

广东电网有限责任公司
计量自动化系统宽带载波通信规约
(2016版)

2016-02

前 言

按照中国南方电网有限责任公司实现电能计量“标准化、电子化、自动化、智能化”的战略目标要求，参考国家和行业标准，结合目前和未来的应用需求，对 2008 年颁布的《营销自动化系列标准》进行了修订，形成《计量自动化终端系列标准》。

本通信规约是南方电网计量自动化终端系列标准的补充，进一步细化了《中国南方电网有限责任公司计量自动化终端外形结构规范》、《中国南方电网有限责任公司负荷管理终端技术规范》、《中国南方电网有限责任公司配变监测计量终端技术规范》、《中国南方电网有限责任公司低压电力用户集中抄表系统集中器技术规范》等技术规范中关于宽带载波通信规约的技术要求，规定了计量自动化系统宽带载波通信网络的物理层、数据链路层和应用层技术，实现计量自动化系统本地通信模块的互联互通。

本标准由广东电网有限责任公司市场营销部归口。

本标准由广东电网有限责任公司市场营销部提出并负责解释。

本标准起草单位：广东电网有限责任公司电力科学研究院。

本标准主要起草人：张思建、张捷、党三磊、林国营、化振谦、吴敏、陈蔚文、李健、刘健。

目 录

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 关联 Association	1
3.2 协议数据单元 Protocol Data Unit	1
3.3 宽带载波通信网络 Broadband Carrier Communication Network	1
3.4 中央协调器 Central Coordinator	1
3.5 站点 Station	1
3.6 代理协调器 Proxy Coordinator	2
3.7 信标 Beacon	2
3.8 信标周期 Beacon Period	2
3.9 代理主路径 The Preferred Path via Proxy	2
3.10 代理变更 Proxy Switching	2
3.11 业务报文 Service Datagram	2
3.12 低优先级并行抄表 Parallel Meters Reading	2
3.13 路由 Routing	2
3.14 绑定载波侦听多址接入 Bind CSMA	2
3.15 心跳检测 Heartbeats Detection	2
3.16 管理消息 Management Message	2
3.17 发现列表 Discover Lists	2
3.18 白名单 White Lists	2
3.19 多网络共存 Coexistence of Multiple Networks	3
3.20 短网络标识符 Short Network Identifier	3
3.21 多网络协调 Coordination of Multiple Networks	3
3.22 短网络标识符协调 Coordination of SNID	3
3.23 带宽协调 Coordination of Bandwidth	3
4 缩略语	3
5 总体概述	4
5.1 概述	4
5.2 设备角色	5
5.3 网络拓扑	5
5.4 网络安全	6
5.5 协议栈结构	6
5.6 字节序	7
5.7 校验算法	7
5.8 其他约束	8
6 物理层	8
6.1 物理层一般要求和定义	8
6.2 频率操作范围	29
6.3 物理层服务	29

7 数据链路层	31
7.1 帧格式	31
7.2 MAC 子层功能描述	77
7.3 网络管理子层功能描述	91
7.4 数据链路层服务	103
8 应用层	111
8.1 概述	111
8.2 通用报文结构	111
8.3 确认/否认	114
8.4 数据转发业务	114
8.5 命令业务	116
8.6 主动上报	122

计量自动化系统宽带载波通信规约

1 范围

本标准规定了计量自动化系统宽带载波通信网络的物理层、数据链路层和应用层技术。适用于采用宽带载波通信的计量自动化系统本地通信单元之间的数据交换。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 2312-1980 信息交换用汉字编码字符集基本集

GB 18030-2000 信息技术信息交换用汉字编码字符集基本集的扩充

GB/T 18657.1-2002 远动设备及系统第5部分传输规约第1篇传输帧格式

GB/T 18657.2-2002 远动设备及系统第5部分传输规约第2篇链路传输规则

GB/T 18657.3-2002 远动设备及系统第5部分传输规约第3篇应用数据的一般结构

DL/T 645-2007 多功能电能表通信协议

DL/T 645-1997 多功能电能表通信协议

Q/CSG 11109004-2013 中国南方电网有限责任公司计量自动化终端上行通信规约

3 术语和定义

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

宽带载波通信网络是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 信标 Beacon

中央协调器、代理和站点发送的携带有网络管理和维护信息的、用于特定目的的管理消息。中央协调器发送的信标叫中央信标，代理发送的信标叫代理信标，站点发送的信标叫发现信标。

3.8 信标周期 Beacon Period

中央协调器根据网络规模确定的周期性发送中央信标的时间间隔。

3.9 代理主路径 The Preferred Path via Proxy

站点与代理之间形成的路径。

3.10 代理变更 Proxy Switching

站点根据网络通信情况选择不同站点作为代理的过程。

3.11 业务报文 Service Datagram

应用层产生的、用于获取抄表数据的报文。

3.12 低优先级并行抄表 Parallel Meters Reading

集中器连续向多个站点发送低优先级并行抄表命令，多个站点收到命令后向集中器返回各自抄表内容的过程。

3.13 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。

3.14 绑定载波侦听多址接入 Bind CSMA

信标周期中可以分配给某个特定优先级或某个特定种类的业务使用的CSMA时隙，当有多个站点都满足使用绑定CSMA时隙的条件时，多个站点之间进一步通过CSMA竞争机制获取绑定CSMA的使用权。

3.15 心跳检测 Heartbeats Detection

站点周期性发送心跳报文，其它站点以及中央协调器据此判断此站点的在线或离线状态的过程。

3.16 管理消息 Management Message

用于完成宽带载波通信网络组网、网络维护等功能而定义的报文。

3.17 发现列表 Discover Lists

通信网络中所有节点周期性广播发送的、携带有邻居站点列表信息的管理消息。

3.18 白名单 White Lists

通信网络中设置的允许接入该网络的终端设备的 MAC 地址列表。

3.19 多网络共存 Coexistence of Multiple Networks

多个中央协调器距离较近，信号相互干扰的场景。

3.20 短网络标识符 Short Network Identifier

短网络标识符是用于标识一个宽带载波通信网络的唯一身份识别号。

3.21 多网络协调 Coordination of Multiple Networks

在多网络共存场景下，各个网络的中央协调器进行短网络标识符和带宽的协调，保证多个网络同时正常工作。

3.22 短网络标识符协调 Coordination of SNID

多网络共存场景下，多个网络的短网络标识符存在冲突，各个网络的中央协调器之间通过协商保证短网络标识符不冲突的过程。

3.23 带宽协调 Coordination of Bandwidth

多网络共存场景下，中央协调器之间进行带宽协调的过程。

4 缩略语

以下缩略语适用于本文件。

AGC: 自动增益控制 (Automatic Gain Control)

APDU: 应用协议数据单元 (Application Protocol Data Unit)

ATS: 到达时间戳 (Arrival Time Stamp)

BCD: 二进制码十进制数 (Binary Coded Decimal)

BIFS: 突发帧间隔 (Burst Inter Frame Space)

BPC: 信标周期计数 (Beacon Period Count)

BPCS: 信标帧载荷校验序列 (Beacon Payload Check Sequence)

BT: 信标类型 (Beacon Type)

BTT: 信标传输时间 (Beacon Transmission Time)

BTS: 信标时间戳 (Beacon Time Stamp)

CCO: 中央协调器 (Central Coordinator)

CIFS: 竞争帧间隔 (Contention Inter Frame Space)

CRC: 循环冗余校验 (Cyclic Redundancy Check)

CSMA-CA: 带冲突避免的载波侦听多址 (Carrier sense multiple access with collision avoidance)

DT: 定界符类型 (Delimiter Type)

EIFS: 扩展帧间隔 (Extension Inter Frame Space)

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)
LID: 链路标识符 (Link Identifier)
LSB: 最低位 (Least Significant Bit)
MAC: 媒介访问控制 (Media Access Control)
MME: 管理消息表项 (Management Message Entry)
MPDU: MAC 层协议数据单元 (MAC Protocol Data Unit)
MSDU: MAC 层服务数据单元 (MAC Service Data Unit)
NTB: 网络基准时间 (Network Time Base)
ODA: 原始目的地址 (Original Destination Address)
ODTEI: 原始目的终端设备标识 (Original Destination Terminal Equipment Identifier)
OFDM: 正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
OSA: 原始源地址 (Original Source Address)
OSTEI: 原始源终端设备标识 (Original Source Terminal Equipment Identifier)
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)
ROBO: 鲁棒正交频分复用 (Robust OFDM)
RSVD: 保留 (Reserved)
SACK: 选择确认 (Selective Acknowledgement)
SNID: 短网络标识符 (Short Network Identifier)
SNR: 信噪比 (Signalto-Noise Ratio)
SOF: 帧起始 (Start of Frame)
SSN: 分段序列号 (Segment Sequence Number)
STA: 站点 (Station)
TDMA: 时分多址 (Time Division Multiple Access)
TEI: 终端设备标识 (Terminal Equipment Identifier)
TMI: 载波映射表索引 (Tone Map Index)
VCS: 虚拟载波侦听 (Virtual Carrier Sensing)
VF: 可变区域 (Variant Field)
VLAN: 虚拟局域网 (Virtual Local Area Network)

5 总体概述

5.1 概述

本标准明确了设备角色、网络拓扑、网络安全以及低压电力线宽带载波通信协议的协议栈结构。

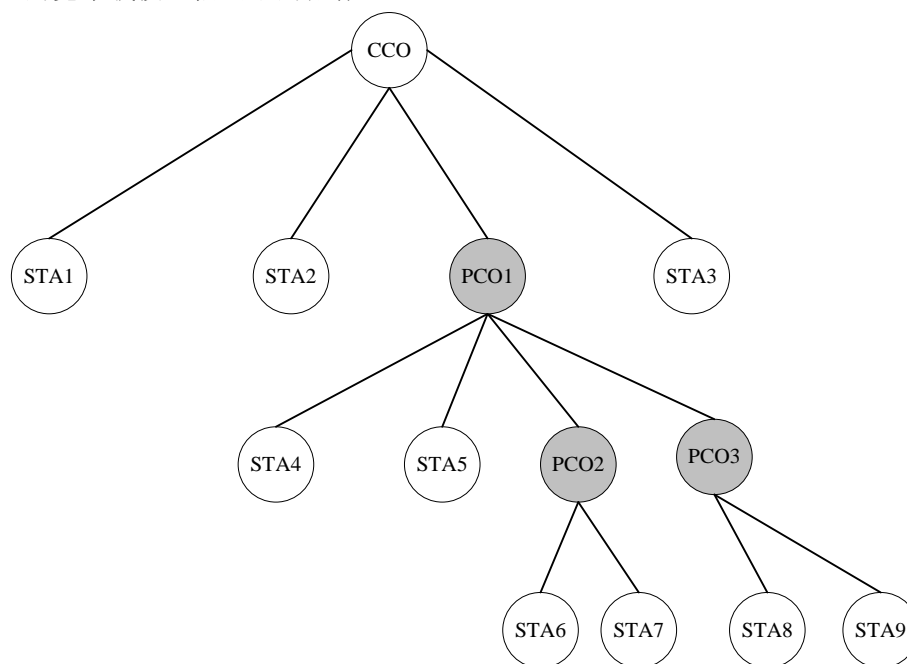
5.2 设备角色

宽带载波通信网络中，定义了三种设备角色，CCO、PCO以及STA。CCO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。

STA是安装在电能表、采集器的通信单元设备角色。STA需要实现PCO和STA两种角色功能。

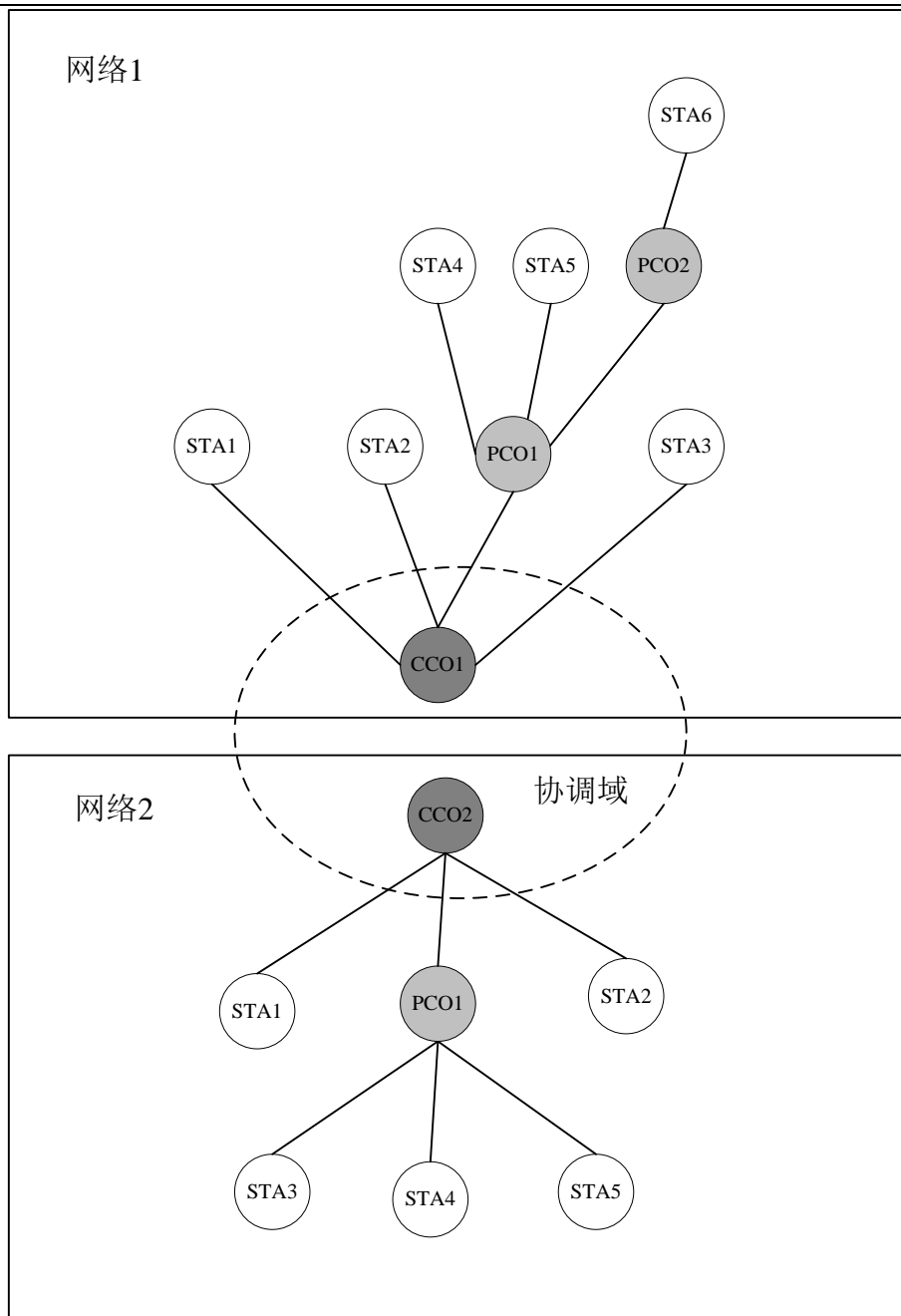
5.3 网络拓扑

宽带载波通信网络一般会形成以CCO为中心、以PCO为中继代理，连接所有STA的多层级树形网络，如0所示为典型的宽带载波通信网络的拓扑。



宽带载波通信网络拓扑图

在多网络共存场景下，多个网络形成如0所示的宽带载波通信网络拓扑。



宽带载波通信多网络拓扑图

5.4 网络安全

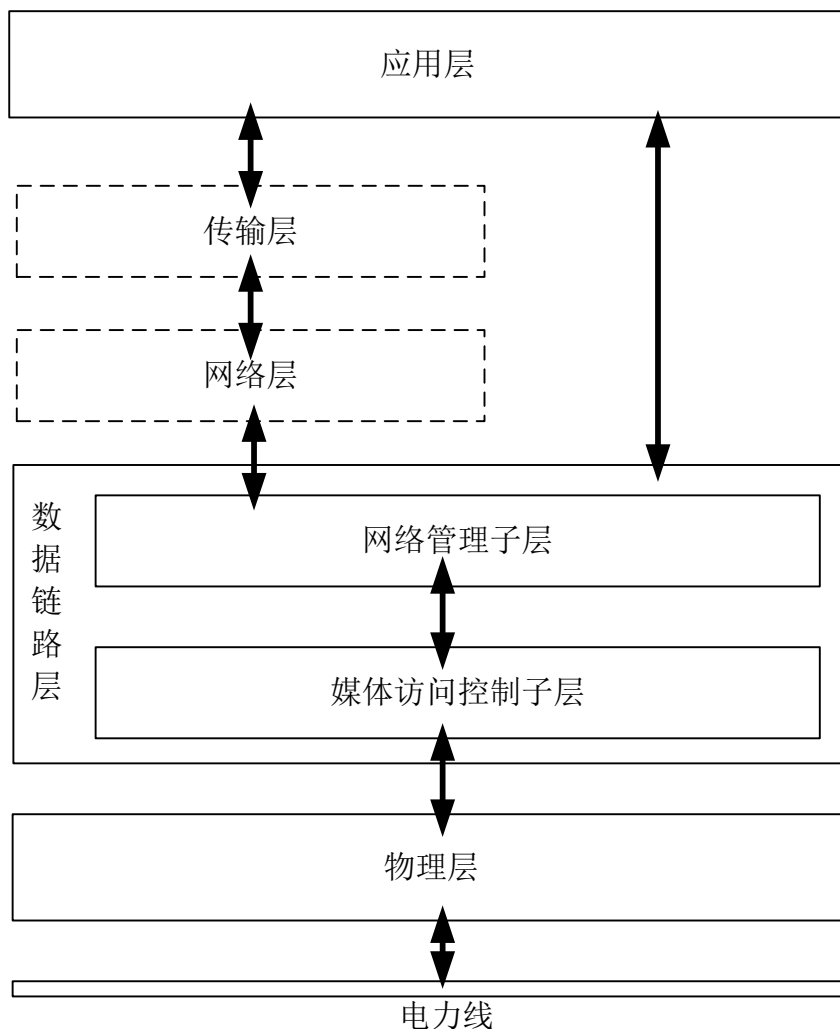
宽带载波通信网络中，支持基于白名单的STA安全认证功能。白名单存储在集中器本地通信单元中，当STA请求接入网络时，CCO根据白名单进行匹配认证，通过的STA允许接入该宽带载波通信网络，否则拒绝请求入网。

本协议暂不采用安全加密机制。

5.5 协议栈结构

宽带载波通信网络协议栈，定义了物理层、数据链路层、网络层、传输层以及应用层共5层，基本结构如0所示。其中网络层与传输层直接借鉴OSI七层模型中的网络层和传输层，数据链路层直接为应用层提供传输服务，也可扩展与标准TCP/IP进行对接以实现标准IP网络通信。

本标准描述物理层、数据链路层以及应用层定义。其中数据链路层分为媒体访问控制（MAC）子层和网络管理子层。



宽带载波通信网络协议栈层级划分图

各层次的功能定义如下：

应用层：实现本地通信单元与通信单元之间业务数据交互，通过数据链路层完成数据传输。

数据链路层：分为网络管理子层和媒体访问控制子层（即 MAC 子层）。网络管理子层主要实现宽带载波通信网络的组网、网络维护、路由管理及应用层报文的汇聚和分发。MAC 子层主要通过 CSMA/CA 和 TDMA 两种信道访问机制竞争物理信道，实现数据报文的可靠传输。

物理层：主要实现将 MAC 层数据报文编码调制为宽带载波信号，发送到电力线媒介上；或者接收电力线媒介的宽带载波信号解调为数据报文，交予 MAC 层处理。

5.6 字节序

本标准的所有报文格式的描述，缺省都按照主机字节序（小端）实现，具体需要参照字段定义。

5.7 校验算法

本标准使用两种校验算法，分别是24比特的循环冗余校验和32比特的循环冗余校验。

其中，24比特的循环冗余校验算法的实现约束如下所示：

a) 生成多项式： $c(x) = x^{24} + x^{23} + x^6 + x^5 + x + 1$ ；

b) 初始值为24'h0；

c) 处理方法：数据每次输入1比特，顺序为从低字节到高字节，从低比特到高比特。

32比特的循环冗余校验算法遵循IEEE 802.3中CRC-32标准。

5.8 其他约束

本标准的所有保留字段，无特殊说明，均缺省置0。

6 物理层

6.1 物理层一般要求和定义

6.1.1 概述

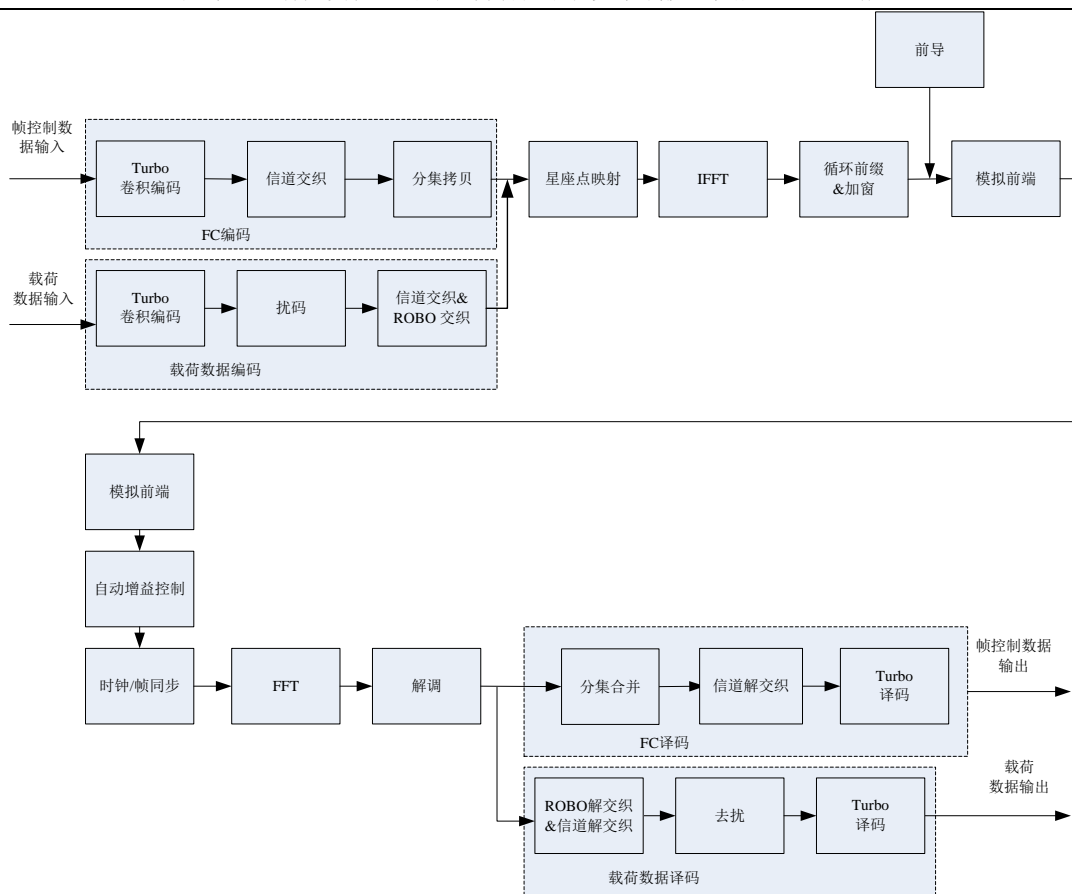
本章定义了基于FFT的OFDM物理层技术。

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，以OFDM调制方式通过将信号发送到电力线；

接收端：从电力线检测到信号后，做相应的反向处理，最终将电力线上的载波信号还原为数据，送到数据链路层。

6.1.2 物理层整体架构

物理层整体架构如0所示。



物理层整体架构框图

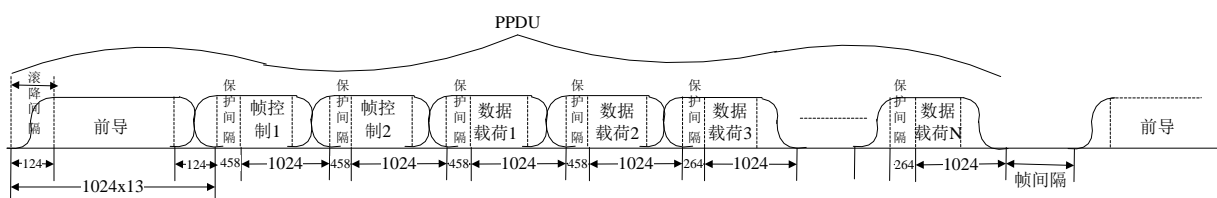
在发射端，物理层接收来自MAC层的输入，采用两个分开的链路分别处理帧控制、载荷数据。帧控制数据通过Turbo编码后，进行信道交织和分集拷贝；载荷数据经过Turbo编码、加扰以及信道交织和ROBO交织后，和帧控制数据一起进入星座点映射。数据经过IFFT转换到时域信号后，添加循环前缀和前导，并进行加窗处理，最终生成的OFDM的PPDU信号进入模拟前端。

在接收端，从AFE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1024点FFT后，进入解码模块，最终恢复出原始的数据。

6.1.3 物理层数据结构

6.1.3.1 物理层帧结构

物理数据单元帧结构如0所示。



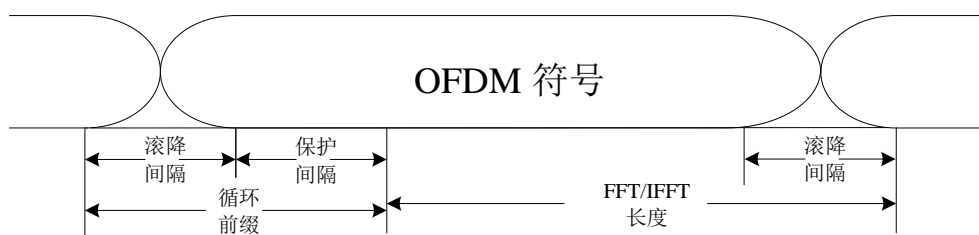
帧结构图

宽带载波通信发送的PPDU帧结构如上图所示。PPDU 由前导、帧控制和载荷数据组成。其中，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个符号之后的保护间隔。

6.1.3.2 物理层符号

物理层OFDM符号，时域上基于25MHz的时钟采样率。数据经过1024-IFFT后，加入循环前缀，循环前缀由滚降间隔和保护间隔组成，形成OFDM符号。OFDM符号时序如0所示，OFDM符号特性如0所示。



OFDM 符号时序

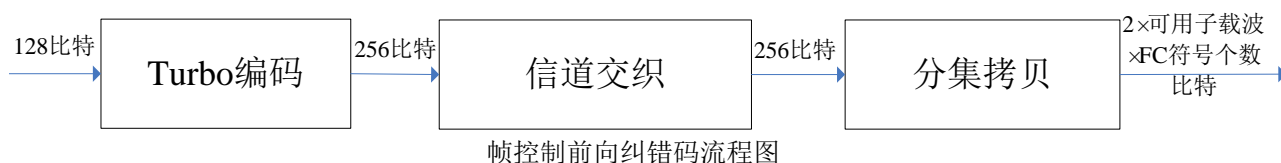
OFDM 符号特性

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
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	10.8

6.1.4 帧控制前向纠错码

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0所示。



帧控制前向纠错码流程图

6.1.4.1 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6.1.5.1。

6.1.4.2 帧控制信道交织

帧控制的信道交织单元用来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6.1.5.3。

6.1.4.3 帧控制分集拷贝

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。

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2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64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192的偏置拷贝到对应的载波上。详细定义如0：

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	64	192
1	1	129	65	193
2	2	130	66	194
...
c	$c \bmod 256$	$(c+128) \bmod 256$	$(c+64) \bmod 256$	$(c+192) \bmod 256$
...
NumCarriers-1	$(\text{NumCarriers}-1) \bmod 256$	$((\text{NumCarriers}-1) + 128) \bmod 256$	$((\text{NumCarriers}-1) + 64) \bmod 256$	$((\text{NumCarriers}-1) + 192) \bmod 256$

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8个帧控制符号。前两个帧控制的I路和Q路拷贝方式与频段0一致；第三个符号的帧控制，对于I路来说，输入的比特流加上一个32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160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，输入的比特流加上一个224的偏置拷贝到对应的载波上；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16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144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112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240的偏置拷贝到对应的载波上。

6.1.5 载荷数据前向纠错码

载荷数据的前向纠错码由Turbo编码、加扰、信道交织和ROBO交织拷贝组成，其流程如0所示。



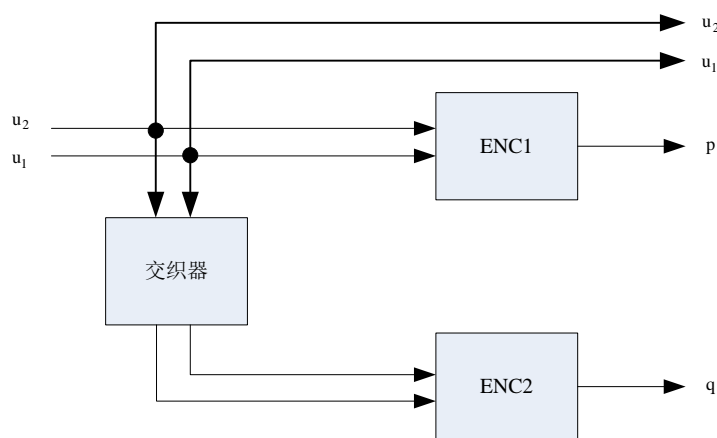
载荷数据前向纠错码流程图

6.1.5.1 载荷数据 Turbo 编码

载荷数据支持PB136和PB520两种模式，支持1/2和16/18两种码率。

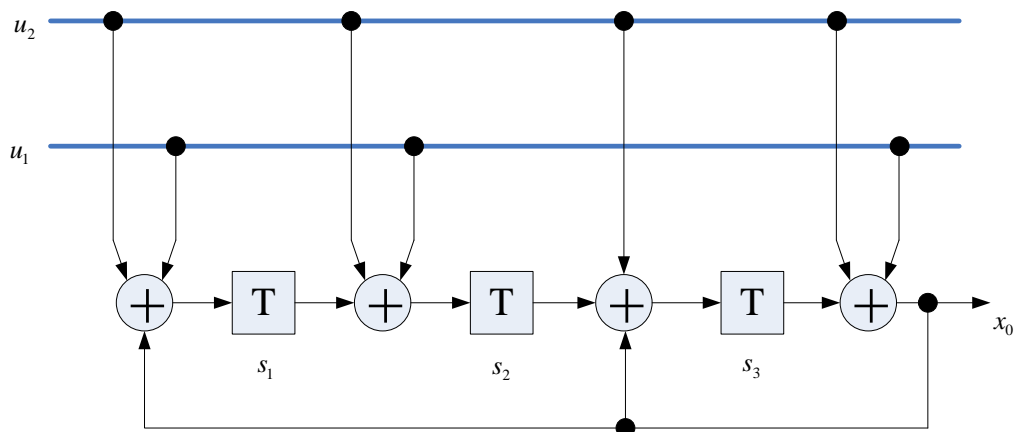
(1) 编码模块

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0所示。



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0确定。



ENC1/ENC2 编码架构

每个成员码编码器的具体算法如下：

步骤1 设置寄存器初始状态 $s_0=[s_{01}, s_{02}, s_{03}]$ ，为 $[0,0,0]$ 。

步骤2 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 $SN=[S_{N1}, S_{N2}, S_{N3}]$ 。

