

ICS 29.240

Q/GDW

国家电网公司企业标准

Q/GDW 11612.41—2016

低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范 第4—1部分：物理层通信协议

Low voltage power line broadband communication interoperability technical specification
part41: physical layer protocol

2017 - 06 - 16 发布

2017 - 06 - 16 实施

国家电网公司 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 | 2 |
| 5 物理层 | 3 |
| 编制说明..... | 37 |

前 言

为规范电力用户用电信息采集系统宽带载波通信的协议要求，包括频段的选择、前向纠错码、星座点映射、符号生成等内容，制定本部分。

《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范》标准分为6个部分：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：技术要求；
- 第3部分：检验方法；
- 第4-1部分：物理层通信协议；
- 第4-2部分：数据链路层通信协议；
- 第4-3部分：应用层通信协议。

本部分是《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范》标准的第4-1部分。

本部分由国家电网公司营销部提出并解释。

本部分由国家电网公司科技部归口。

本部分起草单位：中国电力科学研究院、国网重庆市电力公司、国网冀北电力有限公司、国网浙江省电力公司、国网江苏省电力公司、国网天津市电力公司、国网北京市电力公司、全球能源互联网研究院、国网信息通信产业集团有限公司。

本部分主要起草人：刘宣、张海龙、唐悦、周晖、彭楚宁、孙洪亮、刘岩、许文波、陈霄、吕伟嘉、李建岐、高鸿坚、唐晓柯、刘庆扬。

本部分首次发布。

本部分在执行过程中的意见或建议反馈至国家电网公司科技部。

低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范

第 4-1 部分：物理层通信协议

1 范围

本部分规定了电力用户用电信息采集系统基于宽带载波通信网络的物理层技术。

本部分适用于用电信息采集系统的集中器通信单元与电能表通信单元、采集器通信单元之间的数据交换。

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。

DL/T 645 多功能电能表通信协议及其备案文件

Q/GDW 1374.2 电力用户用电信息采集系统技术规范：集中抄表终端技术规范

Q/GDW 1376.2 电力用户用电信息采集系统通信协议：集中器本地通信模块接口协议

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

关联 association

用来在通信网络中创建成员隶属关系的一种服务。

3.2

协议数据单元 protocol data unit

两个对等实体之间交换的数据单元。

3.3

宽带载波通信网络 broadband carrier communication network

以低压电力线为通信媒介，实现低压电力用户用电信息汇聚、传输、交互的通信网络，其主要采用正交频分复用技术，频段使用2MHz~12MHz。

3.4

中央协调器 central coordinator

通信网络中的主节点角色，负责完成组网控制、网络维护管理等功能，其对应的设备实体为集中器本地通信单元。

3.5

站点 station

通信网络中的从节点角色，其对应的设备实体为通信单元，包括电能表载波模块、I型采集器载波模块或II型采集器。

3.6

代理协调器 proxy coordinator

为中央协调器与站点或者站点与站点之间进行数据中继转发的站点，简称代理。

3.7

路由 routing

通信网络中建立和维护从中央协调器到各个站点的传输路径以及从各个站点至中央协调器的传输路径的过程。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AGC: 自动增益控制 (Automatic Gain Control)

BCD: 二进制码十进制数 (Binary Coded Decimal)

CCO: 中央协调器 (Central COordinator)

CRC: 循环冗余校验 (Cyclic Redundancy Check)

FC: 帧控制 (Frame Control)

FCCS: 帧控制校验序列 (Frame Control Check Sequence)

FEC: 前向纠错编码 (Forward Error Coding)

FFT: 快速傅里叶变换 (Fast Fourier Transformation)

FL: 帧长 (Frame Length)

ICV: 完整性校验值 (Integrity Check Value)

ITU: 国际电信联盟 (International Telecommunication Union)

LSB: 最低位 (Least Significant Bit)

PB: 物理块 (PHY Block)

PBB: 物理块体 (PHY Block Body)

PBH: 物理块头 (PHY Block Header)

PBCS: 物理块校验序列 (PHY Block Check Sequence)

PCO: 代理协调器 (Proxy COordinator)

PHY: 物理层 (Physical Layer)

PLC: 电力线通信 (Power Line Communication)

PPDU: 物理层协议数据单元 (Physical Layer Protocol Data Unit)

RI: 滚降间隔 (Rolloff Interval)

RIFS: 回应帧间隔 (Response Inter Frame Space)

RSVD: 保留 (Reserved)

SNID: 短网络标识符 (Short Network Identifier)

SNR: 信噪比 (Signal-to-Noise Ratio)

- SOF: 帧起始 (Start of Frame)
- STA: 站点 (Station)
- TDMA: 时分多址 (Time Division Multiple Access)
- TEI: 终端设备标识 (Terminal Equipment Identifier)

5 物理层

5.1 物理层一般要求和定义

5.1.1 概述

发送端：从数据链路层接收数据，经过系列的信号处理和变换，采用OFDM调制方式对编码后的数据进行处理并将形成的OFDM信号发送到电力线；

接收端：从电力线检测到信号后，做相应的解码解调处理，最终将电力线上的载波信号还原为解码后数据信息，并送到数据链路层进行后续协议解析。

5.1.2 物理层整体架构

物理层整体架构如图1 所示。

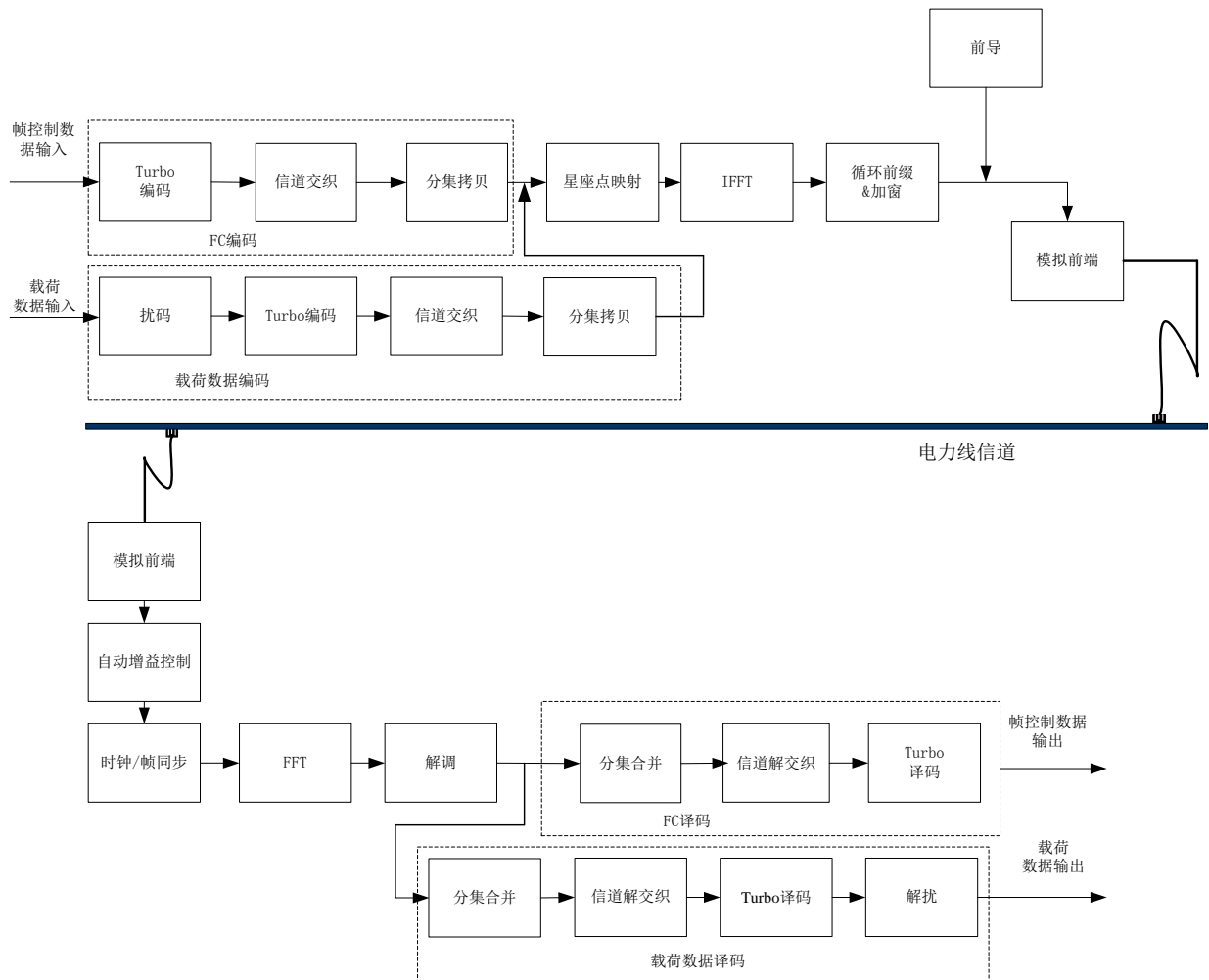


图1 物理层整体架构框图

在发射端，物理层接收来自数据链路层的输入，采用两个分开的链路分别处理帧控制数据和载荷数据。帧控制数据通过Turbo编码后，进行信道交织和帧控制分集拷贝；载荷数据经过加扰、Turbo编码以及信道交织和载荷分集拷贝后，和帧控制数据一起进行星座点映射，映射后的数据经过IFFT处理后添加循环前缀形成OFDM符号，加入前导符号进行加窗处理后，形成PPDU信号送入模拟前端最终发送到电力线信道中。

在接收端，从模拟前端接收到数据协同采用AGC和时间同步分别对帧控制和载荷数据进行调整，并对帧控制和载荷数据进行FFT变换后，进入解调、译码模块，最终恢复出帧控制信息的原始数据与载荷的原始数据。

5.1.3 物理层数据结构

5.1.3.1 物理层帧结构

物理数据单元帧结构如图2 所示。

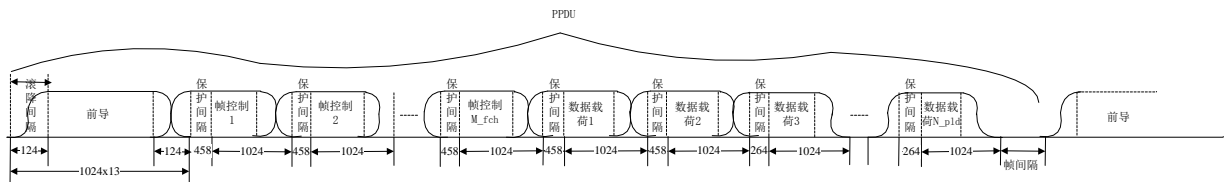


图2 帧结构图

物理层发送的PPDU信号帧结构如上图所示。PPDU由前导、帧控制和载荷数据组成。前导为一个周期性序列，每个符号的帧控制和载荷数据的载波个数为512个。其中，符号的保护间隔的类型包括帧控制的保护间隔、载荷数据第1个和第2个符号的保护间隔，载荷数据第3个符号及以后的保护间隔。

5.1.3.2 物理层符号

物理层OFDM符号，时域上是基于25MHz的时钟采样率。数据经过1024点IFFT后，加入循环前缀，形成OFDM符号，循环前缀由滚降间隔和保护间隔组成。OFDM符号时序如图3 所示，OFDM符号特性如表1 所示。

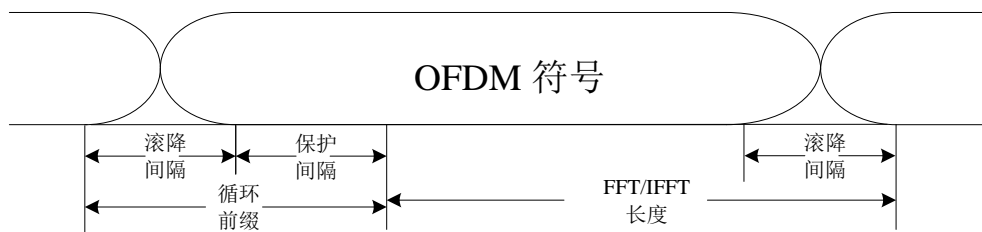


图3 OFDM 符号时序

表1 OFDM 符号特性

| 符号参数 | 时域点数 | 时间 (us) |
|------------------|------|---------|
| 前导 IFFT 长度 | 1024 | 40.96 |
| 帧控制/载荷数据 IFFT 长度 | 1024 | 40.96 |

表 1（续）

| 符号参数 | 时域点数 | 时间（us） |
|------------------------|------|--------|
| 滚降间隔 | 124 | 4.96 |
| 帧控制的保护间隔 | 458 | 18.32 |
| 载荷数据第 1 个和第 2 个符号的保护间隔 | 458 | 18.32 |
| 载荷数据第 3 个符号之后的保护间隔 | 264 | 10.56 |

5.1.4 帧控制前向纠错码

5.1.4.1 帧控制前向纠错码流程

帧控制前向纠错码由Turbo编码、信道交织和分集拷贝组成。

在物理层OFDM系统中，帧控制符号传输的信息位为128比特。在发射端，帧控制通过Turbo编码将128比特的信息位编码为256比特，再通过信道交织以及分集拷贝对256比特进行交织和拷贝。帧控制前向纠错码流程如图4所示。

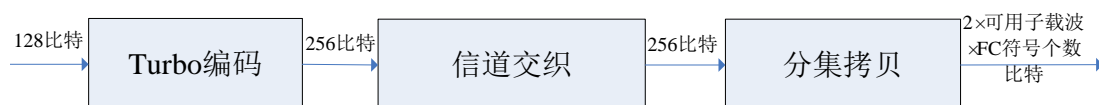


图4 帧控制前向纠错码流程图

5.1.4.2 帧控制 Turbo 编码

帧控制的Turbo编码块长度为PB16，码率为1/2，最终Turbo输出为256比特。其中前128比特是信息码，后面是校验码。

具体方法见5.1.5.1。

5.1.4.3 帧控制信道交织

帧控制的信道交织单元用于在多次拷贝和传送到信道之前，将Turbo编码器的输出位进行随机化。

具体方法见5.1.5.4。

5.1.4.4 帧控制分集拷贝

帧控制的分集拷贝是为了下一步星座点映射的调制方式，将输入的256比特数据拷贝到频域子载波上以便于后续星座映射。

对于频段0，帧控制的可用载波数为411，子载波编号从80到490，采用QPSK调制方式，有4个帧控制符号。第一个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流（256比特）按照顺序拷贝到对应的载波上；对于Q路来说，输入的比特流（256比特）加上一个128的偏置拷贝到对应的载波上，直至完成本次可用载波的拷贝，即在有效子载波上顺序填充的比特编号为 $(c+128) \bmod 256$ ，c的值顺序从0到255。第二个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流（256比特）加上一个192的偏置拷贝到对应的载波上；对于Q路来说，输入的比特流（256比特）加上一个64的偏置拷贝到对应的载波上。第三个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流（256比特）加上一个160的偏置拷贝到对应的载波上；对于Q路来说，

