

ICS 33.060

M 11



# 中华人民共和国通信行业标准

YD/T 2873.1-2015

---

## 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

Technical requirement for high-rate ultra-wideband wireless  
telecommunication system based on carriers  
Part 1: PHY layer of MB-OFDM air interface

(ISO/IEC 26907: 2009, Information technology-Telecommunication and  
information exchange between systems-High-rate ultra-  
wideband PHY and MAC standard, NEQ)

2015-07-14 发布

2015-10-01 实施

---

中华人民共和国工业和信息化部 发布



## 目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 物理层概述	3
5.1 概述	3
5.2 物理层功能实体	3
5.3 信号描述	3
6 PLCP 子层	5
6.1 概述	5
6.2 PPDU	5
6.3 PLCP 前导	7
6.4 PLCP 报头	11
6.5 PSDU	13
6.6 数据扰码器	14
6.7 尾比特	15
6.8 卷积编码	15
6.9 比特交织	16
6.10 星座映射	17
6.11 OFDM 调制	19
7 基本指标要求	27
7.1 工作频率	27
7.2 信道化	28
7.3 物理层定时	30
8 发射机指标要求	31
8.1 等效全向辐射功率谱密度	31
8.2 杂散辐射	31
8.3 发射机频谱模板	31
8.4 发射机中心频率偏移	32
8.5 符号时钟频率偏移	32
8.6 时钟同步	32
8.7 相位一致	32
8.8 发射功率控制	32

YD/T 2873.1-2015

8.9	发射机星座误差.....	33
9	接收机指标要求.....	33
9.1	接收机灵敏度.....	33
9.2	接收机 CCA 性能.....	33
9.3	链路质量标示符.....	33
9.4	接收信号强度标示符.....	33



## 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1部分。

本部分按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本部分对应于ISO/IEC 26907: 2009《信息技术—系统间的通信和信息交换—高速超宽带PHY和MAC规范》，一致性程度为非等效。本部分与ISO/IEC 26907: 2009的部分章条对应关系如下，技术内容保持一致：

- 本部分的第3章对应于ISO/IEC 26907: 2009的第4章；
- 本部分的第4章对应于ISO/IEC 26907: 2009的第6章；
- 本部分的第5章对应于ISO/IEC 26907: 2009的第7.1节、第8章和第9章；
- 本部分的第6章对应于ISO/IEC 26907: 2009的第10章；
- 本部分的第7章对应于ISO/IEC 26907: 2009的第11章；
- 本部分的第8章对应于ISO/IEC 26907: 2009的第12章；
- 本部分的第9章对应于ISO/IEC 26907: 2009的第13章。

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：工业和信息化部电信研究院。

本部分主要起草人：张 莉、党梅梅。



# 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

### 1 范围

本部分规定了工作于3.1GHz~10.6GHz基于载波的高速超宽带无线通信系统的MB-OFDM空中接口物理层要求，包括PLCP功能要求、物理层的基本指标要求、发射机要求和接收机要求。

本部分适用于公用电信网环境下基于载波的采用MB-OFDM技术的超宽带通信系统，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，仅所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。

ISO/IEC 26907: 2009信息技术—系统间通信和信息交换—高速超宽带PHY和MAC规范（Information technology-Telecommunication and information exchange between systems-High-rate ultra-wideband PHY and MAC standard）

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**Beacon组 Beacon Group (BG)**

一种设备集，设备从其接收用于识别与设备有相同Beacon周期开始时间（BIT/ST）的Beacon。

#### 3.2

**信道 Channel**

用于协作实体间交换信息的媒质。

#### 3.3

**数据完整性 Data Integrity**

数据未被改变原始格式的保证。

#### 3.4

**帧 Frame**

设备用于数据传输的单位。

#### 3.5

**帧保护 Frame Protection**

为某一帧提供的安全服务，包括（但不限于）净荷加密、消息认证和重放攻击防护。

#### 3.6

**相邻节点 Neighbour**

设备Beacon组中任意的设备。

#### 3.7

**优先竞争接入 Prioritized Contention Access (PCA)**

设备用于媒质接入的优先CSMA/CA接入机制。

### 3.8

伪随机数生成 Pseudo-Random Number Generation

从一个给定的种子产生序列的过程，当种子未知时其具有某种比特随机序列的统计特性。

### 3.9

随机数发生器 Random Number Generator

生成一个不可预知的比特序列的方法或设计。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BM	Burst Mode	突发模式
CCA	Clear Channel Assessment	空闲信道评估
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
DCM	Dual Carrier Modulation	双载波调制
FCS	Frame Check Sequence	帧校验序列
FDS	Frequency-Domain Spreading	频域扩展
FFI	Fixed-Frequency Interleaving	固定频率交织
FFT	Fast Fourier Transform	快速傅里叶变换
HCS	Header Check Sequence	报头校验序列
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform	反向离散傅里叶变换
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform	反向快速傅里叶变换
LSB	Least-Significant Bit	最低有效位
MAC	Medium Access Control	媒体接入控制
MIB	Management Information Base	管理信息数据库
MSB	Most-Significant Bit	最高有效位
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用
PDU	Protocol Data Unit	协议数据单元
PER	Packet Error Rate	误包率
PHY	Physical layer	物理层
PLCP	Physical Layer Convergence Protocol	物理层汇聚协议
PLME	Physical Layer Management Entity	物理层管理实体
PMD	Physical Medium Dependent	物理介质关联
PPDU	PLCP Protocol Data Unit	PLCP协议数据单元
PRBS	Pseudo-Random Binary Sequence	伪随机二进制序列
PSDU	PHY Service Data Unit	物理层服务数据单元
PT	Preamble Type	前导类型
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	四相相移键控
RF	Radio Frequency	射频

RMS	Root Mean Squared	均方根
RSSI	Received Signal Strength Indicator	接收信号强度标识
SIFS	Short Interframe Spacing	短帧间距
TDS	Time-Domain Spreading	时域扩展
TF	Time-Frequency	时频
TFC	Time-Frequency Code	时频码
TFI	Time Frequency Interleaving	时频交织
TFI2	Time-Frequency Interleaving over 2 bands	在2个频段上时频交织
TPC	Transmit Power Control	发射功率控制
UWB	Ultra Wideband	超宽带

## 5 物理层概述

### 5.1 概述

物理层支持的数据速率如下：

- a) 必选：53.3Mbit/s、106.7Mbit/s、200Mbit/s。
- b) 可选：80Mbit/s、160Mbit/s、320Mbit/s、400Mbit/s、480Mbit/s。

频谱被分为14个频段，每个频段带宽528MHz。前12个频段被分为4组，每组包含3个频段；后2个频段形成第5个频段组。另外，还把其中3个频段定义为第6个频段组。系统应至少支持以上频段组的其中一个。频段组划分具体情况见图 23。

每个频段有128个子载波，其中使用的子载波为122个，包含100个数据子载波，10个保护子载波和12个导频子载波，参见6.11.2、6.11.3和6.11.4。通过频域扩展、时域扩展和FEC编码来区分不同的数据速率。FEC卷积码的编码速率为1/3、1/2、5/8和3/4。

编码后的数据通过时频码（TFC）进行扩展，本部分定义了三类TFC：

- a) TFI——编码信息交织到三个频段上；
- b) TFI1 或 TFI2——编码信息交织到两个频段上；
- c) FFI——编码信息发送到一个频段上。

其中TFI、TFI2和FFI为必选项。

### 5.2 物理层功能实体

#### 5.2.1 PLCP 子层

为了使MAC层更最大程度上独立于PMD子层，定义了物理汇聚子层，该功能简化了物理层与MAC层之间的服务接口。

#### 5.2.2 PMD 子层

PMD子层提供两个或多个站之间的数据发送和接收方法。

#### 5.2.3 物理层管理实体（PLME）

PLME与MAC管理实体一起执行对物理层的管理功能。

### 5.3 信号描述

发射机射频信号可用下面公式表示：



$$S_{RF}(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{n=0}^{N_{packet}-1} s_n(t - nT_{SYM}) \exp(j2\pi f_c(q(n))t) \right\}$$

式中:

- $\text{Re}(\cdot)$  为信号的实部;
- $T_{SYM}$  为符号长度;
- $N_{packet}$  为数据包中符号的数目;
- $f_c(m)$  为第  $m$  个频带的中心频点;
- $q(n)$  为第  $n$  个符号映射到相应频带上的算法;
- $s_n(t)$  为第  $n$  个符号的基带信号, 其满足:

$$s_n(t) = \begin{cases} 0, & t \notin [0, T_{SYM}) \\ s_{sync,n}(t), & 0 \leq n < N_{sync} \\ s_{hdr,n-N_{sync}}(t), & N_{sync} \leq n < N_{sync} + N_{hdr} \\ s_{frame,n-N_{sync}-N_{hdr}}(t), & N_{sync} + N_{hdr} \leq n < N_{packet} \end{cases}$$

式中:

- $s_{sync,n}(t)$  为第  $n$  个前导符号;
- $s_{hdr,n}(t)$  为第  $n$  个报头符号;
- $s_{frame,n}(t)$  为第  $n$  个 PSDU 符号;
- $N_{sync}$  为前导中的符号数;
- $N_{hdr}$  为报头中的符号数;
- $N_{packet}$  为净荷中的符号数,  $N_{packet} = N_{frame} + N_{sync} + N_{hdr}$ 。

离散时间信号  $s_k[k]$  通过数模转换和抗混叠滤波器后形成时域信号  $s_n(t)$ , 如图 1 所示。

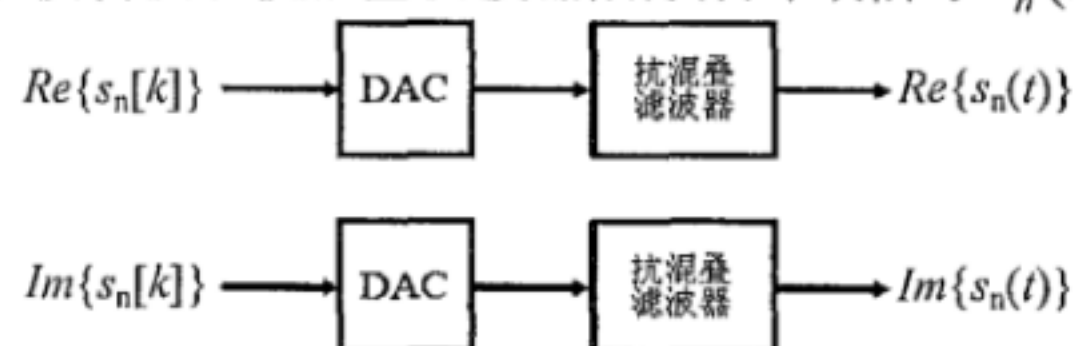


图 1 离散时间信号向时域信号的转换

图2给出了使用3个频段的射频信号示例, 其中第1个符号的发射中心频率为3432MHz, 第2个符号的发射中心频率为3960MHz, 第3个符号的发射中心频率为4488MHz, 第4个符号的发射中心频率为3432MHz, 以此类推。从图2中可见, 符号由OFDM符号和后缀组成。后缀有两个作用: 一是减少多径影响; 二是为发射机和接收机在不同频点间切换留下足够的时间窗。

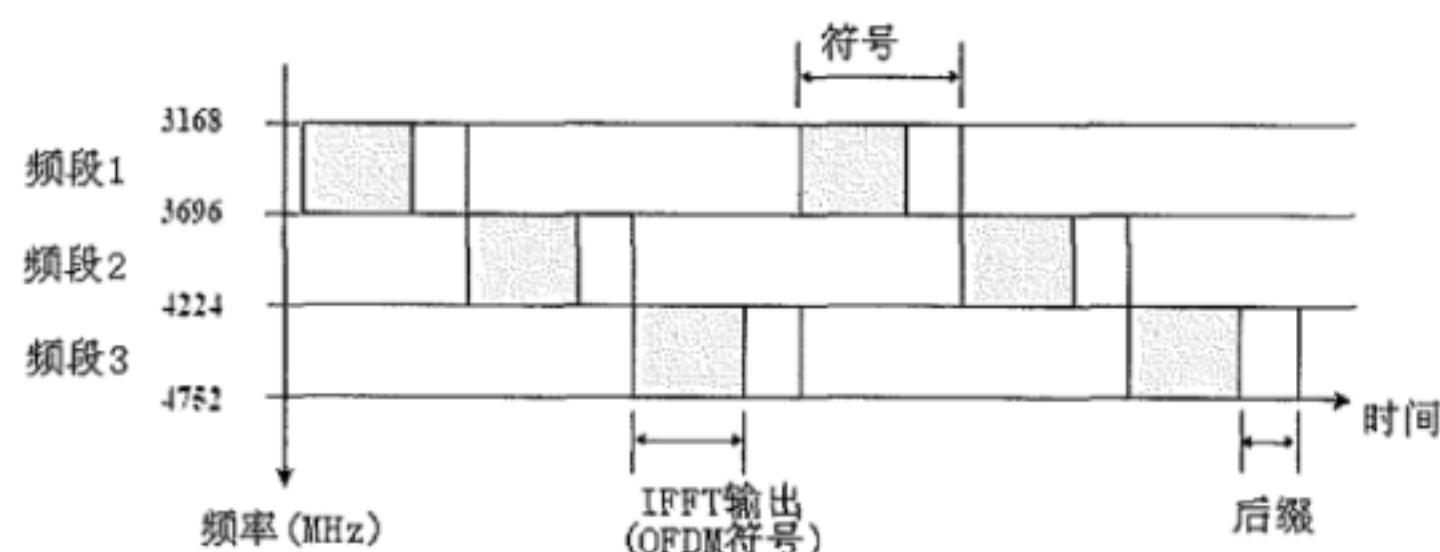


图 2 使用三个频段的射频信号示例

## 6 PLCP 子层

### 6.1 概述

本章规定了PSDU转换成PPDU的方法。在PSDU上添加PLCP前导和PLCP报头形成PPDU，PLCP前导和PLCP报头中包含解调、解码以及PSDU发送的相关信息。

### 6.2 PPDU

图3给出了PPDU的格式，包含三个组成部分：PLCP前导、PLCP报头和PSDU。

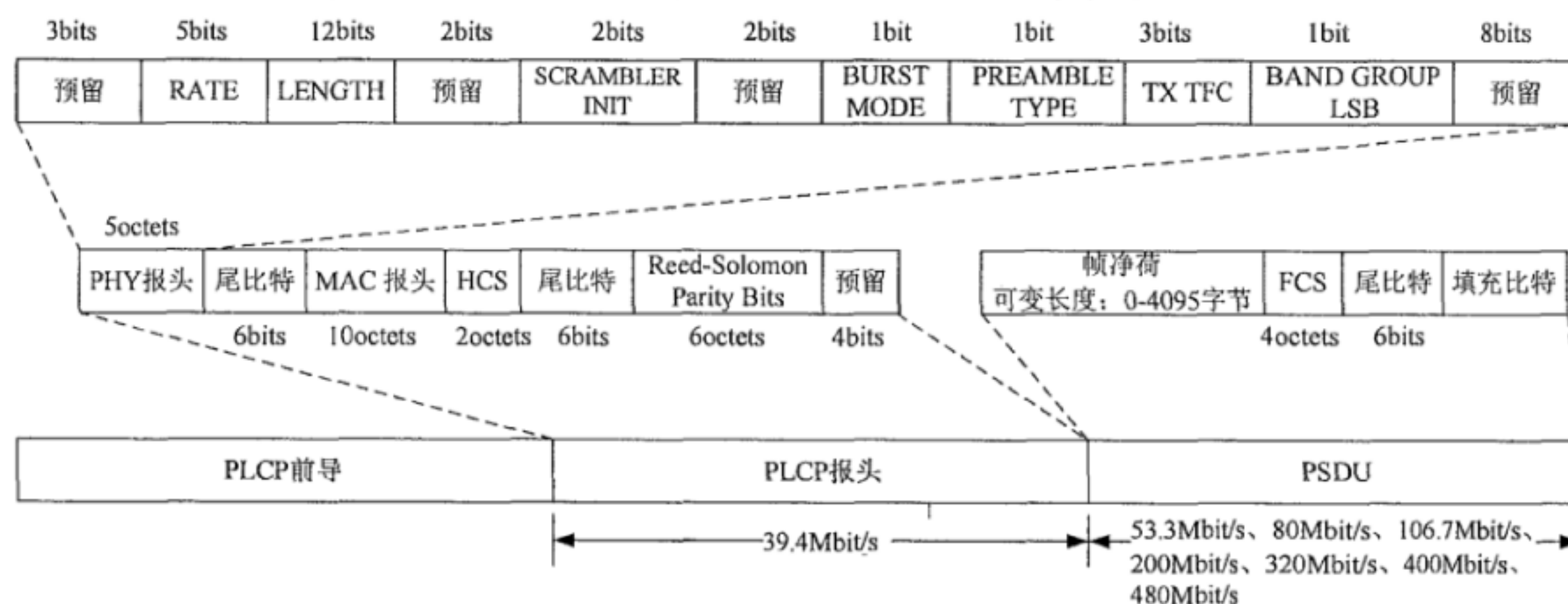


图3 PPDU 格式

PLCP前导的功能是帮助接收机进行时间同步、载波偏移恢复和信道估计。PLCP前导包含数据包/帧同步序列和信道估计序列。

PLCP报头的功能是发送必要的物理层和MAC层信息，从而帮助接收机进行PSDU的解码。PLCP报头包含PHY报头、MAC报头、报头校验序列（HCS）、尾比特和RS奇偶校验比特。