步骤3

定义矩阵M:

PB_Size为520和16时:

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

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 将输入信息比特重新进入分量编码器，它的初始状态 SO' 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。

(2) 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0定义，不同的PB长度，采用不同的参数，有PB16(帧控制)，PB136，PB520三种。

Turbo 交织参数表

PB Size (Bytes 数)	N 值	M 值	双比特的交织长度 L
16	8	8	64
136	34	16	544
520	40	52	2080

首先规定Turbo交织的地址映射 $I(x)$ 定义如下:

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

其中 $S(\square)$ 是一个查找表，见0、0以及0，div表示整除，mod表示模运算。地址映射 $I(x)$ 用于Turbo交织的具体算法如下:

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

其中 $\text{Data}()$ 表示交织器输入， $\text{IntData}()$ 表示交织器输出，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。

PB16 的 S 查找表

x	0	1	2	3	4	5	6	7
S(x)	54	23	61	12	35	2	40	25

PB136 的 S 查找表

x	0	1	2	3	4	5	6	7
S(x)	369	235	338	436	169	200	397	59
x	8	9	10	11	12	13	14	15
S(x)	298	20	265	429	294	466	16	48
x	16	17	18	19	20	21	22	23
S(x)	525	461	187	86	216	387	41	142
x	24	25	26	27	28	29	30	31
S(x)	247	314	79	486	512	103	476	345
x	32	33						
S(x)	4	105						

PB520 的 S 查找表

x	0	1	2	3	4	5	6	7
S(x)	1558	1239	315	1114	437	956	871	790
x	8	9	10	11	12	13	14	15
S(x)	833	1152	147	506	589	388	1584	265
x	16	17	18	19	20	21	22	23
S(x)	981	220	1183	102	1258	1019	1296	737
x	24	25	26	27	28	29	30	31
S(x)	694	1495	612	453	1049	1450	531	47
x	32	33	34	35	36	37	38	39
S(x)	1368	645	166	322	1323	1404	0	881

(3) 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。

信息位从来不会被做打孔处理，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0所示。

码率为 1/2 时的打孔模式

p	1111111111111111
q	1111111111111111

码率为 16/18 时的打孔模式

p	1000000010000000
q	1000000010000000

打孔的具体算法流程：

步骤1 根据码率，设置打孔模式。

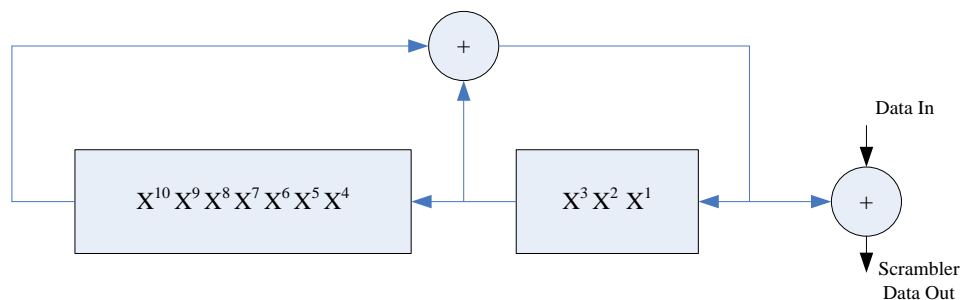
步骤2 根据打孔模式，对Turbo编码比特中的校验比特进行打孔处理，最后将打孔剩下的Turbo编码比特排列输出，先依次输出信息位，再输出校验位。

6.1.5.2 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。

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

在开始处理每个MPDU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0所示。



加扰流程图

6.1.5.3 载荷数据信道交织

Turbo编码产生的数据信息位与校验位与编码前的顺序相同，并且信息位在前，校验位在后（Turbo编码产生的两个校验位是p在前，q在后）。该数据要先进行信道交织，然后作星座点映射。

下面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/4bits，N-K个校验比特会分成4个子块，每个子块的大小为(N-K)/4bits，信道交织的实现分为4步：

(1) 信息位的交织：

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/4bits到Bank1中，第二块K/4bits到Bank2中，第三块K/4bits到Bank3中，第四块K/4bits到Bank4中，可以看作把信息比特存入一个K/4行4列的矩阵，第1列代表Bank1，第2列代表Bank2，第3列代表Bank3，第4列代表Bank4。进行交织时每行的4个比特是同时读出的。从这个矩阵读出数据时，从第0行开始，从第二次开始每次读的时候行地址加上参数StepSize，这样第一轮读的行地址顺序为(0, StepSize, 2*StepSize, ...[K/4]-StepSize)，当读了[K/4]/StepSize行之后，就读到了矩阵的尾部，然后读下一轮的行地址初始化为1，之后每次读的时候行地址加上参数StepSize，当读了[K/4]/StepSize行之后又到了行尾，这样第二轮读的行地址顺序为(1, 1+StepSize, 1+2*StepSize, ...[K/4]-StepSize+1)，然后第三轮的行地址加1为2，依次类推，经过StepSize轮之后全部行都读出完毕。

(2) 校验码交织：

从Turbo编码输出校验比特的第一块(N-K)/4bits到Bank1中，第二块(N-K)/4bits到Bank2中，第三块(N-K)/4bits到Bank3中，第四块(N-K)/4bits到Bank4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Bank1，第2列代表Bank2，第3列代表Bank3，第4列代表Bank4。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, ...((T-StepSize+offset)mod T))，然后第二轮第一行的指针加1，再重复作StepSize-1轮，最后经过一共StepSize轮，每轮读出了T/StepSize行数据，一共读出T行数据。对于16/18码率，与1/2码率不同之处在于，每轮读完不用初始化行指针为上一次初始化值的加1值，而是从开始就持续的读(offset, (offset+StepSize)mod T, (offset+2*StepSize)mod T, ...)，一直到T行读完。

信道交织用到的参数如0定义：

信道交织参数

PB Size	Code Rate	Offset (Parity)	StepSize
16 octets	1/2	16	4
520 octets	1/2	520	16
136 octets	1/2	136	16
520 octets	16/18	60	11

(3) 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4bits的信息比特，然后是4bits校验比特，最后是5个4bits信息比特，重复这一模式。

(4) 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2个半字节调整一次顺序，规则如0所示。

半字节移位

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

上图中b0表示比特来自信息或者校验比特的Bank1，b1表示bit来自信息或者校验比特的Bank2，b2表示比特来自信息或者校验比特的Bank3，b3表示比特来自信息或者校验比特的Bank4。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。

6.1.5.4 载荷数据 ROBO 交织

ROBO交织用于将原始信号进行拷贝和映射。ROBO模式支持基本模式以及另外两类扩展模式。基本模式，如0所示。TMI表示这一帧的载荷中的编码码率，调制方式，ROBO拷贝方式，采用的PB类型，TMI在帧控制帧控制中携带，接收机解出帧控制后就可以得到解载荷所需信息。

ROBO 基本模式

TMI	ROBO 模式名称	PB 类型	Copy 次数	调制方式	码率	PB 数
0	SR_ROBO_0	PB520	4	QPSK	1/2	1
1	HR_ROBO_0	PB520	2	QPSK	1/2	1~4
3	MR_ROBO_1	PB136	11	BPSK	1/2	1
4	MR_ROBO_2	PB136	7	BPSK	1/2	1
5	MR_ROBO_3	PB136	11	QPSK	1/2	1
6	MR_ROBO_4	PB136	7	QPSK	1/2	1
7	SR_ROBO_1	PB520	7	BPSK	1/2	1
8	SR_ROBO_2	PB520	4	BPSK	1/2	1
9	SR_ROBO_3	PB520	7	QPSK	1/2	1

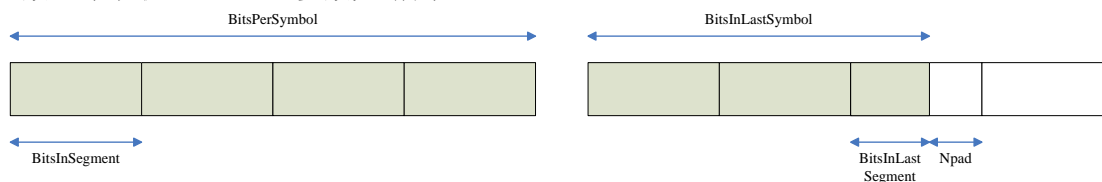
10	HR_ROBO_1	PB520	2	BPSK	1/2	1~4
----	-----------	-------	---	------	-----	-----

ROBO交织还支持扩展模式，如0所示，TMI配置为13，再选TMIExt。

ROBO 扩展模式

TMIExt	名称	PB Size	Copy 次数	调制方式	码率	PB Num
1	Sounding_520_1	520	1	16QAM	16/18	1~4
2	Sounding_520_2	520	2	16QAM	16/18	1~4
3	Sounding_520_3	520	1	16QAM	1/2	1~4
4	Sounding_520_4	520	2	16QAM	1/2	1~4
5	Sounding_520_5	520	4	16QAM	1/2	1~4
6	Sounding_520_6	520	1	QPSK	1/2	1~4
10	Sounding_136_1	136	5	16QAM	1/2	1
11	Sounding_136_2	136	2	QPSK	1/2	1
12	Sounding_136_3	136	2	16QAM	1/2	1
13	Sounding_136_4	136	1	QPSK	1/2	1
14	Sounding_136_5	136	1	16QAM	1/2	1

ROBO交织根据所选的ROBO模式不同，将原始数据拷贝的次数不同。如果Vint(i)表示信道交织器输出的比特，ROBO交织输出的比特序列Vrobo_int(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。ROBO参数如0所示。



ROBO 参数的图示

(1) 变量定义

N_{raw} 是信道交织器输出的数据比特数，包括信息和校验比特。

N_{carrier} 是有效子载波数，根据Broadcast_Tone_Mask表定义的可以传数据的子载波数。

$N_{\text{carrier_robo}}$ 是ROBO模式实际使用的子载波数目。

N_{copies} 是数据的ROBO 拷贝次数，见表157和158。

BPC 是每子载波调制的比特数

(2) 变量运算

$$N_{\text{carrier_robo}} = N_{\text{copies}} \left\lfloor \frac{N_{\text{carrier}}}{N_{\text{copies}}} \right\rfloor$$

$$\text{CarriersInSegment} = \left\lfloor \frac{N_{\text{carrier}}}{N_{\text{copies}}} \right\rfloor$$

$$\text{BitsPerSymbol} = BPC * N_{\text{carrier_robo}}$$

BitsInSegment = BPC * CarriersInSegment

BitsInLastSymbol = $N_{\text{raw}} - \text{BitsPerSymbol} \left\lfloor \frac{N_{\text{raw}}}{\text{BitsPerSymbol}} \right\rfloor$

if BitsInLastSymbol == 0

 BitsInLastSymbol = BitsPerSymbol

 BitsInLastSegment = BitsInSegment

else

BitsInLastSegment = BitsInLastSymbol - BitsInSegment $\left\lfloor \frac{\text{BitsInLastSymbol} - 1}{\text{BitsInSegment}} \right\rfloor$

end

Npad=BitsInSegment-BitsInLastSegment

(3) Cyclicshift参数运算:

if Ncopies==1

 CyclicShift(0)=(0);

elseif Ncopies==2

 if BitsInLastSymbol<=BitsInSegment

 CyclicShift(0, 1)=(0, 0);

 else

 CyclicShift(0, 1)=(0, 1);

 end

elseif Ncopies==4

 if BitsInLastSymbol<=BitsInSegment

 CyclicShift(0, 1, 2, 3)=(0, 0, 0, 0);

 elseif BitsInLastSymbol<=2 * BitsInSegment

 CyclicShift(0, 1, 2, 3)=(0, 0, 1, 1);

 elseif BitsInLastSymbol<=3 * BitsInSegment

 CyclicShift(0, 1, 2, 3)=(0, 0, 0, 0);

 else

 CyclicShift(0, 1, 2, 3)=(0, 1, 2, 3);

 End

elseif Ncopies==5

 if BitsInLastSymbol <= 4 * BitsInSegment

 CyclicShift(0, 1, 2, 3, 4)=(0, 0, 0, 0, 0);

 else

 CyclicShift(0, 1, 2, 3, 4)=(0, 1, 2, 3, 4);

 end

end

elseif Ncopies==7

 if BitsInLastSymbol <= 6 * BitsInSegment

 CyclicShift(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6)=(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0);

 else

```

CyclicShift(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6)=(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6);
end
end
elseif Ncopies==11
    if BitsInLastSymbol <= 10 BitsInSegment
        CyclicShift(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)=(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0);
    else
        CyclicShift(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)=(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10);
    end
end
end
(d) ROBO映射
for k=0: Ncopies-1
    if CyclicShift(k)==0
        for i=1:Nraw
            Vrobo_int(i+k(Nraw+Npad))=Vint(i)
        end
        for i=1:Npad
            Vrobo_int(Nraw+i+k(Nraw+Npad))=Vint(i)
        end
    end
    if CyclicShift(k)>0
        NumberBitsShifted=(CyclicShift(k)-1) BitsInSegment+BitsInLastSegment
        for i=1:NumberBitsShifted
            Vrobo_int(i+k(Nraw+Npad))=Vint(Nraw-NumberBitsShifted+i)
        end
        for i=1:Npad
            Vrobo_int(i+ NumberBitsShifted +k(Nraw+Npad))=Vint(i)
        end
        for i=1:Nraw-NumberBitsShifted
            Vrobo_int(i+NumberBitsShifted+Npad+k(Nraw+Npad))=Vint(i)
        end
    end
end
end

```

6.1.6 星座点映射

6.1.6.1 映射方式

映射功能对于帧控制和载荷数据采用了不同的方式，其中帧控制采用QPSK进行映射；此外，载荷数据方式作为可扩展方式可支持BPSK、QPSK进行调制。对于帧控制和载荷数据信息在每个载波调制信号上，不同调制方式能承载的比特数如0所示。

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	扩展模式
	2	QPSK	扩展模式

6.1.6.2 星座点映射表

每种映射方式对应的比特数如0所示。其中，x0为最低比特，x1为高比特。星座图映射模块输入比特流中最先输入的比特分配给x0，（然后顺序才是x1）。

星座点映射表

Mapped Value	QPSK	BPSK
	(x1) (x0)	(x0) (---)
+1	1	1
-1	0	0

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

6.1.6.3 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0所示。实际的相位为对应每个载波的相角参考值乘以 $\pi/4$ 。

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	4	384	9.375000	2
1	0.024414	0	129	3.149414	5	257	6.274414	3	385	9.399414	7
2	0.048828	0	130	3.173828	4	258	6.298828	2	386	9.423828	5
3	0.073242	0	131	3.198242	4	259	6.323242	0	387	9.448242	3
4	0.097656	0	132	3.222656	4	260	6.347656	7	388	9.472656	1
5	0.122070	0	133	3.247070	3	261	6.372070	6	389	9.497070	7
6	0.146484	0	134	3.271484	3	262	6.396484	4	390	9.521484	5
7	0.170898	0	135	3.295898	2	263	6.420898	3	391	9.545898	2
8	0.195313	0	136	3.320313	2	264	6.445313	2	392	9.570313	0
9	0.219727	0	137	3.344727	2	265	6.469727	0	393	9.594727	6
10	0.244141	0	138	3.369141	1	266	6.494141	7	394	9.619141	4
11	0.268555	0	139	3.393555	1	267	6.518555	6	395	9.643555	2
12	0.292969	0	140	3.417969	0	268	6.542969	4	396	9.667969	7
13	0.317383	0	141	3.442383	0	269	6.567383	3	397	9.692383	5
14	0.341797	0	142	3.466797	7	270	6.591797	2	398	9.716797	3

广东电网有限责任公司计量自动化系统宽带载波通信规约（2016版）

15	0.366211	0	143	3.491211	7	271	6.616211	0	399	9.741211	1
16	0.390625	0	144	3.515625	6	272	6.640625	7	400	9.765625	6
17	0.415039	0	145	3.540039	6	273	6.665039	6	401	9.790039	4
18	0.439453	0	146	3.564453	5	274	6.689453	4	402	9.814453	2
19	0.463867	0	147	3.588867	5	275	6.713867	3	403	9.838867	0
20	0.488281	0	148	3.613281	4	276	6.738281	1	404	9.863281	5
21	0.512695	0	149	3.637695	4	277	6.762695	0	405	9.887695	3
22	0.537109	0	150	3.662109	3	278	6.787109	7	406	9.912109	1
23	0.561523	0	151	3.686523	3	279	6.811523	5	407	9.936523	6
24	0.585938	0	152	3.710938	2	280	6.835938	4	408	9.960938	4
25	0.610352	0	153	3.735352	2	281	6.860352	2	409	9.985352	2
26	0.634766	0	154	3.759766	1	282	6.884766	1	410	10.009766	7
27	0.659180	0	155	3.784180	0	283	6.909180	0	411	10.034180	5
28	0.683594	0	156	3.808594	0	284	6.933594	6	412	10.058594	3
29	0.708008	0	157	3.833008	7	285	6.958008	5	413	10.083008	0
30	0.732422	0	158	3.857422	7	286	6.982422	3	414	10.107422	6
31	0.756836	0	159	3.881836	6	287	7.006836	2	415	10.131836	4
32	0.781250	0	160	3.906250	6	288	7.031250	0	416	10.156250	1
33	0.805664	0	161	3.930664	5	289	7.055664	7	417	10.180664	7
34	0.830078	0	162	3.955078	4	290	7.080078	5	418	10.205078	4
35	0.854492	0	163	3.979492	4	291	7.104492	4	419	10.229492	2
36	0.878906	0	164	4.003906	3	292	7.128906	2	420	10.253906	0
37	0.903320	0	165	4.028320	3	293	7.153320	1	421	10.278320	5
38	0.927734	0	166	4.052734	2	294	7.177734	7	422	10.302734	3
39	0.952148	0	167	4.077148	1	295	7.202148	6	423	10.327148	0
40	0.976563	0	168	4.101563	1	296	7.226563	4	424	10.351563	6
41	1.000977	0	169	4.125977	0	297	7.250977	3	425	10.375977	4
42	1.025391	0	170	4.150391	7	298	7.275391	1	426	10.400391	1
43	1.049805	0	171	4.174805	7	299	7.299805	7	427	10.424805	7
44	1.074219	0	172	4.199219	6	300	7.324219	6	428	10.449219	4
45	1.098633	0	173	4.223633	5	301	7.348633	4	429	10.473633	2
46	1.123047	0	174	4.248047	5	302	7.373047	3	430	10.498047	7
47	1.147461	0	175	4.272461	4	303	7.397461	1	431	10.522461	5
48	1.171875	0	176	4.296875	3	304	7.421875	0	432	10.546875	2
49	1.196289	0	177	4.321289	2	305	7.446289	6	433	10.571289	0
50	1.220703	0	178	4.345703	2	306	7.470703	4	434	10.595703	5
51	1.245117	0	179	4.370117	1	307	7.495117	3	435	10.620117	3
52	1.269531	0	180	4.394531	0	308	7.519531	1	436	10.644531	0
53	1.293945	0	181	4.418945	7	309	7.543945	7	437	10.668945	6
54	1.318359	0	182	4.443359	7	310	7.568359	6	438	10.693359	3
55	1.342773	0	183	4.467773	6	311	7.592773	4	439	10.717773	1
56	1.367188	0	184	4.492188	5	312	7.617188	3	440	10.742188	6

广东电网有限责任公司计量自动化系统宽带载波通信规约（2016版）

57	1.391602	0	185	4.516602	4	313	7.641602	1	441	10.766602	4
58	1.416016	0	186	4.541016	4	314	7.666016	7	442	10.791016	1
59	1.440430	0	187	4.565430	3	315	7.690430	6	443	10.815430	7
60	1.464844	0	188	4.589844	2	316	7.714844	4	444	10.839844	4
61	1.489258	0	189	4.614258	1	317	7.739258	2	445	10.864258	2
62	1.513672	0	190	4.638672	0	318	7.763672	0	446	10.888672	7
63	1.538086	0	191	4.663086	0	319	7.788086	7	447	10.913086	4
64	1.562500	0	192	4.687500	7	320	7.812500	5	448	10.937500	2
65	1.586914	0	193	4.711914	6	321	7.836914	3	449	10.961914	7
66	1.611328	0	194	4.736328	5	322	7.861328	2	450	10.986328	5
67	1.635742	0	195	4.760742	4	323	7.885742	0	451	11.010742	2
68	1.660156	0	196	4.785156	4	324	7.910156	6	452	11.035156	7
69	1.684570	0	197	4.809570	3	325	7.934570	4	453	11.059570	5
70	1.708984	0	198	4.833984	2	326	7.958984	3	454	11.083984	2
71	1.733398	0	199	4.858398	1	327	7.983398	1	455	11.108398	7
72	1.757813	0	200	4.882813	0	328	8.007813	7	456	11.132813	5
73	1.782227	0	201	4.907227	7	329	8.032227	5	457	11.157227	2
74	1.806641	0	202	4.931641	6	330	8.056641	4	458	11.181641	0
75	1.831055	7	203	4.956055	5	331	8.081055	2	459	11.206055	5
76	1.855469	7	204	4.980469	5	332	8.105469	0	460	11.230469	2
77	1.879883	7	205	5.004883	4	333	8.129883	6	461	11.254883	7
78	1.904297	7	206	5.029297	3	334	8.154297	4	462	11.279297	5
79	1.928711	7	207	5.053711	2	335	8.178711	3	463	11.303711	2
80	1.953125	7	208	5.078125	1	336	8.203125	1	464	11.328125	7
81	1.977539	7	209	5.102539	0	337	8.227539	7	465	11.352539	5
82	2.001953	7	210	5.126953	7	338	8.251953	5	466	11.376953	2
83	2.026367	7	211	5.151367	6	339	8.276367	3	467	11.401367	7
84	2.050781	7	212	5.175781	5	340	8.300781	2	468	11.425781	5
85	2.075195	7	213	5.200195	4	341	8.325195	0	469	11.450195	2
86	2.099609	7	214	5.224609	3	342	8.349609	6	470	11.474609	7
87	2.124023	7	215	5.249023	2	343	8.374023	4	471	11.499023	4
88	2.148438	7	216	5.273438	1	344	8.398438	2	472	11.523438	2
89	2.172852	7	217	5.297852	0	345	8.422852	0	473	11.547852	7
90	2.197266	7	218	5.322266	7	346	8.447266	6	474	11.572266	4
91	2.221680	6	219	5.346680	6	347	8.471680	4	475	11.596680	1
92	2.246094	6	220	5.371094	5	348	8.496094	3	476	11.621094	6
93	2.270508	6	221	5.395508	4	349	8.520508	1	477	11.645508	4
94	2.294922	6	222	5.419922	3	350	8.544922	7	478	11.669922	1
95	2.319336	6	223	5.444336	2	351	8.569336	5	479	11.694336	6
96	2.343750	6	224	5.468750	1	352	8.593750	3	480	11.718750	3
97	2.368164	6	225	5.493164	0	353	8.618164	1	481	11.743164	0
98	2.392578	5	226	5.517578	7	354	8.642578	7	482	11.767578	6

广东电网有限责任公司计量自动化系统宽带载波通信规约（2016版）

99	2.416992	5	227	5.541992	6	355	8.666992	5	483	11.791992	3
100	2.441406	5	228	5.566406	5	356	8.691406	3	484	11.816406	0
101	2.465820	5	229	5.590820	4	357	8.715820	1	485	11.840820	5
102	2.490234	5	230	5.615234	3	358	8.740234	7	486	11.865234	2
103	2.514648	4	231	5.639648	2	359	8.764648	5	487	11.889648	7
104	2.539063	4	232	5.664063	0	360	8.789063	3	488	11.914063	4
105	2.563477	4	233	5.688477	7	361	8.813477	1	489	11.938477	2
106	2.587891	4	234	5.712891	6	362	8.837891	7	490	11.962891	7
107	2.612305	4	235	5.737305	5	363	8.862305	5	491	11.987305	4
108	2.636719	3	236	5.761719	4	364	8.886719	3	492	12.011719	1
109	2.661133	3	237	5.786133	3	365	8.911133	1	493	12.036133	6
110	2.685547	3	238	5.810547	2	366	8.935547	7	494	12.060547	3
111	2.709961	3	239	5.834961	1	367	8.959961	5	495	12.084961	0
112	2.734375	2	240	5.859375	7	368	8.984375	3	496	12.109375	5
113	2.758789	2	241	5.883789	6	369	9.008789	1	497	12.133789	2
114	2.783203	2	242	5.908203	5	370	9.033203	7	498	12.158203	7
115	2.807617	2	243	5.932617	4	371	9.057617	5	499	12.182617	4
116	2.832031	1	244	5.957031	3	372	9.082031	3	500	12.207031	2
117	2.856445	1	245	5.981445	2	373	9.106445	1	501	12.231445	7
118	2.880859	1	246	6.005859	0	374	9.130859	7	502	12.255859	4
119	2.905273	0	247	6.030273	7	375	9.155273	5	503	12.280273	1
120	2.929688	0	248	6.054688	6	376	9.179688	3	504	12.304688	6
121	2.954102	0	249	6.079102	5	377	9.204102	0	505	12.329102	3
122	2.978516	7	250	6.103516	4	378	9.228516	6	506	12.353516	0
123	3.002930	7	251	6.127930	2	379	9.252930	4	507	12.377930	5
124	3.027344	7	252	6.152344	1	380	9.277344	2	508	12.402344	2
125	3.051758	6	253	6.176758	0	381	9.301758	0	509	12.426758	7
126	3.076172	6	254	6.201172	7	382	9.326172	6	510	12.451172	4
127	3.100586	6	255	6.225586	5	383	9.350586	4	511	12.475586	1

6.1.6.4 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0所示。

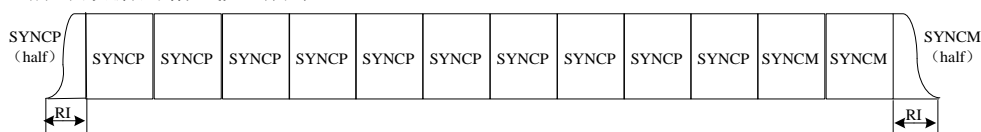
功率归一化因子

Modulation	Tone_Scale
BPSK	$1/\sqrt{1}$
QPSK	$1/\sqrt{2}$

6.1.7 符号生成

6.1.7.1 前导

前导数据的格式如0所示。



前导数据格式

前导由10.5个SYNCNCP与2.5个SYNCNCM组成。SYNCNCP的定义为：

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

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：

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

取复信号

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

可以得到：

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

即，SYNCNCP可以由 $X(k)$ 的IFFT变换取实部得到。

SYNCNCM=-SYNCNCP。其中，Preamble开始的0.5个SYNCNCP是SYNCNCP的后半部分，最后的0.5个SYNCNCM是SYNCNCM的前半部分。

6.1.7.2 前导相位表

前导参考相位用于对前导的SYNCNCP进行相位旋转，从1号载波到511号载波的相角参考值如0所示。实际的相位为对应每个载波的相角参考值乘以 $\pi/8$ 。

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
--	--	--	128	3.125000	8	256	6.250000	15	384	9.375000	11
1	0.024414	0	129	3.149414	1	257	6.274414	1	385	9.399414	12
2	0.048828	0	130	3.173828	7	258	6.298828	0	386	9.423828	6

