 13 29 18，得到 ‘1’ 所在的位置，即可得到  $127 \times 127$  的 0-1 矩阵，其前 10 行元素如图 16 所示。

[illegible]

图 16 (121,59)按伽罗华域运算生成 0-1 矩阵的前 10 行元素

监督矩阵  $H$  由  $5 \times 30$  个  $127 \times 127$  块组成, 如图 17 所示。

$$H^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (52, 46) & (79, 126) & 0 & (19, 34) \\ (83, 5) & 0 & 0 & (60, 64) & (56, 55) \\ (67, 87) & (59, 849) & (122, 72) & 0 & 0 \\ (32, 33) & (57, 9) & 0 & (103, 124) & 0 \\ (26, 74) & (56, 77) & (74, 96) & 0 & 0 \\ (119, 39) & 0 & (98, 104) & 0 & (7, 38) \\ 0 & 0 & 0 & (68, 117) & (118, 116) \\ (114, 9) & (56, 70) & (45, 3) & 0 & 0 \\ 0 & (25, 9) & (35, 101) & 0 & (59, 85) \\ 0 & (70, 124) & (72, 113) & 0 & (1, 71) \\ (125, 55) & 0 & (67, 61) & (87, 106) & (96, 77) \\ (102, 47) & 0 & (85, 77) & (33, 48) & (84, 11) \\ (82, 83) & 0 & (123, 86) & (5, 54) & (95, 124) \\ (210, 59) & (20, 82) & 0 & (39, 53) & (86, 58) \\ (108, 76) & (39, 115) & (41, 125) & (85, 22) & 0 \\ 0 & (54, 47) & (109, 74) & (75, 102) & (102, 26) \\ 0 & (57, 102) & (3, 76) & (127, 114) & (170, 10) \\ (105, 27) & (13, 85) & 0 & (56, 71) & (12, 42) \\ (266, 109) & 0 & (91, 15) & (1, 86) & (88, 101) \\ 0 & (69, 9) & (48, 101) & (15, 124) & (158, 85) \\ (18, 32) & (61, 123) & (115, 16) & (175, 112) & 0 \\ (84, 117) & (102, 104) & 0 & (45, 35) & (31, 5) \\ 0 & (120, 14) & (18, 33) & (43, 123) & (9, 43) \\ (118, 64) & (71, 22) & (117, 84) & (25, 7) & 0 \\ (108, 48) & (84, 31) & 0 & (110, 79) & (19, 41) \end{pmatrix}$$

图 17 LDPC 编码监督矩阵 H

上图中，‘0’表示该块内  $127 \times 127$  个元素均为 0，一个(x,y)块内 ‘1’ 和 ‘0’ 的数目分别为 127 和  $126 \times 127$ 。

### 7.5.8 星座图映射

#### 7.5.8.1 BIT/SK 调制映射

编码后的二进制串行输入数据  $b[i]$ ，其中  $i = 0, 1, \dots, L$ ，并且转化成实数，该实数代表 2 个 BIT/SK 星座点之一，如图 18 所示，输入比特为  $b[k]$ ，输出为  $d[k]$ ，由  $(2 \times b[k] - 1)$  乘以一个归一化因子  $K_{MOD}$  得到：

$$d[k] = K_{MOD} \times (2 \times b[k] - 1), \text{ 其中 } k = 0, 1, 2, L$$

对于 BIT/SK 星座图，归一化因子  $K_{MOD} = 1$ ，对于 BIT/SK 对应的编码表见表 9。

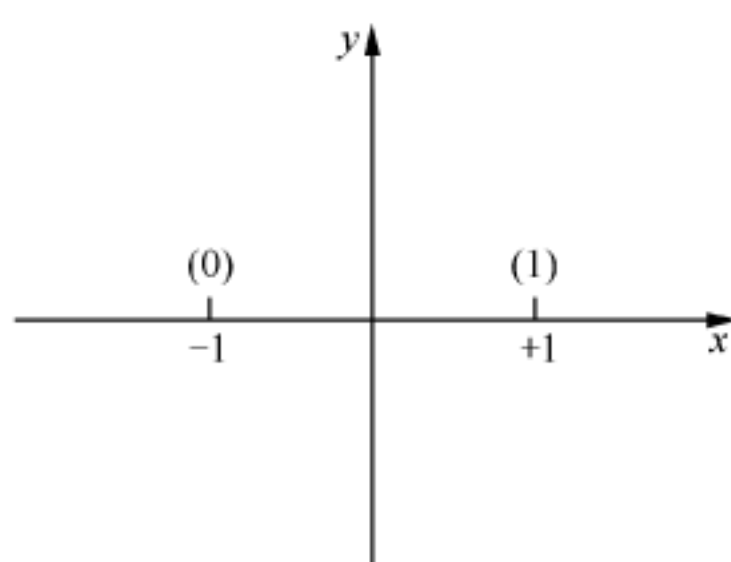


图 18 BIT/SK 调制比特编码

表 9 BIT/SK 编码表

输入比特 $b[k]$	输出值
0	-1
1	1

#### 7.5.8.2 QPSK 调制映射

将编码后的二进制串行输入数据  $b[i]$ ，其中  $i = 0, 1, \dots, L$ ，按 2 比特为单位分组，然后将每组转化成一个复数，该复数代表 4 个 QPSK 星座点之一。这种转换应当根据格雷码星座图映射来进行，如图 19 所示。