输入的比特流（256比特）加上一个32的偏置拷贝到对应的载波上。第四个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流（256比特）加上一个96的偏置拷贝到对应的载波上；对于Q路来说，输入的比特流（256比特）加上一个224的偏置拷贝到对应的载波上。详细定义如表2：

表2 帧控制分集拷贝

| 可用子载波编号 | OFDM 符号 1 I 路 信道交织输出比特 编号 | OFDM 符号 1 Q 路 信道交织输出比特编 号 | OFDM 符号 2 I 路 信道交织输出比特 编号 | OFDM 符号 2 Q 路 信道交织输出比特 编号 |
|-----------------------------------|--|--|--|--|
| 0 | 0 | 128 | 192 | 64 |
| 1 | 1 | 129 | 193 | 65 |
| 2 | 2 | 130 | 194 | 66 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| c | $c \bmod 256$ | $(c+128) \bmod 256$ | $(c+192) \bmod 256$ | $(c+64) \bmod 256$ |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| NumCarriers-1 | $(\text{NumCarriers}-1) \bmod 256$ | $((\text{NumCarriers}-1) + 128) \bmod 256$ | $((\text{NumCarriers}-1) + 192) \bmod 256$ | $((\text{NumCarriers}-1) + 64) \bmod 256$ |
| 注：其中，NumCarriers表示每个OFDM符号的可用子载波。 | | | | |
| 可用子载波编号 | OFDM 符号 3 I 路 信道交织输出比特 编号 | OFDM 符号 3 Q 路 信道交织输出比特编 号 | OFDM 符号 4 I 路 信道交织输出比特 编号 | OFDM 符号 4 Q 路 信道交织输出比特 编号 |
| 0 | 160 | 32 | 96 | 224 |
| 1 | 161 | 33 | 97 | 225 |
| 2 | 162 | 34 | 98 | 226 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| c | $(c+160) \bmod 256$ | $(c+32) \bmod 256$ | $(c+96) \bmod 256$ | $(c+224) \bmod 256$ |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| NumCarriers-1 | $(\text{NumCarriers}-1+160) \bmod 256$ | $((\text{NumCarriers}-1) + 32) \bmod 256$ | $((\text{NumCarriers}-1) + 96) \bmod 256$ | $((\text{NumCarriers}-1) + 224) \bmod 256$ |
| 注：其中，NumCarriers表示每个OFDM符号的可用子载波。 | | | | |

此外，扩展频段1，帧控制的可用载波数为131，子载波编号从100到230，采用QPSK调制方式，有12个帧控制符号。前四个帧控制的I路和Q路拷贝方式与频段0一致；第五个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流加上一个144的偏置拷贝到对应的载波上，对于Q路来说，输入的比特流加上一个16的偏置拷贝到对应的载波上；第六个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流加上一个80的偏置拷贝到对应的载波上，对于Q路来说，输入的比特流加上一个208的偏置拷贝到对应的载波上；第七个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流加上一个48的偏置拷贝到对应的载波上，对于Q路来说，输入的比特流加上一个176的偏置拷贝到对应的载波上；第八个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流加上一个240的偏置拷贝到对应的载波上，对于Q路来说，输入的比特流加上一个112的偏置拷

到对应的载波上。第九个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流加上一个24的偏置拷贝到对应的载波上，对于Q路来说，输入的比特流加上一个152的偏置拷贝到对应的载波上。第十个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流加上一个184的偏置拷贝到对应的载波上，对于Q路来说，输入的比特流加上一个56的偏置拷贝到对应的载波上。第十一个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流加上一个136的偏置拷贝到对应的载波上，对于Q路来说，输入的比特流加上一个8的偏置拷贝到对应的载波上。第十二个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流加上一个40的偏置拷贝到对应的载波上，对于Q路来说，输入的比特流加上一个168的偏置拷贝到对应的载波上。

5.1.5 载荷数据前向纠错码

5.1.5.1 载荷数据前向纠错码流程

载荷数据的前向纠错码由加扰、Turbo编码、信道交织和分集拷贝组成，其流程如图5所示。



图5 载荷数据前向纠错码流程图

5.1.5.2 载荷数据扰码

载荷数据流通过和一个由下面扰码多项式产生的重复伪随机噪声序列进行“异或”运算。

$$S(x) = x^{10} + x^3 + 1 \quad (1)$$

在开始处理每个PB时，扰码多项式的初始值全部设置为1，每输入一个数据，扰码多项式左移一位，并将它的第3位和第10位做异或运算，输出的结果与输入数据再做异或运算，即可得到输出数据。加扰实现流程如图6所示。

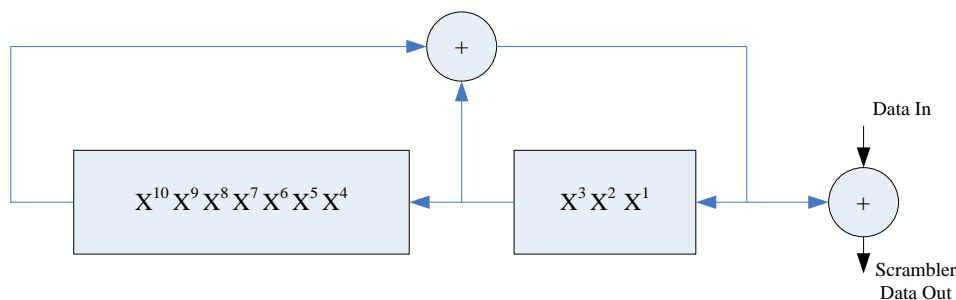


图6 加扰流程图

5.1.5.3 载荷数据 Turbo 编码

5.1.5.3.1 Turbo 编码模式

载荷数据支持PB72，PB136，PB264，PB520四种模式。其中PB72，PB136，PB264三种模式支持1/2码率，PB520模式支持1/2码率和16/18两种码率。

5.1.5.3.2 编码模块

Turbo编码由2个相同的分量编码器（ENC1，ENC2）组成，每输入一对信息比特（ u_1 ， u_2 ），输出系统比特（ u_1 ， u_2 ），和校验比特（ p ， q ）。Turbo编码器架构如图7 所示。

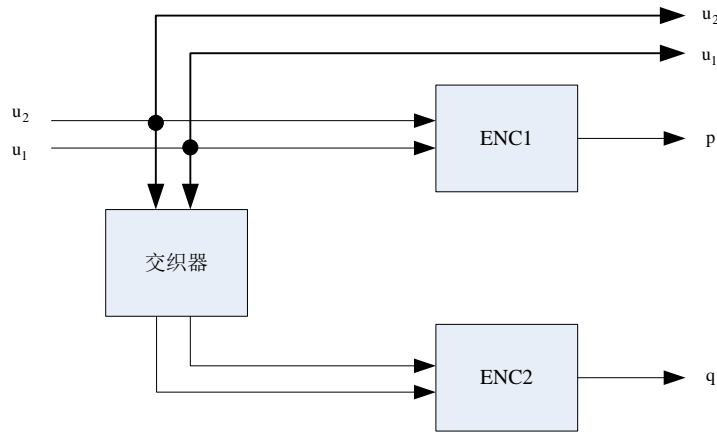


图7 Turbo 编码器架构

ENC1和ENC2使用8状态编码器，输入数据流的第一个比特位映射到 u_1 ，第二个比特位映射到 u_2 ，以此类推，在一个ENC中，每一对比特位对应输出一个校验位。校验（ p ， q ）的计算根据图8 确定。

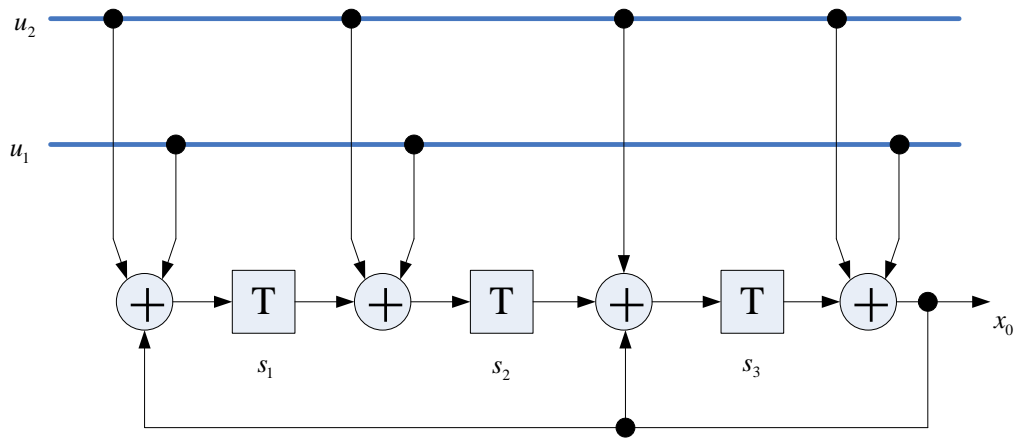


图8 ENC1/ENC2 编码架构

每个成员码编码器的具体算法如下：

步骤1为设置寄存器初始状态 $S_0 = [S_{01}, S_{02}, S_{03}]$ ，为 $[0, 0, 0]$ 。

步骤2为输入信息比特至分量编码器（ENC2输入的是交织后的信息比特），直至最后一位，用于得到编码结束的末状态 $S_N = [S_{N1}, S_{N2}, S_{N3}]$ 。

步骤3为定义矩阵M

$$\text{PB_Size为16（用于帧控制），72，520时： } M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{PB_Size为264时： } M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{PB_Size为136时： } M = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

令 $SO' = SN \times M$ （ SN 是行向量，实际中用一个查找表实现上式计算）。

步骤4为将输入信息比特重新进入分量编码器，它的初始状态由步骤3算出，再经过一次编码后，他的末状态 $SN' = SO'$ ，从而可以得出输出的Turbo编码校验位。

5.1.5.3.3 Turbo 交织模块

Turbo交织器用于将原始数据交织后作为第二个成员码的输入，Turbo交织按照双比特为单位进行，交织器长度等于原始数据块长度的双比特数量，Turbo交织的参数如表3 定义，不同的PB长度，采用不同的参数，有PB16（帧控制），PB72，PB136，PB264，PB520五种。

表3 Turbo 交织参数表

| 物理块（字节数） | S 表长度 | 双比特交织长度 除以 S 表长度 | 双比特的交织长度 |
|----------|-------|---------------------|----------|
| 16 | 8 | 8 | 64 |
| 72 | 18 | 16 | 288 |
| 136 | 34 | 16 | 544 |
| 264 | 33 | 32 | 1056 |
| 520 | 40 | 52 | 2080 |

首先规定Turbo交织的地址映射 $I(x)$ 定义如下：

$$I(x) = [S(x \bmod N) - (x \operatorname{div} N) * N + L] \bmod L \text{ for } x = 0, 1, \dots, L-1 \quad (2)$$

式 (2) 中：

$S(\square)$ — 查找表；

N — 查找表长度；

\bmod — 模运算；

div — 整除运算。

地址映射 $I(x)$ 用于Turbo交织的具体算法如下：

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{if } x \bmod 2 == 0 \\
 \quad \text{IntData}(2 \cdot x) = \text{Data}(2 \cdot I(x) + 1) \\
 \quad \text{IntData}(2 \cdot x + 1) = \text{Data}(2 \cdot I(x)) \\
 \text{if } x \bmod 2 == 1 \\
 \quad \text{IntData}(2 \cdot x) = \text{Data}(2 \cdot I(x)) \\
 \quad \text{IntData}(2 \cdot x + 1) = \text{Data}(2 \cdot I(x) + 1)
 \end{array} \right\} \text{for } x = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (3)$$

式 (3) 中:

Data() — 交织器输入;

IntData() — 交织器输出。

需要注意的是, 当交织器输出地址为偶数时, 对应的交织后的信息比特对的第0和第1比特要交换一下。

表4 PB16 的 S 查找表

| | | | | | | | | |
|------|----|----|---|----|----|----|----|----|
| x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| S(x) | 53 | 20 | 9 | 32 | 62 | 39 | 51 | 18 |

表5 PB72 的 S 查找表

| | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| S(x) | 1 | 200 | 255 | 166 | 221 | 132 | 187 | 98 |
| x | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| S(x) | 153 | 64 | 119 | 30 | 85 | 284 | 51 | 250 |
| x | 16 | 17 | | | | | | |
| S(x) | 17 | 216 | | | | | | |

表6 PB136 的 S 查找表

| | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| S(x) | 383 | 68 | 262 | 180 | 484 | 363 | 302 | 152 |
| x | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| S(x) | 405 | 529 | 97 | 11 | 333 | 509 | 40 | 198 |
| x | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| S(x) | 236 | 454 | 428 | 124 | 273 | 493 | 73 | 389 |
| x | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| S(x) | 162 | 293 | 2 | 211 | 467 | 252 | 411 | 183 |
| x | 32 | 33 | | | | | | |
| S(x) | 310 | 86 | | | | | | |

表7 PB264 的 S 查找表

| | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|
| x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| S(x) | 309 | 175 | 737 | 667 | 1024 | 224 | 622 | 962 |
| x | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| S(x) | 527 | 845 | 926 | 1052 | 366 | 54 | 249 | 784 |
| x | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| S(x) | 108 | 551 | 410 | 479 | 823 | 866 | 442 | 654 |
| x | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| S(x) | 321 | 33 | 85 | 610 | 730 | 765 | 1038 | 352 |
| x | 32 | | | | | | | |
| S(x) | 954 | | | | | | | |