广东电网有限责任公司计量自动化系统宽带载波通信规约（2016版）

3	0.073242	0	131	3.198242	0	259	6.323242	11	387	9.448242	5
4	0.097656	0	132	3.222656	12	260	6.347656	12	388	9.472656	13
5	0.122070	0	133	3.247070	13	261	6.372070	8	389	9.497070	2
6	0.146484	0	134	3.271484	0	262	6.396484	15	390	9.521484	9
7	0.170898	0	135	3.295898	1	263	6.420898	14	391	9.545898	11
8	0.195313	0	136	3.320313	1	264	6.445313	5	392	9.570313	14
9	0.219727	0	137	3.344727	15	265	6.469727	14	393	9.594727	4
10	0.244141	15	138	3.369141	11	266	6.494141	13	394	9.619141	9
11	0.268555	1	139	3.393555	12	267	6.518555	10	395	9.643555	5
12	0.292969	0	140	3.417969	6	268	6.542969	4	396	9.667969	8
13	0.317383	11	141	3.442383	5	269	6.567383	0	397	9.692383	8
14	0.341797	12	142	3.466797	13	270	6.591797	0	398	9.716797	9
15	0.366211	8	143	3.491211	2	271	6.616211	15	399	9.741211	9
16	0.390625	15	144	3.515625	9	272	6.640625	15	400	9.765625	0
17	0.415039	14	145	3.540039	11	273	6.665039	14	401	9.790039	0
18	0.439453	5	146	3.564453	14	274	6.689453	13	402	9.814453	0
19	0.463867	14	147	3.588867	4	275	6.713867	12	403	9.838867	0
20	0.488281	13	148	3.613281	9	276	6.738281	11	404	9.863281	0
21	0.512695	10	149	3.637695	5	277	6.762695	9	405	9.887695	0
22	0.537109	4	150	3.662109	8	278	6.787109	7	406	9.912109	0
23	0.561523	0	151	3.686523	8	279	6.811523	6	407	9.936523	0
24	0.585938	0	152	3.710938	9	280	6.835938	3	408	9.960938	4
25	0.610352	15	153	3.735352	9	281	6.860352	1	409	9.985352	7
26	0.634766	15	154	3.759766	0	282	6.884766	15	410	10.009766	11
27	0.659180	14	155	3.784180	0	283	6.909180	12	411	10.034180	14
28	0.683594	13	156	3.808594	0	284	6.933594	9	412	10.058594	2
29	0.708008	12	157	3.833008	0	285	6.958008	6	413	10.083008	5
30	0.732422	11	158	3.857422	0	286	6.982422	3	414	10.107422	9
31	0.756836	9	159	3.881836	0	287	7.006836	15	415	10.131836	12
32	0.781250	7	160	3.906250	0	288	7.031250	12	416	10.156250	0
33	0.805664	6	161	3.930664	0	289	7.055664	8	417	10.180664	7
34	0.830078	3	162	3.955078	4	290	7.080078	4	418	10.205078	14
35	0.854492	1	163	3.979492	7	291	7.104492	0	419	10.229492	5
36	0.878906	15	164	4.003906	11	292	7.128906	11	420	10.253906	12
37	0.903320	12	165	4.028320	14	293	7.153320	7	421	10.278320	4
38	0.927734	9	166	4.052734	2	294	7.177734	2	422	10.302734	11
39	0.952148	6	167	4.077148	5	295	7.202148	13	423	10.327148	2
40	0.976563	3	168	4.101563	9	296	7.226563	8	424	10.351563	9
41	1.000977	15	169	4.125977	12	297	7.250977	3	425	10.375977	0
42	1.025391	12	170	4.150391	0	298	7.275391	13	426	10.400391	11
43	1.049805	8	171	4.174805	7	299	7.299805	7	427	10.424805	5
44	1.074219	4	172	4.199219	14	300	7.324219	2	428	10.449219	0

广东电网有限责任公司计量自动化系统宽带载波通信规约（2016版）

45	1.098633	0	173	4.223633	5	301	7.348633	11	429	10.473633	11
46	1.123047	11	174	4.248047	12	302	7.373047	5	430	10.498047	5
47	1.147461	7	175	4.272461	4	303	7.397461	15	431	10.522461	0
48	1.171875	2	176	4.296875	11	304	7.421875	8	432	10.546875	11
49	1.196289	13	177	4.321289	2	305	7.446289	1	433	10.571289	5
50	1.220703	8	178	4.345703	9	306	7.470703	10	434	10.595703	0
51	1.245117	3	179	4.370117	0	307	7.495117	3	435	10.620117	14
52	1.269531	13	180	4.394531	11	308	7.519531	11	436	10.644531	12
53	1.293945	7	181	4.418945	5	309	7.543945	4	437	10.668945	11
54	1.318359	2	182	4.443359	0	310	7.568359	12	438	10.693359	9
55	1.342773	11	183	4.467773	11	311	7.592773	4	439	10.717773	7
56	1.367188	5	184	4.492188	5	312	7.617188	12	440	10.742188	5
57	1.391602	15	185	4.516602	0	313	7.641602	3	441	10.766602	4
58	1.416016	8	186	4.541016	11	314	7.666016	11	442	10.791016	2
59	1.440430	1	187	4.565430	5	315	7.690430	2	443	10.815430	0
60	1.464844	10	188	4.589844	0	316	7.714844	9	444	10.839844	2
61	1.489258	3	189	4.614258	14	317	7.739258	0	445	10.864258	4
62	1.513672	11	190	4.638672	12	318	7.763672	7	446	10.888672	5
63	1.538086	4	191	4.663086	11	319	7.788086	13	447	10.913086	7
64	1.562500	12	192	4.687500	9	320	7.812500	3	448	10.937500	9
65	1.586914	4	193	4.711914	7	321	7.836914	10	449	10.961914	11
66	1.611328	12	194	4.736328	5	322	7.861328	15	450	10.986328	12
67	1.635742	3	195	4.760742	4	323	7.885742	5	451	11.010742	14
68	1.660156	11	196	4.785156	2	324	7.910156	11	452	11.035156	0
69	1.684570	2	197	4.809570	0	325	7.934570	0	453	11.059570	5
70	1.708984	9	198	4.833984	2	326	7.958984	5	454	11.083984	11
71	1.733398	0	199	4.858398	4	327	7.983398	10	455	11.108398	0
72	1.757813	7	200	4.882813	5	328	8.007813	15	456	11.132813	5
73	1.782227	13	201	4.907227	7	329	8.032227	3	457	11.157227	11
74	1.806641	3	202	4.931641	9	330	8.056641	8	458	11.181641	0
75	1.831055	10	203	4.956055	11	331	8.081055	12	459	11.206055	5
76	1.855469	15	204	4.980469	12	332	8.105469	0	460	11.230469	11
77	1.879883	5	205	5.004883	14	333	8.129883	4	461	11.254883	0
78	1.904297	11	206	5.029297	0	334	8.154297	7	462	11.279297	9
79	1.928711	0	207	5.053711	5	335	8.178711	11	463	11.303711	2
80	1.953125	5	208	5.078125	11	336	8.203125	14	464	11.328125	11
81	1.977539	10	209	5.102539	0	337	8.227539	1	465	11.352539	4
82	2.001953	15	210	5.126953	5	338	8.251953	4	466	11.376953	12
83	2.026367	3	211	5.151367	11	339	8.276367	7	467	11.401367	5
84	2.050781	8	212	5.175781	0	340	8.300781	9	468	11.425781	14
85	2.075195	12	213	5.200195	5	341	8.325195	11	469	11.450195	7
86	2.099609	0	214	5.224609	11	342	8.349609	14	470	11.474609	0

广东电网有限责任公司计量自动化系统宽带载波通信规约（2016版）

87	2.124023	4	215	5.249023	0	343	8.374023	15	471	11.499023	12
88	2.148438	7	216	5.273438	9	344	8.398438	1	472	11.523438	9
89	2.172852	11	217	5.297852	2	345	8.422852	3	473	11.547852	5
90	2.197266	14	218	5.322266	11	346	8.447266	4	474	11.572266	2
91	2.221680	1	219	5.346680	4	347	8.471680	5	475	11.596680	14
92	2.246094	4	220	5.371094	12	348	8.496094	6	476	11.621094	11
93	2.270508	7	221	5.395508	5	349	8.520508	7	477	11.645508	7
94	2.294922	9	222	5.419922	14	350	8.544922	7	478	11.669922	4
95	2.319336	11	223	5.444336	7	351	8.569336	8	479	11.694336	0
96	2.343750	14	224	5.468750	0	352	8.593750	8	480	11.718750	0
97	2.368164	15	225	5.493164	12	353	8.618164	3	481	11.743164	0
98	2.392578	1	226	5.517578	9	354	8.642578	15	482	11.767578	0
99	2.416992	3	227	5.541992	5	355	8.666992	4	483	11.791992	0
100	2.441406	4	228	5.566406	2	356	8.691406	10	484	11.816406	0
101	2.465820	5	229	5.590820	14	357	8.715820	13	485	11.840820	0
102	2.490234	6	230	5.615234	11	358	8.740234	15	486	11.865234	0
103	2.514648	7	231	5.639648	7	359	8.764648	6	487	11.889648	0
104	2.539063	7	232	5.664063	4	360	8.789063	11	488	11.914063	0
105	2.563477	8	233	5.688477	0	361	8.813477	3	489	11.938477	4
106	2.587891	8	234	5.712891	0	362	8.837891	2	490	11.962891	7
107	2.612305	3	235	5.737305	0	363	8.862305	12	491	11.987305	11
108	2.636719	15	236	5.761719	0	364	8.886719	13	492	12.011719	14
109	2.661133	4	237	5.786133	0	365	8.911133	9	493	12.036133	2
110	2.685547	10	238	5.810547	0	366	8.935547	7	494	12.060547	5
111	2.709961	13	239	5.834961	0	367	8.959961	7	495	12.084961	9
112	2.734375	15	240	5.859375	0	368	8.984375	8	496	12.109375	12
113	2.758789	6	241	5.883789	0	369	9.008789	11	497	12.133789	0
114	2.783203	11	242	5.908203	0	370	9.033203	12	498	12.158203	7
115	2.807617	3	243	5.932617	4	371	9.057617	8	499	12.182617	14
116	2.832031	2	244	5.957031	7	372	9.082031	1	500	12.207031	5
117	2.856445	12	245	5.981445	11	373	9.106445	7	501	12.231445	12
118	2.880859	13	246	6.005859	14	374	9.130859	8	502	12.255859	0
119	2.905273	9	247	6.030273	2	375	9.155273	1	503	12.280273	0
120	2.929688	7	248	6.054688	5	376	9.179688	7	504	12.304688	0
121	2.954102	7	249	6.079102	9	377	9.204102	0	505	12.329102	0
122	2.978516	8	250	6.103516	12	378	9.228516	12	506	12.353516	0
123	3.002930	11	251	6.127930	0	379	9.252930	13	507	12.377930	0
124	3.027344	12	252	6.152344	7	380	9.277344	0	508	12.402344	0
125	3.051758	8	253	6.176758	14	381	9.301758	1	509	12.426758	0
126	3.076172	1	254	6.201172	5	382	9.326172	1	510	12.451172	0
127	3.100586	7	255	6.225586	12	383	9.350586	15	511	12.475586	0

6.1.7.3 窗函数

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

$$w_{rise}[n] = \begin{cases} \frac{0.20}{17} \times n & \text{for } 0 \leq n \leq 16 \\ 0.20 + \frac{0.60}{89} \times (n - 17) & \text{for } 17 \leq n \leq 106 \\ 0.80 + \frac{0.20}{17} \times (n - 106) & \text{for } 107 \leq n \leq RI \end{cases}$$

$$w_{fall}[n] = 1 - w_{rise}[n] \quad \text{for } 0 \leq N \leq RI - 1$$

对于前导的数据，是对整个数据（10.5symCP加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。

6.1.7.4 载波屏蔽表

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的载波数最小为131个，最大为490个。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TMI决定。

6.1.7.5 通信频段

宽带载波通信支持的频段如0所示。

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	2.414~5.615	100	230
2~4	保留	--	--

6.1.7.6 相对功率

PPDU中各组成部分子载波平均能量级别如0所示。

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

6.2 频率操作范围

6.2.1 发射功率谱密度

符合本标准的设备的发送功率谱密度在工作频带内应不大于-45dBm/Hz；在工作频带外应不大于-75dBm/Hz。

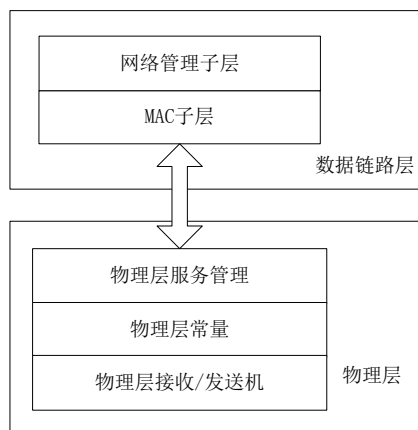
6.2.2 接收灵敏度

接收机在接收最小信号幅值为0.305mvpp时，物理层丢包率小于0.1%。

6.3 物理层服务

6.3.1 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0所示。



物理层服务模型

6.3.2 物理层基本服务

6.3.2.1 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。

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

6.3.2.2 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。

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
--------	----	-------	--

6.3.2.3 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。

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

6.3.2.4 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。

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

6.3.2.5 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。

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。

6.3.2.6 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。

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

6.3.2.7 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。

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

6.3.2.8 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。

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	0~255	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

6.3.2.9 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。

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

7 数据链路层

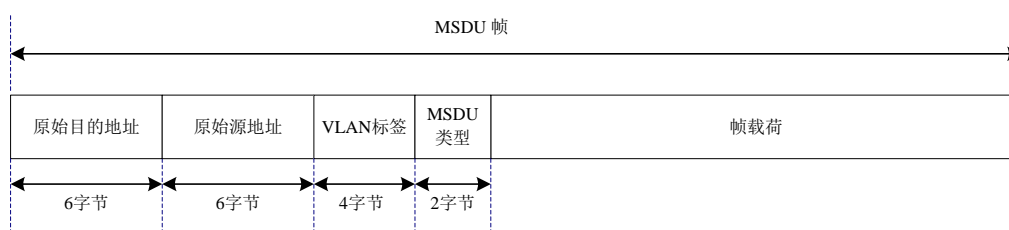
7.1 帧格式

7.1.1 MSDU 帧格式

7.1.1.1 MSDU 长帧头

MSDU长帧头出现在携带标准IP报文和管理消息报文的MSDU帧中。

MSDU长帧头格式如0所示。



MSDU 长帧头格式

MSDU长帧头的字段如0所示。

MSDU 长帧头格式

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
原始目的地址	0-5	0-7	48
原始源地址	6-11	0-7	48
VLAN 标签	12-15	0-7	32
MSDU 类型	16-17	0-7	16

7.1.1.1.1 原始目的地址

原始目的地址是48比特的字段，指MSDU帧的最终目的站点的MAC地址。

一般的，原始目的地址为FF-FF-FF-FF-FF-FF的报文，被认为是广播报文，原始目的地址为00-FF-FF-FF-FF-FF的报文，被认为是本地广播报文。

7.1.1.1.2 原始源地址

原始源地址是48比特的字段，指最初产生MSDU帧的站点的MAC地址。

7.1.1.1.3 VLAN 标签

VLAN标签用于报文分类和划分优先级。详细定义参照7.3.4.1 报文分类规则。

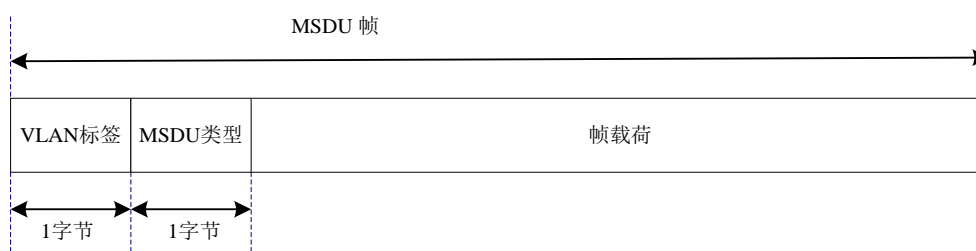
7.1.1.1.4 MSDU 类型

MSDU类型字段用于指示MSDU帧的类型。详细定义参照7.3.4.1 报文分类规则。

7.1.1.2 MSDU 短帧头

携带应用层的报文的MSDU帧可以采用MSDU短帧头。

MSDU短帧头格式如0所示。



MSDU 短帧头格式

MSDU短帧头的字段如0所示。

MSDU 短帧头格式

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
VLAN 标签	0	0-7	8
MSDU 类型	1	0-7	8

7.1.1.2.1 VLAN 标签

VLAN标签用于报文分类和划分优先级。详细定义参照7.3.4.1 报文分类规则。

7.1.1.2.2 MSDU 类型

MSDU类型字段用于指示MSDU帧的类型。详细定义参照7.3.4.1 报文分类规则。

7.1.2 MAC 帧格式

MAC帧是不同站点的MAC层之间进行数据传送的基本传输单元。

一个MAC帧由MAC帧头、MAC业务数据单元和完整性校验值组成。

MAC帧的基本格式如0所示。



MAC 帧格式

MAC帧的帧头有长短两种格式，根据应用层选用的MSDU发送原语来使用。应用层使用长MSDU发送原语时，则数据链路层使用长MAC帧头的MAC帧来传输MSDU；应用层使用短MSDU发送原语时，则数据链路层使用短MAC帧头的MAC帧来传输MSDU。

7.1.2.1 MAC 长帧头

MAC长帧头格式如0所示。

MAC 长帧头格式

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
帧头类型	0	0	1
版本	0	1-2	2
代理主路径下一跳	0	3-7	12
	1	0-6	

保留	1	7	1
MSDU 长度	2	0-7	16
	3	0-7	
原始目的 TEI	4	0-7	12
	5	0-3	
原始源 TEI	5	4-7	12
	6	0-7	
短网络标识	7	0-3	4
重启次数	7	4-7	4
路由跳数	8	0-3	4
广播方向	8	4-7	4
发送类型	9	0-2	3
发送次数限值	9	3-7	5
MSDU 序列号	10	0-7	16
	11	0-7	
目的 MAC 地址	12-17	0-7	48
到达时间戳	18	0-7	32
	19	0-7	
	20	0-7	
	21	0-7	
保留	22-31	0-7	80

7.1.2.1.1 帧头类型

帧头类型是一个1比特的字段。该字段用来指示MAC帧的帧头类型。
帧头类型所代表的含义如0所示。

帧头类型

值	定义	使用场景
0	MAC 帧头是 32 字节长帧头	长 MSDU 时使用
1	MAC 帧头是 12 字节短帧头	短 MSDU 时使用

7.1.2.1.2 版本

版本是一个2比特的字段。该字段用来指示MAC帧头的字段定义版本号。
同一版本标准协议中，长短帧头的版本号一致。

版本字段的含义如0所示。

版本

值	定义
0	占用
1	本标准协议

7.1.2.1.3 代理主路径下一跳

可以到达目的站点的下一跳代理站点的TEI。当目的站点为直连站点时，该地址填写为0。

7.1.2.1.4 MSDU 长度

MAC帧中携带的MSDU的长度。

7.1.2.1.5 到达时间戳

到达时间戳指初始MSDU到达MAC层的网络基准时间戳。

7.1.2.1.6 目的 TEI

MSDU的最终目的终端设备的标识，即最终需要处理MSDU的目的终端设备的TEI。

7.1.2.1.7 源 TEI

MSDU的原始源终端设备的标识，即最初产生MSDU的源终端设备的TEI。

7.1.2.1.8 短网络标识

指短网络标识，用于区分不同的宽带载波通信网络。有效取值为1-15。

每个宽带载波通信网络都必须有一个唯一的SNID。

7.1.2.1.9 重启次数

指站点的重启次数。当一个站点初次上电时，重启次数的值缺省为0，此后，每次站点重新上电，该值加1，仅用于MAC帧唯一性辅助判断。该值在0-15的范围内变化，达到最大值时，从0开始重新递增。

7.1.2.1.10 路由跳数

路由跳数指MAC帧可以被转发的最大跳数。用于指示广播报文的转发跳数，每个站点确定需要转发时，需要对该值减1。当该值减为0时，则该报文不能再进行转发。

7.1.2.1.11 广播方向

广播报文的传输方向，含义如0所示。

广播方向

值	定义
0x0	保留
0x1	下行广播（从 CCO 发起广播至 STA）
0x2	上行广播（从 STA 发起广播至 CCO）
其他	保留

7.1.2.1.12 发送类型

报文发送的类型，含义如0所示。

发送类型

值	定义
0	单播，需要确认回应
1	全网广播，不需要回应
2	本地广播，不需要回应
3	全网广播，需要确认回应
4	本地广播，需要确认回应
其他	保留

7.1.2.1.13 发送次数限值

报文最大发送次数，该值不能为零。

需要确认回应的报文，则不需要继续重发。

不需要确认回应的报文，则报文的总发送次数必须达到发送次数限值。

7.1.2.1.14 MSDU 序列号

指产生MSDU的原始设备分配给该MSDU的递增序列号。

7.1.2.1.15 目的 MAC 地址

指报文的目的地MAC地址。

7.1.2.2 MAC 短帧头

MAC短帧头的格式如0所示。

MAC 短帧头

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
帧头类型	0	0	1
版本	0	1-2	2
代理主路径下一跳	0	3-7	12
	1	0-6	
保留	1	7	1
MSDU 长度	2	0-7	16
	3	0-7	
原始目的 TEI	4	0-7	12
	5	0-3	
原始源 TEI	5	4-7	12
	6	0-7	
短网络标识	7	0-3	4
重启次数	7	4-7	4
路由跳数	8	0-3	4
广播方向	8	4-7	4

发送类型	9	0-2	3
发送次数	9	3-7	5
MSDU 序列号	10	0-7	16
	11	0-7	

相比MAC长帧头，MAC短帧头的字段减少了到达时间戳、目的MAC地址两个字段和一个保留字段，其他保持一致。

7.1.2.3 MSDU

MAC层业务数据单元，可以是需要传送的业务数据，也可以是管理消息。

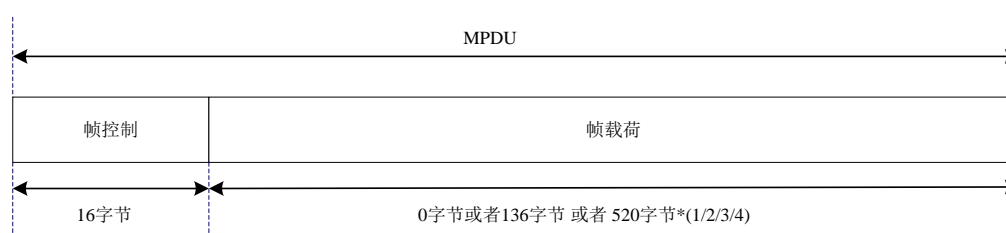
7.1.2.4 完整性校验

完整性校验是针对MAC帧计算的循环冗余校验值。计算完整性校验值时，不包括MAC帧头。完整性校验使用的是32比特的循环冗余校验算法。

7.1.3 MPDU 帧格式

MPDU是MAC层协议数据单元，由MAC子层提供给物理层，在不同站点的物理层之间传送数据的基本传输单元。

带有载荷的MPDU称为长MPDU，否则称为短MPDU。MPDU帧格式如0所示



MPDU 帧格式

7.1.3.1 MPDU 帧控制格式

MPDU的帧控制字段长度为16字节。

MPDU帧控制字段的格式如0所示。

MPDU 帧控制字段

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
定界符类型	0	0-2	3
接入指示		3	1
短网络标识		4-7	4
可变区域	1-12		96
帧控制校验序列	13-15		24

7.1.3.1.1 定界符类型

定界符类型长度为3比特，用来指示MPDU的帧类型。MPDU帧类型的不同，可变区域也不同。定界符类型的取值如0所示。

定界符类型

值	说明
000	信标帧
001	SOF 帧
010	选择确认帧
011	网间协调帧
100-111	保留

7.1.3.1.2 接入指示

接入指示的长度为1比特，用于指示发送MPDU的站点所在的网络类型。接入指示的取值和所代表的含义如0所示。

接入指示

接入字段	解释说明
0b0	保留
0b1	MPDU 在宽带载波通信接入网络中传输

7.1.3.1.3 短网络标识

指短网络标识，用于区分不同的宽带载波通信网络。有效取值为1-15。

每个宽带载波通信网络都必须有一个唯一的SNID。

7.1.3.1.4 帧控制校验序列

帧控制校验序列为帧控制的末尾24比特，校验计算帧控制中除帧控制校验序列以外的字段。

帧控制校验序列采用的是24比特的循环冗余校验算法。

7.1.3.1.5 可变区域

可变区域的内容由定界符类型决定。

7.1.3.1.5.1 信标帧的可变区域

信标帧用于CCO进行网络管理。

信标帧的可变区域的格式如0所示。

信标帧的可变区域

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
信标时间戳	1	0-7	32
	2	0-7	
	3	0-7	
	4	0-7	
信标周期计数	5	0-7	32
	6	0-7	
	7	0-7	

	8	0-7	
源 TEI	9	0-7	12
	10	0-3	
载波映射表索引		4-7	4
符号数	11	0-7	9
	12	0	
保留		1	1
相线		2-3	2
保留		4-7	4

——信标时间戳

信标时间戳是发送信标的设备在发送信标时标记的网络基准时间。网络基准时间由CCO维护，全网站点需要和CCO的网络基准时间保持同步。

- 在中央信标中，信标时间戳是网络基准时间。
- 在代理信标中，信标时间戳是由 PCO 评估出的网络基准时间。
- 在发现信标中，信标时间戳是由 STA 评估出的网络基准时间。

——信标周期计数

信标周期计数是由CCO维护的信标周期的递增计数。CCO每安排一个信标周期，则信标周期计数递增。

——源 TEI

表示发送信标的站点的TEI。

——载波映射表索引

载波映射表索引，即信标帧发送时采用的载波映射表索引，具体请参照0。

——符号数

指OFDM符号数量，表示在信标帧的载荷中包含的OFDM符号的个数。

——相线

相线标识，表示信标帧需要发送到的目的相线。

相线的取值和所代表的含义如0所示。

相线取值

值	定义
0	表示未知相线
1	表示 A 相线
2	表示 B 相线
3	表示 C 相线

7.1.3.1.5.2 SOF 帧的可变区域

SOF帧主要用于设备之间传输数据。

SOF帧的可变区域内容如0所示。

SOF 帧的可变区域

字段	字节号	比特位	字段大小（比特）
源 TEI	1	0-7	12
	2	0-3	

目的 TEI		4-7	12
	3	0-7	
链路标识符	4	0-7	8
保留	5	0-7	16
	6	0-7	
物理块个数	7	0-3	4
载波映射表索引		4-7	4
帧长	8	0-7	12
	9	0-3	
保留	10	4-7	9
		0-4	
		5		1
广播标志位		5	1
重传标志位		6	1
符号数		7	9
	11	0-7	
保留	12	0-3	4
扩展载波映射表索引		4-7	4

——源 TEI

表示发送SOF帧的源设备站点的TEI。

——目的 TEI

表示SOF帧的目的设备站点的TEI。

SOF帧的目的设备在接收到SOF帧后，如果发现目的TEI是本站点的TEI，则需要对SOF帧进行应答，发送选择确认帧给SOF帧的发送设备。

——链路标识符

表示不同的优先级或者不同的业务分类。详细见 7.3.4.1 。

——物理块个数

表示SOF帧的帧载荷中携带的物理块数量。

物理块的大小可以是136字节或者是520字节。SOF帧缺省只支持一个136字节和一个520字节的物理块；可扩展支持4个520字节的物理块的传输。

——载波映射表索引

载波映射表索引是一个4比特字段。该字段表示SOF帧的帧载荷调制使用的载波映射表索引。同时，载波映射表索引也指示了SOF帧的物理传输块大小。不同载波映射表索引可支持的物理块数量不同。载波映射表索引的取值和所代表的含义如0所示。

——帧长

指示SOF帧的传送过程以及帧间隔等所要占用的信道的时长，单位，10微秒。

帧长的主要场景有以下几种：

- SOF 帧单帧传输、不需要选择确认的场景

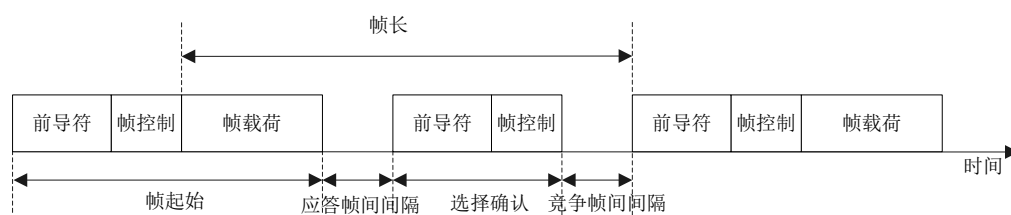
帧长包括SOF帧的帧载荷传输时间和竞争帧间隔时间，定义如0所示。



无选择确认的单帧传输

- SOF 帧单帧传输、且需要选择确认的场景

帧长包括 SOF 帧的帧载荷传输时间、应答帧帧间间隔时间、选择确认传输时间以及竞争帧间间隔时间，定义如 0 所示。



带选择确认的单帧传输

——广播标志位

表示该SOF帧是否为广播报文，含义如0所示。

广播标志位

值	说明
0b0	非广播报文
0b1	广播报文

——重传标志位

表示该SOF帧是否为重传报文，含义如0所示。

重传标志位

值	说明
0b0	非重传报文
0b1	重传报文

——符号数

表示在SOF帧的载荷部分包含的OFDM符号个数。

——扩展载波映射表索引

扩展载波映射表索引是一个4比特字段，其基本含义与载波映射表索引没有区别。用法和载波映射表索引有关联，当载波映射表索引的值为0xD时，表示本SOF帧的载荷是使用扩展载波映射表索引调制，接收方需要解析本字段，获取对载荷进行译码的载波映射表索引。扩展载波映射表索引的取值和所代表的含义如0所示。

7.1.3.1.5.3 选择确认帧的可变区域

选择确认帧是接收设备用来向发送设备反馈SOF帧的接收情况。接收SOF帧的设备，如果判断需要回复选择确认帧时，则发送选择确认帧。

选择确认帧的可变区域内容0所示。

选择确认的可变区域

字段		字节号	比特位	字段大小(比特)
接收结果	Result	1	0-3	4
接收状态	State		4-7	
目的 TEI	DTEI	2	0-7	12
		3	0-3	
接收物理块个数	PBCount			4-7	4
保留	RSVD	4-12	0-7	72

——接收结果

表示SOF帧的接收结果。

接收结果的取值和解释如0所示。

接收结果值

值	说明
0x0	表示 SOF 帧全部接收成功。
0x1	表示 SOF 帧的物理块存在循环冗余校验失败的情形。
0x2-0xF	保留

——接收状态

接收状态是一个4比特的字段，用来表示普通模式时，SOF帧的物理块的校验结果。一个SOF帧最多可以携带4个物理块，每一个比特，表示一个物理块是否校验成功。

比特0表示序列号为0的物理块的校验结果，比特1表示序列号为1的物理块的校验结果，其余类推。

接收状态的比特位为0时，则表示对应的物理块校验失败；比特位为1时，则表示对应的物理块校验成功。

——目的 TEI

目的TEI 是一个12比特字段，表示为选择确认帧的目的终端的TEI。

——接收物理块个数

接收的物理块个数，包括解析错误的物理块个数。

7.1.3.1.5.4 网间协调帧的可变区域

网间协调帧用于CCO进行网间时隙的竞争协调，一般用于在多个宽带载波通信网络共存的场景中，CCO之间进行带宽协商。

网间协调帧的可变区域内容如0所示。

网间协调的可变区域

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
版本	1	0	1
邻居网络	1	1-7	15
	2	0-7	
保留	3	0-7	18
	4	0-7	