PSDU包含帧净荷、帧校验序列（FCS）、尾比特和填充比特。

发送数据包时，首先发送PLCP前导，其次是PLCP报头，最后是PSDU。PLCP报头是一个RS码字，数据速率为39.4Mbit/s。PSDU的数据速率为53.3Mbit/s、80Mbit/s、106.7Mbit/s、160Mbit/s、200Mbit/s、320Mbit/s、400Mbit/s或480Mbit/s。

#### 6.2.1 PSDU 中速率相关的参数

表1给出了PSDU调制方式及数据速率相关的信息。

表1 PSDU 数据速率相关的信息

数据速率 (Mbit/s)	调制方式	编码速率	FDS	TDS	编码 bit/6 个 OFDM 符号 ( $N_{CBP6S}$ )	信息 bit/6 个 OFDM 符号 ( $N_{IBP7S}$ )
53.3	QPSK	1/3	是	是	300	100
80	QPSK	1/2	是	是	300	150
106.7	QPSK	1/3	否	是	600	200
160	QPSK	1/2	否	是	600	300
200	QPSK	5/8	否	是	600	375
320	DCM	1/2	否	否	1200	600
400	DCM	5/8	否	否	1200	750
480	DCM	3/4	否	否	1200	900



## 6.2.2 PSDU 中时间相关的参数

表2给出了时间相关的一些参数。

表 2 时间相关参数

参数	描述	值
$f_s$	抽样速率	528MHz
$N_G$	保护子载波数目	10
$N_{FFT}$	总的子载波数	128
$N_D$	数据子载波数目	100
$N_P$	导频子载波数目	12
$N_T$	使用的子载波数目	$122 (= N_D + N_P + N_G)$
$D_f$	子载波频率跨度	$4.125\text{MHz} (= f_s / N_{FFT})$
$T_{FFT}$	IFFT 和 FFT 周期	$242.42\text{ns} (D_f^{-1})$
$N_{ZPS}$	后缀的采样个数	37
$T_{ZPS}$	后缀的时间长度	$70.08\text{ns} (= N_{ZPS} / f_s)$
$T_{SYM}$	符号间隔	$312.5\text{ns} (= T_{FFT} + T_{ZPS})$
$F_{SYM}$	符号速率	$3.2\text{MHz} (= T_{SYM}^{-1})$
$N_{SYM}$	每个符号的采样个数	$165 (= N_{FFT} + N_{ZPS})$

## 6.2.3 PSDU 中帧相关的参数

表3给出了帧相关的参数。

表 3 帧相关参数

参数	描述	值
$N_{pf}$	数据包/帧同步序列中的符号数目	标准前导: 24 突发前导: 12
$T_{pf}$	数据包/帧同步序列的时长	标准前导: $7.5\mu\text{s}$ 突发前导: $3.75\mu\text{s}$
$N_{ce}$	信道估计序列中的符号数目	6
$T_{ce}$	信道估计序列的时长	$1.875\mu\text{s}$
$N_{sync}$	PLCP 前导中的符号数目	标准前导: 30 突发前导: 18
$T_{sync}$	PLCP 前导的时长	标准前导: $9.375\mu\text{s}$ 突发前导: $5.625\mu\text{s}$
$N_{hdr}$	PLCP 报头中的符号数目	12
$T_{hdr}$	PLCP 报头的时长	$3.75\mu\text{s}$
$N_{frame}$	PSDU 中的符号数目	$6 \times \left\lceil \frac{8 \times LENGTH + 38}{N_{IBP6S}} \right\rceil$
$T_{frame}$	PSDU 时长	$6 \times \left\lceil \frac{8 \times LENGTH + 38}{N_{IBP6S}} \right\rceil \times T_{SYM}$
$N_{packet}$	数据包中总的符号数目	$N_{sync} + N_{hdr} + N_{frame}$
$T_{packet}$	数据包总时长	$(N_{sync} + N_{hdr} + N_{frame}) \times T_{SYM}$

### 6.3 PLCP 前导

#### 6.3.1 概述

PLCP前导位于PLCP报头之前，主要作用是帮助接收机进行时间同步、载波偏移恢复和信道估计，分为标准PLCP前导和突发PLCP前导两大类。前导由两部分组成：时域部分（数据包/帧同步序列）和频域部分（信道估计序列）。

6.3对两类前导进行了规定。其中突发前导只能应用在突发模式中。当数据速率不大于200Mbit/s时，突发中的所有数据包都应使用标准PLCP前导。当数据速率大于200Mbit/s时，只有第一个数据包应使用标准PLCP前导，其余的数据包既可使用标准前导也可使用突发前导。对于支持数据速率大于200Mbit/s的系统来说，突发前导为必选项。

#### 6.3.2 标准 PLCP 前导

图4给出了标准PLCP前导的结构。前导分为两部分：数据包/帧同步序列和信道估计序列。

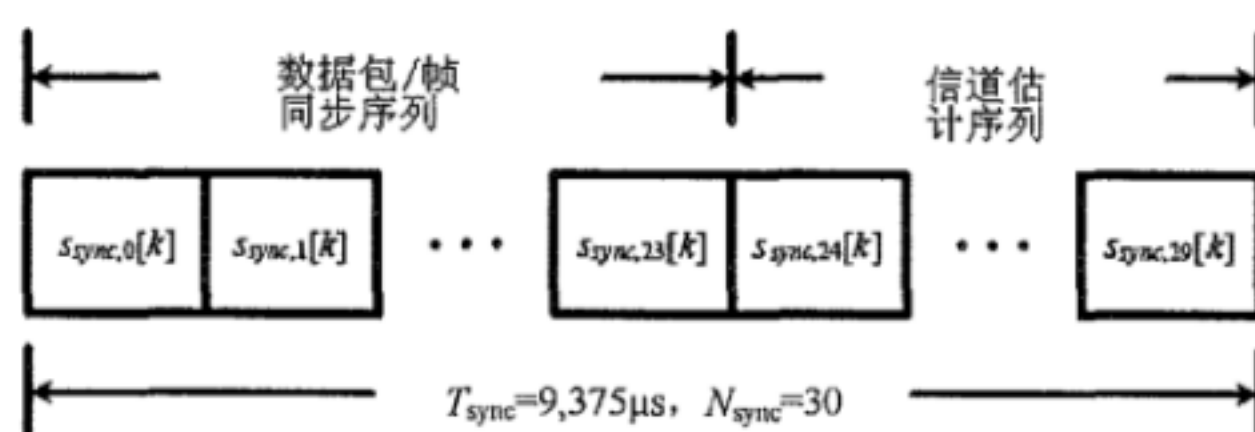


图4 标准 PLCP 前导格式

数据包/帧同步序列和信道估计序列的形成过程见图5。其中数据包/帧同步序列形成过程如下：

a) 对于一个给定的时频码，选择相应的基础时域序列  $s_{base}[l]$ ，从表4选择相应的标准覆盖序列  $s_{cover}[m]$ 。

b) 通过在长度为  $N_{FFT}$  的  $s_{base}[l]$  序列后附加  $N_{ZPS}$  个填充位形成扩展时域序列  $s_{ext}[l]$ 。

c) 通过公式2形成标准前导中的第  $n$  个符号的第  $k$  个抽样  $s_{sync,n}[k]$ 。

$$s_{sync,n}[k] = s_{cover}[n] \times s_{ext}[k]$$

公式1

其中：

—  $n \in [0, N_{pf} - 1]$ ， $N_{pf}$  定义见表3，

—  $k \in [0, N_{SYM} - 1]$ ， $N_{SYM}$  定义见表2。

信道估计序列的形成过程如下。

a) 从表6中选择相应的基础频域信道估计序列，进行IDFT，然后附加  $N_{ZPS}$  个填充位形成时域序列  $s_{est}[l]$ 。

b) 信道估计序列可表示为：

$$s_{sync,n}[k] = s_{est}[k]$$

其中：

$n \in [N_{pf}, N_{sync} - 1]$ ，

$k \in [0, N_{SYM} - 1]$ ，

$N_{pf}$  定义见表3，

$N_{SYM}$  定义见表2。

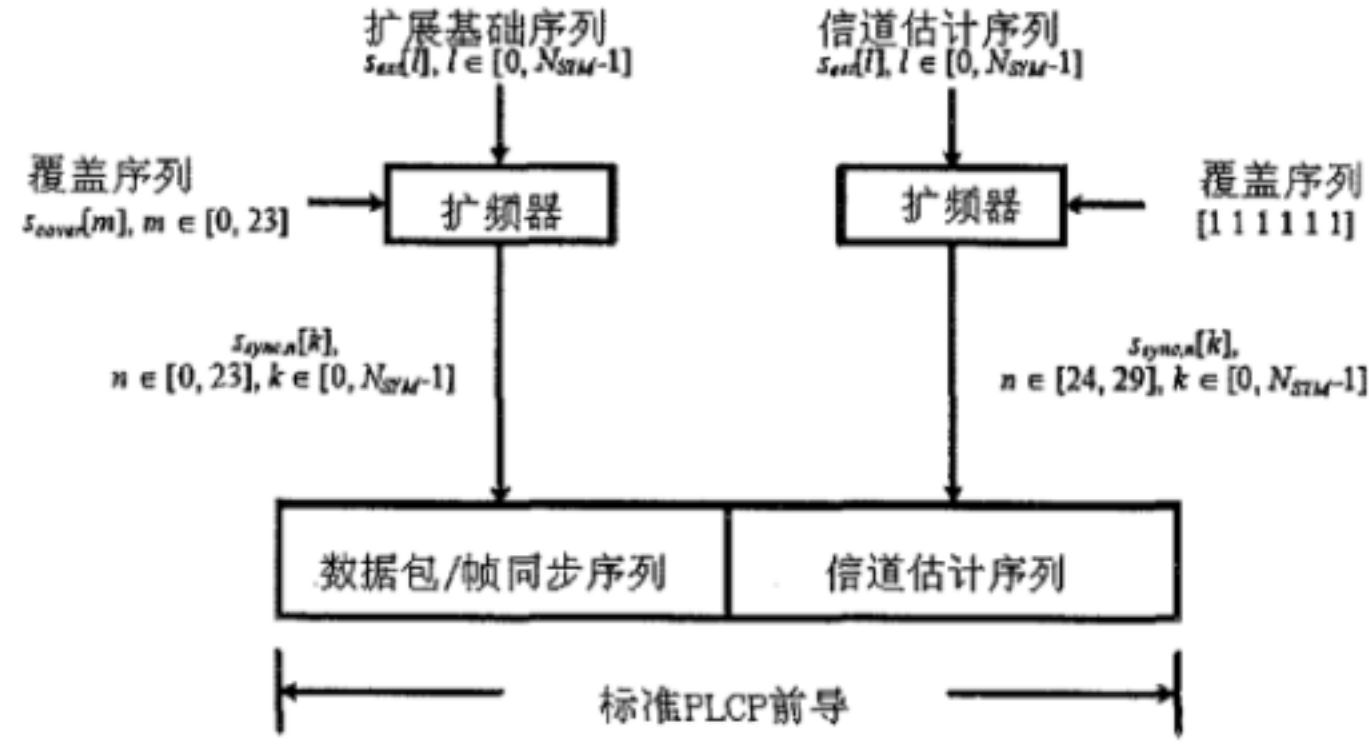


图5 标准 PLCP 前导构造框图

### 6.3.3 突发 PLCP 前导

图6给出了突发PLCP前导的结构。与标准PLCP类似，突发PLCP前导也分为两部分：数据包/帧同步序列和信道估计序列。

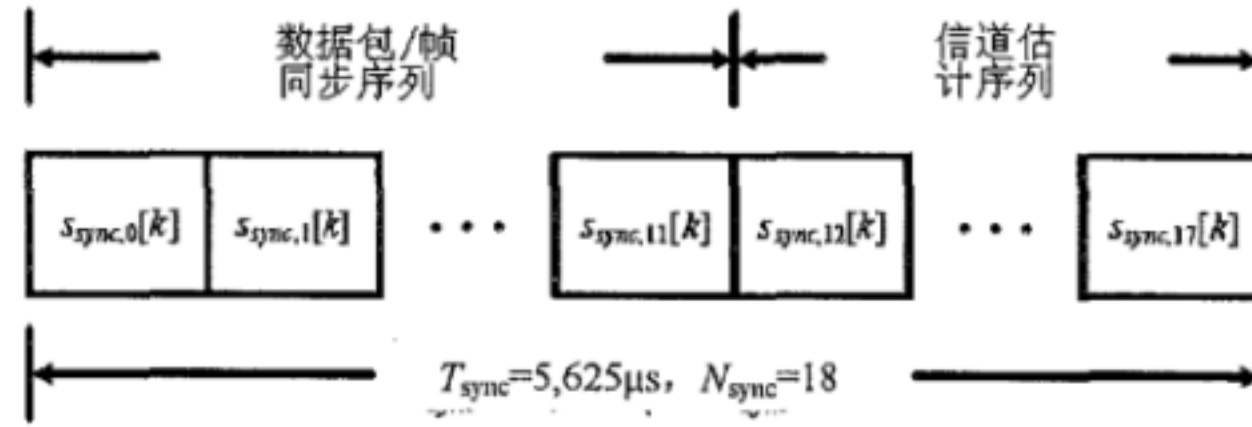


图6 突发 PLCP 前导格式

数据包/帧同步序列和信道估计序列的形成过程见图7。其中数据包/帧同步序列形成过程如下：

- 对于一个给定的时频码（参见 7.2），选择一个合适的基础时域序列  $s_{base}[l]$ ，从表 5 选择一个合适的标准覆盖序列  $s_{cover}[m]$ 。本条中 TF 码的基础时域序列见 ISO/IEC 26907:2009 中的表 4 到表 20。
- 通过在长度为  $N_{FFT}$  的  $s_{base}[l]$  序列后附加  $N_{ZPS}$  个后缀位形成扩展时域序列  $s_{ext}[l]$ 。
- 通过公式 2 形成标准前导中的第  $n$  个符号的第  $k$  个抽样  $s_{sync,n}[k]$ 。

$$s_{sync,n}[k] = s_{cover}[n] \times s_{ext}[k]$$

公式 2

其中，

- $n \in [0, N_{pf} - 1]$ ， $N_{pf}$  定义见表 3，
- $k \in [0, N_{SYM} - 1]$ ， $N_{SYM}$  定义见表 2。