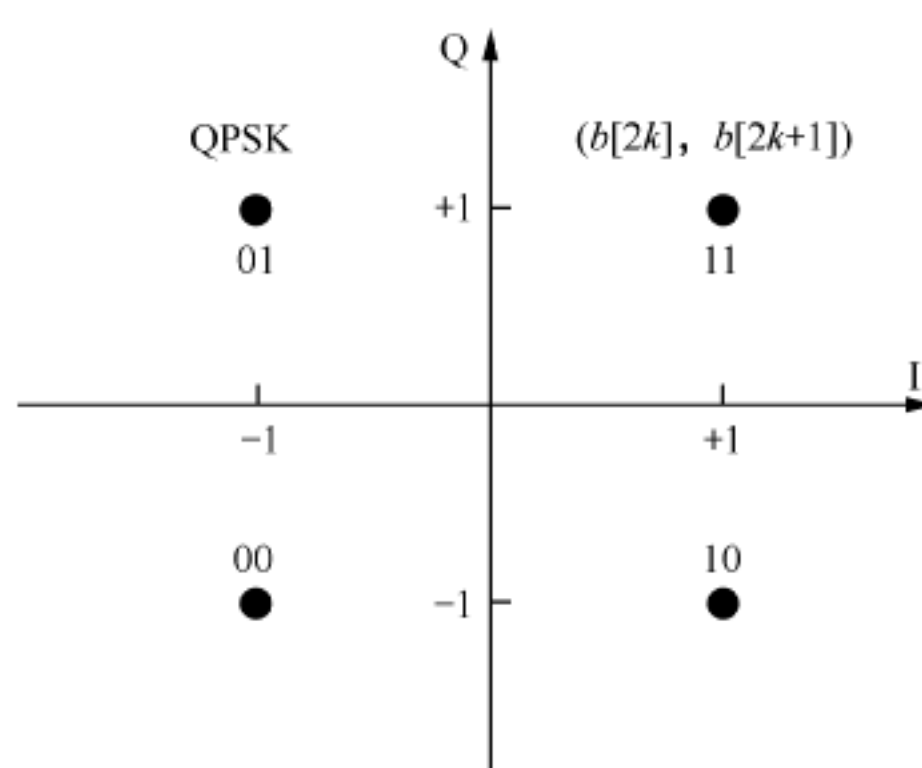


图 19 QPSK 调制比特编码

其中输入比特为  $b[2k]$ ， $b[2k+1]$ ，对应一个输出  $d[k]$ ， $d[k]$  由  $(2 \times b[2k] - 1) + j(2 \times b[2k+1] - 1)$  乘以一个归一化因子  $K_{MOD}$  得到：

$$d[k] = K_{MOD} \times \left[ (2 \times b[2k] - 1) + j(2 \times b[2k+1] - 1) \right], \text{ 其中 } k=0, 1, 2, L$$

对于 QPSK 星座图，归一化因子  $K_{MOD} = 1/\sqrt{2}$ ，只要设备符合调制的准确性要求，可使用归一化因子的近似值。对于 QPSK， $b[2k]$  确定了 I 的值，而  $b[2k+1]$  确定了 Q 的值，见表 10。

表 10 QPSK 编码表

输入比特 (b[2k], b[2k+1])	I的输出值	Q的输出值
00	-1	-1
01	-1	1
10	1	-1
11	1	1

7.5.9 扩频调制

本系统采用的是直接序列扩频调制方式，有两类扩频码，一类是用于 AGC、扩频捕获、信道估计、帧同步的扩频，采用长度为 127 的 PN 序列；一类是训练序列和 PLCP 包头及 PSDU 的扩频，采用长度为 2 的扩频序列[-1 +1]，其中 PSDU 在速率等于或大于 150Mbit/s 时扩频码的长度为 1，具体见表 11。

表 11 扩频方式

帧结构组成部分	模式	长度	扩频码类型	扩频码长度
捕获/信道估计序列 (Preamble)	标准	24 PN	PN长扩频	127
	突发	12 PN	PN长扩频	127
帧定界符		1 PN	PN长扩频	127
训练序列 (Train Sequence)	标准	768 比特	[-1 +1]	2
	突发	128 比特	[-1 +1]	2
PLCP包头		144 比特	[-1 +1]	2
PSDU		可变	[-1 +1]/[+1]	2/1