		5	0-1	
持续时间		6	2-7	14
			0-7	
协调标志位		7	0	1
带宽结束标志位		7	1	1
保留		7	2-7	6
带宽结束偏移		8	0-7	16
		9	0-7	
带宽开始偏移		10	0-7	16
		11	0-7	
保留		12	0-7	8

——版本

版本是一个1bit的字段，表示网间协调帧的字段定义版本号。

版本字段的含义如0所示。

版本

值	定义
0	占用
1	本标准协议

——邻居网络

邻居网络是一个15比特的字段，表示站点可以接收到的宽带载波通信网络的短网络标识。

每一个比特对应一个SNID，比特0表示短网络标识为1的宽带载波通信网络，比特1表示短网络标识为2的网络，其余类推，表示的短网络标识范围为1-15。

比特位值为0，表示该宽带载波通信网络的报文未接收到；比特位值为1，表示该宽带载波通信网络的报文接收到过。

——持续时间

持续时间是一个14比特的字段，表示本网络需要申请占用的时隙长度。单位：40ms。

——协调标志位

协调标志位是1比特的字段，表示当前MPDU是否为网间协调帧。在网间协调帧中，该比特的值为1。

——带宽结束标志位

带宽结束标志位是1比特的字段，表示本网络上个带宽时隙是否已经结束。比特位的值为1，表示上个带宽时隙已经结束；值为0，则表示上个带宽时隙未结束。

——带宽结束偏移

上个带宽时隙结束时刻的时间偏移，单位：4ms。

当上个带宽时隙已经结束时（带宽结束标志位为1），该偏移时间表示从上个带宽时隙结束时刻，到当前时刻的时间偏移。

当上个带宽时隙未结束时（带宽结束标志位为0），该偏移时间表示从当前时刻到当前带宽时隙结束时刻的时间偏移。

——带宽开始偏移

下个带宽时隙开始时刻的时间偏移，单位：4ms。

当下个带宽时隙未开始时，该偏移时间表示从当前时刻，到下个带宽时隙开始时刻的时间偏移。

当下个带宽时隙已经开始时，该偏移时间的值为0。

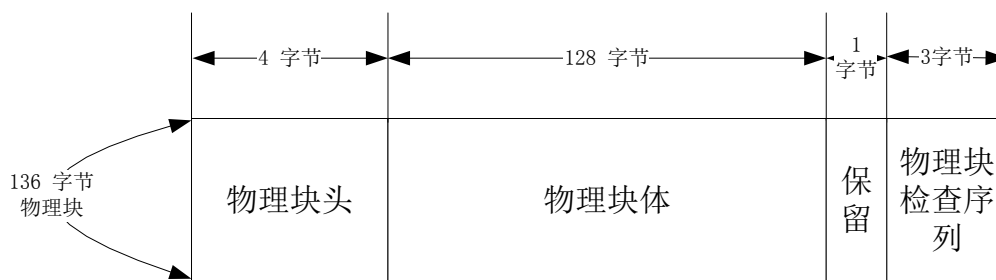
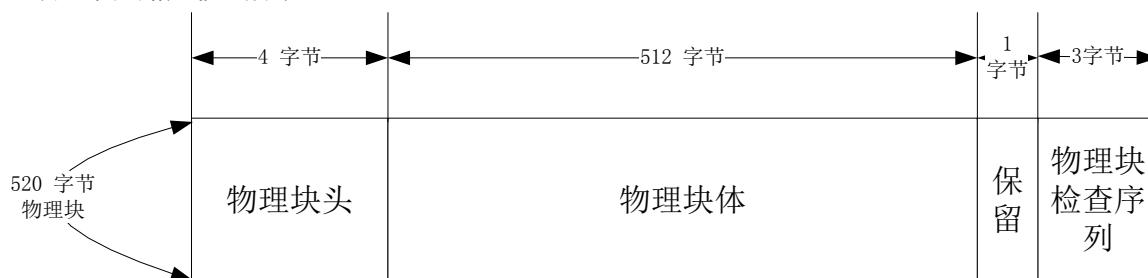
7.1.3.2 SOF 帧 MPDU 帧载荷格式

7.1.3.2.1 物理块格式

载荷的物理块格式有两种，136字节大小的物理块和520字节大小的物理块。

每个物理块适配到单个物理层前向纠错编码块。每个物理块包含一个物理块头、物理块体，保留字节和物理块检查序列。物理块头为4个字节，物理块检查序列为3个字节。当物理块是520 字节长度时，物理块体长度是 512 字节；当物理块是136字节时，物理块体是128 字节。

物理块的格式如0所示：。



SOF 帧物理块格式

7.1.3.2.1.1 物理块头

物理块头包含物理块体的属性信息。物理块头的格式如0所示。

物理块头的格式

字段	字节号	比特位	字段大小(比特数)
序列号	0	0-7	16
	1	0-7	

保留	2	0-7	16
	3	0-7	
	3	0-7	

——序列号

序列号是一个16比特的字段，初始值为 0，表示MPDU的载荷中物理块的序号。

例如，一个MPDU中，携带了3个物理块，则第一个物理块的物理块头中，序列号的值是0；第二个物理块的物理块头中，序列号的值是1；第三个物理块的物理块头中，序列号的值是2。

7.1.3.2.1.2 物理块体

物理块体中携带由MSDU所组成的MAC帧的分段，大小为128字节或者512字节。

7.1.3.2.1.3 物理块检查序列

物理块检查序列是一个24比特的字段。校验时，以物理块头和物理块体以及保留字节三部分为目标，使用24比特的循环冗余校验算法，进行校验，校验值填充在物理块检查序列的位置。

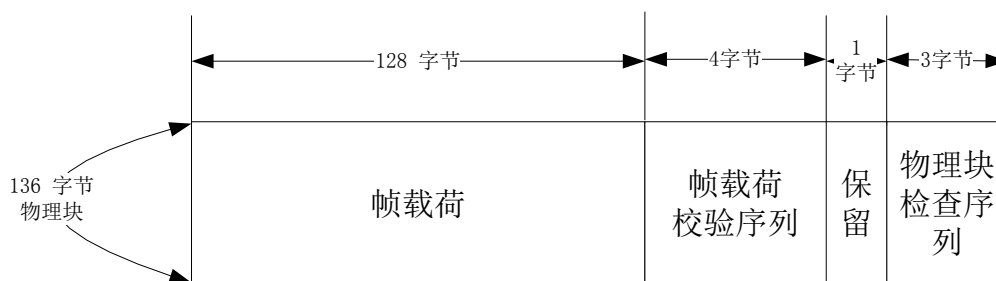
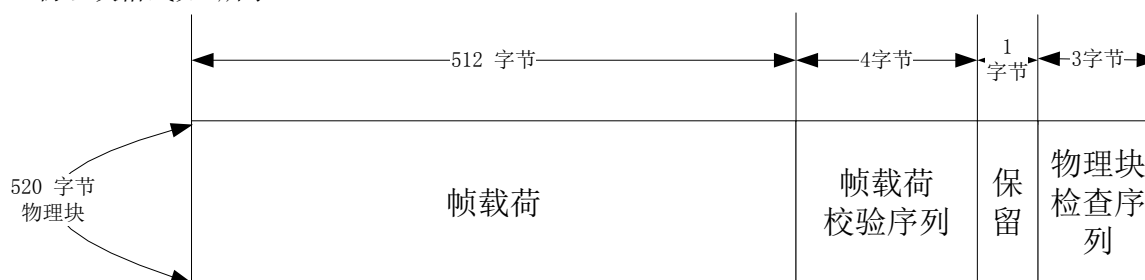
MPDU被接收后，使用每个物理块的物理块检查序列来作校验，校验成功的物理块说明物理传输成功，否则说明物理传输失败。

7.1.3.3 信标 MPDU 帧载荷格式

7.1.3.3.1 物理块格式

信标帧的载荷支持一个136字节或者一个520字节长度的物理块。

物理块格式如0所示。



物理块格式

其中，帧载荷校验序列是信标帧载荷内容的校验值，校验的范围是信标物理块的前128字节或者前512字节的内容。帧载荷校验序列使用的是32比特的循环冗余校验算法。

物理块检查序列是一个24比特的字段。校验时，以帧载荷和帧载荷校验序列以及保留字节三部分为目标，使用24比特的循环冗余校验算法，进行校验，校验值填充在物理块检查序列的位置。

7.1.3.3.2 帧载荷格式

不同大小的信标帧载荷，采用的调制方式载波映射索引不同。信标帧载荷的发送持续时间依赖于信标帧载荷的OFDM符号数量。信标帧载荷字段的格式如0所示。

信标帧载荷字段

字段	字节号	比特位	字段大小（比特）
信标类型	0	0-2	3
组网标志位	0	3	1
快速路由评估标志位	0	4	1
多网络优选标志位	0	5	1
开始关联标志位	0	6	1
保留	0	7	1
组网序列号	1	0-7	8
短网络标识	2	0-3	4
保留	2	4-7	28
	3	0-7	
	4	0-7	
	5	0-7	
信标管理信息	6-127 或 6-511	0-7	可变长
帧载荷校验序列	128-131 或 /512-515	0-7	32

7.1.3.3.2.1 信标类型

信标类型是一个3比特的字段，标识信标的类型。信标类型的取值和含义如0所示。

信标类型

信标类型 值	定义说明
000	发现信标
001	代理信标
010	中央信标
011-111	保留

7.1.3.3.2.2 组网标志位

组网标志位是一个1比特字段，标识自组网是否完成。组网标志位的取值和含义如0所示。

组网标志位

组网标志位取值	定义说明
0b0	组网未完成
0b1	组网完成

7.1.3.3.2.3 快速路由评估标志位

快速路由评估标志位是一个1比特字段，表示当前网络是否处于快速路由评估阶段。快速路由评估标志位的取值和含义如0所示。

快速路由评估标志位

快速路由评估标志位取值	定义说明
0b0	非快速路由周期
0b1	快速路由周期

7.1.3.3.2.4 多网络优选标志位

多网络优选标志位是一个1比特字段，表示该宽带载波通信网络中的STA终端在入网时，是否可以进行网络评估，选择信号好的网络加入。

未使能的时候，不进行网络评估，直接向首先发现的网络发起入网申请。使能的时候，STA在入网时可以优先选择此前曾经加入成功过的网络，如果没有，则可选择信号更好的网络加入。多网络优选标志位的取值和含义如0所示。

多网络优选标志位

多网络优选标志位取值	说明
0b0	未使能网络评估
0b1	使能网络评估

7.1.3.3.2.5 开始关联标志位

开始关联标志位是一个1比特的字段，表示当前阶段是否允许站点发起关联请求。开始关联标志位的取值和含义如0所示。

开始关联标志位

开始关联标志位取值	说明
0b0	不允许站点发起关联请求
0b1	允许站点发起关联请求

7.1.3.3.2.6 组网序列号

组网序列号是一个8比特的字段，表示当前组网的序列号。该值为顺序递加的值，CCO每次重启后都需要自动加1。

7.1.3.3.2.7 短网络标识

指短网络标识，用于区分不同的宽带载波通信网络。有效取值为1-15。

每个宽带载波通信网络都必须有一个唯一的短网络标识。

7.1.3.3.2.8 信标管理信息

信标管理信息是信标帧的可变长字段。信标管理信息字段的格式如0所示。

信标管理信息格式

字段	字节号	字段大小(字节)	定义
信标条目数	0	1	Beacon 条目数
信标条目头 1	1	1	第一个 Beacon 条目头
信标条目长度 1	2	1	第一个 Beacon 条目长度=N(1)
信标条目 1		N(1)	第一个 Beacon 条目
信标条目头 L		1	第 L 个 Beacon 条目头
信标条目长度 L		1	第 L 个 Beacon 条目长度=N(L)
信标条目 L		N(L)	第 L 个 Beacon 条目

a) 信标条目数

信标条目数是一个1字节的字段，标识信标帧载荷中存在的总信标条目数。信标条目数的取值和含义如0所示。

信标条目数

信标条目数取值	说明
0x00—0x02	保留
0x03	存在 3 个信标条目，如此类推

b) 信标条目头

信标条目头是一个1字节的字段，指示信标条目的类型。信标管理信息中的信标条目根据信标条目头增加的顺序排列。信标条目头的取值和格式如0所示。

信标条目头

信标条目头的值	说明	对应信标条目长度字段大小
0x00	非法值	
0x01	站点能力条目	1
0x02	时隙分配条目	2
0x03	保留	
0x04	保留	
0x05	保留	
0x06	路由参数条目	1
0x07	频段变更条目	1
0x08	占用	2
0x09-0xff	保留	

c) 信标条目长度

信标条目长度，表示信标条目的长度，单位是字节。根据条目类型的不同，信标条目长度字段的大小不一样，在下文的条目内容中，同时描述了条目头和条目长度字段，条目长度字段的大小会各自描述。信标条目长度的取值和含义如0所示。

信标条目长度

信标条目长度取值	说明
0x00	长度为 0，如此类推

d) 信标条目

信标条目内容由信标条目头决定。各种信标条目的格式以下章节分别描述。

——站点能力条目的格式如 0 所示。

站点能力条目

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
信标条目头	0	0-7	8	0x01
信标条目长度	1	0-7	8	条目长度，单位 byte。 固定值：0x16
层级数	2	0-5	6	层级数 层级数不大于 15
相线		6-7	2	站点所属相线 相线定义： 0x0: 全相线 0x1: A 相线 0x2: B 相线 0x3: C 相线
TEI	3	0-7	8	站点 TEI
	4	0-3	4	
角色	4	4-7	4	站点角色 角色定义： 0x0:未知 0x1:STA 0x2:PCO 0x4:CCO 其他：保留
信标使用标志位		0-7	8	使用信标评估信道。 值定义： 0x0: 不使用 0x1: 使用

发送信标站点 MAC 地址	6	0-7	48	信标发送站点 MAC 地址
	7	0-7		
	8	0-7		
	9	0-7		
	10	0-7		
	11	0-7		
代理站点 TEI	12	0-7	12	发送信标站点的代理站点 TEI
	13	0-3		
保留		4-7	4	保留
路径最低通信成功率	14	0-7	32	站点到 CCO 整个路径的最低通信成功率。CCO 时，成功率为 100%
	15	0-7		
	16	0-7		
	17	0-7		
保留	18	0-7	32	保留
	19	0-7		
	20	0-7		
	21	0-7		

——时隙分配条目的格式如 0 所示。

时隙分配条目

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
时隙分配条目头	0	0-7	8	0x02
时隙分配条目长度	1	0-7	16	时隙分配条目总长度,单位:字节。 可变大小,范围:3-512
	2	0-7		
非中央信标时隙总数	3	0-7	8	非中央信标时隙总数
中央信标时隙总数	4	0-7	8	中央信标时隙总数
CSMA 时隙支持的相线个数	5	0-7	8	CSMA 时隙支持的相线个数。 取值范围:1-3
代理信标时隙总数	6	0-7	8	代理信标时隙总数
信标时隙长度	7	0-7	16	每个信标时隙占用的时隙长度。 单位:100 微秒
	8	0-7		
CSMA 时隙大小	9	0-7	8	CSMA 时隙分片的大小。 单位:100 微秒
绑定 CSMA 时隙相线个数	10	0-7	8	绑定 CSMA 时隙支持的相线个数。 取值范围:1-3
绑定 CSMA 时隙链路标识符	11	0-7	8	绑定 CSMA 时隙支持的业务报文 lid。
TDMA 时隙长度	12	0-7	16	TDMA 时隙长度。

	13	0-7		单位：100 微秒
TDMA 时隙链路标识符	14	0-7	8	TDMA 时隙支持的业务报文 lid
信标周期起始网络基准时	15	0-7	32	信标周期的开始时刻 NTB 值。
	16	0-7		
	17	0-7		
	18	0-7		
信标周期长度	19	0-7	32	信标周期的时间长度 单位：100 微秒
	20	0-7		
	21	0-7		
	22	0-7		
保留	23-26	0-7	32	保留
非中央信标信息	可变长	可变长		代理信标和发现信标的信息字段。 字段大小是可变长度，根据 NonCentralBeaconSlotCount 计算字段占用总大小。 信息的字段定义，如 0 所示。
CSMA 时隙信息	可变长	可变长		CSMA 时隙的信息字段。 字段大小是可变长度，根据 CdmaSlotPhaseCount 计算字段占用总大小。 信息字段的定义，如 0 所示。
绑定 CSMA 时隙信息	可变长	可变长		绑定 CSMA 时隙的信息字段。 字段大小是可变长度，根据 BindCdmaSlotPhaseCout 计算字段占用总大小。 信息字段的定义，如 0 所示。

非中央信标信息字段的格式如0所示。

非中央信标信息字段

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
TEI	0	0-7	8	指定发送信标的站点的 TEI
	1	0-3	4	
信标类型		4	1	信标类型 0x0: 发现信标 0x1: 代理信标
保留		5-7	3	保留

说明：非中央信标信息字段，指明了代理站点和发现站点发送信标的时隙；在中央信标和代理信标中，包含了本字段；在发现信标中，为节省报文空间，省略了该字段；省略该字段，不会影响时隙的计算。

CSMA时隙信息字段的格式如0所示。

CSMA 时隙信息字段

字段	字节数	位数	字段大小	定义说明
CSMA 时隙长度	0	0-7	24	CSMA 时隙的长度。 单位：100 微秒
	1	0-7		
	2	0-7		
相线	3	0-7	8	CSMA 时隙的相线

绑定CSMA时隙信息字段的格式如0所示。

绑定 CSMA 时隙信息字段

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
绑定 CSMA 时隙长度	0	0-7	24	绑定 CSMA 时隙的长度。 单位：100 微秒
	1	0-7		
	2	0-7		
相线	3	0-7	8	绑定 CSMA 时隙的相线

——路由参数通知条目的格式如错误！未找到引用源。所示。

路由参数通知条目

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
路由参数通知条目头	0	0-7	8	0x06
路由参数通知条目长度	1	0-7	8	条目长度，单位 byte 固定值：0x22
路由周期	2	0-7	16	路由周期。表示用于路由评估的时间周期。 单位：秒
	3	0-7		
保留	4	0-7	16	保留
	5	0-7		
路由评估剩余时间	6	0-7	16	距离下次路由评估的剩余时间。 单位：秒
	7	0-7		
保留	8~27	0-7	160	保留
CCO MAC 地址	28	0-7	48	本网络 CCO 的 MAC 地址
	29	0-7		
	30	0-7		
	31	0-7		
	32	0-7		

	33	0-7		
--	----	-----	--	--

——频段通知条目的格式如 0 所示。

频段通知条目

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
频段通知条目头	0	0-7	8	0x07
频段通知条目长度	1	0-7	8	条目长度, 单位 byte 固定值: 0x07
目标频段	2	0-7	8	需要切换到的目标频段 值定义: 0x00: 频段 0; 0x01: 频段 1。 其他: 保留 具体值, 请参考 0
频段切换剩余时间	3	0-7	32	距离实施频段切换, 剩余的时间 长度。 单位: 毫秒
	4	0-7		
	5	0-7		
	6	0-7		

7.1.3.3.2.9 信标帧载荷校验序列

信标帧载荷校验序列是一个32比特的字段, 用来检查信标帧载荷的完整性。信标帧载荷校验序列是信标帧载荷的32位循环冗余计算结果, 循环冗余计算不包括信标帧载荷校验序列。

7.1.3.3.2.10 物理块校验序列

物理块检验序列是一个24比特的字段。校验时, 覆盖帧载荷和BPCS信标帧载荷校验序列和保留字节三部分在内, 计算出24位循环冗余的校验值, 填充在物理块检查序列的最后24比特的位置。一旦MPDU被发送到目的地, 每个物理块的物理块检查序列被用来进行校验, 校验成功的物理块说明物理传输成功, 否则说明物理传输失败。

7.1.4 管理消息帧格式

MAC层的管理消息报文, 使用长帧头格式的MSDU进行封装。
管理消息报文头的定义如0所示。

管理消息报文头格式

字段	字节号	字段大小(字节)
原始目的地址	0-5	6
原始源地址	6-11	6
虚拟局域网标签	12-15	4
MSDU 帧类型	16-17	2
管理消息版本	18	1

管理消息类型	19-20	2
保留	21-23	3

管理消息类型（MMTYPE）的定义如0所示：

管理消息类型

管理消息名称	管理消息类型标识符
关联请求（MMeAssocReq）	0x0030
关联回复（MMeAssocCnf）	0x0031
代理变更请求（MMeChangeProxyReq）	0x0032
关联指示（MMeAssocInd）	0x0034
代理变更回复（MMeChangeProxyCnf）	0x0037
关联汇总指示（MMeAssocGatherInd）	0x003A
代理变更回复（MMeChangeProxyBitMapCnf）	0x003B
离线指示（MMeLeaveInd）	0x0049
心跳检测（MMeHeartBeatCheck）	0x0051
发现列表（MMeDiscoverNodeList）	0x0055
延迟离线指示（MMeDelayLeaveInd）	0x005D
通信成功率上报（MMeSuccessRateReport）	0x005E

7.1.4.1 关联请求报文

关联请求报文（MMeAssocReq）格式的定义如0所示。

关联请求报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
站点 MAC 地址	0-5	6
代理 TEI	6-7	2
	8-9	2
	10-11	2
	12-13	2
	14-15	2
相线	16	1
	17	1
	18	1
设备类型	19	1
保留	20	1
代理层级数目	21	1
MAC 地址类型	22	1
保留	23	1
站点关联随机数	24-27	4
站点版本信息	28-55	28
硬复位累积次数	56-57	2
软复位累积次数	58-59	2

代理类型	60	1
组网序列号	61	1
保留	62	bit0
管理消息版本		bit1-bit4
保留		bit5-bit7
保留	63	1
端到端序列号	64-67	4

7.1.4.1.1 站点 MAC 地址

表示发起关联请求的终端设备地址，长度为6字节。

7.1.4.1.2 代理 TEI

包含了候选代理站点列表，最多支持携带5个候选代理站点的TEI。

7.1.4.1.3 相线

表示本站点的所属相线的评估结果，最低字节存放评估出的所属相线，其他字节依次填入可能的备选相位，相线的值定义如0所示。

相线值

值	定义
0	表示未知相线
1	表示 A 相线
2	表示 B 相线
3	表示 C 相线

7.1.4.1.4 设备类型

表示终端设备的类型，定义如0所示。

设备类型字段

值	定义
0x01	抄控器
0x02	集中器通信模块
0x03	电表通信模块
0x04	中继器
0x05	II 型采集器
0x06	I 型采集器

7.1.4.1.5 代理层级数目

表示关联请求报文，在到达CCO的路径上所经过的代理结点数目。

7.1.4.1.6 MAC 地址类型

表示关联入网时使用的 MAC 地址的来源，定义如 0 所示。

MAC 地址类型字段

值	定义
0x0	电能表地址作为入网 MAC 地址
0x1	通信模块本身的 MAC 地址作为入网 MAC 地址

7.1.4.1.7 站点关联随机数

表示模块关联入网的随机数，设备出厂后，初次上电时会自动获取一个32比特的随机值作为关联随机数，后续掉电后再上电，不再重新获取。

7.1.4.1.8 站点版本信息

表示站点的软硬件版本信息，定义如0所示。

站点版本信息字段

字段	字节号	字段大小(字节)
系统模式	0	1
Boot 版本号	1	1
系统异常原因	2	1
主版本号	3	1
	4	1
	5	1
编译时间	6	1
	7	1
	8	1
	9	1
	10	1
	11	1
次版本号	12-13	2
	14-15	2
芯片版本号	16-17	2
系统启动原因	18	1
参数主版本号	19	1
参数次版本号	20-21	2
	22-23	2
参数版本序列号	24-25	2
保留	26-27	2

7.1.4.1.8.1 系统模式

表示系统当前的工作模式，如0所示：

系统模式字段

值	定义
0x0	正常模式
其他	保留

7.1.4.1.8.2 Boot 版本号

用于定义Boot的版本号，可以配合芯片版本号进行区别。

7.1.4.1.8.3 系统异常原因

表示系统的上次异常原因，定义如0所示。

系统异常原因字段

值	定义
0x00	系统正常
0x01 – 0xFF	应用层保留

7.1.4.1.8.4 主版本号

可用来表示终端设备当前软件版本的主版本号。

7.1.4.1.8.5 编译时间

表示软件版本文件的编译日期和时间，定义如0所示。

编译时间字段

值	定义
BuildDataTime[0]	表示年
BuildDataTime[1]	表示月
BuildDataTime[2]	表示日
BuildDataTime[3]	表示时
BuildDataTime[4]	表示分
BuildDataTime[5]	表示秒

7.1.4.1.8.6 次版本号

可用来表示终端设备当前软件版本的次版本号。

7.1.4.1.8.7 芯片版本号

表示芯片的版本号。

7.1.4.1.8.8 系统启动原因

表示系统启动的原因，定义如0所示。

系统启动原因字段

值	定义
0x0	正常重启
其他	保留

7.1.4.1.8.9 参数主版本号

表示当前终端设备的配置文件的主版本号。

7.1.4.1.8.10 参数次版本号

表示当前终端设备的配置文件的次版本号。

7.1.4.1.8.11 参数序列号

表示参数配置文件的序列号，文件不同时，序列号不同。

7.1.4.1.9 硬复位累积次数

记录设备的硬件复位的累计次数。

7.1.4.1.10 软复位累积次数

记录设备的软件复位的累计次数。

7.1.4.1.11 代理类型

表示代理站点的类型，定义如0所示。

代理类型

值	定义
0x1	保留。
0x2	表示是站点自己动态选择的代理。

7.1.4.1.12 组网序列号

表示关联请求报文产生时的组网序列号。

7.1.4.1.13 管理消息版本

表示网络管理消息的版本号。

本版本的管理消息版本号固定为1。

7.1.4.1.14 端到端序列号

表示端到端的管理消息序列号。请求入网的站点，在产生关联请求报文时，需要获取一个序列号，CCO在确认关联入网时，需要在确认报文中携带关联请求报文中的端到端管理报文序列号。

7.1.4.2 关联确认报文

关联确认报文（MMeAssocCnf）格式的定义如0所示。

关联确认报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
站点 MAC 地址	0-5	6
结果	6	1
站点层级	7	1

站点 TEI	8-9	2
代理 TEI	10-11	2
总分包数	12	1
分包序号	13	1
最后一个分包标识	14	1
保留	15	1
站点关联随机数	16-19	4
重新关联时间	20-23	4
端到端序列号	24-27	4
路径序号	28-31	4
组网序列号	32	1
管理消息版本	33	bit0-bit3
保留		bit4-bit7
保留	34	2
	35	
路由表信息	可变	可变长

7.1.4.2.1 站点 MAC 地址

用来标识关联确认报文的目的终端设备地址。

7.1.4.2.2 结果

关联请求的确认结果，定义如0所示。

关联请求的确认结果

值	定义
0x00	表示关联请求成功
0x01	表示该站点不在白名单中
0x02	表示该站点在黑名单中
0x03	表示加入的站点个数超过上限
0x04	表示没有设置白名单列表
0x05	表示代理站点个数超过上限
0x06	表示子站点个数超过上限
0x07	保留
0x08	表示重复的 MAC 地址
0x09	表示超过拓扑层级
0x0A	表示站点再次关联请求入网成功
0x0B	表示新的站点试图以自己的子站点为代理来入网
0x0C	表示组网拓扑中存在环路
0x0D	表示 CCO 端未知原因出错

7.1.4.2.3 站点层级

表示站点入网后的所处拓扑层级。

7.1.4.2.4 站点 TEI

CCO在确认该站点可以入网后，为该站点分配的设备标识TEI。

7.1.4.2.5 代理 TEI

CCO为该站点选定的代理站点的设备标识TEI。

7.1.4.2.6 总分包数

表示关联回复消息报文分包后，分包的总个数。

7.1.4.2.7 分包序号

表示关联确认报文分包的索引值。当关联确认报文需要分割发送时，每个分割后的分包都被分配一个递增的索引值，第一个分包的索引值为1。

7.1.4.2.8 最后一个分包标识

表示当前报文，是否为最后一个分包报文，定义如0所示。

最后一个分包标识字段

值	定义
0	不是最后一个分包
1	是最后一个分包

7.1.4.2.9 站点关联随机数

表示站点关联请求随机数，是请求入网的站点在发送的关联请求报文中携带的站点关联随机数。

7.1.4.2.10 重新关联时间

表示STA站点可以重新发起关联请求的时间间隔。当STA的关联请求被CCO拒绝后，CCO会通知STA站点下次可以重新向本网络发起关联请求的间隔时间。单位：毫秒。

7.1.4.2.11 端到端序列号

表示端到端管理报文序列号，当STA向CCO发起一次入网关联请求时，获取一个端到端管理报文序列号。

CCO在处理入网关联请求时，在发送的关联确认报文中，需要携带原始关联请求报文的端到端管理报文序列号。

7.1.4.2.12 路径序号

表示路径通知序列号。

在关联确认报文中，会携带路由路径信息。CCO每次发送关联确认报文时，需要获取一个路径通知序列号，获取的路径序列号是递加的。如发送第一个关联确认报文时，取值为0，则发送第二个关联确认报文时，取值为1，以此类推。

代理站点或者STA，在刷新路由表项时，需要判断路径序列号是否为最新的。

7.1.4.2.13 组网序列号

表示组网序列号，携带的是本关联确认消息所回应的关联请求消息中的组网序列号。

7.1.4.2.14 管理消息版本

表示网络管理消息的版本号。

7.1.4.2.15 路由表信息

CCO在关联确认报消息中会携带与关联入网站点相关的路由信息。该信息中包括新入网站点的所有直连STA站点和直连代理站点以及代理站点的所有子站点。路由表信息字段的定义如0所示。

路由信息字段

字段	字节号	字段大小(字节)	定义
直连站点数	0-1	2	新入网站点的直连 STA 站点个数
直连代理数	2-3	2	新入网站点的直连代理站点个数
路由表大小	4-5	2	路由信息表大小
保留	6-7	2	保留位
路由表	可变	可变长	记录直连子站点信息总长度可变, 具体参照 Table 定义。