表8 PB520 的 S 查找表

| | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| S(x) | 1183 | 32 | 425 | 1434 | 165 | 331 | 1574 | 1039 |
| x | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| S(x) | 1084 | 1332 | 1513 | 536 | 213 | 1908 | 761 | 1231 |
| x | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| S(x) | 1659 | 476 | 1842 | 809 | 2007 | 895 | 1717 | 1950 |
| x | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| S(x) | 101 | 937 | 618 | 1606 | 704 | 1786 | 570 | 843 |
| x | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| S(x) | 349 | 2038 | 1102 | 1260 | 235 | 40 | 648 | 1347 |

5.1.5.3.4 打孔模块

打孔模块就是根据所需码率，对Turbo编码比特进行打孔输出。

信息位不做打孔处理，打孔模块只是对ENC1和ENC2输出的p和q奇偶位做打孔处理，并按原始顺序写入到奇偶输出缓存。对于不同的码率，打孔模式如表9、表10所示。

表9 码率为 1/2 时的打孔模式

| | |
|---|------------------|
| p | 1111111111111111 |
| q | 1111111111111111 |

表10 码率为 16/18 时的打孔模式

| | |
|---|------------------|
| p | 1000000010000000 |
| q | 1000000010000000 |

打孔的具体算法流程：

- a) 根据码率，设置打孔模式。
- b) 根据打孔模式，对 Turbo 编码比特中的校验比特进行打孔处理，最后将打孔剩下的 Turbo 编码比特排列输出，先依次输出信息位，再输出校验位。

5.1.5.4 载荷数据信道交织

5.1.5.4.1 信道交织步骤

Turbo编码后数据保持编码前顺序，信息位在前，校验位在后（校验位p、q交错，p在前，q在后）。信道交织包含下述4个步骤，其中K代表信息比特的数量，N-K代表校验比特的数量，K个信息比特会分成4个子块，每个子块的大小为K/4比特，N-K个校验比特分成4个子块，每个子块的大小为(N-K)/4比特。

5.1.5.4.2 信息码的交织

将Turbo编码输出的信息码写入矩阵存储空间中，编码器顺序输出信息比特的第一块（K/4比特）到区块1中，第二块（K/4比特）到区块2中，第三块（K/4比特）到区块3中，第四块（K/4比特）到区块4中，等价于把信息比特存入一个K/4行4列的矩阵，第1列代表区块1，第2列代表区块2，第3列代表区块3，第4列代表区块4。进行交织时每行的4个比特同时读出。从矩阵读出数据时，首先从第0行开始，之后每次读取首行地址增加一个读取步长StepSize，这样第一轮行地址读出顺序为(0, StepSize, 2*StepSize, ...)，当读取[K/4]/StepSize行后，就读到矩阵尾部，然后下一轮读取行首地址加1，之后每次读取行地址增加步长StepSize，读取[K/4]/StepSize行后再次到达尾部，第二轮读取行地址顺序为(1, 1+StepSize, 1+2*StepSize, ...)，然后第三轮行地址再加1为2，依次类推，经过StepSize轮之后全部行读取完毕。

5.1.5.4.3 校验码交织

从Turbo编码输出校验比特的第一块(N-K)/4比特到区块1中，第二块(N-K)/4比特到区块2中，第三块(N-K)/4比特到区块3中，第四块(N-K)/4比特到区块4中，可以看作把校验比特存入一个(N-K)/4行4列的矩阵，第1列代表区块1，第2列代表区块2，第3列代表区块3，第4列代表区块4。对于1/2码率，校验比特的读法与信息比特的读法类似，不同在于校验比特第一次读从校验偏移参数offset定义的行开始，步长参数还是StepSize，我们定义 $T=(N-K)/4$ ，第一轮读出的行的顺序为(offset, (offset+StepSize)mod T, (offset+2*StepSize)mod T, ...)，然后第二轮首行加1，再重复StepSize-1轮，最后经过StepSize轮，每轮读出T/StepSize行数据，共计读取T行数据。对于16/18码率，每轮读完不初始化行指针，而是从开始持续读取(offset, (offset+StepSize)mod T, (offset+2*StepSize)mod T, ...)，一直到T行读取完毕。

信道交织用到的参数如表11 定义：

表11 信道交织参数

| 物理块大小（字节数） | 码率 | 交织偏移值 | 交织步长 |
|------------|-------|-------|------|
| 16 | 1/2 | 16 | 4 |
| 72 | 1/2 | 72 | 16 |
| 136 | 1/2 | 136 | 16 |
| 264 | 1/2 | 264 | 16 |
| 520 | 1/2 | 520 | 16 |
| 520 | 16/18 | 60 | 11 |

5.1.5.4.4 信息码和校验码之间的交织

对于1/2码率，输出的前4比特为信息码，接着4比特为校验码，以此类推。对于16/18码率，首先是3个4位的信息比特，然后是4位的校验比特，最后是5个4位的信息比特，重复这一模式。

5.1.5.4.5 半字节移位

半字节移位以4比特为单位进行移位，不论信息比特还是校验比特，每两个半字节调整一次顺序，规则如表12所示。

表12 半字节移位

| 输出半字节序号 | 移位模式 |
|---------|-----------|
| 1 or 2 | b0b1b2b3 |
| 3 or 4 | b3 b0b1b2 |
| 5 or 6 | b2b3 b0b1 |
| 7 or 8 | b1b2b3 b0 |
| 9 or 10 | b0b1b2b3 |

上图中b0表示比特来自信息或者校验比特的区块1，以此类推，b1表示来自区块2，b2表示来自区块3，b3表示来自区块4。比特串行输出时，4个比特中最左边的比特先输出，从左向右。

5.1.5.5 载荷数据分集拷贝

5.1.5.5.1 分集拷贝流程

分集拷贝用于将原始信号进行分集和映射。当只有分集次数为1时，可省略该环节。

分集拷贝根据所选的模式中不同的拷贝次数，将原始数据按照载荷数据分集拷贝过程分别进行处理。如果InData(i)表示信道交织器输出的比特，分集拷贝输出的比特序列OutData(i)将由下面得出。

$x = \lfloor a \rfloor$ 表示x取值为小于等于a的最大整数，即下取整。分集拷贝参数如图9所示。

在每个分集中，最终没有填满的group用PadBitsNum个比特填充，具体的数据如下：第1个分集的数据来自原始数据的第0~PadBitsNum-1个比特，第2个分集的数据来自原始数据的第PadBitsNum~2*PadBitsNum-1个比特，依次类推至第N个分集。

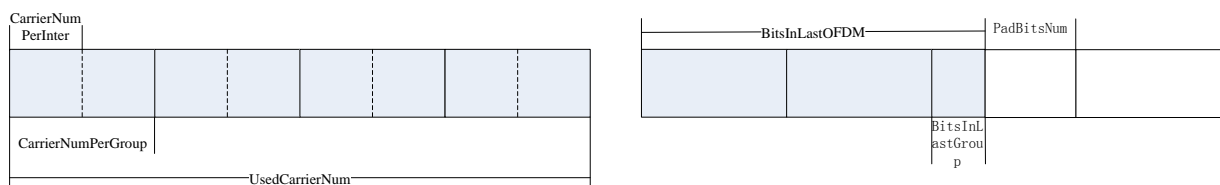


图9 分集拷贝参数的图示

5.1.5.5.2 参数定义

DataBitsLen: 信道交织器输出的数据比特数，包括信息比特和校验比特；

ValidCarrierNum: 有效子载波数，根据表 21 中通信频段所支持的子载波数来表示可以传数据的子载波数；

UsedCarrierNum: 分集拷贝模式实际使用的子载波数目,当 UsedCarrierNum 不等于 ValidCarrierNum 时, 选取低位编号子载波使用;

CopyNum: 数据的分集次数;

BPC: 每子载波调制的比特数;

InterNum: 交织器个数, 与 CopyNum 和 InterNumPerGroup 的关系如见表 13 。

表13 分集次数与交织个数映射表

| | | | | | |
|------------------|---|---|----|----|----|
| CopyNum | 2 | 4 | 5 | 7 | 11 |
| InterNum | 8 | 8 | 10 | 14 | 11 |
| InterNumPerGroup | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 |

5.1.5.5.3 变量计算

$$UsedCarrierNum = InterNum \left\lfloor \frac{ValidCarrierNum}{InterNum} \right\rfloor$$

$$CarrierNumPerGroup = \left\lfloor \frac{UsedCarrierNum}{CopyNum} \right\rfloor$$

$$CarrierNumPerInter = \left\lfloor \frac{ValidCarrierNum}{InterNum} \right\rfloor$$

$$BitsPerOFDM = BPC \times UsedCarrierNum$$

$$BitsPerGroup = BPC \times CarrierNumPerGroup$$

$$BitsInLastOFDM = DataBitsLen - BitsPerOFDM \left\lfloor \frac{DataBitsLen}{BitsPerOFDM} \right\rfloor$$

if BitsInLastOFDM == 0

$$BitsInLastOFDM = BitsPerOFDM$$

$$BitsInLastGroup = BitsPerGroup$$

else

$$BitsInLastGroup = BitsInLastOFDM - BitsPerGroup \left\lfloor \frac{BitsInLastOFDM-1}{BitsPerGroup} \right\rfloor$$

end

$$PadBitsNum = BitsPerGroup - BitsInLastGroup$$

5.1.5.5.4 参数运算

if CopyNum==1

GroupShiftNum (1)=(0);

elseif CopyNum==2

```

    if BitsInLastOFDM<=BitsPerGroup
        GroupShiftNum(1, 2)=(0, 0);
    else
        GroupShiftNum(1, 2)=(0, 1);
    end
elseif CopyNum==4
    if BitsInLastOFDM<=BitsPerGroup
        GroupShiftNum(1, 2, 3, 4)=(0, 0, 0, 0);
    elseif BitsInLastOFDM<=2 BitsPerGroup
        GroupShiftNum(1, 2, 3, 4)=(0, 0, 1, 1);
    elseif BitsInLastOFDM<=3 BitsPerGroup
        GroupShiftNum(1, 2, 3, 4)=(0, 0, 0, 0);
    else
        GroupShiftNum(1, 2, 3, 4)=(0, 1, 2, 3);
    end
elseif CopyNum==5
    if BitsInLastOFDM <= 4 BitsPerGroup
        GroupShiftNum(1, 2, 3, 4, 5)=(0, 0, 0, 0, 0);
    else
        GroupShiftNum(1, 2, 3, 4, 5)=(0, 1, 2, 3, 4);
    end
elseif CopyNum==7
    if BitsInLastOFDM <= 6 BitsPerGroup
        GroupShiftNum(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)=(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, );
    else
        GroupShiftNum(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)=(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6);
    end
end
elseif CopyNum==11
    if BitsInLastOFDM <= 10 BitsPerGroup
        GroupShiftNum(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)=(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0);
    else
        GroupShiftNum(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)=(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10);
    end
end
end

```

5.1.5.5.5 交织器地址参数计算

InterShiftStep: 交织器循环移位步长

InterShiftStep = floor(CarrierNumPerInter/(2*InterNum));

```

if InterShiftStep<1 InterShiftStep = 0;
elseif InterShiftStep<2 InterShiftStep = 1;
elseif InterShiftStep<4 InterShiftStep = 2;
elseif InterShiftStep<8 InterShiftStep = 4;

```

```
elseif InterShiftStep<16      InterShiftStep = 8;
end
```

对于InterNum个待交织块，需要设计InterNum个交织器，其中InterInAddr表示每个交织块中初始载波编号（每个交织块初始编号均从1开始），InterOutAddr为交织后的子载波编号。InterOutAddr具体生成方式如下所示：

```
for K = 1:InterNum
    If InterShiftStep == 0
        InterOutAddr(:,K) = circshift(InterInAddr',K-1);
    else
        M = K*InterShiftStep;
        N = floor(CarrierNumPerInter/M);
        InterPad = CarrierNumPerInter - M*N;
        matrix = zeros(N,M);
        for i = 1:N
            matrix(i,:) = InterInAddr((i-1)*M+1:i*M);
        end
        if InterPad ~= 0
            matrix(N+1,1:InterPad) = InterInAddr(end-InterPad+1:end);
        end
        for i = 1:M
            if InterPad>=i
                outtmp((i-1)*(N+1)+1:i*(N+1)) = matrix(:,i);
            else
                if InterPad ~=0
                    outtmp((i-1)*N+1+InterPad:i*N+InterPad) = matrix(1:end-1,i);
                else
                    outtmp((i-1)*N+1+InterPad:i*N+InterPad) = matrix(1:end,i);
                end
            end
        end
        outtmp = circshift(outtmp',2*(K-1)*InterShiftStep);
        InterOutAddr(:,K) = outtmp';
    end
end
```

注：获得的地址为载波编号，每个载波根据不同的调制模式承载对应的比特数，即若为BPSK调制，则1号载波承载数据比特1；若为QPSK调制，则1号载波承载数据比特1、2；若为16QAM调制，则1号载波承载数据比特1、2、3、4。

5.1.5.5.6 分集交织

如图10所示，G1表示第1个Group中的所有数据(BitsPerGroup)，I1表示InterOutAddr中的第一组交织器生成的载波地址。例如，若按照4次分集，Group的循环移位参数为GroupShiftNum(1,2,3,4)=(0,0,1,1)，每个Group需要两个交织器(InterNumPerGroup=2)。

在第一次分集中，每个Group中的数据分别采用2个交织器进行交织，交织参数为InterOutAddr (:,1)和 InterOutAddr (:,2)，交织后的结果为G1(I1)、G1(I2)，并且G1(I1)、G1(I2)按照GroupShiftNum[1]=0按照BitsPerGroup步长进行循环移位；

在第二次分集中，每个Group中的数据分别采用2个交织器进行交织，交织参数为InterOutAddr (:,3)和 InterOutAddr (:,4)，交织后的结果为G1(I3)、G1(I4)，并且G1(I3)、G1(I4)按照GroupShiftNum[2]=0，按照BitsPerGroup步长进行循环移位；

在第三次分集中，每个Group中的数据分别采用2个交织器进行交织，交织参数为InterOutAddr (:,5)和 InterOutAddr (:,6)，交织后的结果为G1(I5)、G1(I6)，并且G1(I5)、G1(I6)按照GroupShiftNum[3]=1，按照BitsPerGroup步长进行循环移位；

在第四次分集中，每个Group中的数据分别采用2个交织器进行交织，交织参数为InterOutAddr (:,7)和 InterOutAddr (:,8)，交织后的结果为G1(I7)、G1(I8)，并且G1(I7)、G1(I8)按照GroupShiftNum[4]=1，按照BitsPerGroup步长进行循环移位。