7.5.10 波形成形

波形成形的方法是对 BIT/SK 或 QPSK 调制后的符号进行升采样，然后通过成形滤波器完成波形成形。

等效基带信道响应是 1.2GHz 的采样，发射信号也保持 1.2GHz 采样。BIT/SK 或 QPSK 调制之后的码片速率是 300Mchip/s，应在调制之后进行 4 倍上采样，即在每个 BIT/SK 或 QPSK 符号后插入 3 个零。

成形滤波器采用根升余弦滤波器。系统采用扩频机制导致成形后的信号频谱不平坦，在 FCC 所给功率谱模板限制下，系统发射功率会受到损失。且根升余弦滚降系数越小，功率损失越大。滚降系数为 1 和 0 时成形信号频谱对比如图 20 所示。为使发射功率尽可能大，滚降系数应尽可能大。

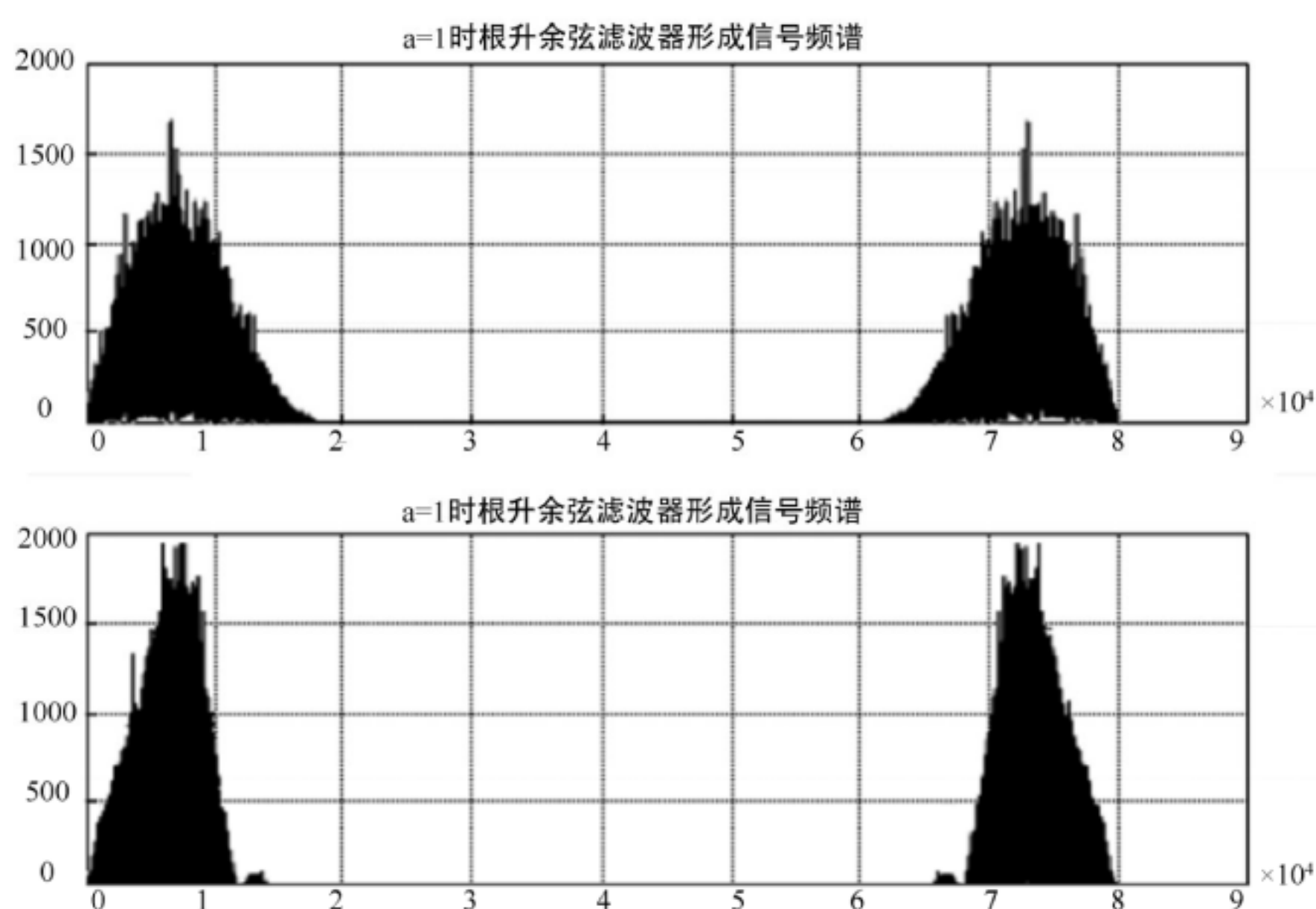


图 20 滚降系数为 0 和 1 时成形信号频谱对比示意图

另外一方面，滚降系数越大，成形后的信号频谱带外影响越大。滚降系数为 0 和 1 时的根升余弦滤波器时域和频域冲击响应如图 21 所示。从图中可以看出，滚降系数为 1 时根升余弦滤波器时域冲击响应的旁瓣很小，但频域上占据较宽的频谱范围，本系统选择滚降系数为 1 的 FIR 根升余弦滤波器。