信道估计序列的形成过程如下：

- 从表6中选择相应的基础频域信道估计序列，进行IDFT，然后附加  $N_{ZPS}$  个填充位形成时域序列  $s_{ext}[l]$ 。

- 信道估计序列可表示为：

$$s_{sync,n}[k] = s_{ext}[k]$$

其中：

- $n \in [N_{pf}, N_{sync} - 1]$ ；
- $k \in [0, N_{SYM} - 1]$ ；
- $N_{pf}$  定义见表3；
- $N_{SYM}$  定义见表2。

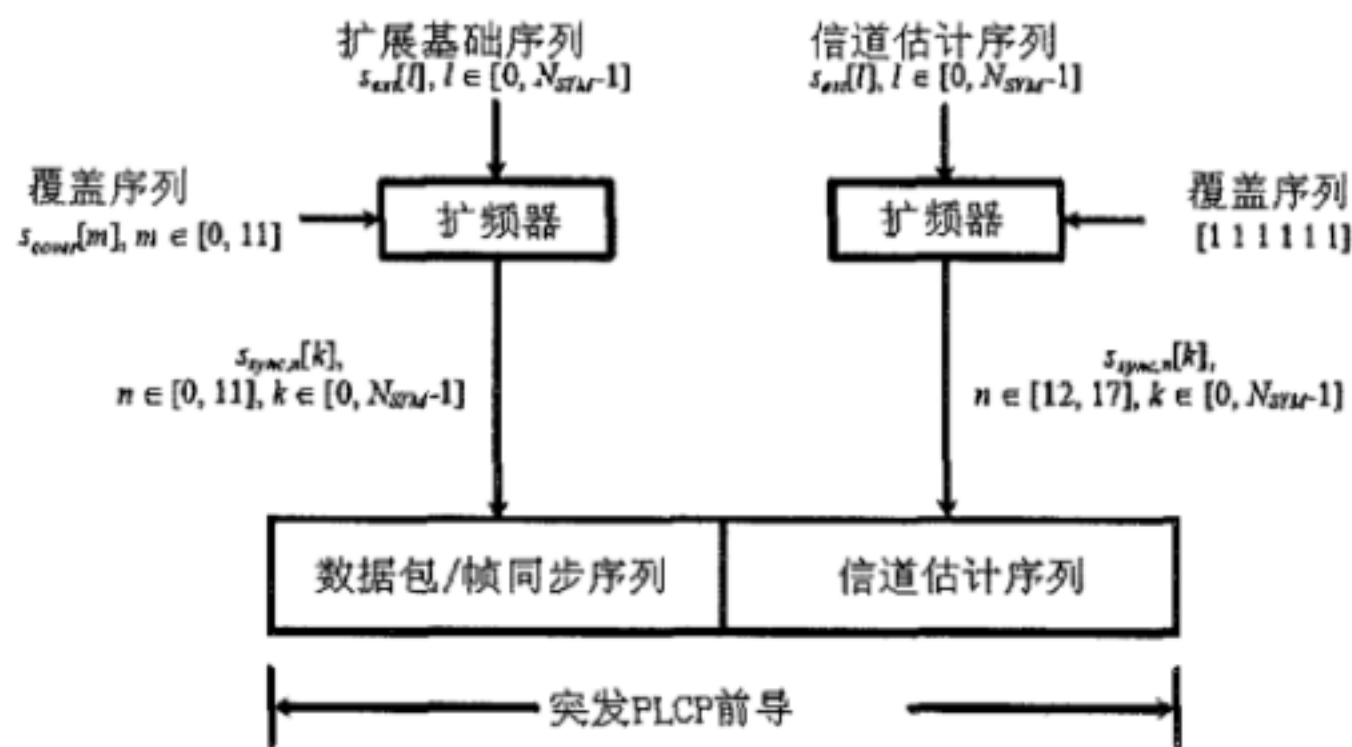


图 7 突发 PLCP 前导构造框图

表 4 标准前导覆盖序列

m	TF 码 1,2 的 $S_{\text{cover}}[m]$	TF 码 3,4 的 $S_{\text{cover}}[m]$	TF 码 5,6,7 的 $S_{\text{cover}}[m]$	TF 码 8,9,10 的 $S_{\text{cover}}[m]$
0	1	1	-1	1
1	1	1	-1	1
2	1	1	-1	-1
3	1	1	-1	-1
4	1	1	-1	1
5	1	1	-1	1
6	1	1	-1	-1
7	1	1	1	-1
8	1	1	-1	1
9	1	1	-1	1
10	1	1	1	-1
11	1	1	-1	-1
12	1	1	-1	1
13	1	1	1	1
14	1	1	-1	-1
15	1	1	-1	-1
16	1	1	1	1
17	1	1	-1	1
18	1	1	-1	1
19	1	-1	1	1
20	1	1	-1	1
21	-1	-1	1	1
22	-1	1	1	-1
23	-1	-1	1	-1

表 5 突发前导的覆盖序列

m	TF 码 1,2 的 $S_{\text{cover}}[m]$	TF 码 3,4 的 $S_{\text{cover}}[m]$	TF 码 5,6,7 的 $S_{\text{cover}}[m]$	TF 码 8,9,10 的 $S_{\text{cover}}[m]$
0	1	1	-1	1
1	1	1	-1	1
2	1	1	-1	-1
3	1	1	1	-1



表 5 (续)

m	TF 码 1,2 的 $S_{\text{cover}}[m]$	TF 码 3,4 的 $S_{\text{cover}}[m]$	TF 码 5,6,7 的 $S_{\text{cover}}[m]$	TF 码 8,9,10 的 $S_{\text{cover}}[m]$
4	1	1	1	1
5	1	1	-1	1
6	1	1	-1	1
7	1	-1	1	1
8	1	1	-1	1
9	-1	-1	1	1
10	-1	1	1	-1
11	-1	-1	1	-1

表 6 基础频域信道估计序列

Tone	值	Tone	值	Tone	值	Tone	值
-61	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-30	$(1-j)/\sqrt{2}$	1	$(1+j)/\sqrt{2}$	32	$(1+j)/\sqrt{2}$
-60	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-29	$(-1+j)/\sqrt{2}$	2	$(1+j)/\sqrt{2}$	33	$(1+j)/\sqrt{2}$
-59	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-28	$(-1+j)/\sqrt{2}$	3	$(-1-j)/\sqrt{2}$	34	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-58	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-27	$(1-j)/\sqrt{2}$	4	$(1+j)/\sqrt{2}$	35	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-57	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-26	$(1-j)/\sqrt{2}$	5	$(-1-j)/\sqrt{2}$	36	$(1+j)/\sqrt{2}$
-56	$(1-j)/\sqrt{2}$	-25	$(1-j)/\sqrt{2}$	6	$(-1-j)/\sqrt{2}$	37	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-55	$(1-j)/\sqrt{2}$	-24	$(-1+j)/\sqrt{2}$	7	$(1+j)/\sqrt{2}$	38	$(1+j)/\sqrt{2}$
-54	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-23	$(1-j)/\sqrt{2}$	8	$(-1-j)/\sqrt{2}$	39	$(1+j)/\sqrt{2}$
-53	$(1-j)/\sqrt{2}$	-22	$(1-j)/\sqrt{2}$	9	$(1+j)/\sqrt{2}$	40	$(1+j)/\sqrt{2}$
-52	$(1-j)/\sqrt{2}$	-21	$(1-j)/\sqrt{2}$	10	$(-1-j)/\sqrt{2}$	41	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-51	$(1-j)/\sqrt{2}$	-20	$(-1+j)/\sqrt{2}$	11	$(1+j)/\sqrt{2}$	42	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-50	$(1-j)/\sqrt{2}$	-19	$(1-j)/\sqrt{2}$	12	$(1+j)/\sqrt{2}$	43	$(1+j)/\sqrt{2}$
-49	$(1-j)/\sqrt{2}$	-18	$(-1+j)/\sqrt{2}$	13	$(-1-j)/\sqrt{2}$	44	$(1+j)/\sqrt{2}$
-48	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-17	$(1-j)/\sqrt{2}$	14	$(-1-j)/\sqrt{2}$	45	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-47	$(1-j)/\sqrt{2}$	-16	$(1-j)/\sqrt{2}$	15	$(-1-j)/\sqrt{2}$	46	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-46	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-15	$(-1+j)/\sqrt{2}$	16	$(1+j)/\sqrt{2}$	47	$(1+j)/\sqrt{2}$
-45	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-14	$(-1+j)/\sqrt{2}$	17	$(1+j)/\sqrt{2}$	48	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-44	$(1-j)/\sqrt{2}$	-13	$(-1+j)/\sqrt{2}$	18	$(-1-j)/\sqrt{2}$	49	$(1+j)/\sqrt{2}$
-43	$(1-j)/\sqrt{2}$	-12	$(1-j)/\sqrt{2}$	19	$(1+j)/\sqrt{2}$	50	$(1+j)/\sqrt{2}$
-42	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-11	$(1-j)/\sqrt{2}$	20	$(-1-j)/\sqrt{2}$	51	$(1+j)/\sqrt{2}$
-41	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-10	$(-1+j)/\sqrt{2}$	21	$(1+j)/\sqrt{2}$	52	$(1+j)/\sqrt{2}$
-40	$(1-j)/\sqrt{2}$	-9	$(1-j)/\sqrt{2}$	22	$(1+j)/\sqrt{2}$	53	$(1+j)/\sqrt{2}$
-39	$(1-j)/\sqrt{2}$	-8	$(-1+j)/\sqrt{2}$	23	$(1+j)/\sqrt{2}$	54	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-38	$(1-j)/\sqrt{2}$	-7	$(1-j)/\sqrt{2}$	24	$(-1-j)/\sqrt{2}$	55	$(1+j)/\sqrt{2}$
-37	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-6	$(-1+j)/\sqrt{2}$	25	$(1+j)/\sqrt{2}$	56	$(1+j)/\sqrt{2}$
-36	$(1-j)/\sqrt{2}$	-5	$(-1+j)/\sqrt{2}$	26	$(1+j)/\sqrt{2}$	57	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-35	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-4	$(1-j)/\sqrt{2}$	27	$(1+j)/\sqrt{2}$	58	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-34	$(-1+j)/\sqrt{2}$	-3	$(-1+j)/\sqrt{2}$	28	$(-1-j)/\sqrt{2}$	59	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-33	$(1-j)/\sqrt{2}$	-2	$(1-j)/\sqrt{2}$	29	$(-1-j)/\sqrt{2}$	60	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-32	$(1-j)/\sqrt{2}$	-1	$(1-j)/\sqrt{2}$	30	$(1+j)/\sqrt{2}$	61	$(-1-j)/\sqrt{2}$
-31	$(1-j)/\sqrt{2}$			31	$(1+j)/\sqrt{2}$		

## 6.4 PLCP 报头

### 6.4.1 概述

在PLCP前导后应加入PLCP报头，包含物理层和MAC层相应信息，以便在接收端成功解码PSDU。PLCP报头的构成框图见图8，具体步骤如下：

- 形成物理层报头；
- 计算HCS值（2字节）；
- HCS值附加在MAC报头后，然后进行扰码；
- 对PHY报头（5字节）+扰码后的MAC报头和HCS（12字节）应用一个缩短RS码（23,17）；
- 在PHY报头后插入6个尾比特，在扰码后的MAC报头和HCS后加入6个尾比特，在尾部附加6个奇偶校验字节和4个尾比特形成扰码及RS编码PLCP 报头。

而后，进行编码、交织、映射为QPSK以及IDFT，见图9。

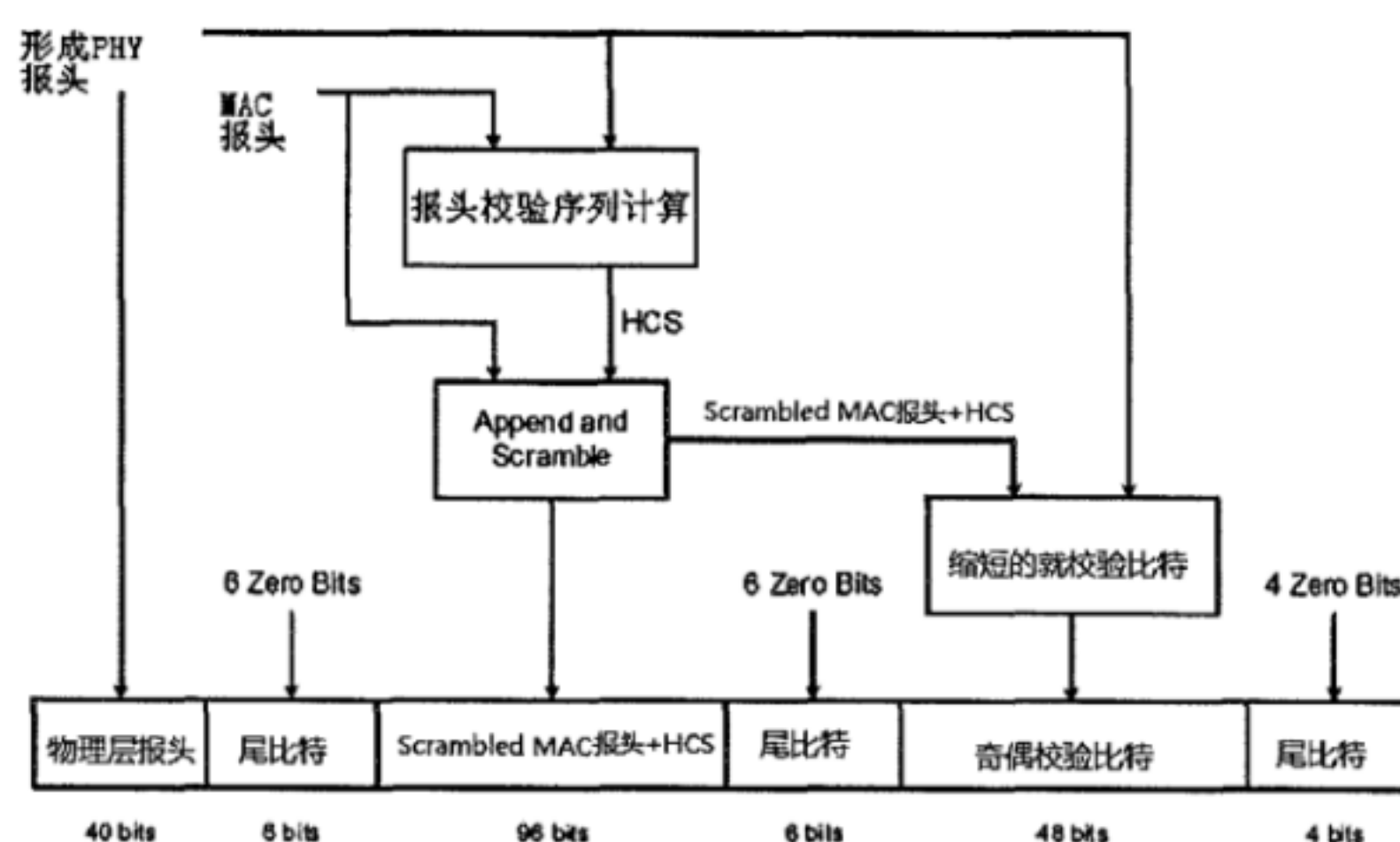


图8 PLCP 报头构成框

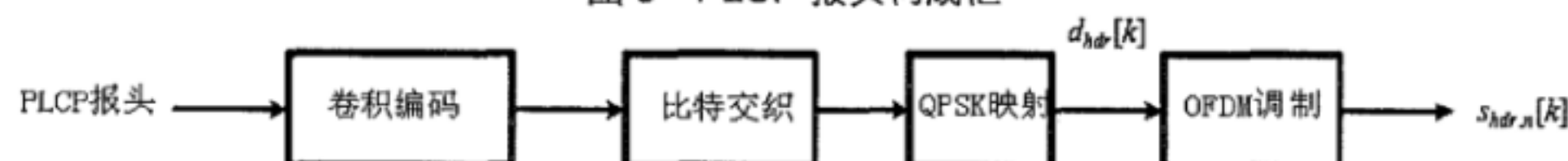


图9 PLCP 报头编码过程

### 6.4.2 PHY 报头

物理层报头为40bit，编码为0~39，见图10。比特3~7为RATE域，包含调制编码信息以及扩频因数；比特8~19为LENGTH域；比特22~23包含扰码器的seed初始状态值；比特26包含是否为突发模式的信息；比特27包含下一数据包前导类型的信息（标准或突发前导）；比特28~30标识发送端TFC（T1~T3）的低3LSB；比特31标识发送端使用的频段组的LSB；比特34标识发送端的TFC（T4）的MSB；其他未定义比特均为预留，且设为0。接收端应忽略所有的预留比特。