完成4次分集拷贝后，形成的分集拷贝数据用于星座点映射。

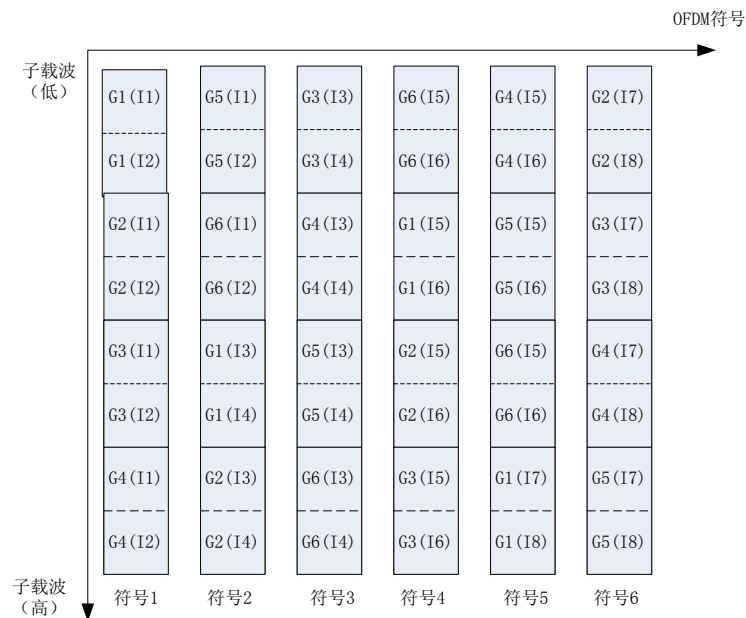


图10 分集拷贝示意图

5.1.6 星座点映射

5.1.6.1 映射方式

帧控制和载荷数据采用不同的映射方式，其中帧控制采用QPSK进行映射；载荷数据可采用BPSK、QPSK、16QAM进行映射。帧控制和载荷数据信息采用不同调制方式在每个数据子载波上所能承载的比特数如表14所示。

表14 调制特性表

| 数据信息类型 | 每载波承载比特数 | 调制方式 | 备注 |
|--------|----------|--------|------|
| 帧控制 | 2 | QPSK | 基本模式 |
| 载荷数据 | 1 | BPSK | 基本模式 |
| | 2 | QPSK | 基本模式 |
| | 4 | 16-QAM | 扩展模式 |

5.1.6.2 星座点映射表

每种星座映射方式对应的比特数如表15所示。其中，x0, x1, x2, x3比特顺序由低到高，星座图映射模块输入比特流中最先输入的比特分配给x0，其余x1, x2, x3依次输入。

表15 星座点映射表

| 映射值 | 16-QAM (x1x0) (x3x2) | QPSK (x1) (x0) | BPSK (x0) (---) |
|-----|----------------------------|----------------------|-----------------------|
| +3 | 11 | | |
| +1 | 10 | 1 | 1 |
| -1 | 00 | 0 | 0 |
| -3 | 01 | | |

表16 比特到 I/Q 映射的表

| 调制模式 | 输入比特 | I 路 | Q 路 |
|--------|----------|------|------|
| BPSK | x0 | x0 | --- |
| QPSK | x1x0 | x0 | x1 |
| 16-QAM | x3x2x1x0 | x1x0 | x3x2 |

5.1.6.3 星座点映射相位表

参考相位用于对帧控制和载荷数据符号进行相位旋转，从1号载波到511号载波的相角参考值如表17所示。实际的相位为对应每个载波的相角参考值乘以 $\pi/4$ 。

表17 帧控制和载荷数据映射相位表

| 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相 位 编 号 | 载 波 号 | 载波频率 (MHz) | 相 位 编 号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相 位 编 号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相 位 编 号 |
|-----|---------------|------------------|----------|---------------|------------------|----------|---------------|------------------|----------|---------------|------------------|
| -- | -- | -- | 128 | 3.125000 | 5 | 256 | 6.250000 | 1 | 384 | 9.375000 | 6 |
| 1 | 0.024414 | 0 | 129 | 3.149414 | 1 | 257 | 6.274414 | 2 | 385 | 9.399414 | 4 |
| 2 | 0.048828 | 0 | 130 | 3.173828 | 4 | 258 | 6.298828 | 3 | 386 | 9.423828 | 1 |
| 3 | 0.073242 | 0 | 131 | 3.198242 | 2 | 259 | 6.323242 | 0 | 387 | 9.448242 | 5 |
| 4 | 0.097656 | 0 | 132 | 3.222656 | 4 | 260 | 6.347656 | 0 | 388 | 9.472656 | 6 |
| 5 | 0.122070 | 0 | 133 | 3.247070 | 0 | 261 | 6.372070 | 4 | 389 | 9.497070 | 4 |
| 6 | 0.146484 | 0 | 134 | 3.271484 | 4 | 262 | 6.396484 | 0 | 390 | 9.521484 | 6 |
| 7 | 0.170898 | 0 | 135 | 3.295898 | 5 | 263 | 6.420898 | 4 | 391 | 9.545898 | 6 |
| 8 | 0.195313 | 0 | 136 | 3.320313 | 3 | 264 | 6.445313 | 4 | 392 | 9.570313 | 6 |
| 9 | 0.219727 | 0 | 137 | 3.344727 | 5 | 265 | 6.469727 | 5 | 393 | 9.594727 | 2 |
| 10 | 0.244141 | 0 | 138 | 3.369141 | 5 | 266 | 6.494141 | 2 | 394 | 9.619141 | 2 |
| 11 | 0.268555 | 0 | 139 | 3.393555 | 1 | 267 | 6.518555 | 7 | 395 | 9.643555 | 7 |
| 12 | 0.292969 | 0 | 140 | 3.417969 | 5 | 268 | 6.542969 | 4 | 396 | 9.667969 | 3 |
| 13 | 0.317383 | 0 | 141 | 3.442383 | 1 | 269 | 6.567383 | 5 | 397 | 9.692383 | 0 |
| 14 | 0.341797 | 0 | 142 | 3.466797 | 5 | 270 | 6.591797 | 6 | 398 | 9.716797 | 6 |
| 15 | 0.366211 | 0 | 143 | 3.491211 | 5 | 271 | 6.616211 | 7 | 399 | 9.741211 | 5 |
| 16 | 0.390625 | 0 | 144 | 3.515625 | 2 | 272 | 6.640625 | 0 | 400 | 9.765625 | 1 |
| 17 | 0.415039 | 0 | 145 | 3.540039 | 4 | 273 | 6.665039 | 1 | 401 | 9.790039 | 6 |
| 18 | 0.439453 | 0 | 146 | 3.564453 | 2 | 274 | 6.689453 | 3 | 402 | 9.814453 | 0 |
| 19 | 0.463867 | 0 | 147 | 3.588867 | 2 | 275 | 6.713867 | 1 | 403 | 9.838867 | 7 |
| 20 | 0.488281 | 0 | 148 | 3.613281 | 3 | 276 | 6.738281 | 7 | 404 | 9.863281 | 0 |
| 21 | 0.512695 | 0 | 149 | 3.637695 | 1 | 277 | 6.762695 | 5 | 405 | 9.887695 | 1 |
| 22 | 0.537109 | 0 | 150 | 3.662109 | 3 | 278 | 6.787109 | 0 | 406 | 9.912109 | 0 |
| 23 | 0.561523 | 0 | 151 | 3.686523 | 7 | 279 | 6.811523 | 7 | 407 | 9.936523 | 5 |
| 24 | 0.585938 | 0 | 152 | 3.710938 | 0 | 280 | 6.835938 | 6 | 408 | 9.960938 | 5 |
| 25 | 0.610352 | 0 | 153 | 3.735352 | 3 | 281 | 6.860352 | 5 | 409 | 9.985352 | 2 |
| 26 | 0.634766 | 0 | 154 | 3.759766 | 7 | 282 | 6.884766 | 1 | 410 | 10.009766 | 6 |
| 27 | 0.659180 | 0 | 155 | 3.784180 | 1 | 283 | 6.909180 | 2 | 411 | 10.034180 | 5 |
| 28 | 0.683594 | 0 | 156 | 3.808594 | 2 | 284 | 6.933594 | 7 | 412 | 10.058594 | 4 |
| 29 | 0.708008 | 0 | 157 | 3.833008 | 6 | 285 | 6.958008 | 4 | 413 | 10.083008 | 2 |
| 30 | 0.732422 | 0 | 158 | 3.857422 | 0 | 286 | 6.982422 | 6 | 414 | 10.107422 | 7 |
| 31 | 0.756836 | 0 | 159 | 3.881836 | 4 | 287 | 7.006836 | 2 | 415 | 10.131836 | 5 |
| 32 | 0.781250 | 0 | 160 | 3.906250 | 1 | 288 | 7.031250 | 6 | 416 | 10.156250 | 1 |
| 33 | 0.805664 | 0 | 161 | 3.930664 | 6 | 289 | 7.055664 | 2 | 417 | 10.180664 | 7 |
| 34 | 0.830078 | 0 | 162 | 3.955078 | 3 | 290 | 7.080078 | 3 | 418 | 10.205078 | 1 |

表 17 (续)

| 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相 位 编 号 | 载 波 号 | 载波频率 (MHz) | 相 位 编 号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相 位 编 号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相 位 编 号 |
|-----|---------------|------------------|----------|---------------|------------------|----------|---------------|------------------|----------|---------------|------------------|
| 35 | 0.854492 | 0 | 163 | 3.979492 | 3 | 291 | 7.104492 | 3 | 419 | 10.229492 | 3 |
| 36 | 0.878906 | 0 | 164 | 4.003906 | 2 | 292 | 7.128906 | 0 | 420 | 10.253906 | 6 |
| 37 | 0.903320 | 0 | 165 | 4.028320 | 0 | 293 | 7.153320 | 1 | 421 | 10.278320 | 3 |
| 38 | 0.927734 | 0 | 166 | 4.052734 | 1 | 294 | 7.177734 | 7 | 422 | 10.302734 | 3 |
| 39 | 0.952148 | 0 | 167 | 4.077148 | 3 | 295 | 7.202148 | 1 | 423 | 10.327148 | 2 |
| 40 | 0.976563 | 0 | 168 | 4.101563 | 6 | 296 | 7.226563 | 2 | 424 | 10.351563 | 3 |
| 41 | 1.000977 | 0 | 169 | 4.125977 | 1 | 297 | 7.250977 | 7 | 425 | 10.375977 | 4 |
| 42 | 1.025391 | 0 | 170 | 4.150391 | 7 | 298 | 7.275391 | 1 | 426 | 10.400391 | 2 |
| 43 | 1.049805 | 0 | 171 | 4.174805 | 6 | 299 | 7.299805 | 4 | 427 | 10.424805 | 3 |
| 44 | 1.074219 | 0 | 172 | 4.199219 | 1 | 300 | 7.324219 | 5 | 428 | 10.449219 | 6 |
| 45 | 1.098633 | 0 | 173 | 4.223633 | 3 | 301 | 7.348633 | 7 | 429 | 10.473633 | 2 |
| 46 | 1.123047 | 0 | 174 | 4.248047 | 7 | 302 | 7.373047 | 2 | 430 | 10.498047 | 5 |
| 47 | 1.147461 | 0 | 175 | 4.272461 | 7 | 303 | 7.397461 | 3 | 431 | 10.522461 | 6 |
| 48 | 1.171875 | 0 | 176 | 4.296875 | 4 | 304 | 7.421875 | 6 | 432 | 10.546875 | 0 |
| 49 | 1.196289 | 0 | 177 | 4.321289 | 1 | 305 | 7.446289 | 1 | 433 | 10.571289 | 5 |
| 50 | 1.220703 | 0 | 178 | 4.345703 | 0 | 306 | 7.470703 | 1 | 434 | 10.595703 | 1 |
| 51 | 1.245117 | 0 | 179 | 4.370117 | 6 | 307 | 7.495117 | 4 | 435 | 10.620117 | 0 |
| 52 | 1.269531 | 0 | 180 | 4.394531 | 2 | 308 | 7.519531 | 2 | 436 | 10.644531 | 3 |
| 53 | 1.293945 | 0 | 181 | 4.418945 | 2 | 309 | 7.543945 | 6 | 437 | 10.668945 | 3 |
| 54 | 1.318359 | 0 | 182 | 4.443359 | 3 | 310 | 7.568359 | 0 | 438 | 10.693359 | 3 |
| 55 | 1.342773 | 0 | 183 | 4.467773 | 5 | 311 | 7.592773 | 6 | 439 | 10.717773 | 5 |
| 56 | 1.367188 | 0 | 184 | 4.492188 | 1 | 312 | 7.617188 | 5 | 440 | 10.742188 | 1 |
| 57 | 1.391602 | 0 | 185 | 4.516602 | 6 | 313 | 7.641602 | 4 | 441 | 10.766602 | 3 |
| 58 | 1.416016 | 0 | 186 | 4.541016 | 4 | 314 | 7.666016 | 1 | 442 | 10.791016 | 0 |
| 59 | 1.440430 | 0 | 187 | 4.565430 | 5 | 315 | 7.690430 | 7 | 443 | 10.815430 | 6 |
| 60 | 1.464844 | 0 | 188 | 4.589844 | 7 | 316 | 7.714844 | 1 | 444 | 10.839844 | 1 |
| 61 | 1.489258 | 0 | 189 | 4.614258 | 0 | 317 | 7.739258 | 6 | 445 | 10.864258 | 6 |
| 62 | 1.513672 | 0 | 190 | 4.638672 | 6 | 318 | 7.763672 | 7 | 446 | 10.888672 | 3 |
| 63 | 1.538086 | 0 | 191 | 4.663086 | 0 | 319 | 7.788086 | 7 | 447 | 10.913086 | 1 |
| 64 | 1.562500 | 0 | 192 | 4.687500 | 4 | 320 | 7.812500 | 7 | 448 | 10.937500 | 6 |
| 65 | 1.586914 | 0 | 193 | 4.711914 | 1 | 321 | 7.836914 | 3 | 449 | 10.961914 | 7 |
| 66 | 1.611328 | 0 | 194 | 4.736328 | 4 | 322 | 7.861328 | 3 | 450 | 10.986328 | 6 |
| 67 | 1.635742 | 0 | 195 | 4.760742 | 4 | 323 | 7.885742 | 0 | 451 | 11.010742 | 1 |
| 68 | 1.660156 | 0 | 196 | 4.785156 | 1 | 324 | 7.910156 | 6 | 452 | 11.035156 | 4 |
| 69 | 1.684570 | 0 | 197 | 4.809570 | 0 | 325 | 7.934570 | 4 | 453 | 11.059570 | 0 |
| 70 | 1.708984 | 0 | 198 | 4.833984 | 4 | 326 | 7.958984 | 1 | 454 | 11.083984 | 4 |