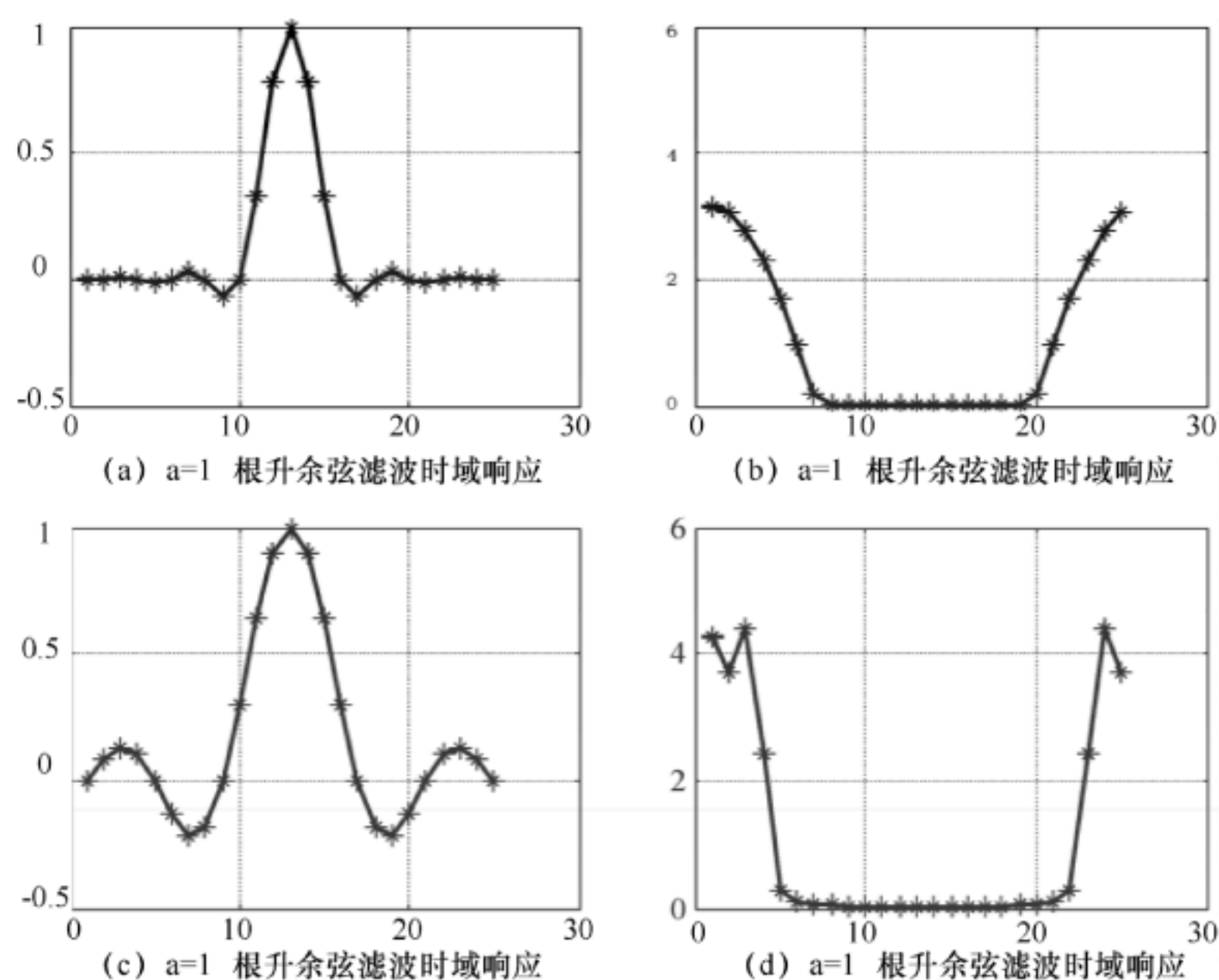


图 21 滚降系数为 0 和 1 时的根升余弦滤波器时域和频域冲击响应



滚降系数为 1 时根升余弦滤波器时域冲击响应旁瓣很小，在硬件实现的时候可将冲击响应宽度变窄（如变成 2 个符号宽，即 9 点，只保留主瓣）。

7.6 PMD 子层

PMD 子层将 PLCP 子层的 PSDU 成帧发送出去，并将接收到的 PPDU 解帧交付给 PLCP，提供 2 个或多个站点间收发数据的方法。

7.7 PHY 层管理实体

PLME 实现读写一些管理寄存器的功能。PLME 和 MAC 层管理实体共同管理本地 PHY 层功能。

7.8 PHY 层时间参数

7.8.1 帧间间隔

帧间间隔参数见表 12。

表 12 帧间间隔参数

参数	值
MIFS	2.5μs
SIFS	10μs

7.8.2 接收到发送的转换时间

接收到发送转换时间应不大于 pSIFS，这个转换时间应当在空中接口处进行测量。时间从最后一个接受符号的起始点算起，到下一帧 PLCP 前导符的第一个发送符号的起始点，这个时间应不大于 pSIFS+T<sub>SYM</sub>。