路由表的定义如0所示。

子站点表

字段	字节号	字段大小(字节)	定义
直连站点[0]	0-1	2	直连 STA 的 TEI
直连站点[1]	2-3	2	直连 STA 的 TEI
...	...	2	直连 STA 的 TEI
直连站点[N-1]	2(N-1)– (2N-1)	2	直连 STA 的 TEI。 N=直连站点数。
直连代理[0]	0-1	2	直连代理 PCO 的 TEI
该代理下子站点数	2-3	2	该 PCO 下所有子站点的个数。
子站点[0]			该 PCO 下的 STA 站点 TEI。
子站点[1]			该 PCO 下的 STA 站点 TEI。
...	...	...	该 PCO 下的 STA 站点 TEI。
子站点[M0-1]			该 PCO 下的 STA 站点 TEI。 M0= ChildStaSum0
直连代理[1]	0-1	2	直连代理 PCO 的 TEI

该代理下子站点数	2-3	2	该 PCO 下所有子站点的个数。
子站点[0]			该 PCO 下的 STA 站点 TEI。
子站点[1]			该 PCO 下的 STA 站点 TEI。
...	...	...	该 PCO 下的 STA 站点 TEI。
子站点[M1-1]			该 PCO 下的 STA 站点 TEI。 M1= ChildStaSum1
...
直连代理[S]	0-1	2	直连代理 PCO 的 TEI S= 直连站点数
该代理下子站点数	2-3	2	该 PCO 下所有子站点的个数。
子站点[0]			该 PCO 下的 STA 站点 TEI。
子站点[1]			该 PCO 下的 STA 站点 TEI。
...	...	...	该 PCO 下的 STA 站点 TEI。
子站点[MS-1]			该 PCO 下的 STA 站点 TEI。 MS= ChildStaSum0

当路由表过大，不能在一个报文中传输完成时，需要对路由表进行分包传输。

分包规则：

每个分包中都有一个路由信息字段和子站点表，路由信息字段的内容指示的是当前分包中的子站点表的信息，每一个分包的路由表项都要保证能够无歧义解析。

所有分包中，需要顺序先传输直连子站点，直连子站点未满足一个分包，可继续传输直连代理子站点及其子站点；如果一个代理站点的子站点数量过大，需要多个分包时，每个分包的第一个表项必须填写该代理子站点，第二表项填写该分包中该代理站点子站点的数量，即所有分包中传输直连代理站点及其子站点时，必须保证如下格式顺序：直连代理站点TEI，该代理站点下子站点数量，子站点TEI。

7.1.4.3 关联指示报文

关联指示报文（MMeAssocInd）格式的定义如0所示。

关联指示报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
结果	0	1
站点层级	1	1
站点 MAC 地址	2-7	6
CCO MAC 地址	8-13	6

站点 TEI	14-15	2
代理 TEI	16-17	2
保留	18	3
	19	
	20	
分包序号	21	1
总分包数	22	1
最后一个分包标识	23	1
站点关联随机数	24-27	4
保留	28-44	17
组网序列号	45	1
保留	46	2
	47	
重新关联时间	48-51	4
端到端序列号	52-55	4
保留	56-63	8
路由表信息	可变	可变长

7.1.4.3.1 结果

关联请求的确认结果，确认结果定义如0所示。

关联请求的确认结果

值	定义
0x00	表示关联请求成功
0x01	表示该站点不在白名单中
0x02	表示该站点在黑名单中
0x03	表示加入的站点个数超过上限
0x04	表示没有设置白名单列表
0x05	表示代理站点个数超过上限
0x06	表示子站点个数超过上限
0x07	表示没有回复
0x08	表示重复的 MAC 地址
0x09	表示超过拓扑层级
0x0A	表示曾经入网的站点再次入网
0x0B	表示新的站点试图以自己的子站点为代理来入网
0x0C	表示组网拓扑中存在环路
0x0D	表示 CCO 端未知原因出错

7.1.4.3.2 站点层级

表示新入网站点所属的网络层级。

7.1.4.3.3 站点 MAC 地址

表示新入网站点的MAC地址。

7.1.4.3.4 CCO MAC 地址

表示本网络的CCO的MAC地址。

7.1.4.3.5 站点 TEI

表示STA站点的设备标识，是在CCO确认该STA可以入网后，由CCO分配的TEI。

7.1.4.3.6 代理 TEI

表示代理站点的设备标识，为该新入网STA站点的代理站点的TEI。

7.1.4.3.7 分包序号

表示关联指示消息的分包索引。当关联指示报文需要分割发送时，每个分割后的分包都被分配一个递增的索引值，第一个分包的索引值为1。

7.1.4.3.8 总分包数

表示关联指示报文的总的分包数。

7.1.4.3.9 最后一个分包标识

指示当前分包报文是否为所有分包中的最后一个分包报文，定义如0所示。

最后一个分包标识字段

值	定义
0x0	不是最后一个分包
0x1	是最后一个分包

7.1.4.3.10 站点关联随机数

表示站点关联请求随机数，是请求入网的站点在关联请求报文中携带的站点关联随机数。

7.1.4.3.11 组网序列号

表示组网序列号，是关联确认报文所回应的关联请求报文中的组网序列号。

7.1.4.3.12 重新关联时间

表示STA站点可以重新发起关联请求的时间间隔。当STA的关联请求被CCO拒绝后，CCO会通知STA站点下次可以重新发起关联请求的间隔时间。单位：毫秒。

7.1.4.3.13 端到端序列号

表示端到端管理报文序列号。当STA向CCO发起一次入网关联请求时，获取一个端到端管理报文序列号。PCO在发送的关联指示报文中，需要携带原始关联请求报文的端到端管理报文序列号。

7.1.4.3.14 路由表信息

参照7.1.4.2.15。

7.1.4.4 关联汇总指示报文

关联汇总指示报文（MMeAssocGatherInd）格式的定义如0所示。

关联汇总指示报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
结果	0	1
站点层级	1	1
CCO MAC 地址	2-7	6
代理 TEI	8-9	2
组网序列号	10	1
汇总站点数	11	1
保留	12-27	16
站点信息	可变量	可变量

7.1.4.4.1 结果

表示关联请求的结果，固定值为0，表示允许加入网络。

7.1.4.4.2 站点层级

表示所有新入网站点所处的网络层级。

7.1.4.4.3 CCO MAC 地址

表示本网络中CCO的设备地址。

7.1.4.4.4 代理 TEI

表示代理站点的设备标识，为所通知的所有新入网站点的代理站点的TEI。

7.1.4.4.5 组网序列号

表示组网序列号，携带的是本关联汇总指示报文所回应的关联请求报文中的组网序列号。

7.1.4.4.6 汇总站点数

表示关联汇总指示报文中通知的新入网站点的个数。
最大可支持到53。

7.1.4.4.7 站点信息

表示关联汇总指示报文中，所有新入网站点的信息。
站点信息字段的定义如0所示。

站点信息字段

字段	字节号	字段大小(字节)	定义
站点 MAC 地址 1	0-5	6	站点的 MAC 地址
站点 TEI1	6-7	2	分配给站点的 TEI
站点 MAC 地址 2	8-13	6	站点的 MAC 地址
站点 TEI2	14-15	2	分配给站点的 TEI
...

站点 MAC 地址 N	(8(N-1))- (8(N-1)+5)	6	站点的 MAC 地址 N=汇总站点数
站点 TEIN	(8(N-1)+6)- (8(N-1)+7))	2	分配给站点的 TEI N=汇总站点数

7.1.4.5 代理变更请求报文

代理变更请求报文（MMeChangeProxyReq）格式的定义如0所示。

代理变更请求报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
站点 TEI	0-1	2
新代理 TEI	2-3	2
	4-5	2
	6-7	2
	8-9	2
	10-11	2
旧代理 TEI	12-13	2
代理类型	14	1
原因	15	1
站点相线	16	1
	17	1
	18	1
保留	19	1
端到端序列号	20-23	4
组网序列号	24	1
保留	25-39	15

7.1.4.5.1 站点 TEI

表示申请进行代理变更站点的设备标识。

7.1.4.5.2 新代理 TEI

表示候选代理站点的设备标识。每2个字节可携带一个设备标识，最多可携带5个。由发起代理变更请求的站点，向CCO提出的候选代理站点，最多支持5个。CCO会在候选代理中，指定该站点的新代理。

7.1.4.5.3 旧代理 TEI

表示申请代理变更站点的原代理站点的设备标识。

7.1.4.5.4 代理类型

表示申请代理变更站点的原代理类型，定义如0所示。

代理类型

值	定义
0x1	保留

0x2	表示动态代理
-----	--------

7.1.4.5.5 原因

表示站点发起代理变更原因，定义如0所示。

代理变更原因

值	定义
0x1	表示周期代理变更
0x2	表示快速代理变更(周期内快速变更)
0x3~4	保留

7.1.4.5.6 站点相线

表示发起代理变更请求站点的相线信息，最低字节存放评估出的所属相线，其他字节依次填入可能的备选相位，相线的值定义如0所示。

相线评估信息

值	定义
0	表示未知相线
1	表示 A 相线
2	表示 B 相线
3	表示 C 相线

7.1.4.5.7 端到端序列号

表示端到端的报文序列号。

请求代理变更的站点，在产生代理变更请求报文时，需要获取一个序列号，CCO在确认代理变更时，需要在确认报文中携带代理变更请求报文中的端到端报文序列号。

该序列号由发起请求的站点维护。

7.1.4.6 代理变更请求确认报文

代理变更请求确认报文（MMeChangeProxyCnf）格式的定义如0所示。

代理变更请求确认报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
结果	0-3	4
总分包数	4	1
分包序号	5	1
站点 TEI	6-7	2
代理 TEI	8-9	2
子站点数	10-11	2
保留	12	1
组网序列号	13	1
保留	14	2
	15	

端到端序列号	16-19	4
路径序号	20-23	4
保留	24-27	8
	28-31	
子站点条目	Var	可变

7.1.4.6.1 结果

表示代理变更结果，定义如0所示。

代理变更结果

值	定义
0x0	表示变更成功

7.1.4.6.2 总分包数

表示代理变更请求确认报文的总的分包数。当报文超过传输限制时，可以分包进行传输。

7.1.4.6.3 分包序号

表示代理变更请求确认报文的分包索引。当代理变更请求确认报文需要分割发送时，每个分割后的分包都被分配一个递增的索引值，第一个分包的索引值为1，之后每一个分包的索引值都在前一个分包的索引值基础上加1。

7.1.4.6.4 站点 TEI

表示申请代理变更的站点的TEI。

7.1.4.6.5 代理 TEI

表示申请代理变更站点的新代理站点的TEI。

7.1.4.6.6 子站点数

表示申请代理变更站点的所有子站点的数目。

7.1.4.6.7 组网序列号

表示代理变更请求发起时，该网络的组网序列号。

7.1.4.6.8 端到端序列号

表示端到端的报文序列号。请求代理变更的站点，在产生代理变更请求报文时，需要获取一个序列号，CCO在确认代理变更时，需要在代理变更请求确认报文中携带代理变更请求报文中的端到端报文序列号。

7.1.4.6.9 路径序号

表示路径通知序列号。在代理变更请求确认报文中，会携带路由路径信息。每次代理变更请求确认报文的发送，CCO会获取一个路径通知序列号，获取的路径序列号是递加的。代理站点或者STA站点，在刷新路由由表项时，需要判断路径序列号是否为最新的。

7.1.4.6.10 子站点条目

包含子站点信息，即代理变更请求发起站点的所有子站点的TEI，定义如0所示。

子站点条目

字段	字节号	字段大小(字节)	定义
TEI[0]	0-1	2	子站点的 TEI
TEI[1]	2-3	2	子站点的 TEI
...	...	2	子站点的 TEI
TEI[N-1]	(2N-2) - (2N-1)	2	子站点的 TEI N=子站点数

7.1.4.7 代理变更请求确认报文（位图版）

代理变更请求确认报文（位图版）（MMeChangeProxyBitMapCnf）格式的定义如0所示。

代理变更请求确认报文（位图版）格式

字段	字节号	字段大小(字节)
结果	0-3	4
站点 TEI	4-5	2
代理 TEI	6-7	2
组网序列号	8	1
子站点位图	9-138	130
版本	139	0 比特
保留		1-7 比特
端到端序列号	140-143	4
路径序号	144-147	4

7.1.4.7.1 结果

表示代理变更结果，定义如0所示。

代理变更结果

值	定义
0x0	表示变更成功

7.1.4.7.2 站点 TEI

表示申请代理变更的站点的TEI。

7.1.4.7.3 代理 TEI

表示申请代理变更站点的新代理站点的TEI。

7.1.4.7.4 组网序列号

表示代理变更请求发起时，该网络的组网序列号。

7.1.4.7.5 子站点位图

采用位图表示代理变更请求发起站点的所有子站点的TEI。根据TEI大小在比特图中相应的位置上填写标志，当比特位的值为1时，表示对应的TEI有效。如第0字节的第1比特值为1，表示的TEI为1的站点为此次发起代理变更的站点的子站点；第1字节的第0比特值为1，表示的TEI为8的站点为此次发起代理变更的站点的子站点。

7.1.4.7.6 版本

版本是一个1比特的字段。该字段用来指示“子站点位图”字段的定义版本号。

版本字段的含义如0所示。

版本

值	定义
0	占用
1	本标准协议

7.1.4.7.7 端到端序列号

表示端到端的报文序列号。请求代理变更的站点，在产生代理变更请求报文时，需要获取一个序列号，CCO在确认代理变更时，需要在代理变更请求确认报文中携带代理变更请求报文中的端到端报文序列号。

7.1.4.7.8 路径序号

表示路径通知序列号。在代理变更请求确认报文中，会携带路由路径信息。每次代理变更请求确认报文的发送，CCO会获取一个路径通知序列号，获取的路径序列号是递加的。代理站点或者STA站点，在刷新路由表项时，需要判断路径序列号是否为最新的。

7.1.4.8 离线指示报文

离线指示报文（MMeLeaveInd）格式的定义如0所示。

离线指示报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
站点 TEI	0-1	2
原因	2-3	2
站点 MAC 地址	4-9	6
代理 TEI	10-11	2
保留	12-19	8

7.1.4.8.1 站点 TEI

表示离线站点的设备标识。对于需要离线的站点，CCO会发送离线指示报文通知。

7.1.4.8.2 原因

表示离线原因，CCO告知的离线原因，定义如0所示。

原因字段

值	定义
0x0	CCO 判定站点未入网，但是接收到来自站点的除关联请求之外的报文。
0x1	保留。
0x2	CCO 判断网络拓扑的层级超过上限。
其他	保留

7.1.4.8.3 站点 MAC 地址

表示需要离线的站点的MAC地址。

7.1.4.8.4 代理 TEI

表示需要离线站点的代理站点的TEI。

7.1.4.9 延迟离线指示报文

延迟离线指示报文（MMeDelayLeaveInd）格式的定义如0所示。

延迟离线支持报文格式

字段	字段大小(字节)
原因	2
站点总数	2
延迟时间	2
保留	10
站点 MAC 地址	可变长

7.1.4.9.1 原因

表示CCO告知站点需要离线的原因，定义如0所示。

原因字段

值	定义
0x3	CCO 判断站点不在最新的白名单中
其他	保留

7.1.4.9.2 站点总数

表示CCO告知的需要离线的站点个数。

7.1.4.9.3 延迟时间

表示需要离线的站点可以在延迟时间到期后离线。
单位为秒。

7.1.4.9.4 站点 MAC 地址

包含离线站点的MAC地址，是可变长度字段，根据离线站点数目的不同，长度可变。定义如0所示。

站点 MAC 地址字段

字段	字节号	字段大小(byte)	定义
MAC[0]	0 - 5	6	需要离线站点的 MAC
MAC[1]	6 - 11	6	需要离线站点的 MAC
...	...	...	需要离线站点的 MAC
MAC[N-1]	$(6 * (N-1)) - (6 * (N-1) + 5)$	6	需要离线站点的 MAC N=站点总数

7.1.4.10 心跳检测报文

心跳检测报文（MMeHeartBeatCheck）格式的定义如0所示。

心跳检测报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
原始源 TEI	0-1	2
发现站点数最大的站 点 TEI	2-3	2
最大的发现站点数	4-7	4
可发现站点 TEI	8-137	130
版本	138	0 比特
保留		1-7 比特

7.1.4.10.1 原始源 TEI

设置为初始产生心跳检测报文的站点的TEI，该报文被各级代理转发时，OSTEI不变更。

7.1.4.10.2 发现站点数最大的站点 TEI

表示发现站点数量最多的站点的TEI。心跳检测报文被转发给CCO时，本字段记录的是沿途转发站点中，发现周围站点数量最多的站点的TEI。

7.1.4.10.3 最大的发现站点数

表示最大的发现站点数量。心跳检测报文被转发给CCO时，本字段记录的是沿途转发站点中，发现站点数最大的站点所发现的周围站点的数量。

7.1.4.10.4 可发现站点 TEI

表示可发现的站点的TEI，按照位图的形式表示。这里的可发现站点，是心跳报文传输过程中，对各个站点的发现站点的汇总表示。

根据TEI大小在位图中相应的位置上填写标志，当比特位的值为1时，表示对应的TEI有效。

如第0字节的第0比特值为1，表示可以发现TEI为1的站点；第1字节的第1比特值为1，表示可以发现TEI为10的站点。

7.1.4.10.5 版本

版本是一个1比特的字段。该字段用来指示“可发现站点TEI”字段的定义版本号。

版本字段的含义如0所示。

版本

值	定义
0	占用
1	本标准协议

7.1.4.11 发现列表报文

发现列表报文（MMeDiscoverNodeList）格式的定义如0所示。

发现列表报文格式

字段	字节号	字段大小(比特)
TEI	0-1	16
角色	2	8
层级	3	8
MAC 地址	4-9	48
代理 TEI	10-11	16
保留	12-14	31
	15	
是否完成与代理通信成功率计算		1
与代理站点通信成功率	16-19	32
与代理站点下行通信成功率	20-23	32
站点总数	24-25	16
发送发现列表报文个数	26-27	16
上行路由条目总数	28-29	16
路由表项条目长度	30	8
保留	31-32	16
路由周期到期剩余时间	33-34	16
相线	35	8
最小通信成功率	36	8
保留	37-41	40
上行路由条目信息	可变长	可变长
发现站点列表位图	起始字节可变	128*8
接收发现列表信息	可变	可变长

7.1.4.11.1 TEI

表示发送发现列表报文的站点的终端设备标识TEI。

7.1.4.11.2 角色

表示发送发现列表报文的站点的角色。

7.1.4.11.3 层级

表示发送发现列表报文的站点的网络层级。

7.1.4.11.4 MAC地址

表示发送发现列表报文的站点的MAC地址。

7.1.4.11.5 代理 TEI

表示发送发现列表报文的站点的代理站点的TEI。

7.1.4.11.6 代理站点信道信息

表示发送发现列表报文的站点，评估出的接收其代理站点报文时的信道质量。

7.1.4.11.7 与代理站点通信成功率

表示发送发现列表报文的站点，与其代理站点之间的上下行通信成功率。

7.1.4.11.8 与代理站点下行通信成功率

表示发送发现列表报文的站点，接收其代理站点的下行报文的成功率。

7.1.4.11.9 站点总数

表示发送发现列表报文的站点，在发现列表报文中，携带了发现站点信息的站点数量。

7.1.4.11.10 上行路由条目总数

表示发送发现列表报文的站点到达CCO的上行路由表项数目，最大支持4条路由表项。

7.1.4.11.11 发送发现列表报文个数

表示发送发现列表报文的站点在上个路由周期内发送的发现列表报文的总数。

7.1.4.11.12 接收发现列表信息条目长度

表示发现列表报文中，携带的上行路由表中单个表项的大小，单位比特。该字段的值为固定值，为8，表示8比特。

7.1.4.11.13 路由周期到期剩余时间

表示发送发现列表报文的站点，计算出的距离当前路由周期到期的剩余时间，单位：秒。

7.1.4.11.14 相线

表示发送发现列表报文的站点，评估出的本站点的所属相线，按照优先顺序填写。其中第一相线表示是本站点最有可能所属的相线。站点相线信息，需要根据接收的信标帧中的相线信息进行评估。定义如0所示。

相线评估信息字段

字段	比特位号	字段大小(比特)	定义
----	------	----------	----

相线 3	0-1	2	评估出的第三相线
相线 2	2-3	2	评估出的第二相线
相线 1	4-5	2	评估出的第一相线
保留	6-7	2	保留

7.1.4.11.15 最小通信成功率

表示发送发现列表报文的站点到CCO的整个路径节点中，最小的通信成功率。

7.1.4.11.16 上行路由条目信息

表示发送发现列表的站点，到达CCO的上行路由表项信息。表项的长度是3*上行路由条目总数字节，定义如0所示。

上行路由信息字段

字段	字节号	字段大小(字节)	定义
下一跳站点 TEI0	0-1	2	下一跳地址 TEI
路由类型 0	2	1	路由类型
下一跳站点 TEI1	3-4	2	下一跳地址 TEI
路由类型 1	5	1	路由类型
...
下一跳站点 TEI3	9-10	2	下一跳地址 TEI
路由类型 3	11	1	路由类型

路由类型定义如0所示。

路由类型字段

值	定义
0x00	表示错误的路由类型
0x01	表示同级备份路由类型
0x02	表示上级备份路由类型
0x03	表示代理主路径路由类型
0x04	表示上上级路由类型

7.1.4.11.17 发现站点列表位图

表示发现站点列表的位域图，比特位的值为1表示该比特位对应的TEI站点，是可被发现的。并且本报文中，也携带了对应的发现站点信息。

如0字节的1比特值为1，表示的TEI为1；1字节的0比特值为1，表示的TEI为8。

7.1.4.11.18 接收发现列表信息

表示发送发现列表报文的站点，在上个路由周期中，接收到其他站点的发现列表报文的总数。

其中，接收发现列表数0字段，记录的是发现站点列表位图域中，从0字节开始，第一个有效的TEI站点的值。其他的依次类推。

比如，发现站点列表位图域中，从0字节开始，第一个为1的比特位是1字节的0比特，那么接收发现列表数0字段的值，就是指接收TEI为8的站点的发现报文数量。

接收发现列表信息字段如0所示。

接收发现列表信息字段

字段	字节号	字段大小(字节)	定义
接收发现列表数 0	0	1	接收的发现列表 报文数量
接收发现列表数 1	1	1	接收的发现列表 报文数量
...	...	...	接收的发现列表 报文数量
接收发现列表数 N	N	1	接收的发现列表 报文数量

7.1.4.12 通信成功率上报报文

通信成功率上报报文（MMeSuccessRateReport）格式的定义如0所示。
本报文只需要由代理站点发送。

通信成功率上报报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
TEI	0-1	2
站点总数	2-3	2
通信成功率信息	可变长	可变长

7.1.4.12.1 TEI

表示代理站点自身的设备标识TEI。通信成功率报文，由代理站点发送。

7.1.4.12.2 站点总数

表示代理站点的子站点个数。同时也是通信成功率信息字段中STA表项的数目。

7.1.4.12.3 通信成功率信息

表示通信成功率信息，包含了代理站点的每个子站点的通信成功率。通信成功率信息字段中，每个STA成功率信息的定义如0所示。

成功率信息

字段	字节数	字段大小(字节)	定义
站点的 TEI	0-1	2	站点的 TEI
下行通信成功率	2	1	下行通信成功率
上行通信成功率	3	1	上行通信成功率

7.1.4.12.3.1 站点的 TEI

表示子站点的设备标识。

7.1.4.12.3.2 下行通信成功率（DownCommRate）

表示代理站点到子站点的下行通信成功率。

7.1.4.12.3.3 上行通信成功率（UpCommRate）

表示子站点到代理站点的上行通信成功率。

7.2 MAC 子层功能描述

7.2.1 基本机制

宽带载波通信网络使用基于信标帧的信道访问机制，本节描述信标周期内信道访问机制之间的关系。

CCO周期性地发送信标帧，信标帧中包含了CCO分配的信标周期内的信标时隙，TDMA时隙，CSMA时隙，绑定CSMA时隙等时隙的规划信息。宽带载波通信网络中的子节点，必须遵循CCO分配的时隙，进行信道访问。

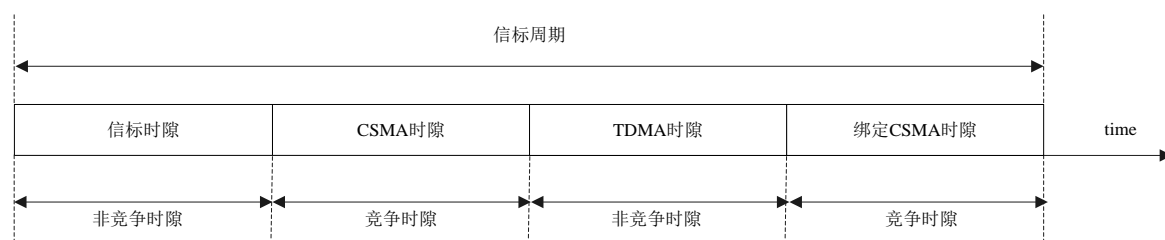
一般的，信标时隙和TDMA时隙等明确分配给CCO或具体STA使用的时隙，统称为非竞争时隙（TDMA时隙）；CSMA时隙和绑定CSMA时隙等未指明使用者的时隙，需要由有需求的STA竞争使用的时隙，统称为竞争时隙（CSMA时隙）。

在多个宽带载波通信网络通信网络并存并且相互干扰的时候，CCO之间需要进行时隙协调。

CCO在进行信道访问时，需要考虑电力线的相线因素。不同电力线相线上的STA，与CCO进行通信时，也需要考虑电力线相线的因素。可根据自身所在的相线，选择与之对应的时隙与CCO进行通信。

CCO在时隙规划时，根据业务需要，可以分配绑定CSMA时隙，由某种业务单独占有该时隙，凡是涉及该业务的STA，可以在该绑定CSMA时隙中，竞争发送该业务的报文。

信标周期的时隙划分如0所示。



时隙划分示意图

7.2.2 信标机制

宽带载波通信网络中有三种类型的信标帧：中央信标，代理信标和发现信标。信标帧必须在信标时隙中进行发送。信标时隙由CCO进行分配，分配时需要指明具体STA可以使用的对应时隙。

其中，中央信标和代理信标在每个信标周期内都必须发送。发现信标要求每一个STA站点，从加入网络后每170秒时间周期内至少发送两个信标帧。

STA在接收到信标帧后，一旦确定CCO指定其在某个时隙内发送信标帧，则必须在相应的时隙内，发送相应的信标帧。

7.2.2.1 中央信标

由CCO生成，在中央信标中，包含当前宽带载波通信网络的网络基准时间NTB，通过信标帧中的BTS字段，实时的通知给网络中STA。

同时，中央信标中包括了CCO的时隙分配结果，这些时隙分配结果决定了网络中的STA访问信道的方式和时隙。

在单个宽带载波通信网络中，中央信标是定周期发送的，发送的周期可自定义；在多个宽带载波通信网络共存的场景中，CCO的中央信标的发送时隙（与其他类型信标时隙作为一个整体的带宽，一体协调），需要在多个宽带载波通信网络的CCO之间协调，协调的原则是尽量保证各个CCO的中央信标能够在一定偏移下按照周期发送。

中央信标发送时，可以选择在多个相线上发送，或者单个相线上发送。不同相线上发送时需要不同的TDMA时隙。

7.2.2.2 代理信标

代理信标由代理站点(PCO)发送，代理信标中包含了中央信标的全部时隙安排内容，并且携带了代理STA的基本属性。

代理站点必须按照中央信标中指定的信标时隙，发送代理信标。

未入网的STA，在接收到代理信标后，可以根据代理信标中的时隙安排等内容，发起加入网络的请求。

7.2.2.3 发现信标

发现信标由STA站点发送，发现信标必须在CCO指定给该STA的信标时隙内发送。

发现信标，主要用于发现周围可能的隐藏STA。信标中包含了用于隐藏STA加入网络的竞争时隙安排等内容。

未入网的STA，在接收到发现信标后，可以根据发现信标中的时隙安排等内容，发起加入网络的请求。

7.2.3 时隙管理

CCO, PCO, STA三个角色，对于信标中时隙的管理算法必须保持一致。CCO将信标周期中的时隙分配，按照统一的算法，填充到信标中的时隙分配条目，通过信标发送，通知给PCO和STA等站点。PCO和STA对于信标中的时隙分配条目的解析（见7.1.3.3 小节），也同样需要遵照统一的算法。基本的时隙划分如0所示，具体的时隙管理算法如下文描述。

整个信标周期的长度，是由“信标周期长度”字段确定，单位是100微秒。

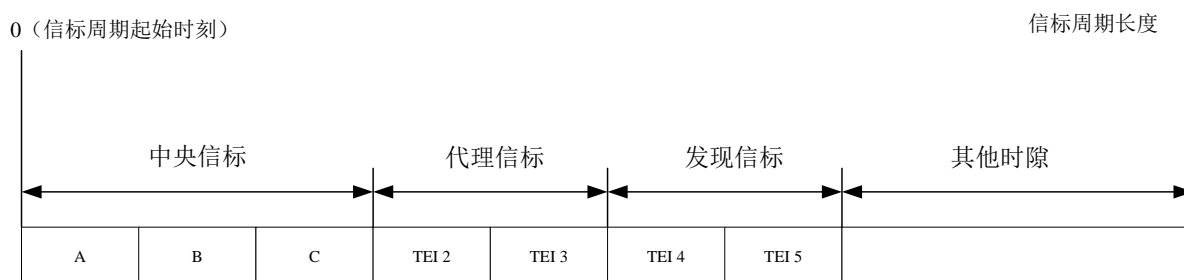
时隙的分配，是以相对时间计算，即分配从0时刻起，到信标周期长度的整个时间范围。

每个信标周期的起始时刻(即0时刻)，CCO都指定了其起始网络基准时间（NTB），即“信标周期起始网络基准时间”字段。

整个信标周期中，如果时隙类型齐全的话，一般会按照如0所示的分配顺序排列。

7.2.3.1 信标时隙

整个信标周期中，信标的时隙一般按照如0所示进行分割。



信标时隙分割示意图

7.2.3.1.1 中央信标时隙

如0所示，中央信标时隙，必须是从0时刻起分割，如果存在多个时隙，则依次按照相线进行分割，如图中的A，B，C分别指分割出来三个CCO的中央信标时隙。CCO需要在ABC三个相线上进行中央信标发送。