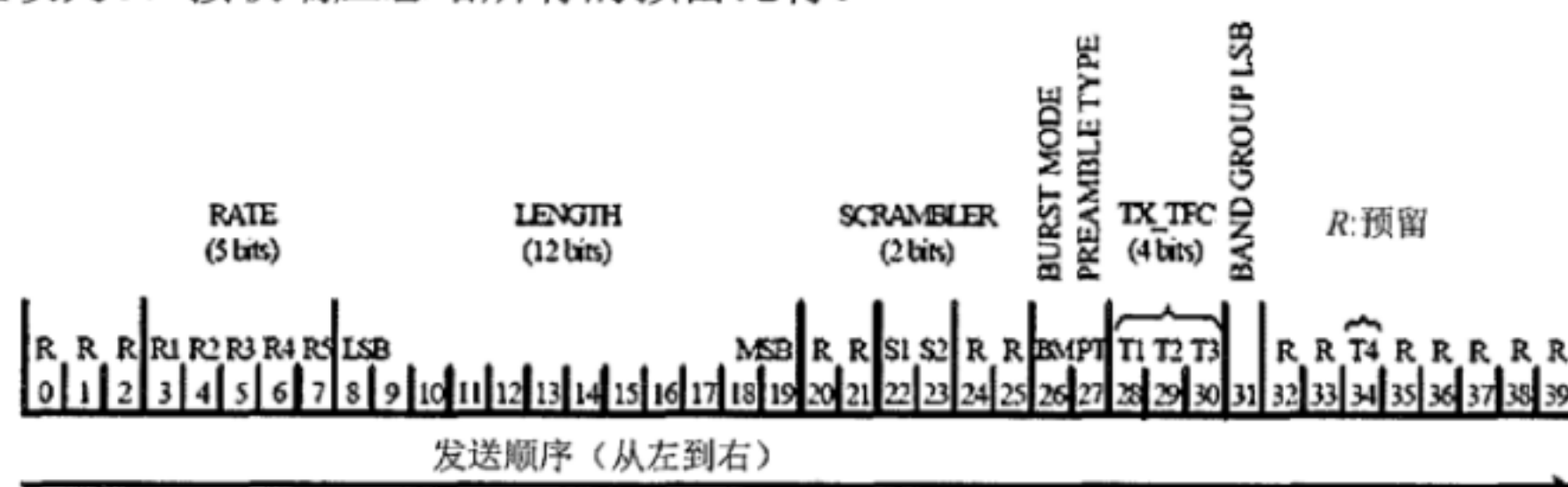


图10 PHY 报头

6.4.2.1 数据速率域 (RATE)

该域中的R1~R5定义如表7所示。

表 7 RATE 域定义

速率 (Mbit/s)	R1~R5
53.3	00000
80	00001
106.7	00010
160	00011
200	00100
320	00101
400	00110
480	00111
预留	01000~11111

6.4.2.2 PLCP 长度域 (LENGTH)

该域为12bit长，标识帧净荷中的字节数（不包含FCS，尾比特和填充比特）。

6.4.2.3 PLCP 扰码域 (SCRAMBLER)

MAC根据扰码器seed标示符值来设定S1-S2的值。

6.4.2.4 突发模式 (BM) 域

该域定义如表8所示。在突发模式中，LENGTH的最小值应为1；在标准模式中，LENGTH的最小值为0。

表 8 BM 域定义

BM 比特	下一数据包状态
1	下一数据包不是突发模式
0	下一数据包是突发模式

6.4.2.5 前导类型 (PT) 域

该域定义如表 9所示。当数据速率不大于200Mbit/s时，该域应一直设为0。

表 9 PT 域定义

PT 域	下一数据包的前导类型
0	标准前导
1	突发前导

6.4.2.6 发送端使用 TF 码 (TX\_TFC) 域

该域定义如表10所示。

表 10 TX\_TFC 域定义

TF 码	T1~T4
1	1000
2	0100
3	1100
4	0010
5	1010
6	0110



表 10 (续)

TF 码	T1~T4
7	1110
8	0001
9	1001
10	0101
预留	其他值

#### 6.4.2.7 发送端使用的频段组 LSB (BG\_LSB) 域

该域定义如表11所示。

表 11 BG\_LSB 域定义

频段组	BG_LSB
1,3,5	1
2,4,6	0

#### 6.4.3 RS 码

PLCP报头使用RS (255, 249) 码的缩短码RS(23,17)外码来增强 $R=1/3, K=7$ 内部卷积码的鲁棒性。

#### 6.4.4 报头校验序列

CCITT CRC-16 HCS示意框图如图11所示。

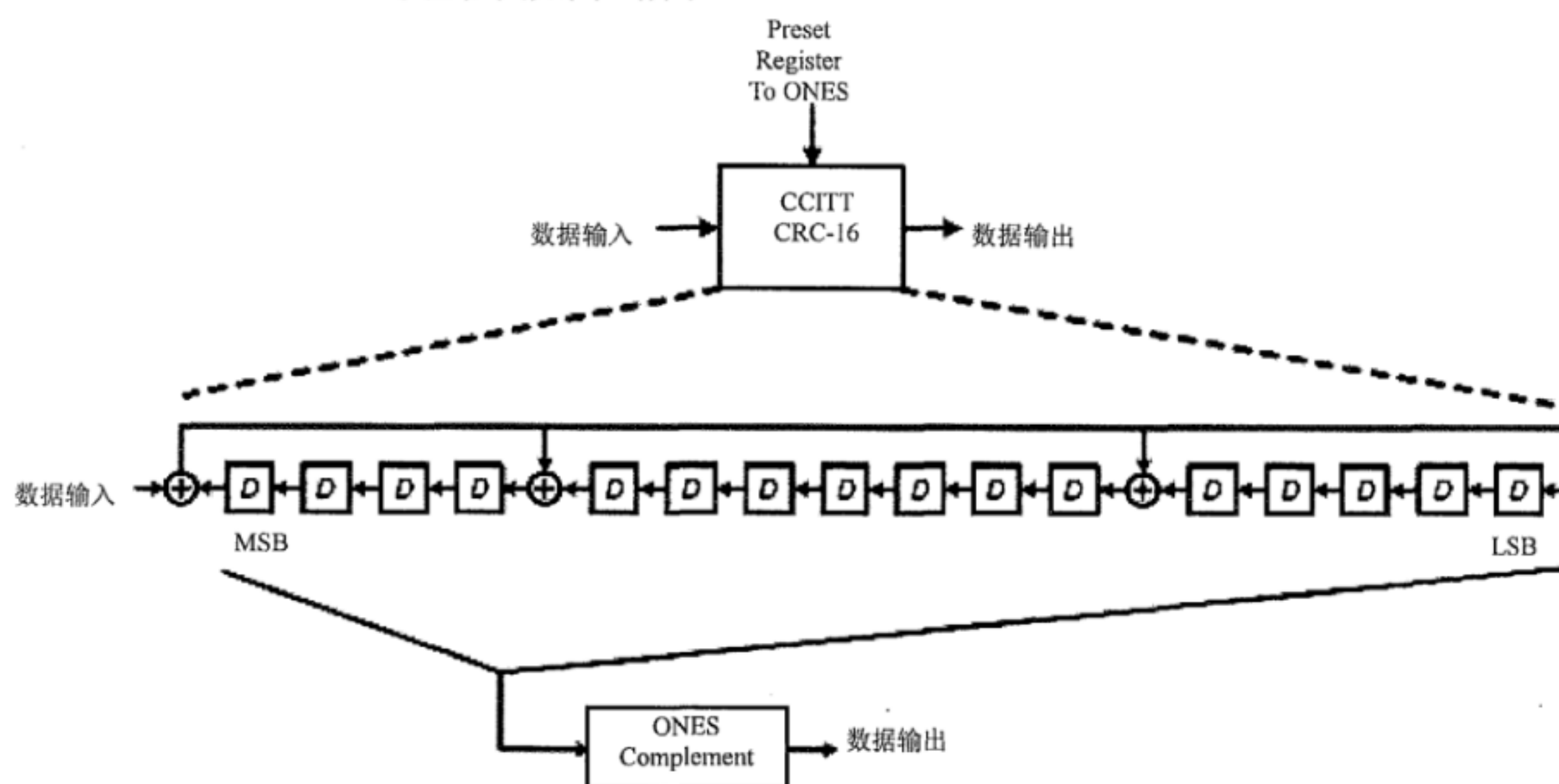


图 11 CCITT CRC-16 框图

### 6.5 PSDU

#### 6.5.1 概述

PSDU的形成过程如图12所示。具体步骤如下：

- 在帧净荷后附加4字节FCS，6个尾比特以及足够数量的填充比特，形成非扰码PSDU；
- 进行扰码；
- 把PSDU中的6个扰码尾比特替换成6个非扰码0比特。

而后, 对扰码后的PSDU进行编码、交织、映射到QPSK或DCM星座上以及进行OFDM调制等, 具体见图13。

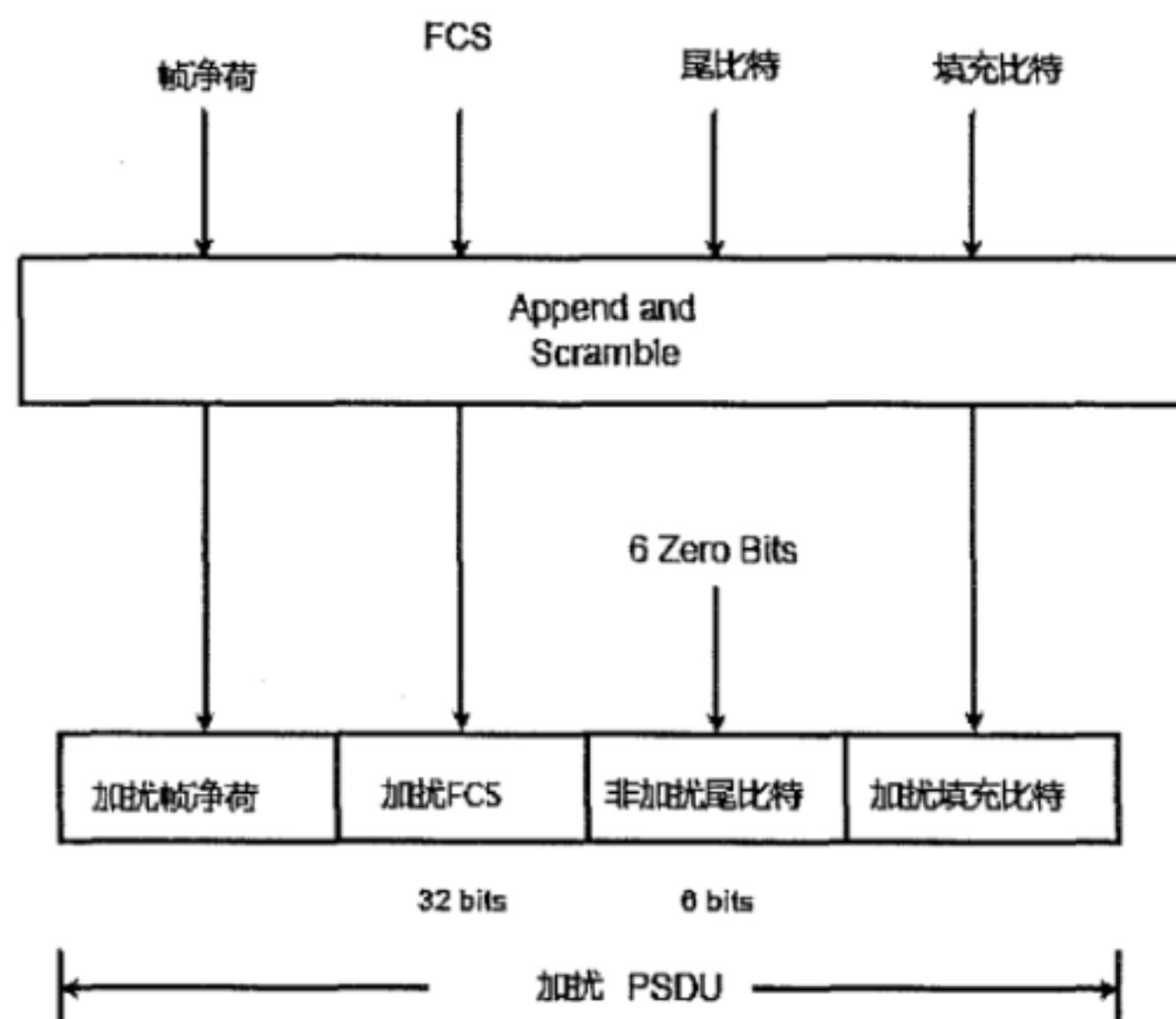


图 12 PSDU 构造过程

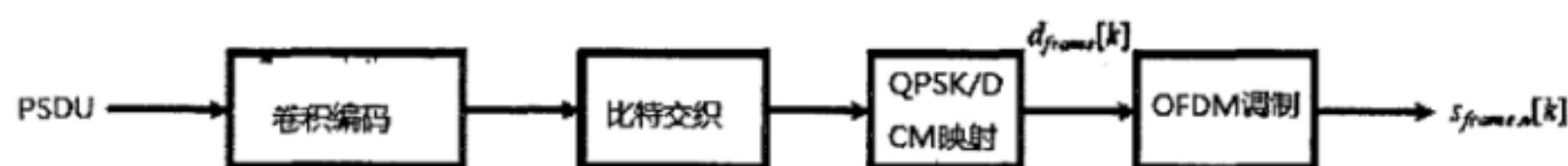


图 13 PSDU 编码过程

### 6.5.2 填充比特

在6个尾比特后应加入填充比特, 填充的数量由下式计算获得。

$$N_{pad} = N_{IBP6S} \times \left\lceil \frac{8 \times LENGTH + 38}{N_{IBP6S}} \right\rceil - (8 \times LENGTH + 38)$$

其中:

$LENGTH$  为帧净荷字节数;

$N_{IBP6S}$  为每6个OFDM符号的信息比特数目。

## 6.6 数据扰码器

伪随机序列 (PRBS) 应为:

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

其中:

$\oplus$  为模2加。

表12中的初始矢量  $x_{init}$  通过下式获得:

$$x_{init} = [x_i[-1] x_i[-2] \dots x_i[-14] x_i[-15]]$$

则扰码后的数据比特  $v_m$  定义如下:

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

其中:

$s[m]$  表示未进行扰码的数据比特。

表 12 扰码器 seed 值

Seed 标示符 (S1, S2)	Seed 值 $x_{init} = [x_i[-1]x_i[-2]...x_i[-14]x_i[-15]]$	PRBS 输出 (头 16 个比特) $x[0]x[1]...x[15]$
00	0011 1111 1111 111	0000 0000 0000 1000
01	0111 1111 1111 111	0000 0000 0000 0100
10	1011 1111 1111 111	0000 0000 0000 1110
11	1111 1111 1111 111	0000 0000 0000 0010

6.7 尾比特

物理层报头和HCS后应包含6个无扰码0尾比特，RS奇偶校验比特域后应包含4个无扰码0尾比特。另外，应把PSDU中的6个扰码尾比特替换成6个非扰码0比特。

6.8 卷积编码

卷积编码器的编码率 $R=1/3$ ,生成器多项式中 $g_0 = 133_8$ ,  $g_1 = 165_8$ ,  $g_2 = 171_8$ 。首先生成比特A，然后是比特B，最后是比特C。其他的编码率均通过puncture从 $R=1/3$ 获得。Puncture意为在发射端忽略掉若干编码比特，而后再接收端加入若干零比特来代替这些忽略的比特位，具体过程见图15、图16和图17。

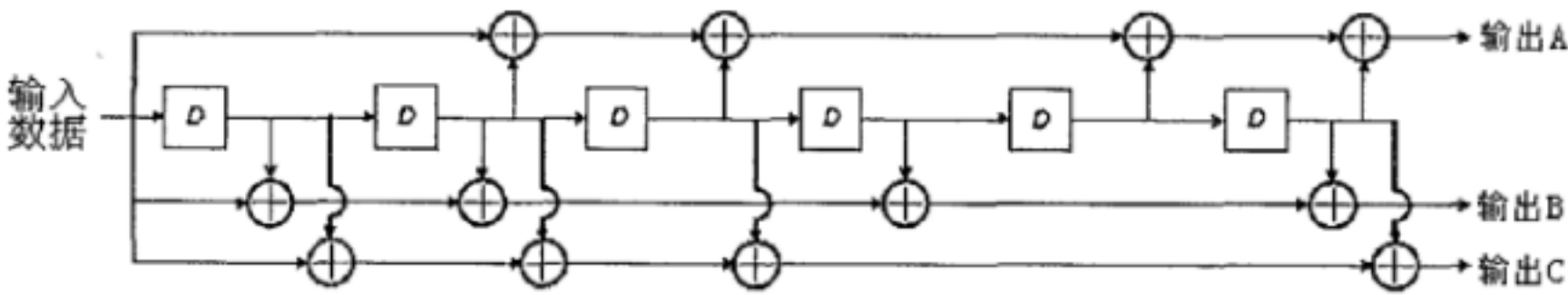


图 14 卷积编码器

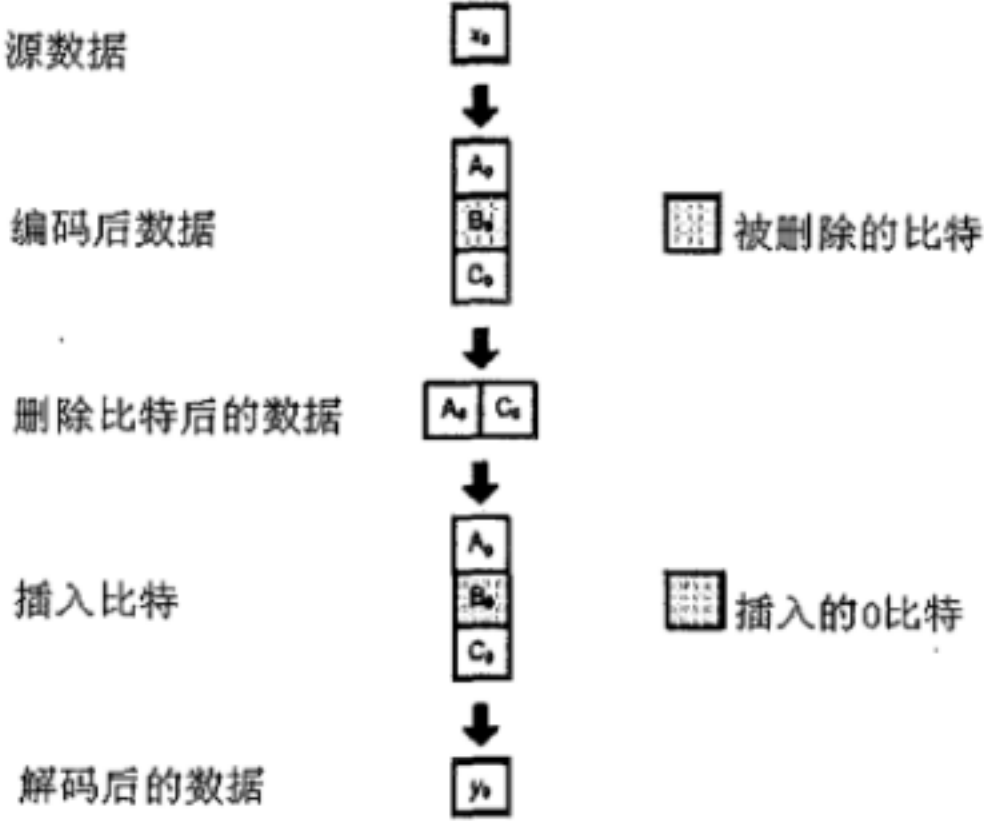


图 15  $R=1/2$  的 puncture 过程

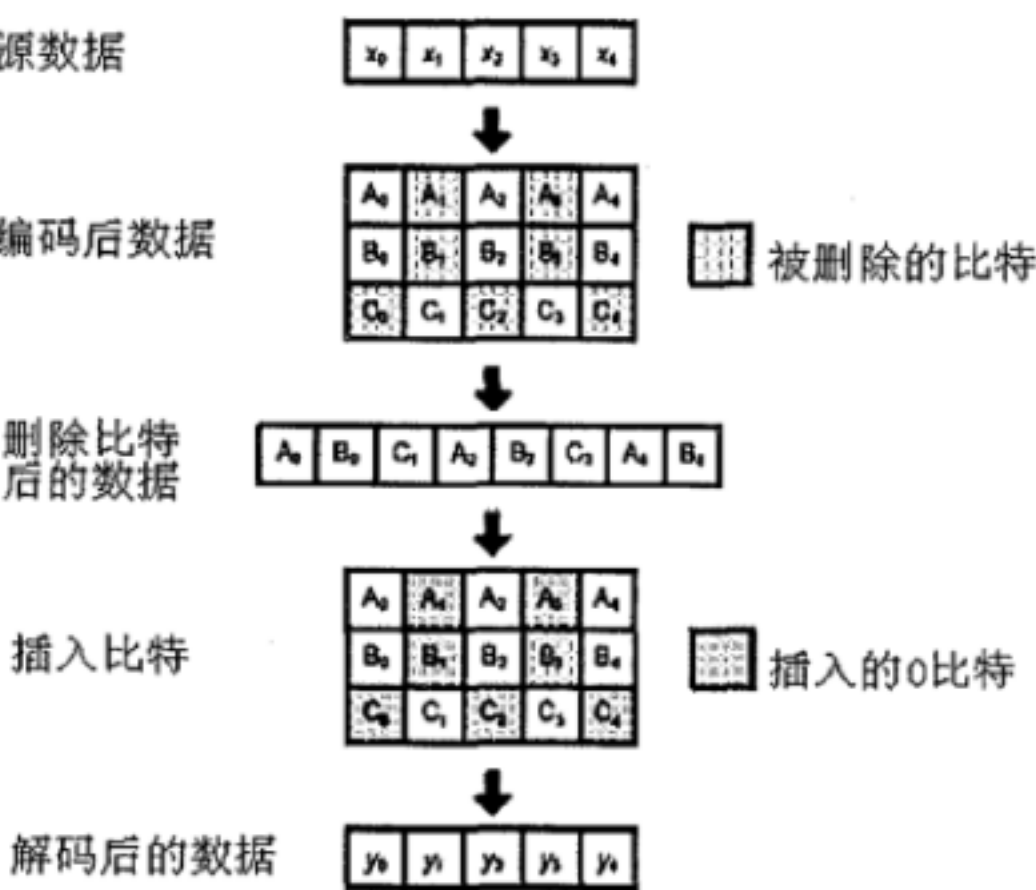


图 16  $R=5/8$  的 puncture 过程

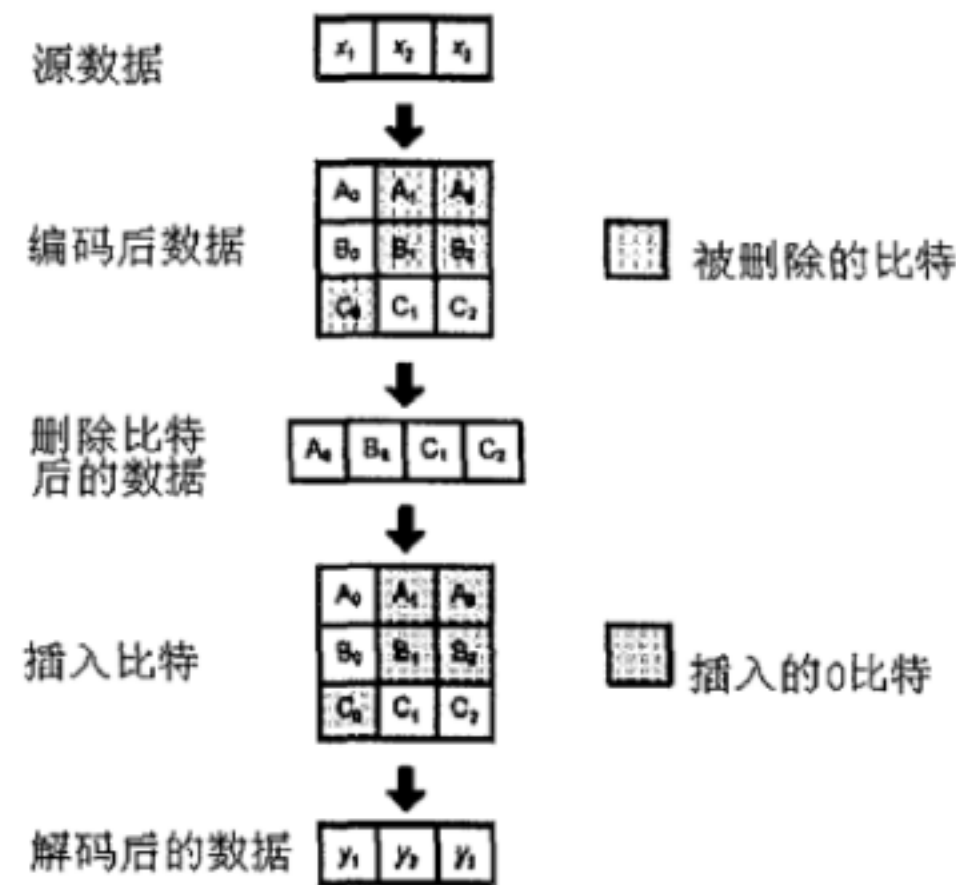


图 17  $R=3/4$  的 puncture 过程

PLCP报头编码时应采用 $R=1/3$ ，编码器的起始状态应为全0状态。在完成PLCP报头编码后，编码器应进行全0复位，而后再对PSDU进行编码。PSDU的编码率 $R$ 可以为 $1/3$ 、 $1/2$ 、 $5/8$ 或 $3/4$ 。

### 6.9 比特交织

在进行调制之前要进行比特交织，比特交织过程见图18，分为如下3个步骤：

- 符号交织；
- 符号内tone交织；
- 符号内循环移位。

交织中的参数见表13。



图 18 比特交织框图

表 13 交织器参数

数据速率 (Mbit/s)	TDS 因子 ( $N_{TDS}$ )	编码比特/OFDM 符号 ( $N_{CBPS}$ )	Tone 交织器数据块大小 ( $N_{Tint}$ )	循环交织移位 ( $N_{cyc}$ )
53.3	2	100	10	33
80	2	100	10	33
106.7	2	200	20	66
160	2	200	20	66
200	2	200	20	66
320	1	200	20	33
400	1	200	20	33
480	1	200	20	33

首先进行符号交织，把编码比特分为大小为 $N_{CBPS}$ 比特的数据组，而后使用数据块交织器把编码比特顺序打乱。设序列 $a[i]$ 和 $a_s[i]$ 为数据块交织器的输入和输出序列，其中 $i = 0, \dots, N_{CBPS} - 1$ ，则输出序列可表示为：

$$a_s[i] = a \left[ \left\lfloor \frac{i}{N_{CBPS}} \right\rfloor + \left( \frac{6}{N_{TDS}} \right) \times \text{mod}(i, N_{CBPS}) \right]$$

然后进行tone交织, 设序列  $a_S[j]$  和  $a_T[j]$  为tone交织器的输入和输出序列, 其中  $j = 0, \dots, N_{CBPS} - 1$ , 则输出序列可表示为:

$$a_T[j] = a_S \left[ \left\lfloor \frac{j}{N_{Tint}} \right\rfloor + 10 \times \text{mod}(j, N_{Tint}) \right]$$

最后进行符号内循环移位, 设序列  $a_T[l]$  和  $b[l]$  为循环移位器的输入和输出序列, 其中  $l = 0, \dots, N_{CBPS} - 1$ , 则输出序列可表示为:

$$b[l] = a_T[m(i) \times N_{CBPS} + \text{mod}(i + m(i) \times N_{cyc}, N_{CBPS})]$$

其中,

$$m(i) = \lfloor i / N_{CBPS} \rfloor, \quad i = 0, \dots, N_{CBPS} - 1$$

## 6.10 星座映射

### 6.10.1 概述

若数据速率不大于200Mbit/s, 则映射为QPSK; 若数据速率不小于320Mbit/s, 则映射为DCM。

### 6.10.2 QPSK

把输入数据  $b[i]$  分为2个比特一组, 并转换为复数, 代表QPSK星座4个点中的一个点, 转换成复数的过程见图19, 输出  $d[k]$  的产生用公式表达, 见公式3。

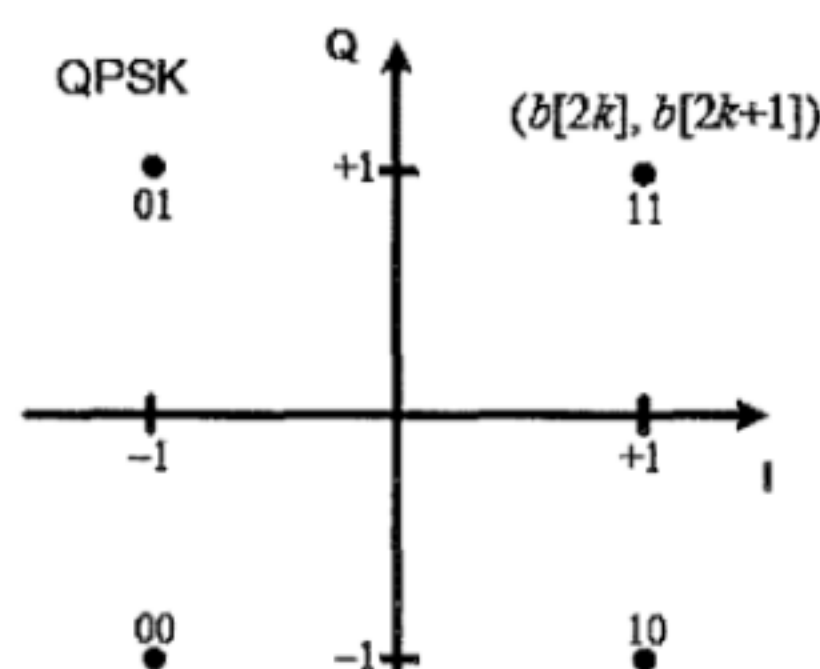


图 19 QPSK 星座比特编码

$$d[k] = K_{MOD} [(2 \times b[2k] - 1) + j(2 \times b[2k + 1] - 1)]$$

其中:

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

$$K_{MOD} = 1/\sqrt{2}$$

公式3

在QPSK调制方式下,  $b[2k]$  决定  $I$  值,  $b[2k+1]$  决定  $Q$  值, 具体定义见表14。

表 14 QPSK 编码

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

### 6.10.3 双载波调制 (DCM)

DCM的具体步骤如下:

a) 200个编码比特分为50组, 每组4个比特。每组表示为  $(b[g(k)], b[g(k) + 1], b[g(k) + 50],$



$b[g(k) + 51]$  其中  $k \in [0, 49]$ , 且

$$g(k) = \begin{cases} 2k & k \in [0, 24] \\ 2k + 50 & k \in [25, 49] \end{cases}$$

公式4

b) 每组的4个比特映射到4维星座, 如图20所示。并且转换为2个复数 ( $d[k], d[k+50]$ )。比特和星座之间的映射关系见表15。

c) 每个复数再乘上因子  $K_{MOD}$ ,  $K_{MOD} = 1/\sqrt{10}$ 。

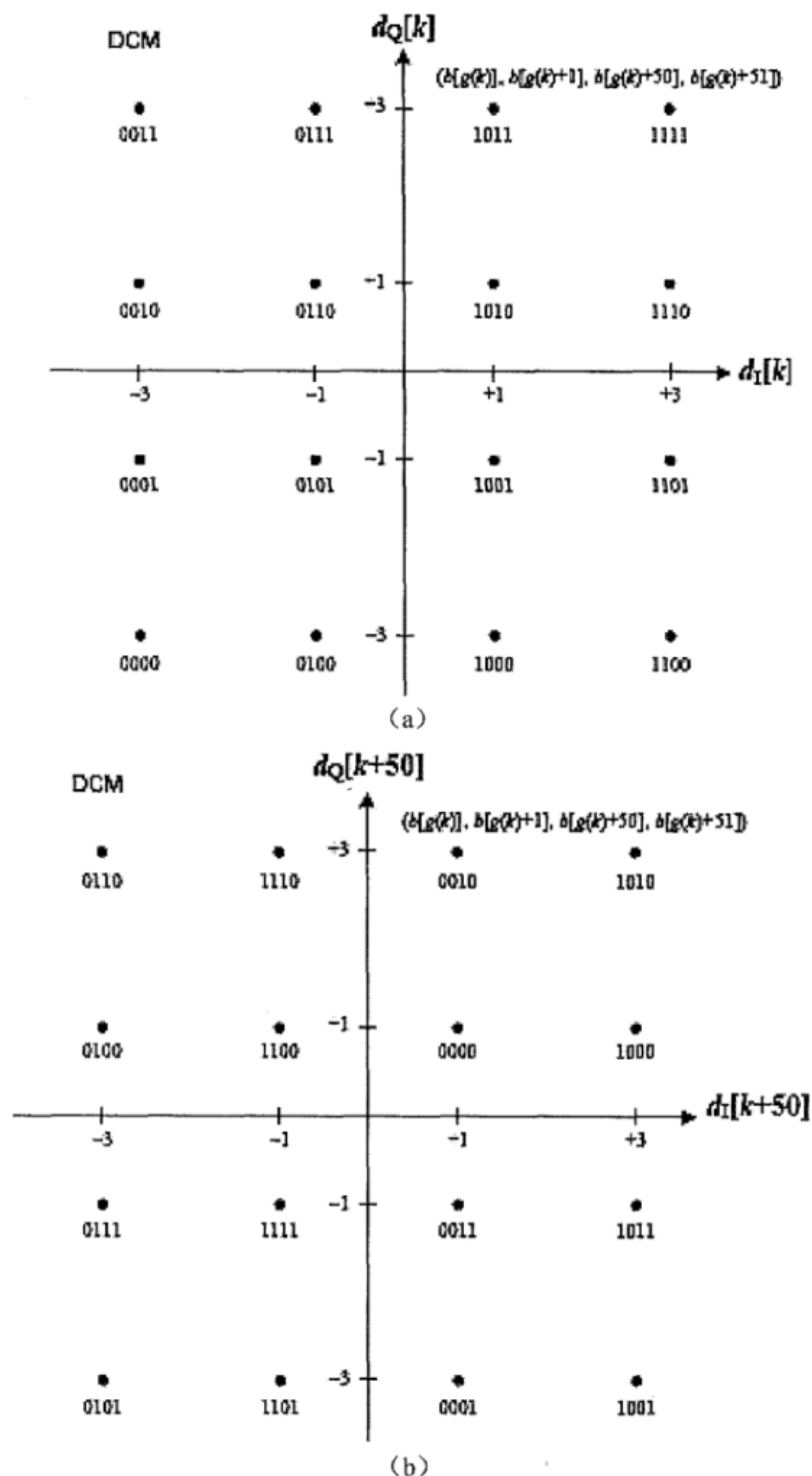


图 20 DCM 调制:(a)为  $d[k]$  映射; (b)为  $d[k+50]$  映射

表 15 双载波调制编码

输入比特 ( $b[g(k)], b[g(k)+1], b[g(k)+50], b[g(k)+51]$ )	$d[k]I$ 输出	$d[k]Q$ 输出	$d[k+50]I$ 输出	$d[k+50]Q$ 输出
0000	-3	-3	1	1
0001	-3	-1	1	-3
0010	-3	1	1	3
0011	-3	3	1	-1
0100	-1	-3	-3	1
0101	-1	-1	-3	-3
0110	-1	1	-3	3
0111	-1	3	-3	-1
1000	1	-3	3	1
1001	1	-1	3	-3
1010	1	1	3	3
1011	1	3	3	-1
1100	3	-3	-1	1
1101	3	-1	-1	-3
1110	3	1	-1	3
1111	3	3	-1	-1

## 6.11 OFDM 调制

## 6.11.1 概述

通过IDFT获得离散时间信号  $s_n[k]$ ，如公式5所示。

$$s_n[k] = \frac{1}{\sqrt{N_{FFT}}} \left[ \sum_{l=0}^{N_D} C_{D,n}[l] \exp(2\pi M_D[l]k / N_{FFT}) + \sum_{l=0}^{N_G} C_{G,n}[l] \exp(j2\pi M_G[l]k / N_{FFT}) + \sum_{l=0}^{N_P} C_{P,n}[l] \exp(j2\pi M_P[l]k / N_{FFT}) \right] \quad \text{公式 5}$$

其中：

$$k \in [0, N_{FFT} - 1];$$

$$n \in [N_{sync}, N_{packet} - 1];$$

$N_D$  为数据子载波的个数；

$N_G$  为保护子载波的个数；

$N_P$  为导频子载波的个数；

$N_{FFT}$  为子载波的总个数。

$C_{D,n}[l], C_{G,n}[l], C_{P,n}[l]$  为第  $n$  个 OFDM 符号的第  $l$  个数据、保护、导频子载波上的复数，

$M_D[l], M_G[l], M_P[l]$  为从  $[0, N_D - 1], [0, N_G - 1], [0, N_P - 1]$  映射为逻辑子载波  $[-N_T/2, N_T/2]$ （不包含 0）的方法。具体映射关系见图21，用公式表示见公式6、公式7和公式8。



$$M_D[l] = \begin{cases} l-56 & l=0 \\ l-55 & 1 \leq l \leq 9 \\ l-54 & 10 \leq l \leq 18 \\ l-53 & 19 \leq l \leq 27 \\ l-52 & 28 \leq l \leq 36 \\ l-51 & 37 \leq l \leq 45 \\ l-50 & 46 \leq l \leq 49 \\ l-49 & 50 \leq l \leq 53 \\ l-48 & 54 \leq l \leq 62 \\ l-47 & 63 \leq l \leq 71 \\ l-46 & 72 \leq l \leq 80 \\ l-45 & 81 \leq l \leq 89 \\ l-44 & 90 \leq l \leq 98 \\ l-43 & l=99 \end{cases} \quad \text{公式6}$$

$$M_G[l] = \begin{cases} -61+l & l \in \left[0, \frac{N_G}{2}-1\right] \\ 52+l & l \in \left[\frac{N_G}{2}, N_G-1\right] \end{cases} \quad \text{公式7}$$

$$M_P[l] = -55 + 10l \quad l \in [0, N_P - 1] \quad \text{公式8}$$

最后, PLCP报头的离散符号  $s_{hdr,n}[k]$  和PSDU的离散信号  $s_{frame,n}[k]$  通过公式9和公式10生成。

$$s_{hdr,n}[k] = \begin{cases} s_n[k] & k \in [0, N_{FFT} - 1] \\ 0 & k \in [N_{FFT}, N_{SYM} - 1] \end{cases} \quad \text{公式9}$$

其中:

$$n \in [N_{sync}, N_{sync} + N_{hdr} - 1]。 \quad \text{公式10}$$

$$s_{frame,n}[k] = \begin{cases} s_n[k] & k \in [0, N_{FFT} - 1] \\ 0 & k \in [N_{FFT}, N_{SYM} - 1] \end{cases}$$

其中:

$$n \in [N_{sync} + N_{hdr}, N_{packet} - 1]。$$

通过 IFFT 实现 OFDM 调制的输入和输出对应关系见图 22。其中逻辑子载波 1 到 61 映射到相同编号的 IFFT 输入端,而逻辑子载波-61 到-1 则映射到编号为 67~127 的 IFFT 输入端。IFFT 输入端编号 0,62~66 均设为 0。

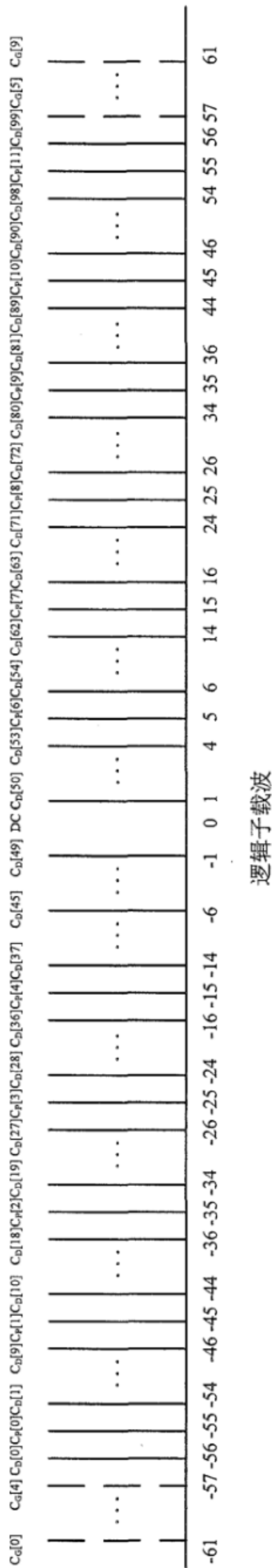


图 21 子载波向逻辑频率的映射关系

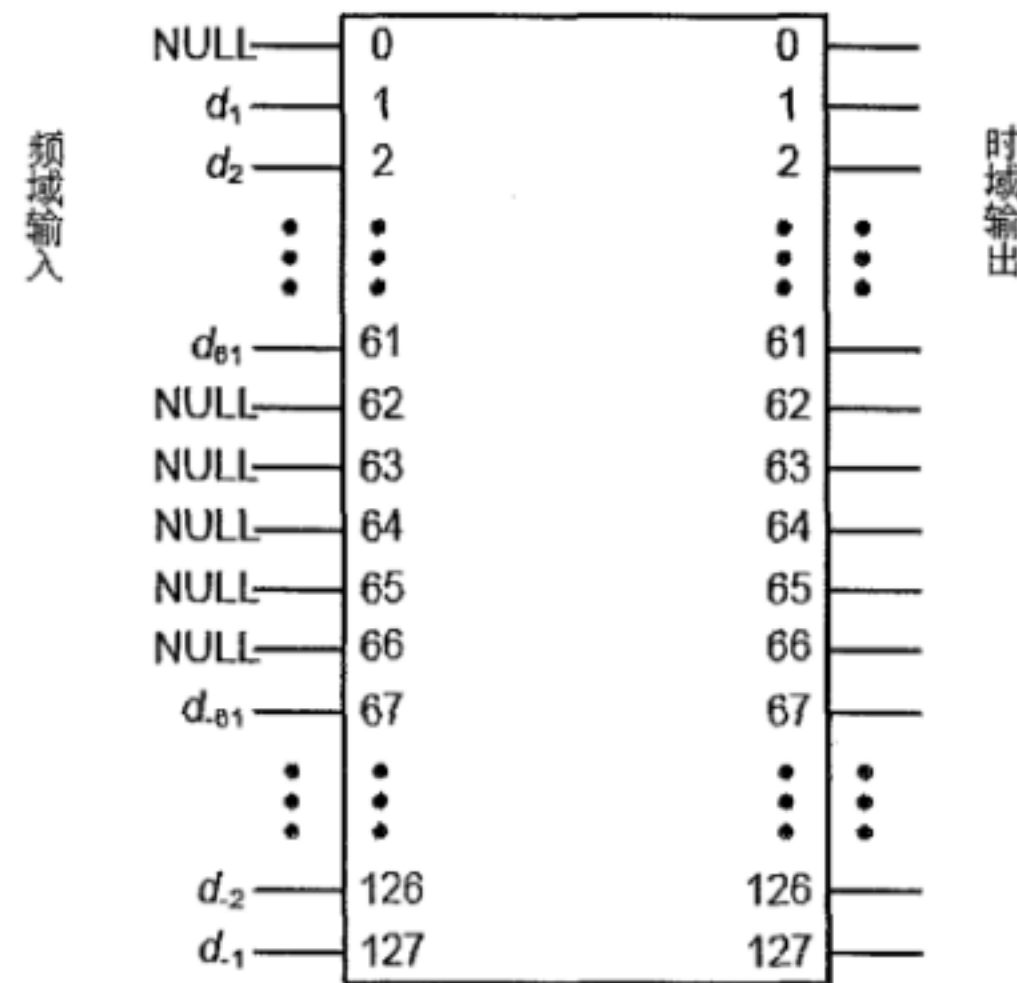


图 22 IFFT 输入和输出对应关系

### 6.11.2 数据子载波

#### 6.11.2.1 PLCP 报头映射

PLCP报头数据序列  $d_{hdr}[k]$  分为若干包含50个复数的数组，映射到第  $n$  个OFDM符号的第  $l$  个数据子载波上，如下所示。

$$C_{D,2n}[l] = d_{hdr} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync}) + l \right] \quad \text{公式11}$$

$$C_{D,2n}[l + \frac{N_D}{2}] = d_{hdr} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync}) + \left( \frac{N_D}{2} - 1 - l \right) \right] \quad \text{公式12}$$

$$C_{D,2n+1}[l] = p_{spread}[n] \times d_{hdr} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync}) + l \right] \quad \text{公式13}$$

$$C_{D,2n+1}[l + \frac{N_D}{2}] = p_{spread}[n] \times d_{hdr} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync}) + \left( \frac{N_D}{2} - 1 - l \right) \right] \quad \text{公式14}$$

其中，

$$p_{spread}[n] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{sync}}{2} + 6, N_{FFT} - 1 \right) \right], \quad \text{其为127位的伪随机序列，定义见表16； } l \in \left[ 0, \frac{N_D}{2} - 1 \right];$$

$$n \in \left[ \frac{N_{sync}}{2}, \frac{N_{sync} + N_{hdr}}{2} - 1 \right];$$

$N_D$  为所有数据子载波的个数；

$N_{sync}$  为PLCP前导中的符号数。

表 16 127 位伪随机序列

$n$	$P[n]$	$n$	$P[n]$	$n$	$P[n]$	$n$	$P[n]$
0	1	32	1	64	-1	96	-1
1	1	33	1	65	-1	97	-1
2	1	34	-1	66	1	98	-1
3	1	35	1	67	-1	99	-1
4	-1	36	1	68	1	100	-1
5	-1	37	-1	69	-1	101	1