7.8.3 发送到接收转换时间

发送到接收转换时间应不大于 pSIFS，这个转换时间应在空中接口处进行测量。时间从上一个发送信号的起始点算起，直到接收机已经准备好开始接收下一 PHY 帧，这个时间应不大于 pSIFS+T<sub>SYM</sub>。

7.8.4 连续传输间隔时间

设备在标准模式下的不间断的连续数据传输，如果 PLCP 长度字段为 0，包后的帧间间隔应为 pSIFS，而当 PLCP 长度为非 0，不能小于 pMIFS。帧间间隔时间应在空中接口处进行测量。当 PLCP 长度字段为 0，从上一个发送符号的起始点起，到下一个包的 PLCP 前导符的第一个发送符号的起点，时间应等于 pSIFS+T<sub>SYM</sub>。当 PLCP 长度字段为非 0 时，时间从上一个发送符号的起始点算起，到下一个包的 PLCP 前导符的第一个发送符号的起始点，这个时间应不小于 pMIFS+T<sub>SYM</sub>。

对突发方式传输，设备的不间断的连续数据传输之间的帧间间隔应精确地固定为 pMIFS±1ns。帧间间隔时间应在空中接口处进行测量。时间从上一个发送符号的起始点算起，到下一个包的 PLCP 前导符的第一个发送符号的起始点，这个时间应精确地固定为 pMIFS+T<sub>SYM</sub>±1ns。

7.8.5 频带转换时间

频带转换时间定义为物理层在一个频带内接收一个符号的最后有效样本的时刻与准备好在下一个频带内接收下一个符号的时刻之间的间隔。要求频带间的转换时间不超过 `pBandSwitchTime` 以获得最好的性能。

7.8.6 时钟间隔

每个设备需要维持 `pClockPeriod`（时钟周期）ms，容限最大为 $\pm 20\text{ppm}$ 。每个设备在每个超帧中计数 `pNumberofClockCycleperSuperframe` 个周期，每个信标时隙计数 `pNumberofClockCycleperBeaconSlots` 个周期。有关时间参数见表 12。

8 发射机规范

8.1 发射功率谱密度模板

发射功率谱密度应有如下断点：发射信号功率谱密度在中心频率附近从-130MHz 到 130MHz 之间为 0dBr，142.5MHz 频率偏差点为-12dBr，在 165MHz 及以上的频率偏差点为-20dB。对于其他中频频率，发射功率假定在 dB 尺度上为线性。发射信号的功率谱密度应在模板的范围内，如图 22 所示及见表 13。