中央信标时隙的总数，由“中央信标时隙总数”字段确定。

每个时隙的长度，由“信标时隙长度”字段确定，单位是100微秒。

7.2.3.1.2 代理信标时隙

如0所示，代理信标时隙在分割时，需要偏移过中央信标时隙后，开始计算。

代理信标时隙分割时，需要按照时隙安排中的“非中央信标信息”字段逐个进行分割。每个时隙对应一个“非中央信标信息”字段。该字段中定义了每个信标时隙属于哪个STA，以及该时隙应该发送的信标类型是否为代理信标。

每个时隙的长度，由“信标时隙长度”字段确定，单位是100微秒。

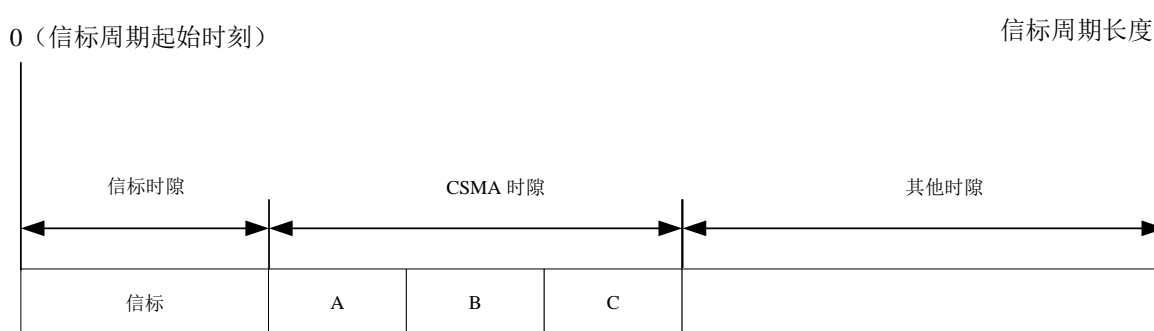
7.2.3.1.3 发现信标时隙

如0所示，发现信标时隙在分割时，需要偏移过中央信标时隙和代理信标时隙之后，开始计算。

发现信标时隙分割的方法和代理信标时隙分割方法一致，需要按照时隙安排中的“非中央信标信息”字段逐个进行分割。每个时隙对应一个“非中央信标信息”字段。该字段中定义了每个信标时隙属于哪一个STA，以及该时隙应该发送的信标类型是否为发现信标。

每个时隙的长度，由“信标时隙长度”确定，单位是100微秒。

7.2.3.2 CSMA 时隙



CSMA 时隙分割示意图

如0所示，CSMA时隙在分割时，需要进行均衡分割。在信标时隙中通知的CSMA时隙，只指明了归属于某个相线的总的时隙长度。每个相线的时隙总长度之和，构成了整个CSMA时隙的长度。整个CSMA时隙，需要按照相线的个数，进行均衡分割。

均衡分割是指，将每个相线的时隙，按照“CSMA时隙大小”的门限进行分割，将分割后的每个相线的时隙，按照一定的算法进行排列，使得最终的每个相线的时间片，在整个CSMA时隙中的分布，达到相对的均衡。

如果一个相线的CSMA时隙长度超过“CSMA时隙大小”的门限，则必须以“CSMA时隙大小”为单位进行分片。

如“CSMA时隙大小”的值为10，三个相线的时隙长度分别为0，8，12，则三个相线的时隙分别可分为0，1，1片。

具体分割算法如下：

假设N个相线可分为N1，N2，N3片， $N1 \leq N2 \leq N3$ ，则一共存在M片= $N1 + N2 + N3$ 。

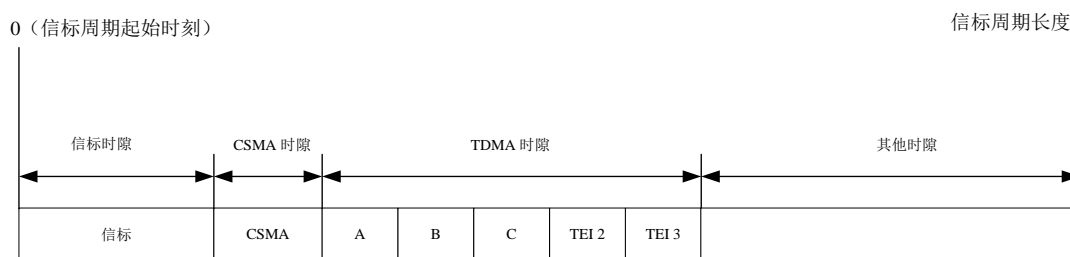
先分配第一个相线的时隙片，位置如下0， $M/N1$ ， $2M/N1$ ，...， $(N1 - 1)M/N1$

第二个相线时隙片位置如下，1， $1 + M/N2$ ，...， $1 + (N2 - 1)M/N2$ ，若对应位置已经存放时隙片，则往后寻找一个空位。

最后一个相线时隙片，存放后剩余的空位中。

对于分配后的时隙，进行判断，如果相邻时隙的相线相同，则合并为一个时隙。

7.2.3.3 TDMA 时隙



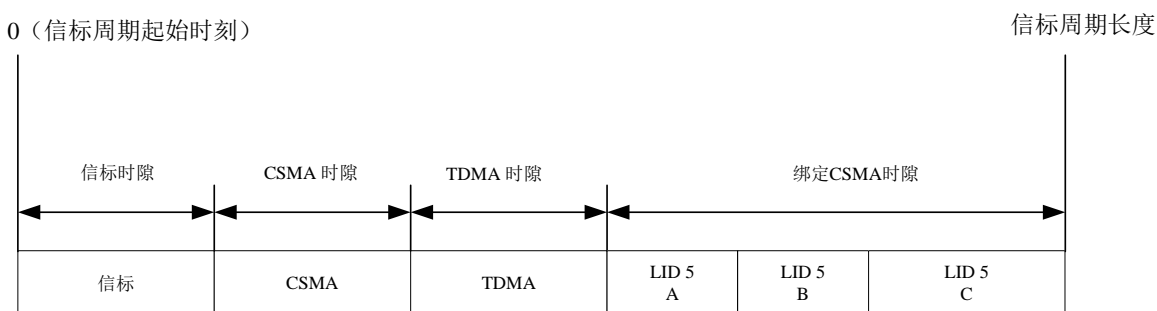
TDMA 时隙分割示意图

如0所示，TDMA时隙分割时，指明了该时隙分配给了哪个STA使用。具体的STA序列，复用了中央信标和代理信标的STA。每个TDMA时隙的所属的STA和中央信标时隙和代理信标时隙所属CCO和STA序列保持一致。

每个时隙的长度，由“TDMA时隙长度”确定，单位是100微秒。

所有TDMA时隙，只能指定给同一种业务使用，指定的业务由“TDMA时隙链路标识符”确定。

7.2.3.4 绑定 CSMA 时隙



绑定 CSMA 时隙分割示意图

如0所示，绑定CSMA分割时，分割算法和CSMA时隙一致，即如果存在多个时隙，每个时隙指明了所属的相线，则最终的时隙计算，需要按照CSMA时隙的均衡分割算法进行计算。

每个时隙的长度，由“绑定CSMA时隙信息”字段中的“绑定CSMA时隙长度”确定，该时隙所属的相线，由“相线”确定。

所有绑定CSMA时隙，只能指定给同一种业务使用，指定的业务由“绑定CSMA时隙链路标识符”确定。

7.2.4 信道访问

7.2.4.1 CSMA/CA 信道访问

CSMA时隙（包括绑定CSMA）中，站点必须通过信道竞争，冲突避免后，才能占用信道，进行报文发送。

在CSMA时隙中发送的报文，必须保证能够在相应的CSMA时隙中传送完成，不能跨越时隙。尤其保证不能跨越到信标时隙和TDMA时隙等非竞争时隙中。

在CSMA时隙中进行信道竞争时，需要进行基本的冲突判断和避免，并且通过VCS机制对信道状态进一步预判。

7.2.4.1.1 冲突

在CSMA时隙里，导致冲突的原因基本上是多个站点，退避在一个较小甚至完全重叠的时刻，进行了报文发送，导致冲突。

一般情况下，在以下两种情形中，发送端节点在发送报文后，需要等待一个回应报文：

- 单播的 SOF 帧，需要接收节点回应“选择确认”报文，
- 广播的 SOF 帧但是指定一个节点来回应“选择确认”。

一般情况下，可通过以下两种情形，判断出现了冲突：

- 当报文发送完成后，在等待一个回应报文时，没有收到回应报文，或者收到一个无效的或者非预期的报文。
- 当 SOF 帧发送后，接收到的“选择确认”帧中，提示 PHY 对全部 PB 块没有解析成功。

7.2.4.1.2 VCS

虚拟载波侦听（VCS），是主要用在CSMA时隙中的一种时隙预判机制，每个节点都需要支持。VCS机制根据报文传输时间以及帧间隔确定，采用VCS定时器以及定时器到期后的信道状态实现。其中VCS定时器时长计算方法和到期后状态如0所示。

VCS 定时器时长和状态迁移

事件	VCS 定时器时长	VCS 定时器到期后信道状态
检测到冲突	扩展帧间间隔	空闲
检测到前导	扩展帧间间隔	空闲
解析到 SOF 的帧控制	帧长*10us	空闲
解析到选择确认	竞争帧间间隔	空闲

7.2.4.1.3 优先级

站点在CSMA时隙中，竞争信道时，需要支持优先级。优先级高的报文，相对于优先级低的报文，应该具有更高的信道竞争能力。

报文的优先级，由分类规则确定，具体请参照0。

7.2.4.1.4 绑定 CSMA

绑定CSMA是指一段CSMA时隙，可以分配给某个优先级的业务或者某个种类的业务报文的传输。

在该时隙内，只能传输所分配的优先级或者种类的业务报文。

各个节点在绑定CSMA时隙中，需要按照一般的CSMA机制，进行信道竞争，竞争成功后，才能发送对应优先级或者种类的业务报文。

7.2.4.1.5 多相线 CSMA

多相线CSMA是指分配给不同相线的电力线上站点使用的时隙。STA需要和CCO进行通信时，要按照多相线的时隙规划使用多相线时隙。不同相线的STA，只能在对应相线的时隙里，才能向CCO发送报文。

多相线CSMA时隙，是由同一相线下的所有STA竞争使用的。

7.2.4.2 TDMA 信道访问

TDMA是指由CCO分配给指定节点的TDMA时隙。

在该时隙内，节点不需要进行信道竞争，可以独占被分配的TDMA时隙，进行报文的发送。

TMDA时隙一般分配给某个优先级的业务或者某个种类的业务，该时隙内只能传输对应的业务报文。

7.2.4.3 帧间隔

帧间隔是指线路上传输的物理层协议帧之间需要保证的最少时间间隔。

7.2.4.3.1 帧间隔类型

7.2.4.3.1.1 突发帧间隔(BIFS)

突发帧间隔（BIFS），一般指在不需要竞争的时隙中，连续发送报文时，物理层的协议帧之间需要保证的最小帧间隔。主要的应用场景有信标的连续发送等。

信标发送场景中，突发帧间隔（BIFS）如0所示：

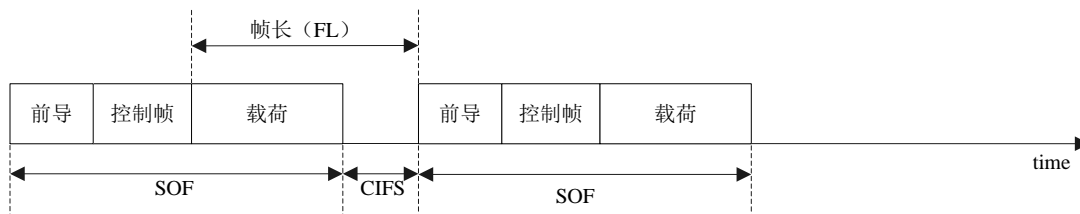


突发帧间隔示意图

7.2.4.3.1.2 竞争帧间隔(CIFS)

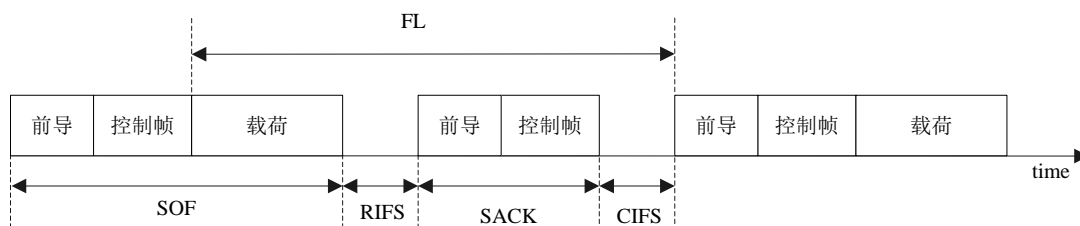
竞争帧间隔（CIFS），一般指在需要竞争的时隙中，当站点需要发送报文时，物理层的协议帧之间需要保证的最小帧间隔。

SOF帧不等选择确认(SACK)的场景中，竞争帧间隔（CIFS）如0所示：



竞争帧间隔示意图 1

SOF帧需要等选择确认(SACK)的场景中，竞争帧间隔(CIFS)如0所示：

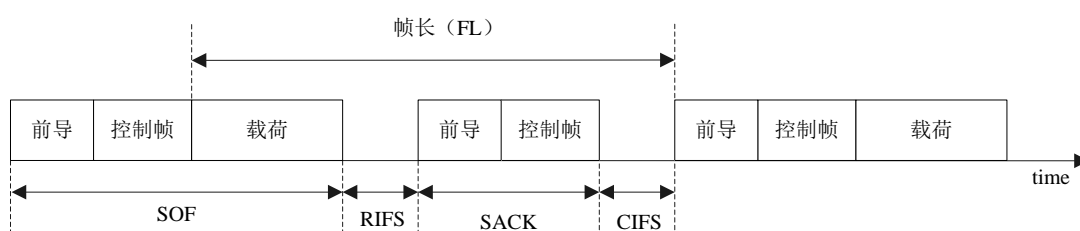


竞争帧间隔示意图 2

7.2.4.3.1.3 回应帧间隔(RIFS)

回应帧间隔(RIFS)，一般指需要等待回应帧的场景中，在报文和报文的回应帧之间，物理层的协议帧之间需要保证的最小帧间隔。

SOF帧需要等待选择确认(SACK)的场景中，回应帧间隔(RIFS)如0所示：

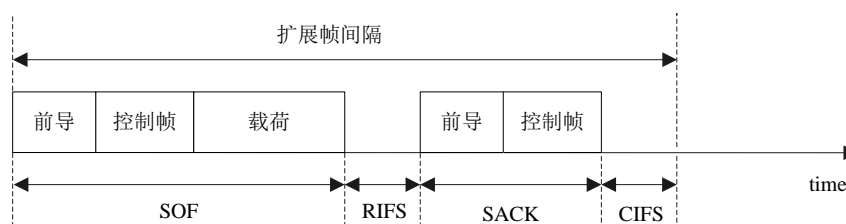


回应帧间隔示意图

7.2.4.3.1.4 扩展帧间隔(EIFS)

扩展帧间隔(EIFS)，不是一般的连续的两个帧的帧间隔，而是对于普遍的SOF帧的竞争场景的时隙间隔的预期值，主要用来在发送报文时，设置最长的退避时间间隔。

当在退避发送时，如果检测到了报文的前导，那么缺省先需要按照扩展帧间隔的时间间隔进行退避。当“帧控制”等解析成功时，可以根据“帧控制”等的具体时隙需求退避。扩展帧间隔（EIFS）如0所示。

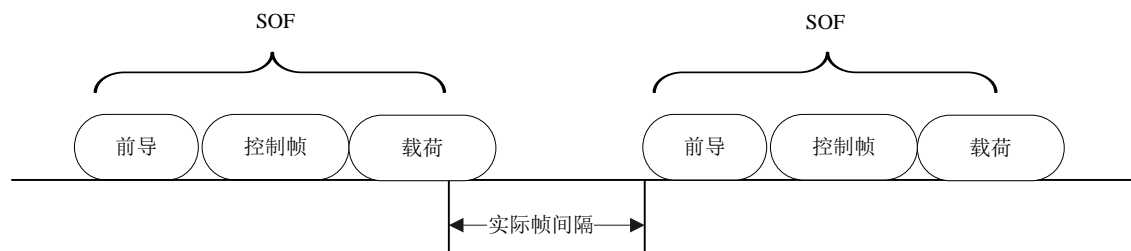


扩展帧间隔示意图

7.2.4.3.2 帧间隔的测量

在两个物理层协议帧之间的帧间隔，是通过计算在线路上最后一个OFDM的最后一个非零样本，与线路上第一个跟随帧的第一个非零样本之间的间隔时间。这种帧间隔是由传输器在发送前导时测量的，保证前导的发出时，帧间隔的测量已经完成而且足够。

实际帧间隔的测量如0所示。其他种类的帧间隔也是按照同样的方式进行测量。



帧间隔测量示意图

7.2.4.3.3 帧间隔范围

帧间隔取值范围定义如0所示。

帧间隔取值范围

类型	取值范围
竞争帧间隔 CIFS	400us
突发帧间隔 BIFS	400us
回应帧间隔 RIFS	400us~2300us
扩展帧间隔 EIFS	20ms

7.2.5 数据处理

MAC层处理的基本业务数据单元称作MSDU。

MAC层处理MSDU时，先将MSDU封装生成MAC帧。MAC帧是不同站点的MAC层之间进行数据传送的基本传输单元。

MAC层根据MSDU中的“原始源地址”和“原始目的地址”字段，来区分MSDU的原始源地址和原始目的地址，并且在宽带载波通信网络中传输时，使用“原始源TEI”和“原始目的TEI”与之相对应。

7.2.5.1 MAC 帧生成

MSDU包含一个MSDU载荷或者一个管理消息。MAC帧是通过在每个MSDU载荷上预填充一个MAC帧头部，在尾部添加一个完整性校验值生成的，具体帧格式详见第7.1.2节。

MAC帧头部中MAC帧类型字段能标示出是否有到达时间戳（ATS）。MAC帧头部中的“MSDU长度”被设置为MSDU 载荷的长度。“完整性校验”用于验证正确的解码和接收端MSDU载荷的重组，完整性校验值的计算覆盖 MSDU载荷，不包括 MAC帧头部。一个MAC帧只能由一个完整的MSDU生成。

MAC帧的生成如0所示：



MAC帧生成示意图

7.2.5.2 分片

一个MAC帧由一个MSDU生成，但是一个MAC帧可能要分多片，才能使用MPDU进行传输。PHY层在传输数据时，必须按照FEC块进行传输，FEC块支持两种大小，520字节和136字节。所以MAC帧在交给PHY层传输前，必须适配MPDU的格式。

在对MAC帧进行分片时，参照MPDU的物理块的格式。MAC帧分片后，每一片可以作为一个“物理块体”。“物理块体”的规格大小分为128字节和512字节两种。

分片时，按照由小到大的可能进行判断，以MAC帧分完为结束。如果MAC帧小于一个128字节，则不用分片，整个MAC帧作为一个“物理块体”使用。如果一个128的不能存下，一个512字节的分片能存下，则只分一个512字节的分片。大于一个512字节的，同理，继续按照512字节的单元继续分片，分完为止。

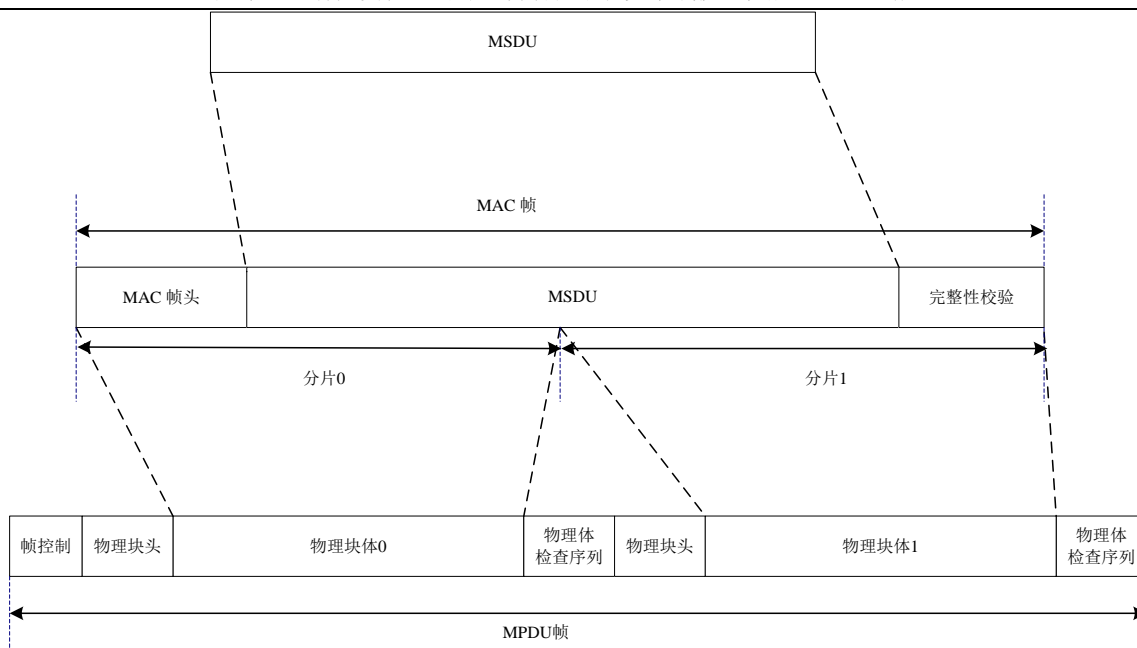
需要注意的是，一个MAC帧的所有分片，只能是一种大小格式，136字节或者520字节。最后一个分片中，如果数据的大小不足时，全部以0来补充。

每一个MAC帧的分片与一个“序列号”相关联。每帧的第一个分片的“序列号”被初始化为零，一个新分片产生时进行递增。

7.2.5.3 长MPDU的生成

当一个MAC帧在分片后，存在多个分片时，可以使用长MPDU进行传输。

长MPDU的生成，如0所示：



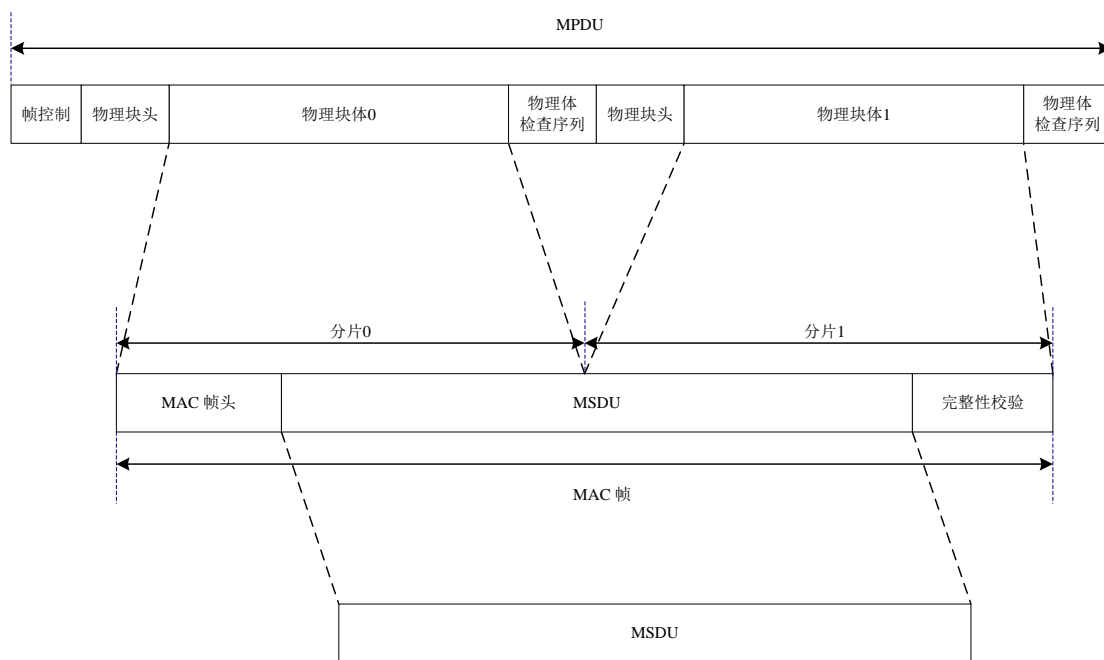
长 MPDU 生成示意图

7.2.5.4 重组

当一个MPDU的所有“物理体”被接收端接收成功后，则需要将所有的“物理块体”重组成为一个MAC帧。重组时，需要根据“物理块头”中的“序列号”，将所有的“物理块体”进行有序的重组。

重组完成后，需要进行完整性校验，以判断MAC帧的传输完整。一个重组后的MAC帧只能提取一个完整的MSDU。

MAC帧重组的过程，正好和MAC帧分片的过程相反，如0所示：



MAC 帧重组示意图

7.2.6 选择确认重传

SOF帧发送时，可以指定站点进行回应，所指定的站点，在接收到该SOF帧后，以“选择确认”(SACK)帧进行回应。“选择确认”，对于发送站点，是可选策略，对于接收站点，如果被指定回应“选择确认”，则被指定的接收站点，必须回应。

回应“选择确认”帧的站点，是通过SOF帧“帧控制”中的“目的TEI”来指定，当接收站点的TEI与接收到的SOF帧的“帧控制”中的“目的TEI”一致时，则接收站点需要回复“选择确认”报文。

SOF帧的发送站点，可以根据SOF帧的接收站点回复的“选择确认”帧，判断SOF帧的接收情况。“选择确认”帧中的“接收结果”字段和“接收状态”字段，说明了接收站点对于SOF帧的“帧载荷”中具体的“物理块”的接收情况。

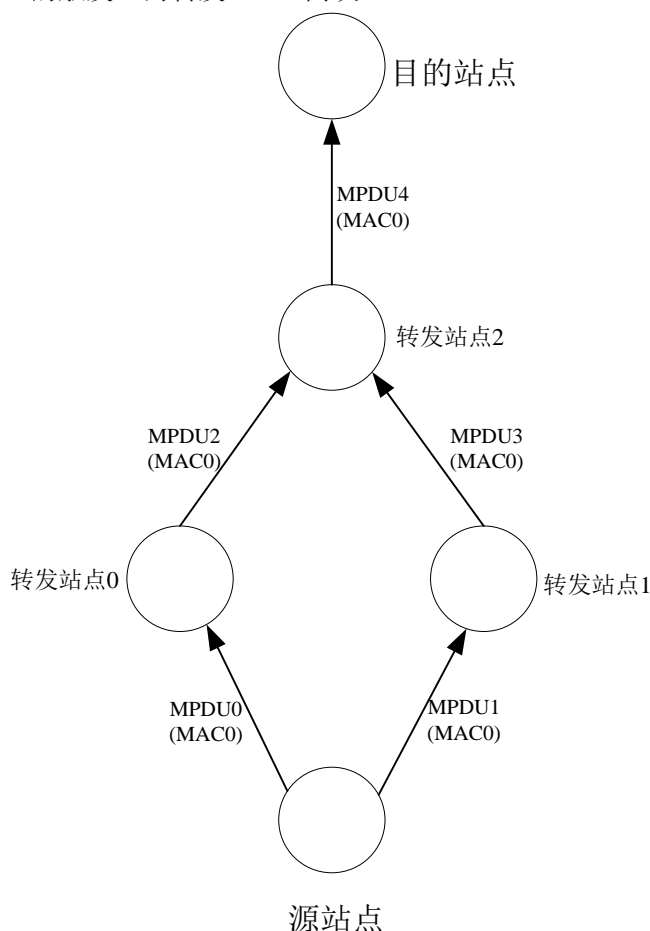
对于没有成功接收的“物理块”，需要将整个报文进行重传。

发送站点对于重传的报文，需要在SOF帧的“帧控制”中设置“重传标志位”字段。接收站点可以根据前一个报文的成功“物理块”，和重传报文的成功“物理块”，重组完整的MAC帧。

7.2.7 报文过滤

在宽带载波通信网络中，对于端到端的同一个MAC数据报文，转发站点在转发时，需要判断该报文是否为重复报文，对于重复的报文，不需要根据MPDU的触发，而进行重复的转发。

报文过滤原理如示意图如0所示，对于同一个MAC帧MAC0，当转发站点2判断MAC0已经转发过一次，则不需要根据MPDU3的触发，而转发MAC0两次。



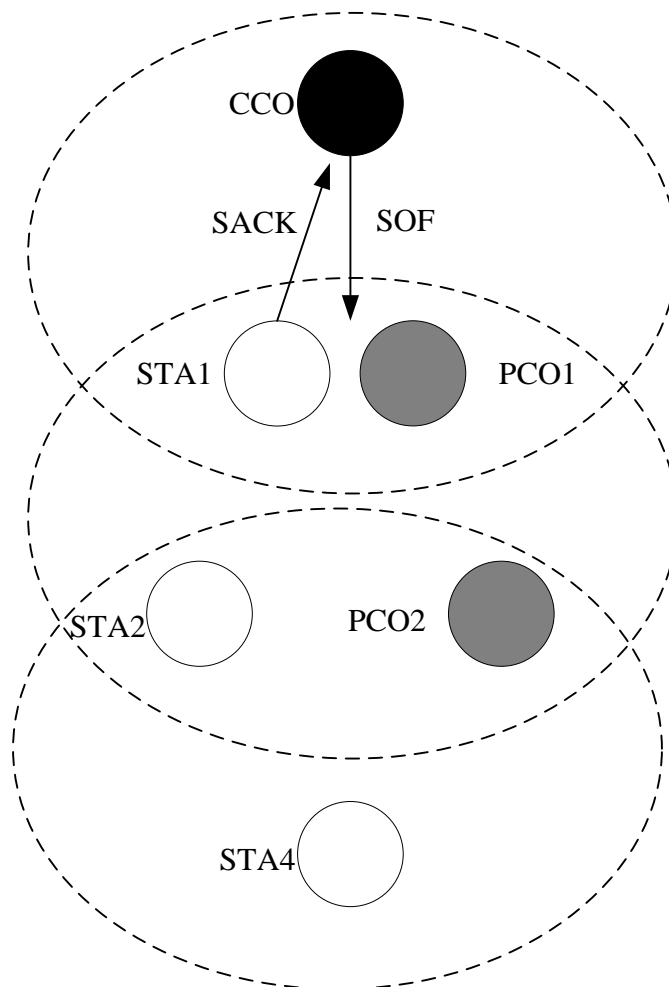
报文过滤示意图

7.2.8 单播/广播

对于SOF帧，在宽带载波通信网络中发送时，可采用单播和广播机制，来控制报文转发的范围。单播报文和广播报文通过SOF帧的“帧控制”中的“广播标志位”字段来区别（见第7.1.3.1节）。