表 17 (续)

| 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相 位 编 号 | 载 波 号 | 载波频率 (MHz) | 相 位 编 号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相 位 编 号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相 位 编 号 |
|-----|---------------|------------------|----------|---------------|------------------|----------|---------------|------------------|----------|---------------|------------------|
| 71 | 1.733398 | 0 | 199 | 4.858398 | 2 | 327 | 7.983398 | 7 | 455 | 11.108398 | 4 |
| 72 | 1.757813 | 0 | 200 | 4.882813 | 1 | 328 | 8.007813 | 5 | 456 | 11.132813 | 5 |
| 73 | 1.782227 | 0 | 201 | 4.907227 | 4 | 329 | 8.032227 | 3 | 457 | 11.157227 | 6 |
| 74 | 1.806641 | 0 | 202 | 4.931641 | 5 | 330 | 8.056641 | 4 | 458 | 11.181641 | 3 |
| 75 | 1.831055 | 3 | 203 | 4.956055 | 6 | 331 | 8.081055 | 2 | 459 | 11.206055 | 2 |
| 76 | 1.855469 | 4 | 204 | 4.980469 | 5 | 332 | 8.105469 | 5 | 460 | 11.230469 | 6 |
| 77 | 1.879883 | 2 | 205 | 5.004883 | 5 | 333 | 8.129883 | 1 | 461 | 11.254883 | 2 |
| 78 | 1.904297 | 5 | 206 | 5.029297 | 5 | 334 | 8.154297 | 0 | 462 | 11.279297 | 3 |
| 79 | 1.928711 | 3 | 207 | 5.053711 | 2 | 335 | 8.178711 | 3 | 463 | 11.303711 | 6 |
| 80 | 1.953125 | 3 | 208 | 5.078125 | 7 | 336 | 8.203125 | 4 | 464 | 11.328125 | 2 |
| 81 | 1.977539 | 7 | 209 | 5.102539 | 6 | 337 | 8.227539 | 6 | 465 | 11.352539 | 7 |
| 82 | 2.001953 | 6 | 210 | 5.126953 | 1 | 338 | 8.251953 | 3 | 466 | 11.376953 | 1 |
| 83 | 2.026367 | 0 | 211 | 5.151367 | 7 | 339 | 8.276367 | 7 | 467 | 11.401367 | 1 |
| 84 | 2.050781 | 6 | 212 | 5.175781 | 5 | 340 | 8.300781 | 6 | 468 | 11.425781 | 4 |
| 85 | 2.075195 | 3 | 213 | 5.200195 | 3 | 341 | 8.325195 | 3 | 469 | 11.450195 | 5 |
| 86 | 2.099609 | 0 | 214 | 5.224609 | 6 | 342 | 8.349609 | 4 | 470 | 11.474609 | 3 |
| 87 | 2.124023 | 5 | 215 | 5.249023 | 4 | 343 | 8.374023 | 7 | 471 | 11.499023 | 4 |
| 88 | 2.148438 | 1 | 216 | 5.273438 | 7 | 344 | 8.398438 | 1 | 472 | 11.523438 | 2 |
| 89 | 2.172852 | 6 | 217 | 5.297852 | 2 | 345 | 8.422852 | 7 | 473 | 11.547852 | 7 |
| 90 | 2.197266 | 7 | 218 | 5.322266 | 4 | 346 | 8.447266 | 2 | 474 | 11.572266 | 2 |
| 91 | 2.221680 | 3 | 219 | 5.346680 | 5 | 347 | 8.471680 | 2 | 475 | 11.596680 | 5 |
| 92 | 2.246094 | 1 | 220 | 5.371094 | 6 | 348 | 8.496094 | 0 | 476 | 11.621094 | 3 |
| 93 | 2.270508 | 4 | 221 | 5.395508 | 7 | 349 | 8.520508 | 5 | 477 | 11.645508 | 3 |
| 94 | 2.294922 | 2 | 222 | 5.419922 | 7 | 350 | 8.544922 | 5 | 478 | 11.669922 | 7 |
| 95 | 2.319336 | 3 | 223 | 5.444336 | 3 | 351 | 8.569336 | 6 | 479 | 11.694336 | 0 |
| 96 | 2.343750 | 6 | 224 | 5.468750 | 2 | 352 | 8.593750 | 7 | 480 | 11.718750 | 7 |
| 97 | 2.368164 | 0 | 225 | 5.493164 | 6 | 353 | 8.618164 | 6 | 481 | 11.743164 | 5 |
| 98 | 2.392578 | 2 | 226 | 5.517578 | 1 | 354 | 8.642578 | 4 | 482 | 11.767578 | 6 |
| 99 | 2.416992 | 1 | 227 | 5.541992 | 7 | 355 | 8.666992 | 0 | 483 | 11.791992 | 2 |
| 100 | 2.441406 | 6 | 228 | 5.566406 | 7 | 356 | 8.691406 | 1 | 484 | 11.816406 | 4 |
| 101 | 2.465820 | 4 | 229 | 5.590820 | 4 | 357 | 8.715820 | 6 | 485 | 11.840820 | 0 |
| 102 | 2.490234 | 4 | 230 | 5.615234 | 0 | 358 | 8.740234 | 1 | 486 | 11.865234 | 1 |
| 103 | 2.514648 | 4 | 231 | 5.639648 | 6 | 359 | 8.764648 | 5 | 487 | 11.889648 | 1 |
| 104 | 2.539063 | 1 | 232 | 5.664063 | 2 | 360 | 8.789063 | 7 | 488 | 11.914063 | 4 |
| 105 | 2.563477 | 4 | 233 | 5.688477 | 6 | 361 | 8.813477 | 5 | 489 | 11.938477 | 7 |
| 106 | 2.587891 | 6 | 234 | 5.712891 | 6 | 362 | 8.837891 | 7 | 490 | 11.962891 | 6 |

表 17 (续)

| 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相位 编号 | 载波 号 | 载波频率 (MHz) | 相位 编号 | 载波 号 | 载波频 率(MHz) | 相位 编号 | 载波 号 | 载波频 率(MHz) | 相位 编号 |
|-----|---------------|----------|---------|---------------|----------|---------|---------------|----------|---------|---------------|----------|
| 107 | 2.612305 | 5 | 235 | 5.737305 | 7 | 363 | 8.862305 | 1 | 491 | 11.987305 | 7 |
| 108 | 2.636719 | 7 | 236 | 5.761719 | 1 | 364 | 8.886719 | 7 | 492 | 12.011719 | 6 |
| 109 | 2.661133 | 0 | 237 | 5.786133 | 5 | 365 | 8.911133 | 6 | 493 | 12.036133 | 3 |
| 110 | 2.685547 | 2 | 238 | 5.810547 | 2 | 366 | 8.935547 | 5 | 494 | 12.060547 | 6 |
| 111 | 2.709961 | 3 | 239 | 5.834961 | 7 | 367 | 8.959961 | 2 | 495 | 12.084961 | 0 |
| 112 | 2.734375 | 1 | 240 | 5.859375 | 7 | 368 | 8.984375 | 4 | 496 | 12.109375 | 7 |
| 113 | 2.758789 | 3 | 241 | 5.883789 | 7 | 369 | 9.008789 | 5 | 497 | 12.133789 | 7 |
| 114 | 2.783203 | 1 | 242 | 5.908203 | 0 | 370 | 9.033203 | 2 | 498 | 12.158203 | 5 |
| 115 | 2.807617 | 6 | 243 | 5.932617 | 5 | 371 | 9.057617 | 1 | 499 | 12.182617 | 6 |
| 116 | 2.832031 | 7 | 244 | 5.957031 | 6 | 372 | 9.082031 | 5 | 500 | 12.207031 | 6 |
| 117 | 2.856445 | 0 | 245 | 5.981445 | 0 | 373 | 9.106445 | 4 | 501 | 12.231445 | 5 |
| 118 | 2.880859 | 0 | 246 | 6.005859 | 5 | 374 | 9.130859 | 0 | 502 | 12.255859 | 0 |
| 119 | 2.905273 | 6 | 247 | 6.030273 | 7 | 375 | 9.155273 | 6 | 503 | 12.280273 | 4 |
| 120 | 2.929688 | 1 | 248 | 6.054688 | 5 | 376 | 9.179688 | 7 | 504 | 12.304688 | 6 |
| 121 | 2.954102 | 1 | 249 | 6.079102 | 7 | 377 | 9.204102 | 0 | 505 | 12.329102 | 4 |
| 122 | 2.978516 | 3 | 250 | 6.103516 | 4 | 378 | 9.228516 | 5 | 506 | 12.353516 | 7 |
| 123 | 3.002930 | 7 | 251 | 6.127930 | 7 | 379 | 9.252930 | 0 | 507 | 12.377930 | 1 |
| 124 | 3.027344 | 7 | 252 | 6.152344 | 2 | 380 | 9.277344 | 0 | 508 | 12.402344 | 4 |
| 125 | 3.051758 | 0 | 253 | 6.176758 | 5 | 381 | 9.301758 | 5 | 509 | 12.426758 | 2 |
| 126 | 3.076172 | 3 | 254 | 6.201172 | 4 | 382 | 9.326172 | 1 | 510 | 12.451172 | 4 |
| 127 | 3.100586 | 7 | 255 | 6.225586 | 4 | 383 | 9.350586 | 0 | 511 | 12.475586 | 1 |

5.1.6.4 功率归一化

采用归一化因子,对不同调制方式得到的星座点数据进行功率归一化,功率归一化因子如表18 所示。

表18 功率归一化因子

| 映射方式 | 归一化因子 |
|--------|---------------|
| BPSK | $1/\sqrt{1}$ |
| QPSK | $1/\sqrt{2}$ |
| 16-QAM | $1/\sqrt{10}$ |

5.1.7 符号生成

5.1.7.1 前导

前导帧格式示意图如图11 所示。

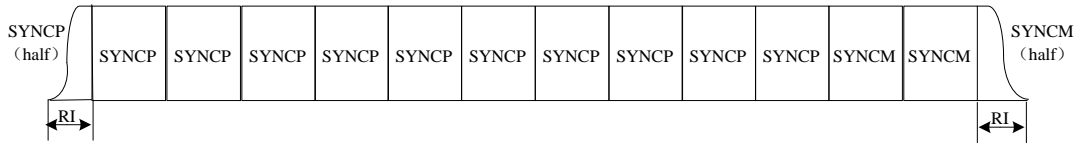


图11 前导帧格式

前导由10.5个SYNCNP与2.5个SYNCNM组成。SYNCNP的定义为：

$$S_{synCP}(n) = \frac{10^{3/20}}{\sqrt{N}} \sum_{k \in C} \cos\left(\frac{2\pi nk}{N} + \frac{\pi}{8} \varphi(k)\right), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (4)$$

其中， C 为可用的载波集合，我们这里的 N 取1024。

另外，IFFT的公式为：

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j\frac{2\pi nk}{N}}, \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (5)$$

取复信号

$$X(k) = \begin{cases} e^{j\frac{\pi}{8}\varphi(k)} & \text{if } k \in C, \quad 0 \leq k \leq N-1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

可以得到：

$$S_{synCP}(n) = 10^{3/20} \cdot \sqrt{N} \cdot \text{Re}\{IFFT(X(k))\} \quad (7)$$

即，SYNCNP可以由 $X(k)$ 的IFFT变换取实部得到。

SYNCNM=SYNCNP。其中，前导开始的0.5个SYNCNP是SYNCNP的后半部分，最后的0.5个SYNCNM是SYNCNM的前半部分。

5.1.7.2 前导相位表

前导参考相位用于对前导的SYNCNP进行相位旋转，从1号载波到511号载波的相角参考值如表19所示。实际的相位为对应每个载波的相角参考值乘以 $\pi/8$ 。

表19 前导相位表

| 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相位编号 | 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相位编号 | 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相位编号 | 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相位编号 |
|-----|------------|------|-----|------------|------|-----|------------|------|-----|------------|------|
| -- | -- | 0 | 128 | 3.125000 | 3 | 256 | 6.250000 | 12 | 384 | 9.375000 | 1 |