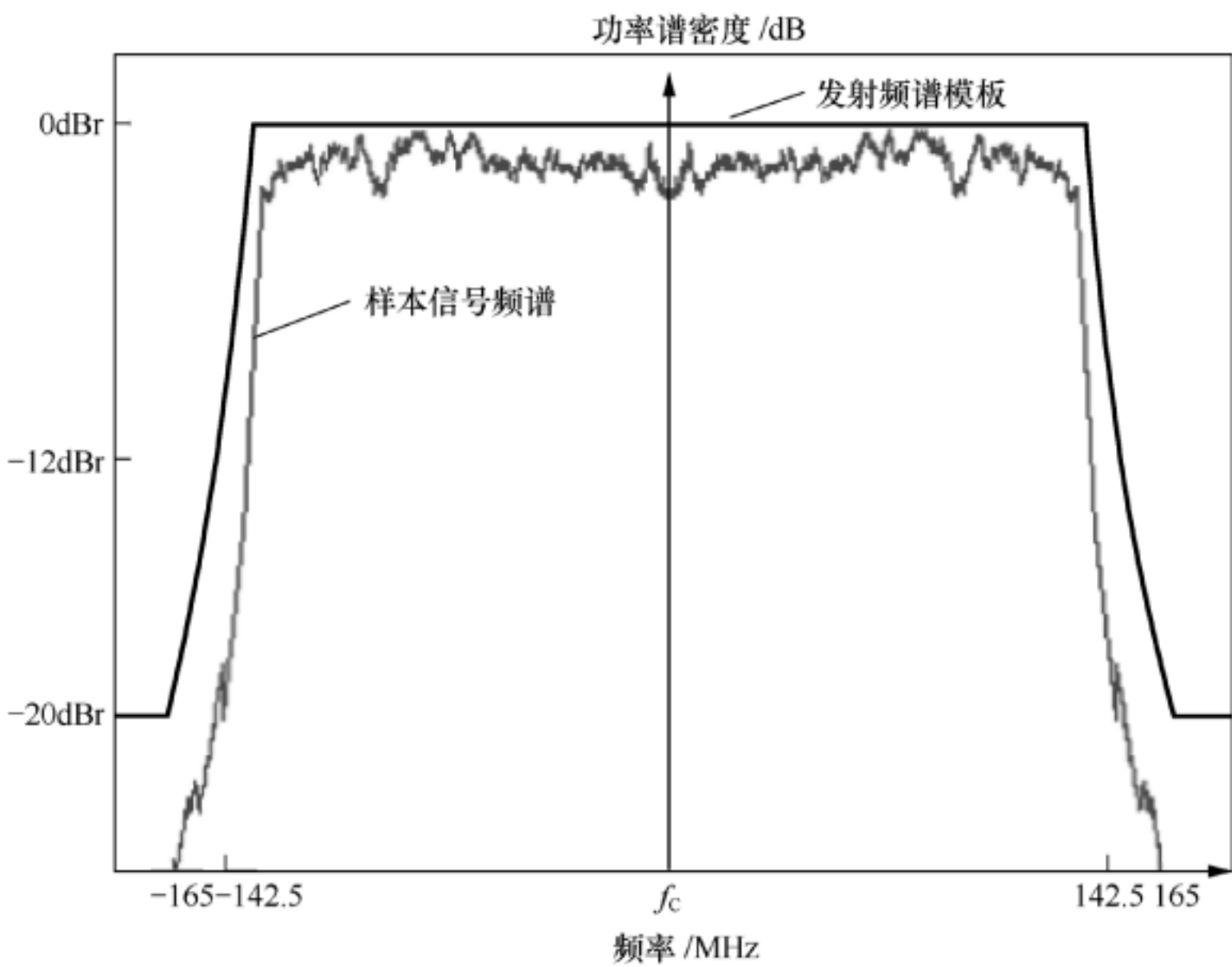


图 22 发射功率谱密度模板

表 13 发射功率谱密度模板

距离中心频率（MHz）	发射功率谱密度（dBr）
0~130	0

表 13 发射功率谱密度模板（续）

距离中心频率（MHz）	发射功率谱密度（dBr）
132	-1.92
134	-3.84
136	-5.76
138	-7.68
140	-9.60
142.5	-12.00
144	-12.53
146	-13.24
148	-13.96
150	-14.67
152	-15.38
154	-16.09
156	-16.80
158	-17.51
160	-18.22
162	-18.93
164	-19.64
165	-20.00

## 8.2 发射中心频率容限

发射中心频率容限最大为 $\pm 20 \times 10^{-6}$ 。

## 8.3 符号时钟频率容限

符号时钟频率容限最大为 $\pm 20 \times 10^{-6}$ 。

## 8.4 时钟同步

发射中心频率和符号时钟频率应由同一参考晶振驱动。

## 8.5 相位一致

在单个包的持续时间内，发射载波频率应该在单个频带内保持相位一致。

## 8.6 发射功率控制

设备应提供发射功率控制。功率控制算法的目标是最小化发射功率频谱密度，同时仍然为信息传送提供可靠的连接。

表 14 给出了 TXPWR\_LEVEL 和相关联的发射功率衰减之间的映射关系。

表 14 TXPWR\_LEVEL 和发射功率衰减映射

TXPWR_LEVEL	TX功率衰减
0	0dB
1	2 dB
2	4 dB
3	6 dB
4	8 dB
5	10 dB
6	12 dB
7	保留

在每个情况中，发射功率衰减变更的相对精度最大为 $\pm 1\text{dB}$  或 $\pm 20\%$ 。对于 4dB 和 8dB 的衰减变更，允许的相对精度分别是 $\pm 1.0\text{dB}$  和 $\pm 1.6\text{dB}$ 。

在发射机的输出端口对载波抑制应提供最小 20dB 的值。

## 8.7 发射机星座图误差

相对星座图 RMS 误差，是所有双载波超宽带符号数据、导频载波和所有帧的平均值，不应超过表 15 所给的值。相对星座图误差值是发射功率衰减的函数，相对星座图误差值是基于 25Mbit/s 或更低数据率时的 2.5dB 的多径余量，和 300Mbit/s 或更高数据率时的 3.6dB 多径余量，以及 2.5dB 的实现损耗。