单播方式，是指报文发送时，通过SOF帧“帧控制”的“目的TEI”来指定了具体的接收站点，其他站点从线路上检出单播报文时，如果“目的TEI”不是本站点，则不需要处理。

单播报文收发的示意图如0：CCO发送的报文，指定目的地址是STA1，则PCO1也在可正确接收报文的范围内，但是不需要处理。

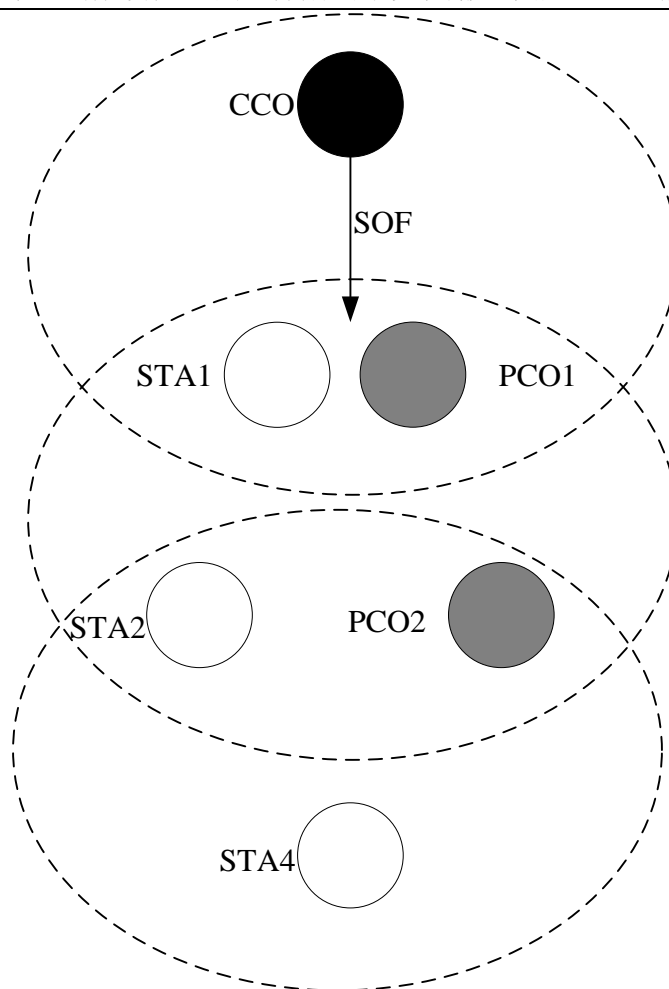


单播报文收发示意图

广播方式，是指报文发送时，通过设置“广播标志位”字段为1和“目的TEI”为0xFFF来指定该报文是广播报文，接收站点在接收到广播报文时，必须进行处理。

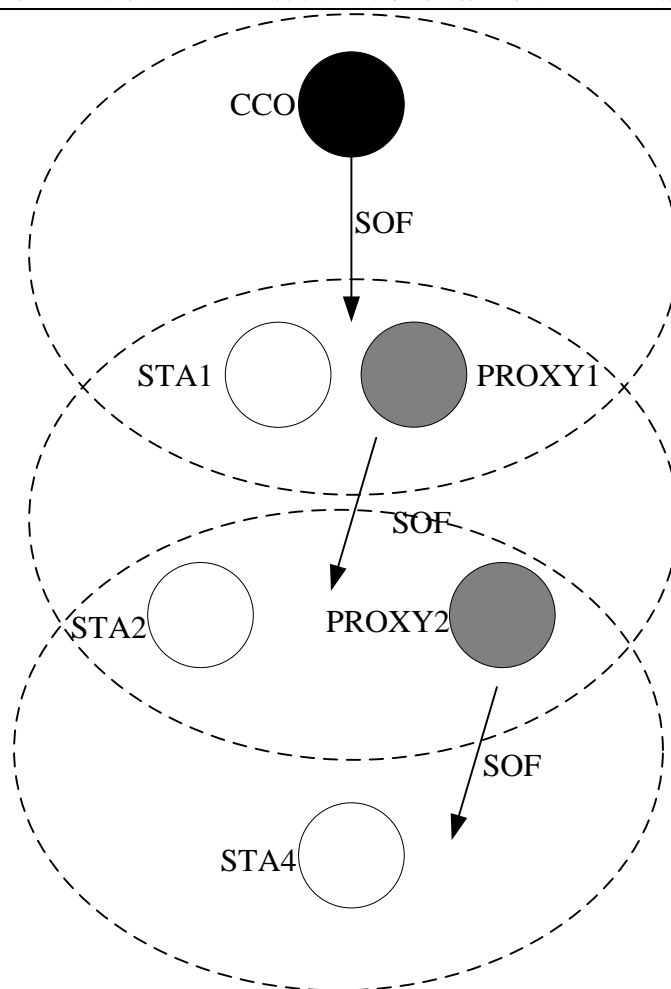
根据处理的不同，广播报文区分为本地广播和全网广播，可根据MAC帧头中的“发送类型”字段（见0）判断该报文是本地广播还是全网广播，对于全网广播的报文，站点在处理时，还需要进一步转发，转发的方向可根据MAC帧头中的“广播方向”字段来确定。同时，广播报文在发送时，也可以指定某个站点，对该广播报文进行“选择确认”帧回应。

本地广播报文的转发，如0所示：CCO发送的本地广播报文，STA1和PCO1接收后，并不进行转发。



本地广播收发示意图

全网下行广播，如0所示：CCO发送的全网下行广播报文，STA1和PCO1在接收后，由PCO1进行了转发，PCO1转发的全网广播报文，PCO2也进行了转发，达到了全网站点都能接收处理的目的。全网上行广播，并没有真正意义上全网广播，STA发起上行广播时，只有层级低的代理接收到报文进行转发。



全网广播收发示意图

7.2.9 PHY 时钟与网络时间同步

一个宽带载波通信网络中的所有设备必须同步到一个共用的时钟。

CCO必须维护一个32位的计时器，叫做网络基准时间（Network Time Base, NTB）。它的时钟由CCO的25MHz时钟提供。

NTB由在CCO在中央信标中“信标时间戳”发送（见第7.1.3.1节），宽带载波通信网络中的每个STA设备必须同步到这个NTB。

宽带载波通信网络中的所有STA设备都应该在本地维护一个32位的计时器，叫做NTB_STA，这个计时器在频率和绝对值上应该与CCO的NTB保持同步。NTB的同步通过接收CCO的中央信标，或者代理的代理信标来完成。

同步到CCO的NTB的主要作用是以此为基准，解析CCO的时隙分配，从而能够达到全网站点对时隙分配的统一理解和使用。同时NTB的同步，可以用于物理层的时钟同步，以便能够正确的发送报文信号和解析报文信号。

NTB_STA的准确性没有被明确规定，并且同步的实现可以采用任何方法，只要它满足必要的时序规定。

STA设备的晶体时钟频率应该在CCO设备的晶体时钟频率的 $\pm 25\text{ppm}$ 之内。

7.2.9.1 中央信标“信标时间戳”

CCO在发送中央信标时，需要在信标帧的帧控制中，嵌入一个32位的“信标时间戳”，详见第7.1.3.1节。“信标时间戳”是中央信标发送时的NTB值，即信标传输时间（BTT）的值，BTT被定义为信标MPDU的“帧控制”的第一个非零样本出现在发射端设备的模拟输出上的那一瞬时的时间。BTS的抖动（BTS_JITTER）应该不大于0.25微秒。

BTS_JITTER，以微秒为单位，定义为：

$$BTS_JITTER = \max_{j,k} |(BTT_j - BTT_k) - (BTS_j - BTS_k) / 25|$$

BTT_j , BTT_k 是任意两个信标BTT值，它们是一个可跟踪到同一个CCO的STA时钟的两次取样，以微秒为单位测得的。 BTS_j , BTS_k 是相应的信标帧“帧控制”中“信标时间戳”的值。

一个信标实际发送时间的NTB值和相应“帧控制”中的“信标时间戳”相差应该不大于±1250抽样点（±50微秒）。

7.2.9.2 代理信标“信标时间戳”

代理站点在发送代理信标时，需要在本站点的NTB与CCO的NTB同步的基础之上，进行发送。发送的代理信标中，同样需要嵌入32位的“信标时间戳”。

“信标时间戳”的取值定义，以及指标偏差，和中央信标一致。

7.2.9.3 发现信标“信标时间戳”

发现站点在发送代理信标时，需要在本站点的NTB与CCO或者代理站点的NTB同步的基础之上，进行发送。发送的发现信标中，同样需要嵌入32位的“信标时间戳”。

“信标时间戳”的取值定义，以及指标偏差，和中央信标一致。

7.2.9.4 多网络的网络时钟

多个宽带载波通信网络环境中，CCO之间的NTB不需要进行同步，各自维护一个本地的NTB，并且使用该NTB作为该宽带载波通信网络的网络基准时间。

为了保证多个CCO之间能够互相通信，各个CCO的采样率必须达到以下标准：50MHz±5ppm。

7.3 网络管理子层功能描述

网络管理子层主要的功能是，完成宽带载波通信网络的多网络网间协调，单网络组网和网络维护，包括中继路由的生成和维护，代理变更，站点离线等。

7.3.1 多网络共存及协调

7.3.1.1 短网络标识

短网络标识(SNID)，是用于标识一个宽带载波通信网络的唯一ID。

同一个宽带载波通信网络中的站点，包括CCO，在发送报文时，都需要在MPDU的“帧控制”中指明SNID，表示当前的报文所属的宽带载波通信网络，详见第7.1.3.1节。

SNID的可用范围为1-15。

7.3.1.2 网间协调

当多个集中器距离较近时，很有可能形成多网络共存的环境。

在多网络环境中，CCO之间需要首先完成SNID的协商，确定各自网络的SNID，避免形成多个网络使用同一个SNID的情况发生，保证各个宽带载波通信网络能够独立稳定的组网。

同时，由于信标帧是维护一个宽带载波通信网络的关键报文。所有类型的信标帧发送时，不同的宽带载波通信网络需要各自占用不同的信标时隙。CCO之间需要进行信标时隙协商，以便各自网络在发送信标帧时，能够避免其他网络的信标帧冲突。

多网络环境中，最大支持6个宽带载波通信网络的共存和协调。

7.3.1.3 基本机制

CCO启动后，首先进行一段时间的网络监听（时间可为10秒），判断周围是否存在已处于工作的宽带载波通信网络。对于已处于工作的宽带载波通信网络，应周期性的发送网间协调帧，以便其他后上电的CCO进行监听。

如果CCO在监听的时间段内，接收到邻居网络的网间协调帧，则需要根据网间协调帧中携带的SNID和时隙等信息，按照一定的优先原则，进行协商。

如果CCO在监听的时间段内，没有监听到网间协调帧，则该CCO可以独立组网工作，在工作过程中，需要周期性发送网间协调帧，同时，如果在工作过程中，收到其他网络CCO发送的网间协调帧，也需要按照一定的优先原则，参与协商。

7.3.1.4 SNID 协调过程

当CCO监听到的其他网络的网间协调帧中，显示该网络的SNID，与本网络选定的SNID一致时，则表明网络SNID存在冲突，必须进行协商。

协商时，CCO会首先设定一个协商缓冲期，可以是10ms-10s的范围内的一个随机值。CCO在这个协商缓冲期内，继续监听邻居网络的网间协调帧。如果在协商缓冲期内，发现邻居网络的SNID已经与本网络的SNID不同，则本网络的原SNID保持不变。如果直到协商缓冲期到期，发现邻居网络的SNID与本网络的SNID继续冲突，则协商缓冲期到期后，本网络CCO获取一个新的空闲的SNID作为本网络的标识。

当CCO确定启用新的SNID后，必须启动本网络的重新组网。

当CCO完成一轮SNID的协商后，后来再次出现SNID冲突的情形，则需要按照同样的过程，再次协商，直到SNID不同为止。但是，多网络的SNID支持的范围是1-15，如果某个CCO监听到15个网络的网间协调帧，占用了全部1-15的SNID，则该网络协调SNID会不成功，那么该网络可不用切换SNID，直到发现一个空闲的SNID，才需要切换。

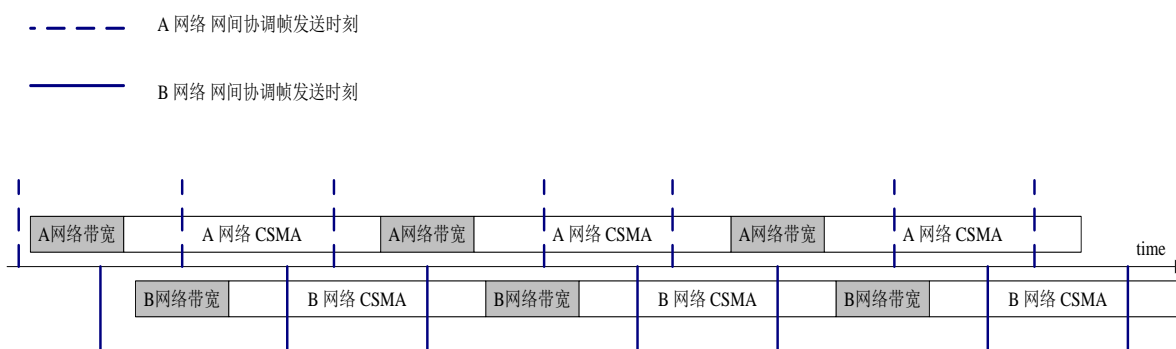
7.3.1.5 带宽协调过程

带宽协调是指信标时隙的协调，不同的网络，需要占用的信标时隙不同，所以意味着带宽也不同。协调的目的，是将不同的网络的信标时隙尽量有序的错开，既保证信标时隙的不冲突，也要保证信标发送的周期性。

带宽协调时，CCO需要发送网间协调报文，设置为网间协调标志，通过报文中的带宽保留时长，以及带宽的起止时刻偏移等参数，声明本网络的带宽占用。其他CCO解析到该网络的带宽占用后，在声明本网络的带宽占用时，需要避开已经被占用的带宽范围。

网间协调帧的发送，在本网络的CSMA时隙中发送。

两个CCO之间的带宽协调示意图如0所示：



多网络带宽协商示意图

7.3.1.6 带宽协调原则

7.3.1.6.1 退避原则

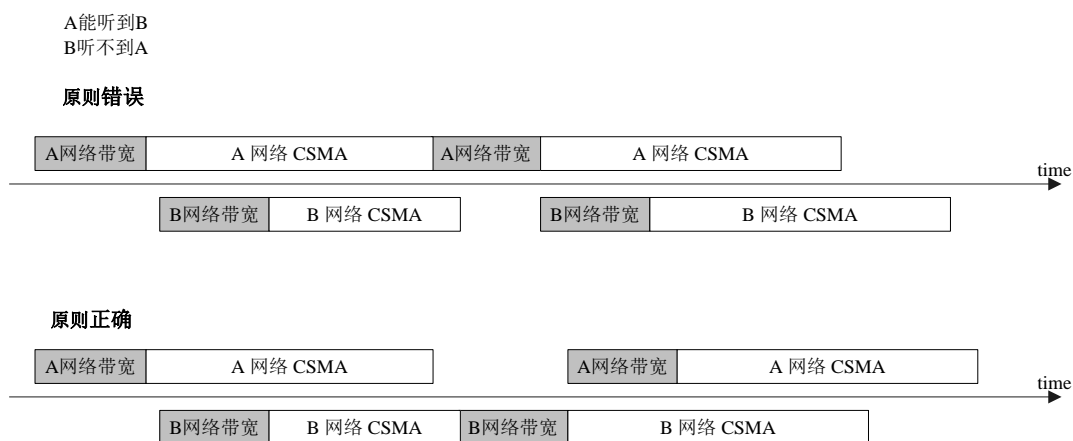
如果两个CCO，A和B，当A能接收到B的网间协调帧，但是B接收不到A的网间协调帧。如果A发现要占用的带宽，B也声明要占用时，则A需要退避B，B的带宽占用生效，A需要避开B的带宽，占用其他时隙带宽。

时隙占用的声明示意图如0所示：



带宽协商申请

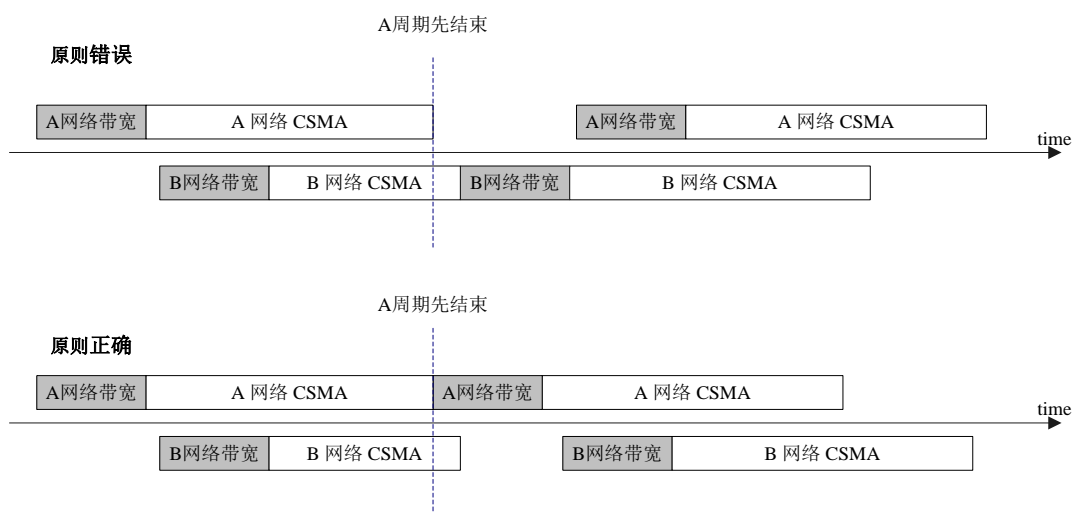
单通退避原则的示意图如0所示：



带宽协商原则 1

7.3.1.6.2 先结束优先原则

如果两个CCO，A和B，A网络的整个带宽时隙先于B网络结束时，则A可以优先占用较近的时段。先结束优先原则的示意图如0所示：



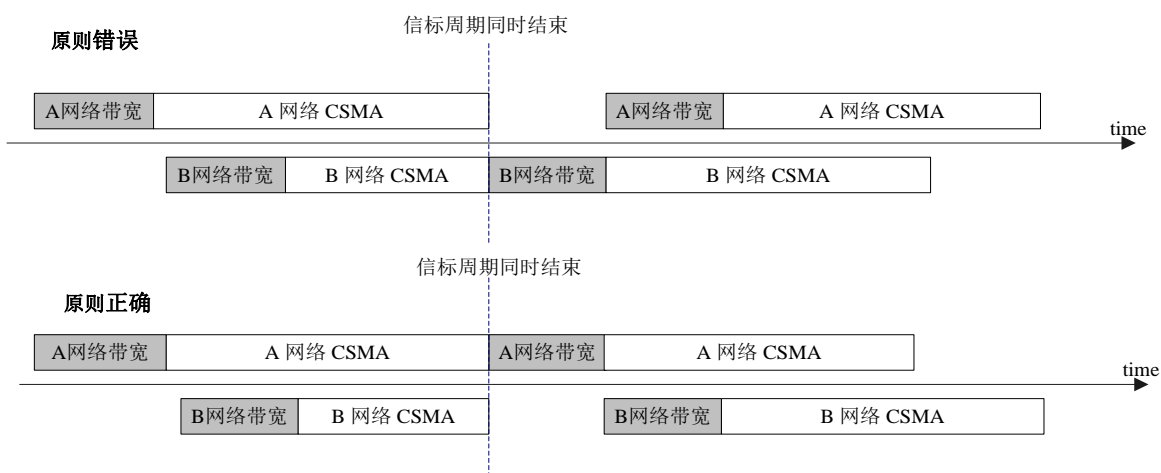
带宽协商原则 2

7.3.1.6.3 小 SNID 优先原则

当网络A和网络B的信标周期同时结束时，如果同时申请较近的同一段时隙，则SNID较小的网络的带宽占用生效，SNID较大的网络，需要退避SNID较小网络的申请带宽。

SNID小优先原则的示意图如0所示：

A网络SNID = 2
B网络SNID = 15



带宽协商原则 3

7.3.1.7 白名单

7.3.1.7.1 CCO 认证 STA 入网

白名单是允许入网站点的MAC地址的表项集合。CCO可以通过白名单，对请求入网的站点，进行管理认证。不同的宽带载波通信网络可以有不同的白名单。

CCO收到站点的关联请求报文后，将请求入网站点的MAC地址与CCO本地存储的白名单表项进行比对，当请求入网站的MAC地址在CCO白名单内时，CCO允许该站点加入网络；当请求入网的站

点的MAC地址不在白名单内时，CCO拒绝该站点加入，并且通知该站点在一段时间内（默认150s）不可以再次请求加入本网络。

CCO默认需要启动白名单功能，并且需要配置白名单表项。白名单功能默认启动时，如果未配置白名单具体的表项，则STA站点将不能通过白名单认证，导致无法入网。

7.3.1.7.2 STA 选择网络加入

在多网络环境中，STA可以选择某一个网络加入，即选定该网络的SNID，然后向CCO发起关联请求。

当STA接收到关联确认报文或者关联指示报文后，如果CCO拒绝该STA加入网络，STA可以选择其他网络，切换到对应网络的SNID，向该网络的CCO发起关联请求，STA也可以根据“重新关联时间”，等待一段时间间隔后，再次尝试加入。

当只有一个单网络的时候，如果被CCO拒绝加入后，STA必须按照CCO指示，进行一段时间的等待，不能在该时间段内再次发起关联请求。

7.3.2 单网络组网

无论是处于多网络环境还是单网络环境，每个网络的组网过程是一致的，都是一个单独网络的组网过程。

单独组网的过程，主要是CCO通过发送中央信标和安排发现信标发送，以及代理信标的发送，触发逐层级的STA的网络接入请求，来完成整个组网过程，CCO需要给已经入网的STA站点分配TEI，CCO的TEI固定为1，广播报文TEI为0xFF，本标准CCO分配TEI范围为1~1015，其它地址作为保留，后续扩展使用

7.3.2.1 CCO 的组网行为

CCO上电后，首先启动邻居网络监听定时器，进行一段时间的网间协调帧的监听，以便发现是否存在邻居网络。

如果CCO在监听的时间段内，收到邻居网络的网间协调帧，则与邻居网络进行协调，协调成功后开始发送中央信标，启动组网。

如果CCO在监听的时间段内，没有接收到任何网间协调帧，则监听结束后，开始发送中央信标。

CCO在中央信标中，需要安排信标TDMA时隙和CSMA时隙。信标TDMA时隙，是用来指示CCO，PCO，或者STA发送信标。CSMA时隙，用于让CCO周围的一级站点，向CCO发起关联请求报文，请求接入网络；或者在CSMA时隙中，CCO等发送关联确认，关联指示等报文。

如果有一级站点请求接入网络，CCO需要对请求接入网络的站点，通过白名单进行身份认证。之后，CCO可以将关联请求的处理结果，通过发送关联指示报文告知给STA。

当一级站点接入网络后，CCO可以安排信标时隙，让新入网的一级站点发送发现信标。发现信标的发送，可以触发新入网站点周围的二级站点发起关联入网的请求。当二级站点入网后，CCO可以安排信标时隙，让新入网二级站点发送发现信标，触发该二级站点周围的三级站点发起关联入网请求。如此循环，以便距离CCO最远的最高层级的STA站点加入网络。CCO为0级，STA最大层级应支持到15级。

在组网过程中，每个信标周期内，CCO安排针对每个代理站点，都要安排信标时隙，让所有代理站点都发送代理信标。代理信标会将中央信标中的时隙安排等内容，逐层通知到各级代理站点和STA站点。

组网中，CCO对于一级站点的入网结果，可以通过关联指示报文，或者关联汇总指示报文进行通知。对于非一级STA站点的入网，CCO在处理该STA的关联请求后，将处理结果携带在生成的关联确认报文里，发送给该STA的代理站点，由该代理站点，通过关联指示报文，通知给入网请求的STA站点。

关联确认报文，关联指示报文，以及关联汇总指示报文，都只能在CSMA时隙中进行发送。

7.3.2.2 STA的组网行为

STA上电后，可能会收到多个网络（SNID不同）的报文，STA站点可以根据多网络优选标志，在多个网络中，选定一个信号更好的网络，作为本站点的接入目标网络，也可以选择初次发现的网络作为接入目标网络。

STA在接入网络时，首先需要通过网络报文的接收和评估，选定其代理站点，这个代理站点可以是CCO，也可以是其他STA站点。选择代理站点的原则一般是信道质量较好，到达CCO的路径较短。选定代理站点后，需要按照信标中的指示发起关联请求报文，在信标的“开始关联标志位”为1的情况下（见第7.1.3.3节），才可以发起关联请求。STA的入网，是通过发送关联请求报文来通知CCO的，CCO根据关联请求报文，知道该STA的入网请求，并且进行确认回复。

STA在发送关联请求后，需要等待CCO处理关联请求报文后，CCO发送的关联指示报文或者关联汇总指示报文，或者代理站点发送的关联指示报文。STA根据指示报文中的“结果”判断是否入网成功。如果未收到指示报文，可以重新发起关联请求；如果入网请求被拒绝，则STA可以根据重新关联时间，等待一段时间间隔后，再次请求入网，也可以选择另外一个网络（切换SNID），请求加入网络。

STA收到关联指示报文后，如果确认加入网络成功，则需要将CCO分配的TEI设置为自己的终端标识。

在组网过程中，入网成功的STA，CCO会在信标中的安排该站点的信标时隙，STA站点如果解析到该时隙，则必须发送发现信标，以便触发下一级站点的组网。

关联请求报文，只能在CSMA时隙中发送。

7.3.2.3 PCO的组网行为

STA在入网成功后，如果被CCO安排发送发现信标之后，该STA可能被下一级站点选择成为下一级站点的代理站点。

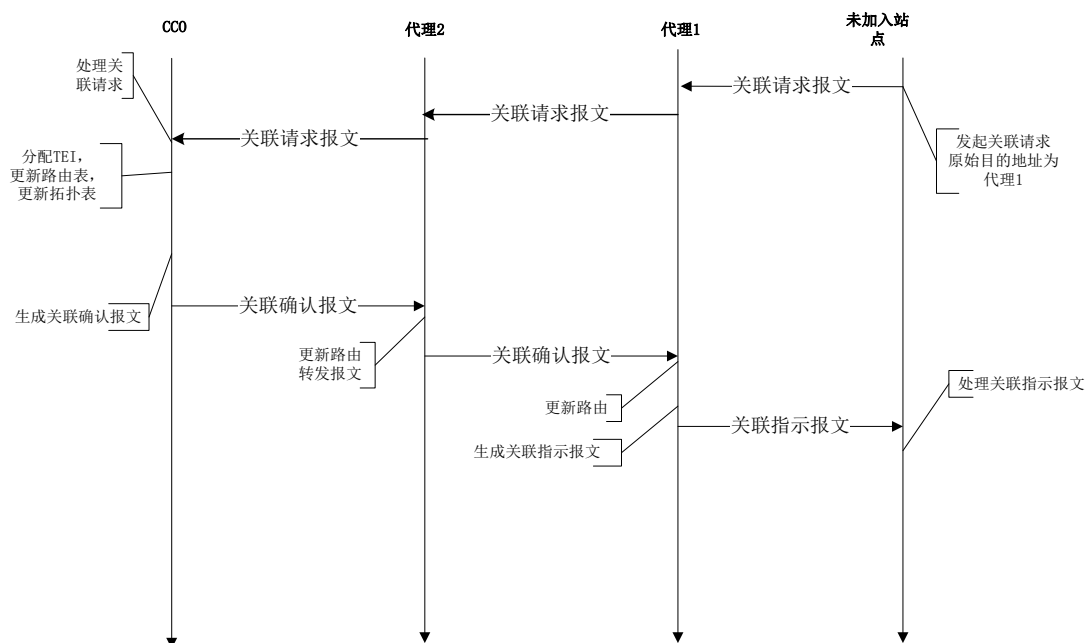
当一个STA被CCO确认成为代理站点后，CCO会分配该STA站点的信标时隙，指示该STA站点发送代理信标。CCO的安排通过信标帧来通知代理站点，当一个STA站点，解析信标时隙时，发现CCO安排了信标时隙，指示其发送代理信标，则该STA站点，需要设置自己的角色为PCO，并且需要按照CCO的安排时隙，进行代理信标发送。当一个站点成为PCO后，每个信标周期中，CCO都会安排其发送代理信标。

当一个STA站点通过代理站点入网时，CCO会将关联请求的处理结果，携带在关联确认报文中发送给STA的代理站点。该代理站点在处理完成后，需要将关联确认报文中的内容，通过关联指示报文，通知给STA站点。