表 19 (续)

| 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频率 (MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相位 编号 |
|-----|---------------|----------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|----------|
| 1 | 0.024414 | 7 | 129 | 3.149414 | 13 | 257 | 6.274414 | 13 | 385 | 9.399414 | 10 |
| 2 | 0.048828 | 10 | 130 | 3.173828 | 4 | 258 | 6.298828 | 15 | 386 | 9.423828 | 9 |
| 3 | 0.073242 | 15 | 131 | 3.198242 | 6 | 259 | 6.323242 | 0 | 387 | 9.448242 | 10 |
| 4 | 0.097656 | 11 | 132 | 3.222656 | 7 | 260 | 6.347656 | 12 | 388 | 9.472656 | 12 |
| 5 | 0.122070 | 9 | 133 | 3.247070 | 0 | 261 | 6.372070 | 11 | 389 | 9.497070 | 13 |
| 6 | 0.146484 | 2 | 134 | 3.271484 | 2 | 262 | 6.396484 | 7 | 390 | 9.521484 | 12 |
| 7 | 0.170898 | 5 | 135 | 3.295898 | 14 | 263 | 6.420898 | 6 | 391 | 9.545898 | 10 |
| 8 | 0.195313 | 10 | 136 | 3.320313 | 11 | 264 | 6.445313 | 5 | 392 | 9.570313 | 9 |
| 9 | 0.219727 | 2 | 137 | 3.344727 | 9 | 265 | 6.469727 | 2 | 393 | 9.594727 | 10 |
| 10 | 0.244141 | 15 | 138 | 3.369141 | 7 | 266 | 6.494141 | 13 | 394 | 9.619141 | 11 |
| 11 | 0.268555 | 11 | 139 | 3.393555 | 6 | 267 | 6.518555 | 12 | 395 | 9.643555 | 10 |
| 12 | 0.292969 | 13 | 140 | 3.417969 | 8 | 268 | 6.542969 | 1 | 396 | 9.667969 | 8 |
| 13 | 0.317383 | 0 | 141 | 3.442383 | 2 | 269 | 6.567383 | 6 | 397 | 9.692383 | 7 |
| 14 | 0.341797 | 13 | 142 | 3.466797 | 9 | 270 | 6.591797 | 11 | 398 | 9.716797 | 8 |
| 15 | 0.366211 | 14 | 143 | 3.491211 | 8 | 271 | 6.616211 | 0 | 399 | 9.741211 | 9 |
| 16 | 0.390625 | 13 | 144 | 3.515625 | 10 | 272 | 6.640625 | 1 | 400 | 9.765625 | 8 |
| 17 | 0.415039 | 12 | 145 | 3.540039 | 14 | 273 | 6.665039 | 7 | 401 | 9.790039 | 13 |
| 18 | 0.439453 | 7 | 146 | 3.564453 | 2 | 274 | 6.689453 | 10 | 402 | 9.814453 | 9 |
| 19 | 0.463867 | 9 | 147 | 3.588867 | 14 | 275 | 6.713867 | 7 | 403 | 9.838867 | 12 |
| 20 | 0.488281 | 14 | 148 | 3.613281 | 6 | 276 | 6.738281 | 4 | 404 | 9.863281 | 0 |
| 21 | 0.512695 | 7 | 149 | 3.637695 | 10 | 277 | 6.762695 | 8 | 405 | 9.887695 | 6 |
| 22 | 0.537109 | 8 | 150 | 3.662109 | 12 | 278 | 6.787109 | 0 | 406 | 9.912109 | 7 |
| 23 | 0.561523 | 5 | 151 | 3.686523 | 7 | 279 | 6.811523 | 11 | 407 | 9.936523 | 6 |
| 24 | 0.585938 | 0 | 152 | 3.710938 | 11 | 280 | 6.835938 | 1 | 408 | 9.960938 | 1 |
| 25 | 0.610352 | 11 | 153 | 3.735352 | 7 | 281 | 6.860352 | 8 | 409 | 9.985352 | 14 |
| 26 | 0.634766 | 6 | 154 | 3.759766 | 11 | 282 | 6.884766 | 0 | 410 | 10.009766 | 9 |
| 27 | 0.659180 | 2 | 155 | 3.784180 | 12 | 283 | 6.909180 | 7 | 411 | 10.034180 | 2 |
| 28 | 0.683594 | 15 | 156 | 3.808594 | 15 | 284 | 6.933594 | 11 | 412 | 10.058594 | 11 |
| 29 | 0.708008 | 1 | 157 | 3.833008 | 5 | 285 | 6.958008 | 0 | 413 | 10.083008 | 12 |
| 30 | 0.732422 | 12 | 158 | 3.857422 | 6 | 286 | 6.982422 | 2 | 414 | 10.107422 | 4 |
| 31 | 0.756836 | 6 | 159 | 3.881836 | 10 | 287 | 7.006836 | 12 | 415 | 10.131836 | 5 |
| 32 | 0.781250 | 0 | 160 | 3.906250 | 5 | 288 | 7.031250 | 4 | 416 | 10.156250 | 1 |
| 33 | 0.805664 | 9 | 161 | 3.930664 | 14 | 289 | 7.055664 | 9 | 417 | 10.180664 | 8 |
| 34 | 0.830078 | 13 | 162 | 3.955078 | 6 | 290 | 7.080078 | 0 | 418 | 10.205078 | 13 |
| 35 | 0.854492 | 6 | 163 | 3.979492 | 12 | 291 | 7.104492 | 5 | 419 | 10.229492 | 2 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|----------|----|-----|----------|---|-----|----------|----|-----|-----------|---|
| 36 | 0.878906 | 15 | 164 | 4.003906 | 3 | 292 | 7.128906 | 10 | 420 | 10.253906 | 9 |
|----|----------|----|-----|----------|---|-----|----------|----|-----|-----------|---|

表 19 (续)

| 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频率 (MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相位 编号 |
|-----|---------------|----------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|----------|
| 37 | 0.903320 | 7 | 165 | 4.028320 | 12 | 293 | 7.153320 | 15 | 421 | 10.278320 | 7 |
| 38 | 0.927734 | 0 | 166 | 4.052734 | 3 | 294 | 7.177734 | 7 | 422 | 10.302734 | 6 |
| 39 | 0.952148 | 2 | 167 | 4.077148 | 11 | 295 | 7.202148 | 10 | 423 | 10.327148 | 5 |
| 40 | 0.976563 | 12 | 168 | 4.101563 | 8 | 296 | 7.226563 | 1 | 424 | 10.351563 | 1 |
| 41 | 1.000977 | 4 | 169 | 4.125977 | 6 | 297 | 7.250977 | 5 | 425 | 10.375977 | 8 |
| 42 | 1.025391 | 3 | 170 | 4.150391 | 3 | 298 | 7.275391 | 10 | 426 | 10.400391 | 14 |
| 43 | 1.049805 | 4 | 171 | 4.174805 | 1 | 299 | 7.299805 | 15 | 427 | 10.424805 | 4 |
| 44 | 1.074219 | 9 | 172 | 4.199219 | 0 | 300 | 7.324219 | 5 | 428 | 10.449219 | 12 |
| 45 | 1.098633 | 11 | 173 | 4.223633 | 11 | 301 | 7.348633 | 14 | 429 | 10.473633 | 6 |
| 46 | 1.123047 | 8 | 174 | 4.248047 | 10 | 302 | 7.373047 | 8 | 430 | 10.498047 | 15 |
| 47 | 1.147461 | 14 | 175 | 4.272461 | 11 | 303 | 7.397461 | 14 | 431 | 10.522461 | 1 |
| 48 | 1.171875 | 9 | 176 | 4.296875 | 13 | 304 | 7.421875 | 7 | 432 | 10.546875 | 0 |
| 49 | 1.196289 | 3 | 177 | 4.321289 | 3 | 305 | 7.446289 | 14 | 433 | 10.571289 | 14 |
| 50 | 1.220703 | 9 | 178 | 4.345703 | 5 | 306 | 7.470703 | 7 | 434 | 10.595703 | 15 |
| 51 | 1.245117 | 7 | 179 | 4.370117 | 3 | 307 | 7.495117 | 0 | 435 | 10.620117 | 10 |
| 52 | 1.269531 | 14 | 180 | 4.394531 | 4 | 308 | 7.519531 | 5 | 436 | 10.644531 | 11 |
| 53 | 1.293945 | 7 | 181 | 4.418945 | 1 | 309 | 7.543945 | 8 | 437 | 10.668945 | 12 |
| 54 | 1.318359 | 15 | 182 | 4.443359 | 12 | 310 | 7.568359 | 6 | 438 | 10.693359 | 11 |
| 55 | 1.342773 | 5 | 183 | 4.467773 | 11 | 311 | 7.592773 | 11 | 439 | 10.717773 | 12 |
| 56 | 1.367188 | 11 | 184 | 4.492188 | 15 | 312 | 7.617188 | 15 | 440 | 10.742188 | 2 |
| 57 | 1.391602 | 3 | 185 | 4.516602 | 7 | 313 | 7.641602 | 11 | 441 | 10.766602 | 4 |
| 58 | 1.416016 | 8 | 186 | 4.541016 | 15 | 314 | 7.666016 | 6 | 442 | 10.791016 | 5 |
| 59 | 1.440430 | 11 | 187 | 4.565430 | 2 | 315 | 7.690430 | 4 | 443 | 10.815430 | 6 |
| 60 | 1.464844 | 10 | 188 | 4.589844 | 5 | 316 | 7.714844 | 7 | 444 | 10.839844 | 10 |
| 61 | 1.489258 | 9 | 189 | 4.614258 | 13 | 317 | 7.739258 | 8 | 445 | 10.864258 | 12 |
| 62 | 1.513672 | 7 | 190 | 4.638672 | 5 | 318 | 7.763672 | 11 | 446 | 10.888672 | 13 |
| 63 | 1.538086 | 0 | 191 | 4.663086 | 12 | 319 | 7.788086 | 15 | 447 | 10.913086 | 14 |
| 64 | 1.562500 | 13 | 192 | 4.687500 | 1 | 320 | 7.812500 | 11 | 448 | 10.937500 | 5 |
| 65 | 1.586914 | 1 | 193 | 4.711914 | 6 | 321 | 7.836914 | 4 | 449 | 10.961914 | 13 |
| 66 | 1.611328 | 4 | 194 | 4.736328 | 11 | 322 | 7.861328 | 9 | 450 | 10.986328 | 15 |
| 67 | 1.635742 | 15 | 195 | 4.760742 | 13 | 323 | 7.885742 | 15 | 451 | 11.010742 | 4 |
| 68 | 1.660156 | 5 | 196 | 4.785156 | 1 | 324 | 7.910156 | 12 | 452 | 11.035156 | 1 |
| 69 | 1.684570 | 11 | 197 | 4.809570 | 3 | 325 | 7.934570 | 4 | 453 | 11.059570 | 15 |
| 70 | 1.708984 | 3 | 198 | 4.833984 | 5 | 326 | 7.958984 | 15 | 454 | 11.083984 | 6 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|----------|---|-----|----------|----|-----|----------|---|-----|-----------|---|
| 71 | 1.733398 | 4 | 199 | 4.858398 | 15 | 327 | 7.983398 | 7 | 455 | 11.108398 | 4 |
| 72 | 1.757813 | 9 | 200 | 4.882813 | 10 | 328 | 8.007813 | 1 | 456 | 11.132813 | 0 |

表 19 (续)

| 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频率 (MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相位 编号 |
|-----|---------------|----------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|----------|
| 73 | 1.782227 | 10 | 201 | 4.907227 | 6 | 329 | 8.032227 | 14 | 457 | 11.157227 | 15 |
| 74 | 1.806641 | 1 | 202 | 4.931641 | 2 | 330 | 8.056641 | 15 | 458 | 11.181641 | 7 |
| 75 | 1.831055 | 10 | 203 | 4.956055 | 1 | 331 | 8.081055 | 1 | 459 | 11.206055 | 9 |
| 76 | 1.855469 | 0 | 204 | 4.980469 | 8 | 332 | 8.105469 | 2 | 460 | 11.230469 | 15 |
| 77 | 1.879883 | 9 | 205 | 5.004883 | 9 | 333 | 8.129883 | 11 | 461 | 11.254883 | 8 |
| 78 | 1.904297 | 1 | 206 | 5.029297 | 5 | 334 | 8.154297 | 9 | 462 | 11.279297 | 5 |
| 79 | 1.928711 | 0 | 207 | 5.053711 | 8 | 335 | 8.178711 | 11 | 463 | 11.303711 | 2 |
| 80 | 1.953125 | 5 | 208 | 5.078125 | 10 | 336 | 8.203125 | 1 | 464 | 11.328125 | 0 |
| 81 | 1.977539 | 3 | 209 | 5.102539 | 6 | 337 | 8.227539 | 5 | 465 | 11.352539 | 1 |
| 82 | 2.001953 | 0 | 210 | 5.126953 | 8 | 338 | 8.251953 | 10 | 466 | 11.376953 | 2 |
| 83 | 2.026367 | 1 | 211 | 5.151367 | 9 | 339 | 8.276367 | 6 | 467 | 11.401367 | 4 |
| 84 | 2.050781 | 13 | 212 | 5.175781 | 7 | 340 | 8.300781 | 5 | 468 | 11.425781 | 5 |
| 85 | 2.075195 | 6 | 213 | 5.200195 | 15 | 341 | 8.325195 | 4 | 469 | 11.450195 | 6 |
| 86 | 2.099609 | 8 | 214 | 5.224609 | 8 | 342 | 8.349609 | 0 | 470 | 11.474609 | 8 |
| 87 | 2.124023 | 11 | 215 | 5.249023 | 4 | 343 | 8.374023 | 10 | 471 | 11.499023 | 4 |
| 88 | 2.148438 | 1 | 216 | 5.273438 | 3 | 344 | 8.398438 | 14 | 472 | 11.523438 | 3 |
| 89 | 2.172852 | 10 | 217 | 5.297852 | 13 | 345 | 8.422852 | 0 | 473 | 11.547852 | 1 |
| 90 | 2.197266 | 8 | 218 | 5.322266 | 14 | 346 | 8.447266 | 7 | 474 | 11.572266 | 14 |
| 91 | 2.221680 | 14 | 219 | 5.346680 | 3 | 347 | 8.471680 | 11 | 475 | 11.596680 | 4 |
| 92 | 2.246094 | 13 | 220 | 5.371094 | 0 | 348 | 8.496094 | 15 | 476 | 11.621094 | 2 |
| 93 | 2.270508 | 12 | 221 | 5.395508 | 4 | 349 | 8.520508 | 6 | 477 | 11.645508 | 8 |
| 94 | 2.294922 | 8 | 222 | 5.419922 | 2 | 350 | 8.544922 | 9 | 478 | 11.669922 | 0 |
| 95 | 2.319336 | 14 | 223 | 5.444336 | 0 | 351 | 8.569336 | 11 | 479 | 11.694336 | 13 |
| 96 | 2.343750 | 10 | 224 | 5.468750 | 8 | 352 | 8.593750 | 7 | 480 | 11.718750 | 5 |
| 97 | 2.368164 | 5 | 225 | 5.493164 | 6 | 353 | 8.618164 | 2 | 481 | 11.743164 | 2 |
| 98 | 2.392578 | 1 | 226 | 5.517578 | 4 | 354 | 8.642578 | 9 | 482 | 11.767578 | 13 |
| 99 | 2.416992 | 11 | 227 | 5.541992 | 13 | 355 | 8.666992 | 4 | 483 | 11.791992 | 7 |
| 100 | 2.441406 | 0 | 228 | 5.566406 | 3 | 356 | 8.691406 | 11 | 484 | 11.816406 | 11 |
| 101 | 2.465820 | 1 | 229 | 5.590820 | 8 | 357 | 8.715820 | 15 | 485 | 11.840820 | 14 |
| 102 | 2.490234 | 10 | 230 | 5.615234 | 0 | 358 | 8.740234 | 11 | 486 | 11.865234 | 8 |
| 103 | 2.514648 | 3 | 231 | 5.639648 | 12 | 359 | 8.764648 | 12 | 487 | 11.889648 | 2 |
| 104 | 2.539063 | 4 | 232 | 5.664063 | 1 | 360 | 8.789063 | 0 | 488 | 11.914063 | 8 |
| 105 | 2.563477 | 7 | 233 | 5.688477 | 7 | 361 | 8.813477 | 13 | 489 | 11.938477 | 11 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|----------|----|-----|----------|---|-----|----------|----|-----|-----------|---|
| 106 | 2.587891 | 3 | 234 | 5.712891 | 0 | 362 | 8.837891 | 11 | 490 | 11.962891 | 2 |
| 107 | 2.612305 | 11 | 235 | 5.737305 | 2 | 363 | 8.862305 | 9 | 491 | 11.987305 | 0 |
| 108 | 2.636719 | 3 | 236 | 5.761719 | 5 | 364 | 8.886719 | 2 | 492 | 12.011719 | 0 |