表 16 (续)

$n$	$P[n]$	$n$	$P[n]$	$n$	$P[n]$	$n$	$P[n]$
6	-1	38	-1	70	1	102	-1
7	1	39	1	71	1	103	1
8	-1	40	1	72	-1	104	1
9	-1	41	1	73	-1	105	-1
10	-1	42	-1	74	-1	106	1
11	-1	43	1	75	1	107	-1
12	1	44	-1	76	1	108	1
13	1	45	-1	77	-1	109	1
14	-1	46	-1	78	-1	110	1
15	1	47	1	79	-1	111	-1
16	-1	48	-1	80	-1	112	-1
17	-1	49	1	81	1	113	1
18	1	50	-1	82	-1	114	-1
19	1	51	-1	83	-1	115	-1
20	-1	52	1	84	1	116	-1
21	1	53	-1	85	-1	117	1
22	1	54	-1	86	1	118	1
23	-1	55	1	87	1	119	1
24	1	56	1	88	1	120	-1
25	1	57	1	89	1	121	-1
26	1	58	1	90	-1	122	-1
27	1	59	1	91	1	123	-1
28	1	60	-1	92	-1	124	-1
29	1	61	-1	93	1	125	-1
30	-1	62	1	94	-1	126	-1
31	1	63	1	95	1		

## 6.11.2.2 53.3Mbit/s 和 80Mbit/s 情况下的 PSDU 映射

数据流  $d_{frame}[k]$  分为若干包含 50 个复数的数组，映射到第  $n$  个 OFDM 符号的第  $l$  个数据子载波上，如下所示。

$$C_{D,2n}[l] = d_{frame} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync} - N_{hdr}) + l \right] \quad \text{公式15}$$

$$C_{D,2n}[l + \frac{N_D}{2}] = d_{frame} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync} - N_{hdr}) + \left( \frac{N_D}{2} - 1 - l \right) \right] \quad \text{公式16}$$

$$C_{D,2n+1}[l] = p_{spread}[n] \times d_{frame} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync} - N_{hdr}) + l \right] \quad \text{公式17}$$

$$C_{D,2n+1}[l + \frac{N_D}{2}] = p_{spread}[n] \times d_{frame} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync} - N_{hdr}) + \left( \frac{N_D}{2} - 1 - l \right) \right] \quad \text{公式18}$$

其中：

$$p_{spread}[n] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{sync}}{2} + 6, N_{FFT} - 1 \right) \right], \text{ 其为127位的伪随机序列, 定义见表16; } l \in \left[ 0, \frac{N_D}{2} - 1 \right];$$

$$n \in \left[ \frac{N_{sync} + N_{hdr}}{2}, \frac{N_{packet}}{2} - 1 \right];$$

$N_D$  为所有数据子载波的个数;

$N_{sync}$  为PLCP前导中的符号数;

$N_{hdr}$  为PLCP报头中的符号数;

$N_{packet}$  为数据包中总的符号数。

#### 6.11.2.3 106.7Mbit/s、160Mbit/s 和 200Mbit/s 情况下的 PSDU 映射

数据流  $d_{frame}[k]$  分为若干包含100个复数的数组, 映射到第  $n$  个OFDM符号的第  $l$  个数据子载波上, 如下所示。

$$C_{D,2n}[l] = d_{frame} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync} - N_{hdr}) + l \right] \quad \text{公式19}$$

$$C_{D,2n+1}[l] = p_{spread}[n] \times \left\{ \text{image} \left( d_{frame} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync} - N_{hdr}) + (N_D - 1 - l) \right] \right) \right. \\ \left. + j \text{real} \left( d_{frame} \left[ \frac{N_D}{4} \times (2n - N_{sync} - N_{hdr}) + (N_D - 1 - l) \right] \right) \right\} \quad \text{公式20}$$

其中,

$$p_{spread}[n] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{sync}}{2} + 6, N_{FFT} - 1 \right) \right], \text{ 其为127位的伪随机序列, 定义见表16; } l \in \left[ 0, \frac{N_D}{2} - 1 \right];$$

$$n \in \left[ \frac{N_{sync} + N_{hdr}}{2}, \frac{N_{packet}}{2} - 1 \right];$$

$N_D$  为所有数据子载波的个数;

$N_{sync}$  为PLCP前导中的符号数;

$N_{hdr}$  为PLCP报头中的符号数;

$N_{packet}$  为数据包中总的符号数。

#### 6.11.2.4 320Mbit/s、400Mbit/s 和 480Mbit/s 情况下的 PSDU 映射

数据流  $d_{frame}[k]$  分为若干包含100个复数的数组, 映射到第  $n$  个OFDM符号的第  $l$  个数据子载波上, 如下所示。

$$C_{D,n}[l] = d_{frame} [N_D \times (n - N_{sync} - N_{hdr}) + l]$$

其中:

$$l \in [0, N_D - 1];$$

$$n \in [N_{sync} + N_{hdr}, N_{packet} - 1];$$

$N_D$  为所有数据子载波的个数;

$N_{sync}$  为PLCP前导中的符号数;

$N_{hdr}$  为PLCP报头中的符号数;

$N_{packet}$  为数据包中总的符号数。

### 6.11.3 保护子载波

在每个OFDM符号两边分别有5个保护子载波，逻辑编号为-61, -60, ..., -57和57, 58, ..., 61。保护子载波的定义如下：

$$C_{G,n}[l] = \begin{cases} C_{D,n}[l] & l \in \left[0, \frac{N_G}{2} - 1\right] \\ C_{D,n}[l+90] & l \in \left[\frac{N_G}{2}, N_G - 1\right] \end{cases}$$

其中：

$C_{G,n}[l]$ 为第 $n$ 个OFDM符号的第 $l$ 个保护子载波；

$n \in [N_{\text{sync}}, N_{\text{packet}} - 1]$ ；

$N_{\text{sync}}$ 为PLCP前导中的符号数；

$N_{\text{packet}}$ 为数据包中总的符号数。

### 6.11.4 导频子载波

#### 6.11.4.1 概述

在PLCP前导后，应有12个子载波作为导频信号，其逻辑频率子载波编号为-55, -45, -35, -25, -15, -5, 5, 15, 25, 35, 45和55。实际导频序列和导频子载波之间的映射取决于PPDU的数据部分以及数据速率。

#### 6.11.4.2 PLCP 报头映射

PLCP的第 $n$ 个OFDM符号的第 $l$ 个导频子载波定义如下：

$$C_{P,2n}[l] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{\text{sync}}}{2}, N_{\text{FFT}} - 1 \right) \right] \times d_{\text{pilot,cs}}[l] \quad \text{公式21}$$

$$C_{P,2n+1}[l] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{\text{sync}}}{2}, N_{\text{FFT}} - 1 \right) \right] \times p_{\text{spread}}[n] \times d_{\text{pilot,cs}}[l] \quad \text{公式22}$$

其中：

$$d_{\text{pilot,cs}}[l] = \begin{cases} \frac{1-j}{\sqrt{2}}, l = 0, 3 \\ \frac{-1+j}{\sqrt{2}}, l = 1, 2, 4, 5 \\ \frac{1+j}{\sqrt{2}}, l = 8, 11 \\ \frac{-1-j}{\sqrt{2}}, l = 6, 7, 9, 10 \end{cases} \quad \text{公式23}$$

$p[n]$ 的定义见表16；

$$p_{\text{spread}}[n] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{\text{sync}}}{2} + 6, N_{\text{FFT}} - 1 \right) \right] ;$$

$$n \in \left[ \frac{N_{\text{sync}}}{2}, \frac{N_{\text{sync}} + N_{\text{hdr}}}{2} - 1 \right];$$

$N_{\text{sync}}$ 为PLCP前导中的符号数；

$N_{\text{hdr}}$ 为PLCP报头中的符号数。



## 6.11.4.3 53.3Mbit/s 和 80Mbit/s 情况下的导频子载波映射

第 $n$ 个OFDM符号的第 $l$ 个导频子载波定义如下:

$$C_{P,2n}[l] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{\text{sync}}}{2}, N_{\text{FFT}} - 1 \right) \right] \times d_{\text{pilot,cs}}[l] \quad \text{公式 24}$$

$$C_{P,2n+1}[l] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{\text{sync}}}{2}, N_{\text{FFT}} - 1 \right) \right] \times p_{\text{spread}}[n] \times d_{\text{pilot,cs}}[l]$$

公式25

其中:

$$d_{\text{pilot,cs}}[l] = \begin{cases} \frac{1-j}{\sqrt{2}}, l = 0,3 \\ \frac{-1+j}{\sqrt{2}}, l = 1,2,4,5 \\ \frac{1+j}{\sqrt{2}}, l = 8,11 \\ \frac{-1-j}{\sqrt{2}}, l = 6,7,9,10 \end{cases}$$

公式26

$p[n]$  的定义见表16;

$$p_{\text{spread}}[n] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{\text{sync}}}{2} + 6, N_{\text{FFT}} - 1 \right) \right];$$

$$n \in \left[ \frac{N_{\text{sync}} + N_{\text{hdr}}}{2}, \frac{N_{\text{packet}}}{2} - 1 \right];$$

$N_{\text{sync}}$  为PLCP前导中的符号数;

$N_{\text{hdr}}$  为PLCP报头中的符号数;

$N_{\text{packet}}$  为数据包中总的符号数。

## 6.11.4.4 106.7Mbit/s、160Mbit/s 和 200Mbit/s 情况下的导频子载波映射

第 $n$ 个OFDM符号的第 $l$ 个导频子载波定义如下:

$$C_{P,2n}[l] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{\text{sync}}}{2}, N_{\text{FFT}} - 1 \right) \right] \times d_{\text{pilot,ncs}}[l] \quad \text{公式27}$$

$$C_{P,2n+1}[l] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{\text{sync}}}{2}, N_{\text{FFT}} - 1 \right) \right] \times p_{\text{spread}}[n] \times d_{\text{pilot,ncs}}[l] \quad \text{公式28}$$

其中:

$$d_{\text{pilot,ncs}}[l] = \begin{cases} \frac{1+j}{\sqrt{2}}, l = 0,3,8,11 \\ \frac{-1-j}{\sqrt{2}}, l = 1,2,4,5,6,7,9,10 \end{cases}$$

公式29

$p[n]$  的定义见表16;



$$p_{spread}[n] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{sync}}{2} + 6, N_{FFT} - 1 \right) \right];$$

$$n \in \left[ \frac{N_{sync} + N_{hdr}}{2}, \frac{N_{packet}}{2} - 1 \right];$$

$N_{sync}$  为PLCP前导中的符号数;

$N_{hdr}$  为PLCP报头中的符号数;

$N_{packet}$  为数据包中总的符号数。

#### 6.11.4.5 320Mbit/s、400Mbit/s 和 480Mbit/s 情况下的导频子载波映射

第 $n$ 个OFDM符号的第 $l$ 个导频子载波定义如下:

$$C_{P,2n}[l] = p \left[ \text{mod} \left( n - N_{sync} - \frac{N_{sync}}{2}, N_{FFT} - 1 \right) \right] \times d_{pilot,ncs}[l] \quad \text{公式30}$$

$$C_{P,2n+1}[l] = p \left[ \text{mod} \left( n - \frac{N_{sync}}{2}, N_{FFT} - 1 \right) \right] \times p_{spread}[n] \times d_{pilot,ncs}[l] \quad \text{公式31}$$

其中:

$$d_{pilot,ncs}[l] = \begin{cases} \frac{1+j}{\sqrt{2}}, l=0,3,8,11 \\ -\frac{1-j}{\sqrt{2}}, l=1,2,4,5,6,7,9,10 \end{cases} \quad \text{公式32}$$

$p[n]$  的定义见表16;

$$n \in [N_{sync} + N_{hdr}, N_{packet} - 1];$$

$N_{sync}$  为PLCP前导中的符号数;

$N_{hdr}$  为PLCP报头中的符号数;

$N_{packet}$  为数据包中总的符号数。

## 7 基本指标要求

### 7.1 工作频率

中心频率  $f_c$  和BAND\_ID编码  $n_b$  的关系见下式:

$$f_c(n_b) = 2904 + 528 \times n_b \text{ (MHz)} \quad n_b = 1, \dots, 14 \quad \text{公式33}$$

图23和表17给出了频段组分配情况,共定义了6个频段组;频段组1到组4均包含3个频段,涵盖频段1到频段12;频段组5包含2个频段,涵盖频段13和14;频段组6涵盖频段9、10和11。

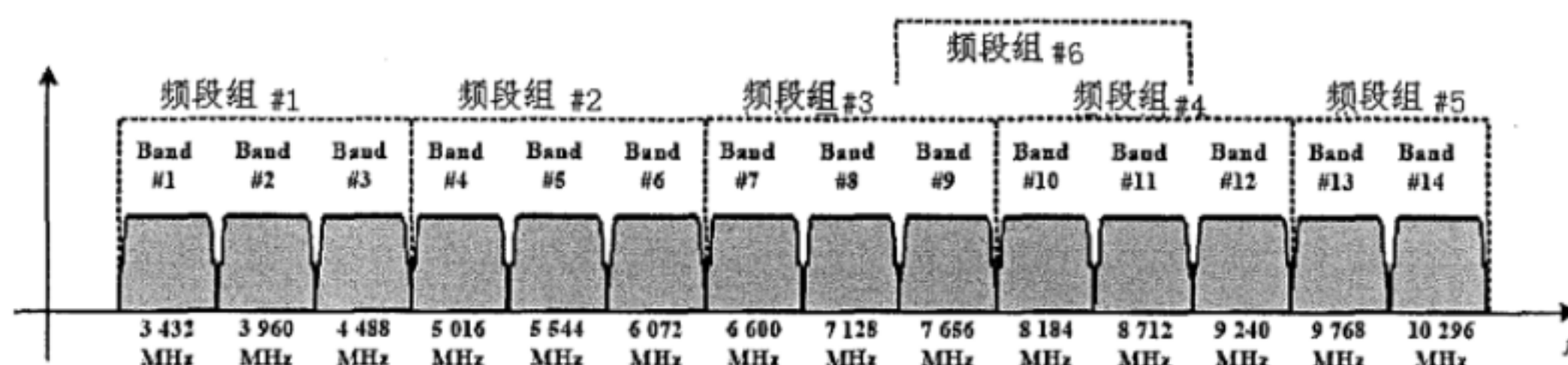


图 23 频段组分配示意

表 17 频段组分配

频段组	BAND_ID( $n_b$ )	低频点(MHz)	中心频点(MHz)	高频点(MHz)
1	1	3168	3432	3696
	2	3696	3960	4224
	3	4224	4488	4752
2	4	4752	5016	5280
	5	5280	5544	5808
	6	5808	6072	6336
3	7	6336	6600	6864
	8	6864	7128	7392
	9	7392	7656	7920
4	10	7920	8184	8448
	11	8448	8712	8976
	12	8976	9240	9504
5	13	9504	9768	10032
	14	10032	10296	10560
6	9	7392	7656	7920
	10	7920	8184	8448
	11	8448	8712	8976

## 7.2 信道化

每个频段组使用10个不同的时频码来定义逻辑信道。频段组1~6的时频码TFC以及相应的基础序列及前导见表18~表23。

表 18 频段组 1 的时频码和前导

TFC 编号	基础序列/前导	TFC 的 BAND_ID ( $n_b$ )					
1	1	1	2	3	1	2	3
2	2	1	3	2	1	3	2
3	3	1	1	2	2	3	3
4	4	1	1	3	3	2	2
5	5	1	1	1	1	1	1
6	6	2	2	2	2	2	2
7	7	3	3	3	3	3	3
8	8	1	2	1	2	1	2
9	9	1	3	1	3	1	3
10	10	2	3	2	3	2	3