表 15 容许的相对星座图误差

数据率名称	无TX衰减	2,4,6dB TX衰减	8,10,12dB TX衰减
RDS <sub>3</sub> , RDS <sub>4</sub> , RDS <sub>5</sub> , RDS <sub>6</sub>	-17.0dB	-15.5dB	-14.5dB
RDS <sub>1</sub> , RDS <sub>2</sub> , RDS <sub>L</sub>	-19.5dB	-18.0dB	-17.0dB

相对星座图 RMS 误差计算应使用能够将发送信号以 264M 符号每秒或更高的速率转化为复样本流的设备，并在 I/Q 失配、DC 偏移、相位噪声等具有足够的精度。已采样信号应以一种相似于理想接收机的方式处理，包括通过重叠-相加的方法将头 32 个补 0 后缀的采样添加到接收的 DC-UWB 符号。接收过程中所需要的最少步骤如下：

- 检测包和帧开始的边界；
- 估计正确的采样时间和频率偏移，如果需要则进行校正；
- 估计信道频率响应和对信道进行均衡；
- 对于每个数据，找出最接近的星座图点并计算欧式距离；
- 计算 RMS 误差，对所有数据和所有的帧求平均。

9 接收机规范

9.1 接收机灵敏度

对于八位位组的 PSDU，当误包率低于 8%时，在 AWGN 信道中不同数据率的最小接收机灵敏度数据列于表 16，其中假定噪声系数值为 6.6dB（天线输入端口），实现损耗为 2.5dB，链路余量为 3dB。

表 16 不同速率下的最小接收机灵敏度

数据速率(Mbit/s)	最小接收机灵敏度(dBm)
75	-78.5
125	-77.2
150	-76.3
250	-73.6
300	-73.0
500	-70.1
500 (LDPC)	-70.1

9.2 接收机 CCA 性能

在接收端大于等于 75Mbit/s 数据率时，最小传输灵敏度（-80.8dBm）的有效双载波传输启动时，应在 pCCADetectTime 内以大于 90%的概率引起 CCA 显示信道为忙。

9.3 链路质量指示器

设备应有能力估计接收信道的链路质量，其中链路质量定义为解调后可用的信噪比的估计，估计应与该接收机架构相关的实现损耗（量化噪声、信道估计误差等）计算在内。设备应有能力在-6dB 到 +12dB 的范围内估计值。估计超过+12dB 的数值为可选项。当在静态信道情况下测量时，所有的估计值应当随信号强度在整个的报告范围内单调递增。注意到估计值在高于+12dB 时可能呈现饱和行为。最后，链路质量估计应当以包为单位进行。

当报告链路估计质量时，设备应当在-6dB 到+24dB 的范围内将这些数值取整到最近的 dB，并且报告为链路质量估计。链路质量估计的精确度定义为在固定 SNR 下，静态 AWGN 信道中以包为单位的估计标准偏差。表 17 列举了允许的估计标准偏差，这些偏差是报告范围的函数。

表 17 负载为 4096 八位位组的 LQE 许可的标准偏差

链路质量估计（LQE）	估计标准偏差（σ）
-6dB, ..., -4dB	1.3dB
-3dB, ..., 0dB	1.1dB
1dB, ..., 6dB	0.9dB
7dB, ..., 24dB	0.7dB

链路质量估计和链路质量指示器之间的映射总结于表 18。标准编码用于在-6dB(00000001)到+24dB (00011111) 范围内报告估计。全 0 比特表明设备不支持 LQE 报告，或 LQE 太小而不能精确测量。此外，从 10000000 到 10111111 的范围和从 11000000 到 11111111 的范围定义来允许设备商报告额外的链路质量信息。链路质量估计精确度测试应当在最小为  $N_F=1000$  个包的条件下进行。所有其他的比特表示预留待以后使用。

表 18 链路质量估计编码

LQI	描述
0000 0000	链路质量报告不支持,或者链路质量太低无法测量
0000 0001-0001 1111	$LQI = (LQE + 7dB)$
0010 0000-0111 1111	保留
1000 0000-1011 1111	设备商指定链路质量编码
1100 0000-1111 1111	设备商指定链路质量编码

10 与 MB-OFDM 兼容性描述

10.1 统一的 MAC

要求设备实现在 ISO/IEC 26908:2007 中规定的 MAC/PHY 接口规范,且对 MAC 层的规范与 ISO/IEC 26908:2007 保持一致。本部分与 ISO/IEC 26908:2007 之间的不同之处为：帧结构不一样、调制方式不一样、编制方式不一样、速率强制要求和范围不同。

10.2 双模 PHY

接收机在实现时可选择支持 MB-OFDM 和 DC-UWB 两种 PHY,两种 PHY 采用 ISO/IEC 26908:2007 中规定的统一 MAC 接口，如图 23 所示。其中 MB-OFDM 的 PHY 要求满足本系列标准的第 1 部分：MB-OFDM 空中接口物理层。DC-UWB PHY 要求满足本部分要求。