表 19 (续)

| 载波号 | 载波频率 (MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频率 (MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相位 编号 | 载 波 号 | 载波频 率(MHz) | 相位 编号 |
|-----|---------------|----------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|----------|
| 109 | 2.661133 | 4 | 237 | 5.786133 | 8 | 365 | 8.911133 | 9 | 493 | 12.036133 | 0 |
| 110 | 2.685547 | 2 | 238 | 5.810547 | 7 | 366 | 8.935547 | 0 | 494 | 12.060547 | 0 |
| 111 | 2.709961 | 11 | 239 | 5.834961 | 4 | 367 | 8.959961 | 5 | 495 | 12.084961 | 0 |
| 112 | 2.734375 | 0 | 240 | 5.859375 | 10 | 368 | 8.984375 | 6 | 496 | 12.109375 | 0 |
| 113 | 2.758789 | 1 | 241 | 5.883789 | 12 | 369 | 9.008789 | 11 | 497 | 12.133789 | 0 |
| 114 | 2.783203 | 15 | 242 | 5.908203 | 13 | 370 | 9.033203 | 13 | 498 | 12.158203 | 0 |
| 115 | 2.807617 | 11 | 243 | 5.932617 | 12 | 371 | 9.057617 | 2 | 499 | 12.182617 | 0 |
| 116 | 2.832031 | 6 | 244 | 5.957031 | 0 | 372 | 9.082031 | 12 | 500 | 12.207031 | 0 |
| 117 | 2.856445 | 10 | 245 | 5.981445 | 2 | 373 | 9.106445 | 10 | 501 | 12.231445 | 0 |
| 118 | 2.880859 | 14 | 246 | 6.005859 | 11 | 374 | 9.130859 | 8 | 502 | 12.255859 | 0 |
| 119 | 2.905273 | 9 | 247 | 6.030273 | 5 | 375 | 9.155273 | 11 | 503 | 12.280273 | 0 |
| 120 | 2.929688 | 12 | 248 | 6.054688 | 2 | 376 | 9.179688 | 7 | 504 | 12.304688 | 0 |
| 121 | 2.954102 | 13 | 249 | 6.079102 | 5 | 377 | 9.204102 | 11 | 505 | 12.329102 | 0 |
| 122 | 2.978516 | 1 | 250 | 6.103516 | 6 | 378 | 9.228516 | 15 | 506 | 12.353516 | 0 |
| 123 | 3.002930 | 5 | 251 | 6.127930 | 7 | 379 | 9.252930 | 9 | 507 | 12.377930 | 0 |
| 124 | 3.027344 | 11 | 252 | 6.152344 | 0 | 380 | 9.277344 | 1 | 508 | 12.402344 | 0 |
| 125 | 3.051758 | 7 | 253 | 6.176758 | 10 | 381 | 9.301758 | 10 | 509 | 12.426758 | 0 |
| 126 | 3.076172 | 0 | 254 | 6.201172 | 9 | 382 | 9.326172 | 1 | 510 | 12.451172 | 0 |
| 127 | 3.100586 | 10 | 255 | 6.225586 | 11 | 383 | 9.350586 | 9 | 511 | 12.475586 | 0 |

5.1.7.3 窗函数

前导、帧控制及载荷数据的前RI个数据与后RI个数据要做加窗处理，窗函数的定义如表20：

表20 窗函数定义

| n | $w_{rise}[n]$ | $w_{fall}[n]$ |
|---|---------------|---------------|
| 1 | 0 | 1 |
| 2 | 0.011764 | 0.988235 |
| 3 | 0.023529 | 0.976470 |
| 4 | 0.035294 | 0.964705 |
| 5 | 0.047058 | 0.952941 |
| 6 | 0.058823 | 0.941176 |

| | | |
|---|----------|----------|
| 7 | 0.070588 | 0.929411 |
| 8 | 0.082352 | 0.917647 |
| 9 | 0.094117 | 0.905882 |

表 20 (续)

| n | $w_{rise}[n]$ | $w_{fall}[n]$ |
|----|---------------|---------------|
| 10 | 0.105882 | 0.894117 |
| 11 | 0.117647 | 0.882352 |
| 12 | 0.129411 | 0.870588 |
| 13 | 0.141176 | 0.858823 |
| 14 | 0.152941 | 0.847058 |
| 15 | 0.164705 | 0.835294 |
| 16 | 0.176470 | 0.823529 |
| 17 | 0.188235 | 0.811764 |
| 18 | 0.200000 | 0.800000 |
| 19 | 0.206741 | 0.793258 |
| 20 | 0.213483 | 0.786516 |
| 21 | 0.220224 | 0.779775 |
| 22 | 0.226966 | 0.773033 |
| 23 | 0.233707 | 0.766292 |
| 24 | 0.240449 | 0.759550 |
| 25 | 0.247191 | 0.752808 |
| 26 | 0.253932 | 0.746067 |
| 27 | 0.260674 | 0.739325 |
| 28 | 0.267415 | 0.732584 |
| 29 | 0.274157 | 0.725842 |
| 30 | 0.280898 | 0.719101 |
| 31 | 0.287640 | 0.712359 |
| 32 | 0.294382 | 0.705617 |
| 33 | 0.301123 | 0.698876 |
| 34 | 0.307865 | 0.692134 |
| 35 | 0.314606 | 0.685393 |
| 36 | 0.321348 | 0.678651 |
| 37 | 0.328089 | 0.671910 |
| 38 | 0.334831 | 0.665168 |
| 39 | 0.341573 | 0.658426 |
| 40 | 0.348314 | 0.651685 |
| 41 | 0.355056 | 0.644943 |
| 42 | 0.361797 | 0.638202 |
| 43 | 0.368539 | 0.631460 |

| | | |
|----|----------|----------|
| 44 | 0.375280 | 0.624719 |
| 45 | 0.382022 | 0.617977 |
| 46 | 0.388764 | 0.611235 |
| 47 | 0.395505 | 0.604494 |

表 20 (续)

| n | $w_{rise}[n]$ | $w_{fall}[n]$ |
|----|---------------|---------------|
| 48 | 0.402247 | 0.597752 |
| 49 | 0.408988 | 0.591011 |
| 50 | 0.415730 | 0.584269 |
| 51 | 0.422471 | 0.577528 |
| 52 | 0.429213 | 0.570786 |
| 53 | 0.435955 | 0.564044 |
| 54 | 0.442696 | 0.557303 |
| 55 | 0.449438 | 0.550561 |
| 56 | 0.456179 | 0.543820 |
| 57 | 0.462921 | 0.537078 |
| 58 | 0.469662 | 0.530337 |
| 59 | 0.476404 | 0.523595 |
| 60 | 0.483146 | 0.516853 |
| 61 | 0.489887 | 0.510112 |
| 62 | 0.496629 | 0.503370 |
| 63 | 0.503370 | 0.496629 |
| 64 | 0.510112 | 0.489887 |
| 65 | 0.516853 | 0.483146 |
| 66 | 0.523595 | 0.476404 |
| 67 | 0.530337 | 0.469662 |
| 68 | 0.537078 | 0.462921 |
| 69 | 0.543820 | 0.456179 |
| 70 | 0.550561 | 0.449438 |
| 71 | 0.557303 | 0.442696 |
| 72 | 0.564044 | 0.435955 |
| 73 | 0.570786 | 0.429213 |
| 74 | 0.577528 | 0.422471 |
| 75 | 0.584269 | 0.415730 |
| 76 | 0.591011 | 0.408988 |
| 77 | 0.597752 | 0.402247 |
| 78 | 0.604494 | 0.395505 |
| 79 | 0.611235 | 0.388764 |
| 80 | 0.617977 | 0.382022 |

| | | |
|----|----------|----------|
| 81 | 0.624719 | 0.375280 |
| 82 | 0.631460 | 0.368539 |
| 83 | 0.638202 | 0.361797 |
| 84 | 0.644943 | 0.355056 |
| 85 | 0.651685 | 0.348314 |

表 20 (续)

| n | $w_{rise}[n]$ | $w_{fall}[n]$ |
|-----|---------------|---------------|
| 86 | 0.658426 | 0.341573 |
| 87 | 0.665168 | 0.334831 |
| 88 | 0.671910 | 0.328089 |
| 89 | 0.678651 | 0.321348 |
| 90 | 0.685393 | 0.314606 |
| 91 | 0.692134 | 0.307865 |
| 92 | 0.698876 | 0.301123 |
| 93 | 0.705617 | 0.294382 |
| 94 | 0.712359 | 0.287640 |
| 95 | 0.719101 | 0.280898 |
| 96 | 0.725842 | 0.274157 |
| 97 | 0.732584 | 0.267415 |
| 98 | 0.739325 | 0.260674 |
| 99 | 0.746067 | 0.253932 |
| 100 | 0.752808 | 0.247191 |
| 101 | 0.759550 | 0.240449 |
| 102 | 0.766292 | 0.233707 |
| 103 | 0.773033 | 0.226966 |
| 104 | 0.779775 | 0.220224 |
| 105 | 0.786516 | 0.213483 |
| 106 | 0.793258 | 0.206741 |
| 107 | 0.800000 | 0.200000 |
| 108 | 0.811764 | 0.188235 |
| 109 | 0.823529 | 0.176470 |
| 110 | 0.835294 | 0.164705 |
| 111 | 0.847058 | 0.152941 |
| 112 | 0.858823 | 0.141176 |
| 113 | 0.870588 | 0.129411 |
| 114 | 0.882352 | 0.117647 |
| 115 | 0.894117 | 0.105882 |
| 116 | 0.905882 | 0.094117 |
| 117 | 0.917647 | 0.082352 |

| | | |
|-----|----------|----------|
| 118 | 0.929411 | 0.070588 |
| 119 | 0.941176 | 0.058823 |
| 120 | 0.952941 | 0.047058 |
| 121 | 0.964705 | 0.035294 |
| 122 | 0.976470 | 0.023529 |
| 123 | 0.988235 | 0.011764 |

表 20 (续)

| | | |
|-----|---------------|---------------|
| n | $w_{rise}[n]$ | $w_{fall}[n]$ |
| 124 | 1 | 0 |

对于前导的数据，是对整个数据（10.5symCP+2.5symCM）加窗，其前部的RI个数据乘以 $w_{rise}[n]$ 不与任何信号重叠，其后部的RI个数据乘以 $w_{fall}[n]$ 并与帧控制第一个OFDM符号的前部的RI个数据乘以 $w_{rise}[n]$ 相加；对于帧控制和载荷数据数据是每个OFDM符号都要加CP并加窗，加窗操作对包含IFFT块和它的循环前缀的整个OFDM符号，每个OFDM符号的前部的RI个数据乘以 $w_{rise}[n]$ 和它前面一个OFDM符号的后部的RI个数据乘以 $w_{fall}[n]$ ，作加法累加到一起，就是前后OFDM符号有重叠，最后一个OFDM符号的后部的RI个数据乘以 $w_{fall}[n]$ 不与任何信号重叠。

5.1.7.4 载波屏蔽表

设备应能够支持载波的任意组合。载波屏蔽表定义了数据调制可使用的频段，用于前导、帧控制及载荷数据。电力采集系统宽带载波方案所支持加载有效数据的子载波的个数最小为131个，最大为490个，是针对有用子载波的，屏蔽掉的子载波不算在内。其中0号载波和491~511号载波不可用。载波屏蔽表定义为1维数组，有512个元素，对应512个子载波（编号0到编号511），载波屏蔽表的元素值为1表示对应子载波使用，值为0表示对应子载波不使用。推荐采用的一组子载波是从子载波80到子载波490，全部使用，没有屏蔽中间某个或者某几个子载波，扩展一组子载波从子载波100到子载波230，全部使用，没有屏蔽中间某个或者某几个子载波。屏蔽掉的子载波上不发送任何信号，节省功率，避免对其它通信系统的干扰。具体调制方式和码率等由分集拷贝模式决定。

5.1.7.5 通信频段

宽带载波通信支持的频段如表21 所示。

表21 通信频段

| 频段 | 频段范围 (MHz) | 载波起始编号 | 载波截止编号 |
|-----|-------------|--------|--------|
| 0 | 1.953~11.96 | 80 | 490 |
| 1 | 2.441~5.615 | 100 | 230 |
| 2~4 | 保留 | -- | -- |

5.1.7.6 分集拷贝模式

载荷数据支持的分集拷贝模式如表22 、表23 所示。分集拷贝支持基本模式以及扩展模式。基本模式，如表22 所示。分集拷贝模式表示这一帧的载荷中的编码码率、调制方式、分集拷贝次数、物理