表 19 频段组 2 的时频码和前导

TFC 编号	基础序列/前导	TFC 的 BAND_ID ( $n_b$ )					
1	1	4	5	6	4	5	6
2	2	4	6	5	4	6	5
3	3	4	4	5	5	6	6
4	4	4	4	6	6	5	5
5	5	4	4	4	4	4	4
6	6	5	5	5	5	5	5

表 19 (续)

TFC 编号	基础序列/前导	TFC 的 BAND_ID ( $n_b$ )					
7	7	6	6	6	6	6	6
8	8	4	5	4	5	4	5
9	9	4	6	4	6	4	6
10	10	5	6	5	6	5	6

表 20 频段组 3 的时频码和前导

TFC 编号	基础序列/前导	TFC 的 BAND_ID ( $n_b$ )					
1	1	7	8	9	7	8	9
2	2	7	9	8	7	9	8
3	3	7	7	8	8	9	9
4	4	7	7	9	9	8	8
5	5	7	7	7	7	7	7
6	6	8	8	8	8	8	8
7	7	9	9	9	9	9	9
8	8	7	8	7	8	7	8
9	9	7	9	7	9	7	9
10	10	8	9	8	9	8	9

表 21 频段组 4 的时频码和前导

TFC 编号	基础序列/前导	TFC 的 BAND_ID ( $n_b$ )					
1	1	10	11	12	10	11	12
2	2	10	12	11	10	12	11
3	3	10	10	11	11	12	12
4	4	10	10	12	12	11	11
5	5	10	10	10	10	10	10
6	6	11	11	11	11	11	11
7	7	12	12	12	12	12	12
8	8	10	11	10	11	10	11
9	9	10	12	10	12	10	12
10	10	11	12	11	12	11	12

表 22 频段组 5 的时频码和前导

TFC 编号	基础序列/前导	TFC 的 BAND_ID ( $n_b$ )					
5	5	13	13	13	13	13	13
6	6	14	14	14	14	14	14
8	8	13	14	13	14	13	14

表 23 频段组 6 的时频码和前导

MAC TFC 编号	MAC 频段组	PHY TFC 编号	PHY 频段组	基础序列 /前导	TFC 的 BAND_ID ( $n_b$ )					
1	6	1	6	3	9	10	11	9	10	11
2	6	2	6	4	9	11	10	9	11	10
3	6	3	6	1	9	9	10	10	11	11
4	6	4	6	2	9	9	11	11	10	10

表 23 (续)

MAC TFC 编号	MAC 频段组	PHY TFC 编号	PHY 频段组	基础序列 /前导	TFC 的 BAND_ID ( $n_b$ )					
5	6	7	3	7	9	9	9	9	9	9
6	6	5	4	5	10	10	10	10	10	10
7	6	6	4	6	11	11	11	11	11	11
8	6	9	6	9	9	10	9	10	9	10
9	6	10	6	10	9	11	9	11	9	11
10	6	8	4	8	10	11	10	11	10	11

频段组的定义见17，这是物理层信道化的基础；时频码的定义见表18~表23；而信道和频段组及时频码之间的映射关系见表24。信道编号从0~255，表24中未包含的信道编号预留。时频码为1~4表示时频交织（TFI）信道，时频码为5~7表示固定频率交织（FFI）信道，时频码为8~10表示双频段时频交织（TFI2）信道。

表 24 信道和频段组及时频码的映射关系。

信道编号（十进制）	信道编号（八进制）	（频段组，TF 码）
9~15	011~017	(1,1~7)
17~23	021~027	(2,1~7)
25~31	031~037	(3,1~7)
33~39	041~047	(4,1~7)
45~46	055~056	(5,5~6)
49~55	061~067	(6,1~7)
72~74	110~112	(1,8~10)
80~82	120~122	(2,8~10)
88~90	130~132	(3,8~10)
96~98	140~142	(4,8~10)
104	150	(5,8)
112~114	160~162	(6,8~10)

7.3 物理层定时

7.3.1 概述

物理层定时参数见表25。

表 25 物理层定时参数

物理层参数	值
pMIFS	$6 \times T_{SYM} = 1.875ms$
pSIFS	$32 \times T_{SYM} = 10ms$
pCCADetectTime	$18 \times T_{SYM} = 5.625ms$
pBandSwitchTime	9.47ns

7.3.2 帧间距

帧间距参数见表26。

表 26 帧间距参数

物理层参数	值
MIFS	pMIFS
SIFS	pSIFS

7.3.3 接收/发送转换时间



接收转换为发送的时间间隔不应大于pSIFS。

### 7.3.4 发送/接收转换时间

发送转换为接收的时间间隔不应大于pSIFS。

### 7.3.5 连续发送时间间隔

对于标准模式下的连续发送的设备来说,如果PLCP长度域为0,则帧间距应为pSIFS;如果PLCP长度域非0,则帧间距应不小于pMIFS。

对于突发模式下的连续发送的设备来说,帧间距应为pMIFS  $\pm$  1ns。

### 7.3.6 频率切换时间

频率切换时间不应大于pBandSwitchTime。

## 8 发射机指标要求

### 8.1 等效全向辐射功率谱密度

发射信号的等效全向辐射功率谱密度限值见表27。

表 27 等效全向辐射功率谱密度

频率范围 (GHz)	限值 (dBm/MHz)	检波方式
1.6GHz 以下	-90	RMS
1.6~3.6GHz	-85	
3.6~6.0GHz <sup>a</sup>	-70	
6.0~9.0GHz	-41	
9.0~10.6GHz	-70	
10.6GHz 以上	-85	
该频段的 UWB 设备应采用信号检测避让等干扰缓解技术, 否则其等效全向辐射功率谱限值要求为-70dBm/MHz。该技术的有效性应得到国家无线电管理机构的认定		

### 8.2 杂散辐射

超宽带无线电发射设备窄带杂散辐射限值见表28。

表 28 杂散辐射限值

发射机状态	48.5~72.5MHz 76~108MHz 167~223MHz 470~798MHz (测试带宽 100kHz)	30MHz~1GHz 内的其他频段 (测试带宽 100kHz)	1~40GHz (测试带宽 1MHz)
工作	-54dBm	-36dBm	-30dBm
待机	-57dBm	-57dBm	-47dBm

### 8.3 发射机频谱模板

发射机频谱模板见表29。

表 29 发射机频谱模板

频率范围 (MHz)	相对发射功率 (dBr)
$ f - f_c  \leq 260$	0
$ f - f_c  = 285$	-12
$ f - f_c  \geq 330$	-20
注: 相对发射功率为相对于信号最大频谱密度而言	



发射信号的频谱密度应落在频谱模板之间，如图24所示。

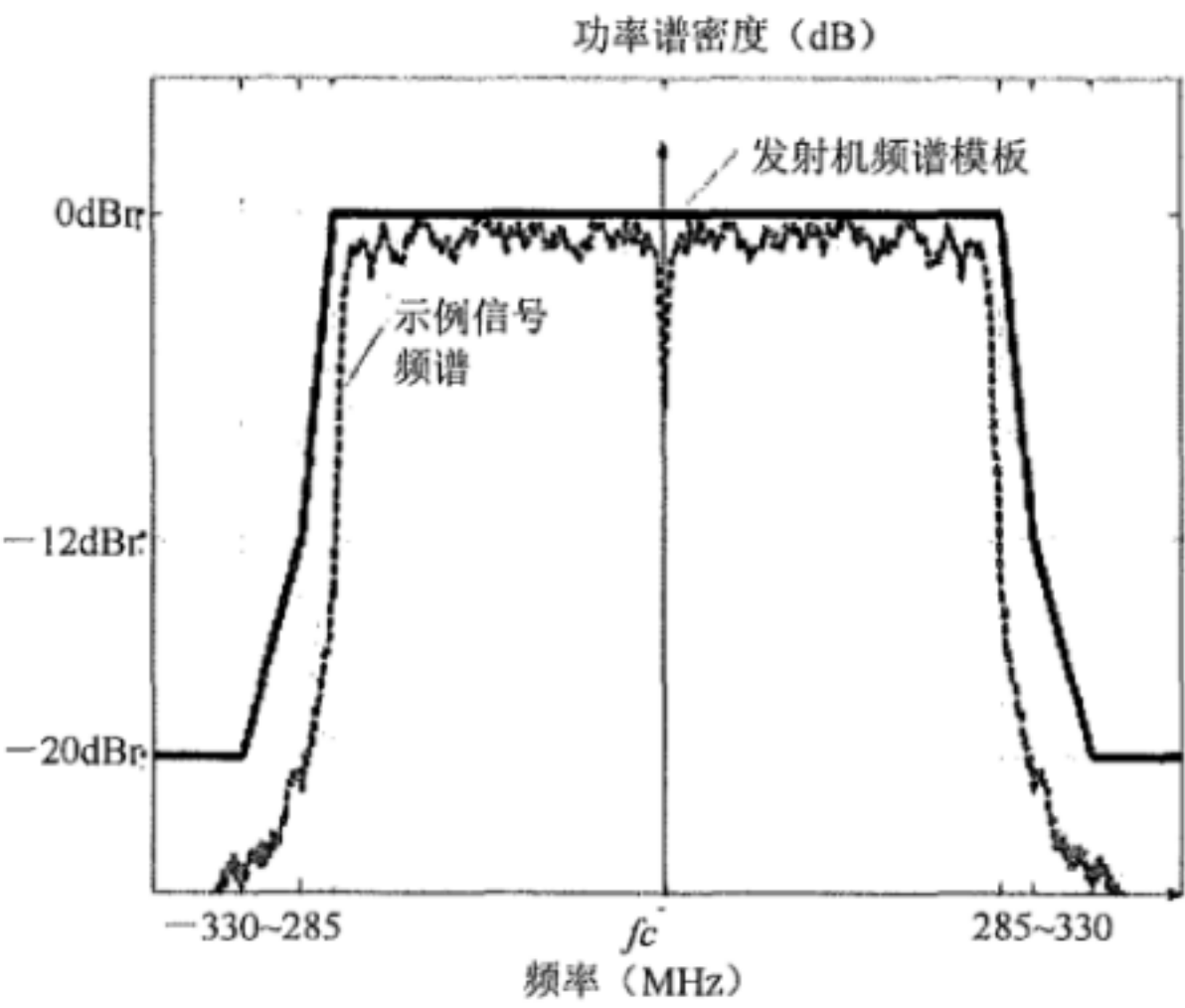


图 24 发射机频谱模板示意

8.4 发射机中心频率偏移

发射机中心频率偏移绝对值不大于 $20 \times 10^{-6}$ 。

8.5 符号时钟频率偏移

符号时钟频率偏移绝对值不大于 $20 \times 10^{-6}$ 。

8.6 时钟同步

发射机中心频率和符号时钟频率应从同一个振荡器获得。

8.7 相位一致

在TFI和TFI2模式下，相位一致意为LO的相位和它返回后的相位一致。假设 $\omega_k$ 为频率， $\theta_k$ 为相位， $k = \{1, 2, 3\}$ 。LO可表示为 $\sin(\omega_k t + \theta_k)$ 。假设跳频方式为1, 2, 3, 1, 2, 3, ...当 $t=NT$ 时发生跳频，其中 $T$ 为符号长度。则在跳频时，LO为 $\sin(\omega_1 T + \theta_1)$ ,  $\sin(\omega_2 2T + \theta_2)$ ,  $\sin(\omega_3 3T + \theta_3)$ ,  $\sin(\omega_1 4T + \theta_1)$ ,  $\sin(\omega_2 5T + \theta_2)$ ,  $\sin(\omega_3 6T + \theta_3)$ ...。若LO在 $N=1, 4, \dots$ 时，返回到相位 $\theta_1$ ； $N=2, 5, \dots$ 时，返回到相位 $\theta_2$ ； $N=3, 6, \dots$ 时，返回到相位 $\theta_3$ ；则称之为相位一致。

8.8 发射功率控制

设备应支持发射机功率控制（TPC）。如果设备采用时频交织，则发射功率衰减的单向动态范围为0~12dB，调整步长为2dB；如果设备在两个频带上采用时频交织，则发射功率衰减的单向动态范围为0~10dB，调整步长为2dB；如果设备采用固定频率交织，则发射功率衰减的单向动态范围为0~8dB，调整步长为2dB。表27为发射功率等级和发射功率衰减的对应表。

表 30 发射功率等级和发射功率衰减之间的对应关系

发射功率等级	发射功率衰减（TFI 模式） (dB)	发射功率衰减（TFI2 模式） (dB)	发射功率衰减（FFI 模式） (dB)
0	0	0	0
1	2	2	2
2	4	4	4
3	6	6	6
4	8	8	8
5	10	10	预留

表 30 (续)

发射功率等级	发射功率衰减 (TFI 模式) (dB)	发射功率衰减 (TFI2 模式) (dB)	发射功率衰减 (FFI 模式) (dB)
6	12	预留	预留
7	预留	预留	预留

发射功率调整的精度为 $\pm 1$ 和 $\pm 20\%$ 中较大的那个值。例如, 衰减为4dB和8dB, 则精度分别为 $\pm 1.0\text{dB}$ 和 $\pm 1.6\text{dB}$ 。

### 8.9 发射机星座误差

发射机相对星座误差的计算是在所有帧上的数据子载波和导频子载波的OFDM符号中进行平均, 其指标要求见表28。

表 31 相对星座误差指标要求

数据速率 (Mbit/s)	相对星座误差 (dB)		
	无发射衰减	发射衰减为 2、4、6dB (所有 TFC)	发射衰减为 8、10、12dB (所有 TFC)
53.3, 80, 106.7, 160, 200	-17.0	-15.5	-14.5
320, 400, 480	-19.5	-18.0	-17.0

## 9 接收机指标要求

### 9.1 接收机灵敏度

对于频段组1来说, PSDU为1024字节时, 满足 $\text{PER} < 8\%$ 的情况下, 接收机灵敏度见表29。

表 32 频段组 1 的接收机灵敏度

数据速率 (Mbit/s)	最小接收机灵敏度 (dBm)
53.3	-80.8
80	-78.9
106.7	-77.8
160	-75.9
200	-74.5
320	-72.8
400	-71.5
480	-70.4

### 9.2 接收机 CCA 性能

当接收信号大于或等于53.3Mbit/s速率下的接收机灵敏度 ( $-80.8\text{dBm}$ ) 时, CCA在pCCADetectTime时间内标识信道为忙的概率 $>90\%$ 。

### 9.3 链路质量标示符

设备应能检测到接收信道的链路质量, 对FFT后的SNR进行检测。若设备最大支持200Mbit/s数据速率, 则应能检测到 $-2\text{dB} \sim +7\text{dB}$ 的SNR范围; 若设备能支持高于200Mbit/s数据速率, 则应能检测到 $-2\text{dB}$ 到 $+12\text{dB}$ 的SNR范围。

### 9.4 接收信号强度标示符

设备应能检测到接收信号的强度, 用RSSI来标识, 最大的RSSI值为255, 最小为0。

中 华 人 民 共 和 国  
通 信 行 业 标 准  
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  
YD/T 2873.1-2015

\*

人民邮电出版社出版发行  
北京市丰台区成寿寺路 11 号邮电出版大厦  
邮政编码：100164  
北京康利胶印厂印刷  
版权所有 不得翻印

\*

开本：880×1230 1/16 2016 年 3 月第 1 版  
印张：2.75 2016 年 3 月北京第 1 次印刷  
字数：68 千字

15115·784

定价：30 元

本书如有印装质量问题，请与本社联系 电话：(010)81055492