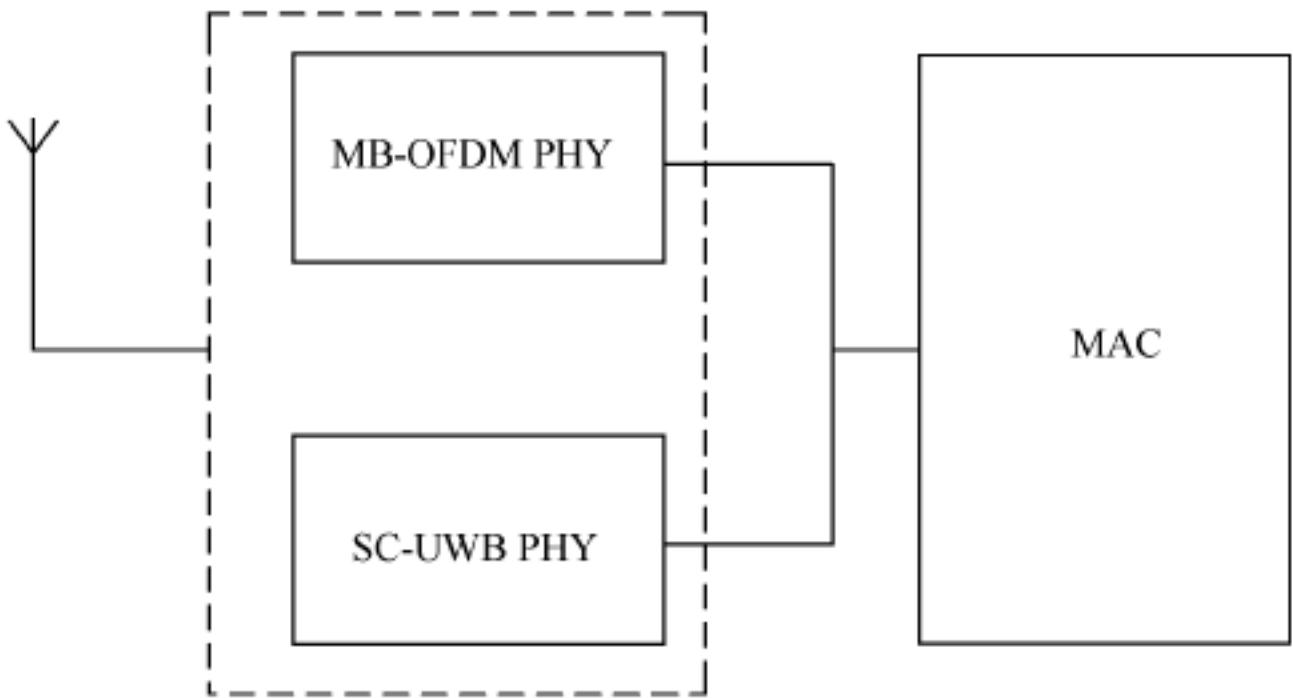


图 23 双模 PHY 结构图



附 录 A  
(规范性附录)  
FCS 字段

FCS 字段占 32 比特，表示为一个 31 次方的 CRC 多项式。

CRC 多项式根据帧负载字段进行计算。设帧负载字段占  $k$  位，可表示为  $k-1$  次的消息多项式  $M(x)$ ，最低有效位比特映射为  $x^{k-1}$  的系数，最高有效位比特映射为  $x^0$  的系数。

CRC 的生成多项式为：

$$G(x)=x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x^1+1$$

CRC 多项式是下列余数模 2 和的补数：

$x^k(x^{31}+x^{30}+\cdots+x^1+1)$  模 2 除以  $G(x)$  得到的余数

$x^{32}\times M(x)$  模 2 除以  $G(x)$  得到的余数

FCS 字段的值来自 CRC 多项式，最低有效位比特作为  $x^{31}$  项的系数，最高有效位比特作为  $x^0$  项的系数。

表 A.1 是由 CRC 多项式的 FCS 字段的编码。

表 A.1 FCS 字段的编码

b31	b30	b29	.....	b2	b1	b0
a0	a1	a2	.....	a29	a30	a31

$$a_{31}x^{31}+a_{30}x^{30}+a_{29}x^{29}+\cdots+a_2x^2+a_1x^1+a_0$$

一般的实现中，在发射机端，余数最初被预置为全 1，然后通过 CRC 多项式的计算字段除以生成多项式  $G(x)$  得到的余数来改变全 1，这个余数的补数就是 FCS 字段的值。在接收机端，余数最初被设置为全 1，如果没有传输错误，串行输入到计算字段和 FCS 比特除以生成多项式  $G(x)$  得到一个唯一的非 0 余数值。这个唯一的余数值对应的多项式为：

$$x^{31}+x^{30}+x^{26}+x^{25}+x^{24}+x^{18}+x^{15}+x^{14}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^6+x^5+x^4+x^3+x+1$$