块数、物理块类型。分集拷贝模式编号在帧控制帧中携带，接收机解出帧控制后就可以得到解载所需信息。

表22 分集拷贝基本模式

| 模式编号 | 分集拷贝模式名称 | 物理块类型(字节) | 分集次数 | 调制方式 | 码率 | 物理块数 | 推荐使用 |
|---------------------------------------|----------|-----------|------|------|-----|------|------|
| 0 | 模式 0 | 520 | 4 | QPSK | 1/2 | 1~4 | √ |
| 1 | 模式 1 | 520 | 2 | QPSK | 1/2 | 1~4 | √ |
| 2 | 模式 2 | 136 | 5 | QPSK | 1/2 | 1~4 | |
| 3 | 模式 3 | 136 | 11 | BPSK | 1/2 | 1~4 | |
| 4 | 模式 4 | 136 | 7 | BPSK | 1/2 | 1~4 | √ |
| 5 | 模式 5 | 136 | 11 | QPSK | 1/2 | 1~4 | |
| 6 | 模式 6 | 136 | 7 | QPSK | 1/2 | 1~4 | √ |
| 7 | 模式 7 | 520 | 7 | BPSK | 1/2 | 1~3 | |
| 8 | 模式 8 | 520 | 4 | BPSK | 1/2 | 1~4 | |
| 9 | 模式 9 | 520 | 7 | QPSK | 1/2 | 1~4 | √ |
| 10 | 模式 10 | 520 | 2 | BPSK | 1/2 | 1~4 | √ |
| 11 | 模式 11 | 264 | 7 | QPSK | 1/2 | 1~4 | |
| 12 | 模式 12 | 264 | 7 | BPSK | 1/2 | 1~4 | √ |
| 13 | 模式 13 | 72 | 7 | QPSK | 1/2 | 1~4 | |
| 14 | 模式 14 | 72 | 7 | BPSK | 1/2 | 1~4 | √ |
| 注1: 此表中物理块以全频段为例计算而得。 | | | | | | | |
| 注2: 子频段物理块数应不大于4, 且同时保证帧控制域符号数不超过511。 | | | | | | | |

分集拷贝还支持扩展模式, 如表23 所示, 分集拷贝模式配置为15, 分集拷贝扩展模式。

表23 分集拷贝扩展模式

| 扩展模式编号 | 名称 | 物理块类型(字节) | 分集次数 | 调制方式 | 码率 | 物理块数 |
|--------|---------|-----------|------|-------|-------|------|
| 1 | 扩展模式 1 | 520 | 1 | 16QAM | 16/18 | 1~4 |
| 2 | 扩展模式 2 | 520 | 2 | 16QAM | 16/18 | 1~4 |
| 3 | 扩展模式 3 | 520 | 1 | 16QAM | 1/2 | 1~4 |
| 4 | 扩展模式 4 | 520 | 2 | 16QAM | 1/2 | 1~4 |
| 5 | 扩展模式 5 | 520 | 4 | 16QAM | 1/2 | 1~4 |
| 6 | 扩展模式 6 | 520 | 1 | QPSK | 1/2 | 1~4 |
| 10 | 扩展模式 10 | 136 | 5 | 16QAM | 1/2 | 1~4 |
| 11 | 扩展模式 11 | 136 | 2 | QPSK | 1/2 | 1~4 |
| 12 | 扩展模式 12 | 136 | 2 | 16QAM | 1/2 | 1~4 |
| 13 | 扩展模式 13 | 136 | 1 | QPSK | 1/2 | 1~4 |
| 14 | 扩展模式 14 | 136 | 1 | 16QAM | 1/2 | 1~4 |

5.1.7.7 相对功率

PPDU中各组成部分子载波平均能量级别如表24 所示。

表24 帧控制和载荷数据相对功率表

| 类型 | 相对功率 (dB) |
|------|-----------|
| 前导 | 3 |
| 帧控制 | 3 |
| 载荷数据 | 2.2 |

5.2 物理层性能要求

5.2.1 发射功率谱密度

符合本部分的设备的发送功率谱密度参照在工作频带内不大于-45dBm/Hz，工作频带外不大于-75dBm/Hz。

5.2.2 抗衰减性能

符合本部分的设备的抗衰减性能参照在隔离电源、屏蔽环境、误包率小于10%（业务报文包长<100字节）、带内发射功率谱密度为-45dBm/Hz的条件下，其抗衰减性能应不小于85dB。

5.3 物理层服务

5.3.1 物理层服务参考模型

物理层由接收/发送机获取物理层常量（包括物理层服务信息、可维可测信息等），通过物理层服务管理与数据链路层进行交互。物理层服务模型如图12 所示。

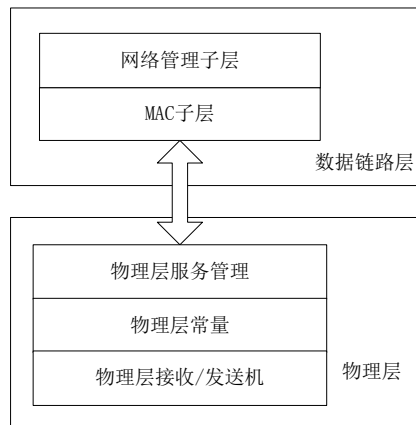


图12 物理层服务模型

5.3.2 物理层基本服务

5.3.2.1 发射机信号开始发送状态原语

在发射端发送数据时域第一个点发送时，将状态上报给MAC层。

表25 发射机信号开始发送状态原语

| 名称 | 类型 | 有效范围 | 描述 |
|------|----|-------|---|
| 发送状态 | 布尔 | 0 或 1 | 当前发射机是否开始进行数据发送： 1 表示开始发送第一点数据 0 表示其他状态 |

5.3.2.2 发射机信号发送完成状态原语

在发射端数据发送完成时，将状态上报给MAC层。

表26 发射机信号发送完成状态原语

| 名称 | 类型 | 有效范围 | 描述 |
|--------|----|-------|--|
| 发送完成标志 | 布尔 | 0 或 1 | 当前发射机是否完成数据发送： 1 表示完成数据发送 0 表示其他状态 |

5.3.2.3 接收机信号接收开始状态原语

当接收机检测到前导时，将状态上报给MAC层。

表27 接收机信号接收开始状态原语

| 名称 | 类型 | 有效范围 | 描述 |
|--------|----|-------|---|
| 检测信号标志 | 布尔 | 0 或 1 | 当前接收机是否接收到信号： 1 表示接收机检测到前导 0 表示其他状态 |

5.3.2.4 接收机帧控制接收完成原语

当接收机完成帧控制接收后，将帧控制译码状态及帧控制报文上报给MAC层。

表28 接收机帧控制接收完成原语

| 名称 | 类型 | 有效范围 | 描述 |
|---------|----|-------|--------------------------------|
| 帧控制完成标志 | 布尔 | 0 或 1 | 1 表示帧控制报文 CRC 校验正确 0 表示其他状态 |
| 帧控制报文 | 字节 | -- | 帧控制内容 |

5.3.2.5 接收机载荷数据接收完成原语

当接收机完成载荷数据接收后，将状态及载荷数据报文上报给MAC层。

表29 接收机载荷数据接收完成原语

| 名称 | 类型 | 有效范围 | 描述 |
|------------|----|-------|-------------------------------|
| 载荷数据接收完成标志 | 布尔 | 0 或 1 | 1 表示载荷数据 CRC 校验正确 0 表示其他状态 |
| 载荷数据 | 字节 | -- | 载荷数据内容，不同长度的载荷数据上报数据大小不同。 |

5.3.2.6 噪声功率原语

统计网络空闲或静默时的噪声功率，上报给MAC层。

表30 发射机信号开始发送状态原语

| 名称 | 类型 | 有效范围 | 描述 |
|------|------|-------|------|
| 噪声功率 | 1 字节 | 0~255 | 噪声功率 |

5.3.2.7 信号传输衰减原语

获取信号在两个站点间传输过程的信道衰减，上报给MAC层。

表31 发射机信号开始发送状态原语

| 名称 | 类型 | 有效范围 | 描述 |
|------|--------|------|-------------|
| 信号衰减 | 512 字节 | -- | 每个载波的信号能量衰减 |

5.3.2.8 信噪比/平均信噪比原语

通过前导序列在频域上计算载波上信号与噪声功率之比，可以得到每个可用载波上的信噪比（SNR），并计算出平均信噪比，同时上报。

表32 发射机信号开始发送状态原语

| 名称 | 类型 | 有效范围 | 描述 |
|----------|--------|-----------|----------------|
| 平均信噪比 | 1 字节 | -31 ~ +31 | 通信使用载波范围的平均信噪比 |
| 每个载波的信噪比 | 512 字节 | -- | 每个载波的信噪比 |

5.3.2.9 时钟偏差估计结果原语

在站点未入网状态下，通过物理层时钟偏差估计；在站点已入网状态下，通过物理层网络时钟，估计站点与网络时钟的偏差。

表33 发射机信号开始发送状态原语

| 名称 | 类型 | 有效范围 | 描述 |
|-------------|------|-----------|-------------|
| 物理层时钟偏差估计结果 | 2 字节 | -200~+200 | 物理层时钟偏差估计结果 |

低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范

第 4-1 部分：物理层通信协议

编 制 说 明

目 次

| | |
|--------------------|----|
| 1 编制背景 | 39 |
| 2 编制主要原则 | 39 |
| 3 与其他标准文件的关系 | 39 |
| 4 主要工作过程 | 39 |
| 5 标准结构和内容 | 40 |
| 6 条文说明 | 40 |

1 编制背景

本部分依据《关于下达 2014 年度国家电网公司技术标准制（修）订计划的通知》（国家电网科〔2014〕64 号）文的要求编写。

通过制定《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范》系列标准，将提升用电信息采集系统管理的规范化、标准化水平，实现宽带载波通信模块之间的互联互通，提升用电信息采集系统本地信道的有效性及其可靠性，满足日益增长的新型电力业务需求，体现智能电网“信息化、自动化、互动化”的建设要求，提高宽带载波通信模块的使用寿命，促进宽带载波通信模块质量提升，推动用电信息采集工作健康有序地发展。

2 编制主要原则

本标准根据以下原则编制：

- a) 坚持先进性与实用性相结合、统一性与灵活性相结合、可靠性与经济性相结合的原则，以标准化为引领，服务国民经济科学发展。
- b) 采用分散与集中讨论的形式，充分了解宽带载波通信建设现状，明确系统及终端功能需求，建立采集系统功能模型和数据模型，研究新的需求形势下不同应用场景和配电网环境对宽带载波通信模块的使用要求，体现研究的实用性和先进性。
- c) 认真研究国内外现行相关的国际标准、国家标准、行业标准、企业标准，达到相关技术标准的协调统一，并考虑系统和设备的扩展性、兼容性。
- d) 坚持集中人才资源优势，吸收宽带载波通信先进的发展理念、创新技术和成果，协调宽带载波通信芯片设计商、方案设计商、系统集成商等各方技术资源，促进利益相关方意见的统一。

标准项目计划名称为“低压电力线宽带载波通信技术规范”，因标准涉及的技术内容、层级较为复杂，经编写组与专家商定，更名为“低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范 第 4—1 部分：物理层通信协议”。

3 与其他标准文件的关系

本部分与相关技术领域的国家现行法律、法规和政策保持一致

本部分不涉及专利、软件著作权等知识产权使用问题。

4 主要工作过程

2013 年 12 月，完成低压电力线宽带载波通信技术可行性分析。

2014 年 3 月，成立标准起草工作组，召开工作组第一次会议，启动标准制定工作，并撰写标准大纲。

2014 年 8 月，召开工作组第二次会议，组织 30 余名技术专家对宽带载波通信技术方案、标准框架进行了论证，分组开展通信协议、技术要求及检验方法等技术标准编制工作。

2014 年 10 月，工作组对华为海思公司提交的标准初稿进行了讨论，提出标准修改建议。

2014 年 11 月至 12 月，工作组内部循环征求意见，对讨论稿进行了 3 次修改，完善相关内容。

2015 年 1 月至 2 月，完成征求意见稿（第一稿）和条文说明，向公司系统及社会广泛征求意见。

2015 年 2 月至 3 月，启动实验室互联互通测试，对各厂商提供的 FPGA 板级互操作性测试。

2015 年 7 月至 2016 年 3 月，召开工作组第三次至第七次会议，对征求意见稿反馈的问题及无法互操作的问题进行循环讨论，优化物理层设计方案。

2016 年 5 月，针对会议无法确定工作频段、拷贝次数等内容，启动实验室对比测试，在白噪声、

脉冲噪声、单频噪声、频率偏移等多个场景下，对各厂商提供的 FPGA 进行对比验证。

2016 年 6 月，召开工作组第八次会议，针对对比测试结果进行分析讨论，形成统一的帧控制符号个数及调制索引表方案。

2016 年 8 月，召开工作组第九次会议，对交织偏移，前导、帧控制及载荷相位表，物理块大小形成一致意见。

2016 年 9 月，完成征求意见稿（第二稿），向公司系统广泛征求意见。中国电力科学研究院组织前往国家无线电监测中心协商频谱使用方案，确认标准中应预留陷波机制。

2016 年 10 月，完成送审稿，国家电网公司电力营销技术标准专业工作组组织召开标准审查会，审查结论为：审查组经协调一致，同意修改后报批。建议标准起草组按照总则、技术要求、检验方法、物理层通信协议、数据链路层通信协议、应用层通信协议，将标准分为 6 个部分。

2016 年 11 月，根据标准审查意见，修改标准，完成报批稿。

5 标准结构和内容

Q/GDW 11612—2016《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范》分为下列 6 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：技术要求；
- 第 3 部分：检验方法；
- 第 4-1 部分：物理层通信协议；
- 第 4-2 部分：数据链路层通信协议；
- 第 4-3 部分：应用层通信协议。

Q/GDW 11612—2016 的第 1 部分规定了低压电力线宽带载波通信的网络拓扑和基本功能；第 2 部分规定了低压电力线宽带载波通信的结构、技术要求及检验规则；第 3 部分规定了低压电力线宽带载波通信的检验方法；第 4-1 部分给出了低压电力线宽带载波通信的物理层一般要求、物理层操作范围及服务；第 4-2 部分给出了低压电力线宽带载波通信的数据链路层的帧格式、MAC 子层、网络管理子层及服务；第 4-3 部分给出了低压电力线宽带载波通信的应用层的报文结构。第 1 部分、第 2 部分、第 3 部分侧重于低压电力线宽带载波通信的功能要求，第 4-1 部分、第 4-2 部分、第 4-3 部分是低压电力线宽带载波通信互联互通的支撑。这 6 个部分标准可分别独立使用。

本部分是 Q/GDW 11612—2016 的第 4-1 部分。

本部分按照《国家电网公司技术标准管理办法》（国家电网企管〔2014〕455 号文）的要求编写。

本部分的主要结构和内容如下：

本部分主题章有 1 章。本部分兼顾现有用电信息采集系统的实际状况，本着先进性和实用性、操作性和可扩展性等原则，给出了低压电力线宽带载波通信的帧控制前向纠错码、载荷数据前向纠错码、星座点映射、符号生成等环节的具体实施步骤，同时提出了发射功率谱密度和抗衰减性能的物理层性能要求，最后提出了物理层的参考模型和基本服务，可指导低压电力线宽带载波通信产品的研发。

6 条文说明

无