关联指示报文，或者关联确认报文的转发等，只能在CSMA时隙中发送。

7.3.2.4 管理消息报文交互

关联入网管理报文的交互过程如0所示。



关联入网管理报文交互流程图

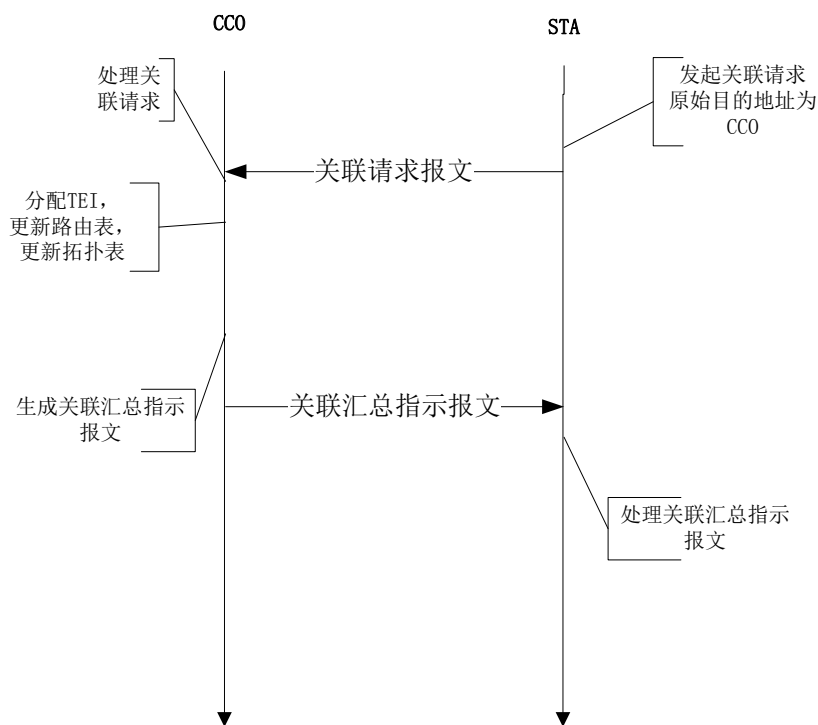
未入网的STA站点，接收到发现信标后，根据信标中的“开始关联标志位”指示（见第7.1.3.3节），产生关联请求报文，将该关联请求报文发送给候选代理站点。

已经入网的站点，在接收到关联请求报文后，可以直接将该报文转发给CCO，也可以将该报文重新生成，转发给自己的代理站点。

CCO收到关联请求报文后，对该站点的关联请求进行处理，用处理结果，生成关联确认报文，并且可以将新加入站点的层级，代理，路由信息等信息填充到报文中去。CCO将关联确认报文，发送给请求入网站点的最低层级的代理，最低层级的代理处理完成后，重新生成关联确认报文，携带CCO填充的内容，发送给下一个层级的代理站点。如此，从CCO到请求入网的STA站点，沿路的所有代理站点，都需要处理关联确认报文，并且生成关联确认报文。最后一级的代理站点，处理关联确认报文后，生成关联指示报文，携带CCO填充的内容，发送个请求入网的STA站点。

一级站点申请入网时，CCO可以将所有的关联请求报文处理后，将处理结果汇总，生成关联汇总指示报文，广播发送给一级站点。CCO也可以对请求入网的一级站点，一个一个的回复关联指示报文。

关联汇总指示报文的用法如0所示：



关联汇总指示报文用法

7.3.3 网络维护

7.3.3.1 发现列表报文

大规模的宽带载波通信网络中，每个入网的站点，包括CCO，都存在邻居站点，邻居站点或者是CCO，或者是代理站点，或者是其他的STA站点。某个站点的邻居站点，即是与该站点能够进行载波通信的站点。

组网过程中，每个站点可以根据接收的发现信标，感知自己的邻居站点，并记录下来，形成一个发现列表。站点的中继路由，就可以在自己的发现列表中进行选择。

如果每个站点将本站点的发现列表广播发布，则有利于形成更全面的网络拓扑信息，有利于站点寻找更合适的路由。发现列表报文主要用于路由评估，发现列表报文的发送周期，需要根据路由周期确定。路由周期，根据网络规模的增大，可在20-420秒内，逐渐增大，一个路由周期中，必须至少发送10次发现列表。

所以，组网完成后，包括CCO和所有入网的STA站点，都需要定周期的发送发现列表报文，发现列表报文中携带了本站点的发现列表等信息。

站点通过发现列表报文的接收，获得更全面的邻居站点信息，形成更详细的发现列表，以便选择更好的站点作为自己的代理站点，或者备份路由站点。

CCO对于发现列表的发送，可以通过信标的路由参数通知条目，进行周期等参数的管理，STA站点或者PCO站点需要根据CCO在信标中的路由参数通知条目，判断自己的角色，按照相应的参数进行发现列表报文的发送。

7.3.3.2 心跳检测报文

CCO需要及时的感知网络中站点的在网状态，以便进行网络管理。站点是否在线的基础，是每个站点定周期的发现列表报文的发送。

每个站点需要定周期的发送发现列表报文，用于代理站点判断站点是否活跃在线。代理站点将本地维护的发现列表中的站点活跃信息，通过定周期的心跳检测报文，发送给CCO，以便CCO汇总全网的站点是否在线的信息。

在心跳检测报文的发送过程中，低层级的代理站点，可以通过高层级代理站点的心跳检测报文触发，产生心跳检测报文。低层级代理站点由高层级代理站点触发，而产生的心跳检测报文中，可以汇总高层级代理站点的心跳检测报文的内容，将所有能感知的活跃站点信息，汇总在一个报文里，从而节省网络维护报文的开销。

心跳检测报文的产生周期为路由周期的1/8，路由评估的周期由CCO根据网络的状态，可动态调整。

7.3.3.3 通信成功率上报报文

网络中代理站点需要定周期（4个路由周期）的上报自身与其子站点之间的通信成功率。

代理站点可通过统计接收子站点的发现列表报文，计算子站点到自己的上行通信成功率。代理站点可以通过解析子站点的发现列表报文，获知对于自身发送的发现列表报文，子站点统计的接收成功率，即为下行通信成功率。

代理站点需要将与子站点之间的上行通信成功率和下行通信成功率，全部汇总，形成通信成功率上报报文，发送给CCO，由CCO维护全网拓扑的通信成功率数据。

7.3.3.4 网络状态维护

CCO需要实时的维护网络的状态，以便回收TEI资源，根据网络规模调整信标发送等。CCO判断STA的状态有三种，已入网、离线、未入网。

7.3.3.4.1 CCO 判断 STA 离线

代理站点周期性的发送心跳检测报文，心跳检测报文中携带该代理站点的发现站点列表信息。心跳检测报文最终被发送给CCO，由CCO进行汇总记录。

如果发送给CCO的心跳检测报文中，指示某个STA活跃，CCO则认为该STA活跃。CCO周期性的检测STA的活跃次数，如果在一个完整的心跳周期（两个路由周期）时间内，CCO发现某个STA站点的活跃次数为0，则CCO判断该STA站点离线。CCO如果接收到来自判断为离线的STA站点的报文，可重新判定该STA站点在线。

CCO的白名单如果有刷新，发现网络中的站点不在最新的白名单中，则可以创建延迟离线指示报文，通过广播报文，发送给不在白名单中的站点。这些站点收到延迟离线指示报文后，在设定的延迟离线时间到期后，执行离线动作。

如果STA站点被CCO通知离线，则STA在离线后，可以重新申请加入网络。

7.3.3.4.2 CCO 判断 STA 未入网

如果STA站点被判断处于离线状态，并且在离线状态下，连续四个完整的心跳周期（八个路由周期）时间内，CCO接收到该STA站点的报文个数为0，则CCO判断STA处于未入网状态。

CCO如果接收到来自已经判定为未入网的STA站点的报文，需要主动指示该STA站点离线，可以创建离线指示报文，将离线STA站点的信息填充到报文中，进行广播发送，通知网络中的所有站点该STA站点离线。该STA站点执行离线动作后，可再次申请入网。

7.3.3.4.3 STA 离线与未入网区别

STA处于离线状态时，如果CCO收到该STA站点任何一个SOF帧，或其他站点携带上来的该STA的心跳报文，则CCO立即将该站点置为已入网状态（不在白名单内的站点除外）。

STA处于未入网状态时，CCO会将该STA站点的TEI等资源回收，该STA站点必须重新进行关联请求才能再次入网。

7.3.3.4.4 STA 判断自己离线

STA站点自己也需要判断自己是否离线。如果STA判断自己离线后，则必须重新申请加入网络。在以下情形中，STA站点可判断自己离线：

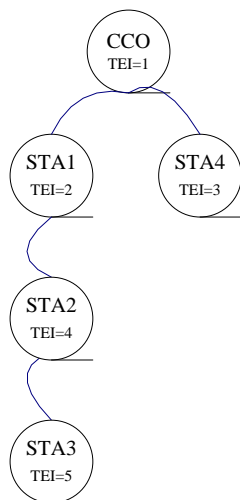
- STA 站点在加入网络后，如果在一个完整的心跳周期（两个路由周期）内，收不到任何信标帧。
- STA 站点在连续 4 个路由周期内，如果与代理站点的通信成功率为 0。
- STA 站点收到 CCO 的“组网序列号”与自身记录的“组网序列号”不同。
- STA 站点接收到离线指示报文或者延迟离线指示报文，指示自己离线。
- 一级 STA 站点，如果检测到 CCO 的 MAC 地址发生变化。
- STA 站点发现本站点的代理站点角色变为了发现站点已经连续一个路由周期。
- 本站点的层级超过最大层级限制（15 级），站点需要离线。

7.3.3.5 路由维护

在组网过程中以及网络维护的过程中，全网站点最关键的目标就是维护实时的路由表项。路由表项包括STA站点到达CCO的路由，也包括从CCO或者低层级站点到达最大层级的STA站点的路由。

当各级站点中的路由表项是实时可靠时，才能有效的支撑业务数据的转发。

网络拓扑图示例如图73所示。



网络拓扑图

在图73中所示的网络拓扑中，各级站点可以形成的路由表项如下：

CCO站点的路由表项如图74所示。

CCO 路由表项

原始目的 TEI	目的 TEI
2	2
3	3
4	2
5	2

STA1站点的路由表项如0所示。：

STA1 路由表项

原始目的 TEI	目的 TEI
1	1
4	4
5	4

STA2站点的路由表项如0所示。：

STA2 路由表项

原始目的 TEI	目的 TEI
1	2
2	2
5	5

在上面的几个路由表项中，当原始目的TEI与目的TEI值相等时，该条路由一般叫做直连路由；当原始目的TEI与目的TEI不等时，该条路由一般叫做间接路由。

7.3.3.6 路由表项形成

路由的创建，主要依靠发现列表报文，关联请求报文，关联确认报文，关联指示报文，代理变更请求报文，代理变更请求确认等报文中携带的信息进行创建。

通过发现列表报文，既可以形成直连路由表项，因为能够接收到某站点的发现列表报文，意味着该站点就可能是本站点的直接邻居；也可以形成间接路由表项，因为发现列表报文中，携带着发送发现列表报文站点的所有邻居站点，这些站点未必是本站点的邻居。

通过关联请求报文，CCO可以形成到达请求入网站点的间接路由。

通过关联确认报文，各级代理站点可以形成或者刷新到达请求入网站点的间接路由，同时，也可以形成到达请求入网站点的所有子站点的间接路由，因为关联确认报文中，“路由表信息”携带了请求入网站点的所有直连站点和直连站点的子站点。关联确认报文需要逐级代理进行转发。

通过关联指示报文，新入网站点，根据CCO告知的“路由表信息”表项，可以形成所有子站点的直连路由，以及到达直连子站点的子站点的所有间接路由。

通过代理变更请求报文，代理站点可以形成到达请求变更站点的直连路由；上级代理在处理转发代理变更请求报文的过程中，也可以形成到达请求变更站点的间接路由。同理，CCO和各级代理都能形成到达请求变更站点的间接路由。

代理变更确认报文和关联确认报文的原理一样，可以使得各级代理站点形成到达其所有子站点的路由。

各级站点到达CCO的路由表项形成原理相对简单，当选定一个代理时，那么到达CCO的路由下一跳就可以缺省是代理站点，代理站点会把子站点的报文尽力的转发到CCO，通过代理站点的代理。

7.3.3.7 动态路由维护

动态路由维护，主要是指网络中的站点，需要实时的判断周边邻居站点的信道情况，选择更好的代理站点。

在网络组网的过程中，站点可以通过判断接收信标帧的情况，来判断周围站点的信道质量；在组网完成后，网络中主要的维护报文就是发现列表报文和信标帧，各级站点可以通过判断接收邻居站点的发现列表报文和信标帧的情况，以及邻居站点的变化情况选择更好的代理。

当STA站点评估出一个新的代理站点时，可以通过代理变更请求报文，向CCO发起代理变更请求。CCO根据网络拓扑的组成，可以在STA站点申请的备选代理中指定一个站点，作为STA站点的新代理。当CCO判断变更后的网络拓扑层级会超过层级上限（最大支持15个层级）时，不会响应代理变更请求，并且不会发送代理变更请求确认报文。

当一个新代理PCO被确认后，CCO需要发送代理变更确认报文等，将STA站点以及新代理PCO的情况，通过逐级代理转发给请求代理变更的站点。逐级代理在转发代理变更确认等报文的过程中，可以通过该报文中的“子站点条目”等信息（见第7.1.4.6节），实时的刷新到达“子站点条目”中站点的间接路由。STA站点最终也可以根据“子站点条目”信息，刷新本地的直接路由和间接路由。

所以，在组网完成后，网络维护的过程中，全网站点的路由表项，主要通过代理变更的过程来完成实时刷新。

7.3.3.8 周期参数

在整个网络维护的机制中，存在一些周期性的参数设计，具体内容整理如0所示：

周期参数

名称	参数约束	动作约定
邻居网络监听周期	一次性周期。 设置范围：小于10秒。	CCO上电后，在该周期内，监听邻居网络的网间协调帧，进行短网络标识的协商。
网间协调报文发送周期	连续性周期。 设置范围：小于1秒	CCO确定短网络标识，开始组网后，在网络维护期间，需要每个周期内发送1个网间协调帧。
信标周期	连续性周期。 CCO根据本网络的规模，可设置本网络的信标周期。 设置范围：1-10秒。	CCO在每个信标周期中，须要发送中央信标； 每个代理站点在每个信标周期中，都要发送代理信标，发送时间根据中央信标的安排； 每个信标周期中，部分STA站点会被CCO安排发送发现信标。
路由周期	连续性周期。 CCO根据本网络的规模，可设置本网络的路由周期。 设置范围：20-420秒	STA站点，在路由周期内，评估自己的代理站点，可发起代理变更请求。
发现列表报文发送周期	连续性周期。 根据路由周期来设置。 设置范围：1个路由周期	网络中所有站点，在该周期内，至少发送10个发现列表报文。
心跳检测报文产生周期	连续性周期	高层级代理站点，在该周期内，

	根据路由周期来设置。 设置范围：1/8个路由周期	产生1个心跳检测报文。
通信成功率上报周期	连续性周期。 根据路由周期来设置。 设置范围：4个路由周期	代理站点，在该周期内，需要产生1个通信成功率上报报文，发送给CC0。
心跳周期	一次性周期。 根据路由周期来设置。 设置范围：2个路由周期	CC0判断某个站点，在连续的1个心跳周期内，都不活跃，可判定其离线。 CC0判断某个站点，在连续的4个心跳周期内，都不活跃，可判定其未入网。

7.3.4 应用数据汇聚分类

网络管理子层的数据汇聚分类功能，主要是和MAC子层配合完成的。发送报文时，网络管理子层主要完成报文的分类，路由策略的确定，然后交由MAC进行发送；接收报文时，将MAC层收到的报文，转发给APP或者IP协议栈等应用层。

7.3.4.1 报文分类规则

对于发送给MAC的报文，网络管理子层根据报文的VLAN标签和MSDU类型，对报文进行分类，分配相应的LID，并且设置相应的过期时间。

抄表应用的MSDU，根据其Vlan标签值，可直接对应为LID的优先级。网络管理子层的报文优先级，可自定义实现。

报文的分类规则如0所示：

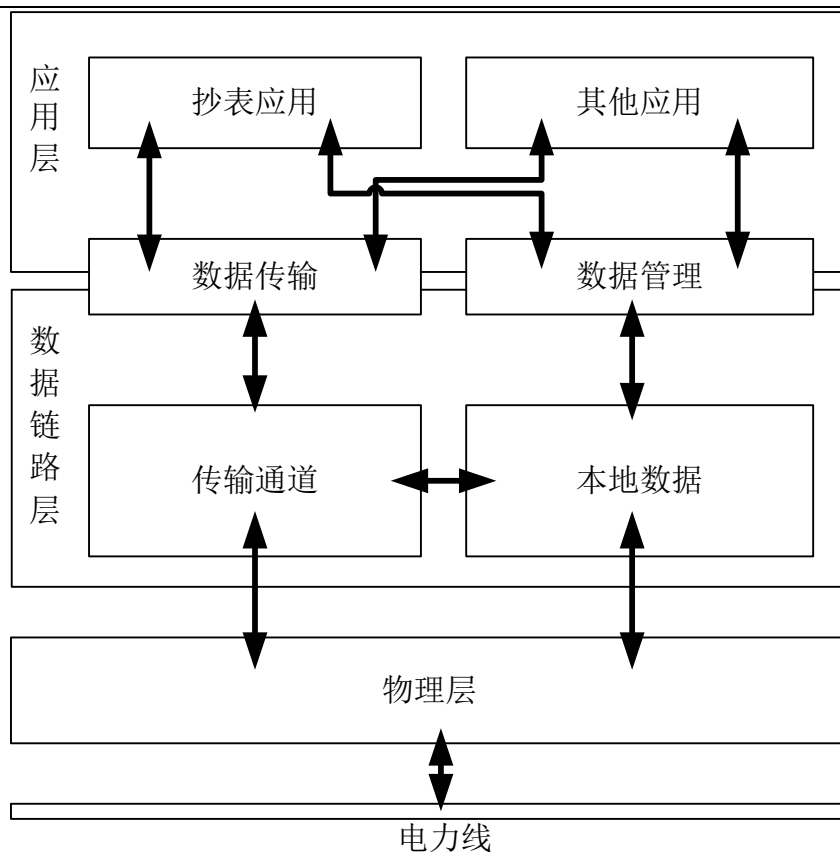
应用报文分类规则表

数据来源	Vlan 标签	MSDU 类型	管理消息类型	LID
抄表应用	0-3	0x01	不涉及	0-3
网络管理子层	0x8100	0x88E1	30-129	0-255

7.4 数据链路层服务

7.4.1 概述

如0所示，数据链路层为应用层提供了两个服务：数据传输和数据管理。其中数据传输服务主要用来完成CC0和STA之间的应用层数据的传输，数据管理服务主要用来供应用层查询或者设置CC0本地的数据信息或者配置本地的数据。



数据链路层服务图

7.4.2 数据链路层数据传输服务

数据链路层的数据传输服务原语一共有收发两组四个，如0所示：

数据链路层数据传输服务原语

原语名称	功能
长 MSDU 发送原语	发送长 MSDU 帧
长 MSDU 接收原语	接收长 MSDU 帧
短 MSDU 发送原语	通过短 MSDU 帧传输数据
短 MSDU 接收原语	通过短 MSDU 帧接收数据

7.4.2.1 长 MSDU 发送原语

通过长MSDU发送原语，应用层的应用可以将完整的长MSDU帧，交由数据链路层发送。应用层发送的长MSDU的格式，必须符合MSDU长帧头格式，详见0和0的格式要求。

7.4.2.1.1 原语语义

长MSDU发送原语的语义如0所示：

长 MSDU 发送原语

名称	类型	有效范围	描述
MSDU	字节流	-	组成MSDU的字节流。

MSDU长度	整型	2 - 2012	MSDU的长度，总字节数。
--------	----	----------	---------------

7.4.2.1.2 数据链路层处理

数据链路层将长MSDU帧封装为MAC帧，采用MAC短帧头。

数据链路层发送长MSDU帧时，根据长MSDU中的头部的原始目的地址，原始源地址，VLAN标签，MSDU类型等字段，获取报文的地址，优先级等，生成MAC帧头。

数据链路层对MSDU帧内容不做修改。

7.4.2.2 长MSDU接收原语

数据链路层通过长MSDU接收原语，通知应用层接收长MSDU帧。

7.4.2.2.1 原语语义

长MSDU接收原语的语义如0所示:

长MSDU接收原语

名称	类型	有效范围	描述
MSDU	字节流	-	组成MSDU的字节流。
MSDU长度	整型	2 - 2012	MSDU的长度，总字节数。

7.4.2.2.2 数据链路层处理

数据链路层在接收到的MAC帧后，对于MAC帧进行校验解析后，可以将解析出来的长MSDU帧，通过长MSDU接收原语，交由应用层处理。

7.4.2.3 短MSDU发送原语

通过短MSDU发送原语，应用层可以将APDU等非长MSDU帧形式的数据，交由数据链路层进行发送。

7.4.2.3.1 原语语义

短MSDU发送原语的语义如0所示:

短MSDU发送原语

名称	类型	有效范围	描述
短MSDU	字节流	-	组成MSDU的字节流。
短MSDU长度	整型	2 - 2012	MSDU的长度，总字节数。
原始目的地址	6字节MAC地址	-	短MSDU帧的最终接收站点的MAC地址。
原始源地址	6字节MAC地址	-	短MSDU帧的初始创建站点的MAC地址。

7.4.2.3.2 数据链路层处理

数据链路层将短MSDU报文封装为MAC帧，采用MAC短帧头。

数据链路层发送短MSDU报文时，根据发送原语中的原始目的地址，原始源地址，以及短MSDU中的VLAN标签，MSDU类型等字段，获取报文的地址，优先级等，生成MAC帧头。

数据链路层对短MSDU报文内容不做修改。

7.4.2.4 短MSDU接收原语

数据链路层通过短MSDU接收原语，通知应用层接收短MSDU报文。

7.4.2.4.1 原语定义

短MSDU接收原语的语义如0所示：

短MSDU接收原语

名称	类型	有效范围	描述
短MSDU	字节流	-	组成MSDU的字节流。
短MSDU长度	整型	2 - 2012	MSDU的长度，总字节数。
原始目的地址	6字节MAC地址	-	短MSDU报文的最终接收站点的MAC地址。
原始源地址	6字节MAC地址	-	短MSDU报文的初始创建站点的MAC地址。

7.4.2.4.2 数据链路层处理

数据链路层在接收到的MAC帧后，对于MAC帧进行校验解析后，可以将解析出来的短MSDU帧，通过短MSDU接收原语，交由应用层处理。

7.4.3 数据链路层数据管理服务

数据链路层的数据管理服务原语一共有10个，如0所示：

数据链路层数据管理服务原语

原语名称	功能
网络拓扑查询原语	查询CCO的网络拓扑信息
网络拓扑上报原语	上报CCO的网络拓扑信息
网络SNID查询原语	查询CCO的SNID信息
网络SNID上报原语	上报CCO的SNID信息
网络SNID设置原语	设置CCO的SNID信息
邻居网络查询原语	查询CCO的邻居网络信息
邻居网络上报原语	上报CCO的邻居网络信息
白名单查询原语	查询CCO的白名单信息
白名单上报原语	上报CCO的白名单信息
白名单设置原语	设置CCO的白名单信息

7.4.3.1 网络拓扑查询原语

应用层可以通过网络拓扑查询原语，获取当前网络中入网站点的拓扑信息。

7.4.3.1.1 原语定义

网络拓扑查询原语的语义如0所示：

网络拓扑查询原语

名称	类型	有效范围	描述
起始序列号	2 字节序号	1 - 1024	请求有效拓扑表项的起始序列号
请求表项数量	2 字节数量	1 - 1024	本次请求的有效表项数量

7.4.3.1.2 数据链路层处理

数据链路层对于当前网络拓扑中的有效表项信息，根据网络查询原语的要求，使用网络拓扑上报顺序上报。

7.4.3.2 网络拓扑上报原语

应用层通过网络拓扑查询原语查询网络拓扑信息时，数据链路层通过网络拓扑上报原语上报网络拓扑信息。

7.4.3.2.1 原语定义

网络拓扑上报原语的语义如0所示：

网络拓扑上报原语

名称	类型	有效范围	描述
有效表项总数	2 字节数量	1 - 1024	网络拓扑中有效的站点表项总数
本次上报总数	2 字节数量	1 - 1024	本次上报的有效表项数量
上报结束标志	布尔	0 或者 1	全部有效表项是否上报结束。 1 表示上报结束 0 表示上报未结束
拓扑节点信息	可变长字节流	-	网络拓扑单个表项的信息。 数据总大小等于本次上报总数 * 单个表项大小。 单个表项的数据大小请参照 0“网络拓扑单个表项信息”

网络拓扑上报单个表项信息原语

名称	类型	有效范围	描述
TEI	2 字节地址	1 - 1024	站点的 TEI
代理 TEI	2 字节地址	1 - 1024	站点的代理站点的 TEI
层级	1 字节	0 - 15	站点的所在网络层级
角色	1 字节		站点的角色 0x0:未知 0x1:STA 0x2:PCO 0x3:保留 0x4:CCO

上行通信成功率	1 字节	0 - 100	站点的上行通信成功率
下行通信成功率	1 字节	0 - 100	站点的下行通信成功率

7.4.3.2.2 数据链路层处理

数据链路层在接收到应用层的网络拓扑查询原语后，通过网络拓扑上报原语上报网络拓扑信息。每个查询原语，发送一个上报原语。

7.4.3.3 网络 SNID 查询原语

应用层通过网络SNID查询原语，查询CCO的网络SNID。

7.4.3.3.1 原语定义

网络SNID查询原语的语义如0所示：

网络 SNID 查询原语

名称	类型	有效范围	描述
-	-	-	-

7.4.3.3.2 数据链路层处理

数据链路层在接收到网络SNID查询原语后，需要通过网络SNID上报原语，向应用层提交本网络的SNID信息。

7.4.3.4 网络 SNID 上报原语

数据链路层通过网络SNID上报原语，向应用层上报本网络的SNID信息。

7.4.3.4.1 原语定义

网络SNID上报原语的语义如0所示：

网络 SNID 上报原语

名称	类型	有效范围	描述
网络 SNID	1 字节	1 - 15	本网络的 SNID。

7.4.3.4.2 数据链路层处理

数据链路层在接收到网络SNID查询原语后，必须通过网络SNID上报原语，向应用层提交本网络的SNID信息。

7.4.3.5 网络 SNID 设置原语

应用层可以通过网络SNID设置原语，要求数据链路层修改本网络的SNID。

7.4.3.5.1 原语定义

网络SNID设置原语的语义如0所示：

网络 SNID 设置原语

名称	类型	有效范围	描述
----	----	------	----

网络 SNID	1 字节	1 – 15	本网络的新的 SNID。
---------	------	--------	--------------

7.4.3.5.2 数据链路层处理

数据链路层在接收网络SNID设置原语后,需要将本网络的SNID设置为网络SNID设置原语中的网络SNID。

7.4.3.6 邻居网络查询原语

应用层通过邻居网络查询原语, 查询CCO的邻居网络信息。

7.4.3.6.1 原语定义

邻居网络查询原语的语义如0所示:

邻居网络信息查询原语

名称	类型	有效范围	描述
-	-	-	-

7.4.3.6.2 数据链路层处理

数据链路层在接收到邻居网络查询原语后,需要通过邻居网络信息上报原语,给应用层提交本网络的邻居网络信息。

7.4.3.7 邻居网络上报原语

应用层通过邻居网络查询原语查询邻居网络信息时,数据链路层通过邻居网络上报原语上报邻居网络信息。

7.4.3.7.1 原语定义

邻居网络上报原语的语义如0所示:

邻居网络上报原语

名称	类型	有效范围	描述
表项总数	1 字节数量	1 – 16	邻居网络信息表项总数。
邻居网络信息	可变长字节流	-	邻居网络单个表项的信息。 数据总大小, 由表项总数 * 单个表项大小。 单个表项的数据大小请参照 0“邻居网络单个表项信息”

网络拓扑上报单个表项信息原语

名称	类型	有效范围	描述
SNID	1 字节	1 – 15	邻居网络的短网络标识
单通标志	布尔	0 或者 1	与本网络是否为单通。 1 为单通 0 为双通
占用带宽	4 字节	-	邻居网络占用的带宽。

单位 ms。

7.4.3.7.2 数据链路层处理

数据链路层对于当前CCO中多网络有效表项，根据邻居网络查询原语的要求，使用邻居网络上报原语顺序上报。

7.4.3.8 白名单查询原语

应用层可以通过白名单查询原语，获取当前CCO中的白名单信息。

7.4.3.8.1 原语定义

白名单查询原语的语义如0所示:

白名单查询原语

名称	类型	有效范围	描述
起始序列号	2 字节序号	1 - 1024	请求有效白名单表项的起始序列号
请求表项数量	2 字节数量	1 - 1024	本次请求的有效表项数量

7.4.3.8.2 数据链路层处理

数据链路层对于当前CCO中有效的白名单表项，根据白名单查询原语的要求，使用白名单上报原语顺序上报。

7.4.3.9 白名单上报原语

应用层通过白名单查询原语CCO的白名单信息时，数据链路层通过白名单上报原语上报CCO的白名单信息。

7.4.3.9.1 原语定义

白名单上报原语的语义如0所示:

白名单上报原语

名称	类型	有效范围	描述
有效表项总数	2 字节数量	1 - 1024	有效的白名单表项总数
本次上报总数	2 字节数量	1 - 1024	本次上报的有效表项数量
上报结束标志	布尔	0 或者 1	全部有效表项是否上报结束。 1 表示上报结束 0 表示上报未结束
MAC 地址 1	6 字节 MAC	-	白名单中有效 MAC 地址
MAC 地址 2	6 字节 MAC	-	白名单中有效 MAC 地址
...	6 字节 MAC	-	白名单中有效 MAC 地址
MAC 地址 n	6 字节 MAC	-	白名单中有效 MAC 地址 其中 n 为本次上报总数

7.4.3.9.2 数据链路层处理

数据链路层在接收到应用层的白名单查询原语后，通过白名单上报原语上报白名单信息。每个查询原语，发送一个上报原语。

7.4.3.10 白名单设置原语

应用层可以通过白名单设置原语，要求CCO的数据链路层更新本地的白名单表项。

7.4.3.10.1 原语定义

白名单上报原语的语义如0所示：

白名单上报原语

名称	类型	有效范围	描述
操作标志	1 字节	-	本次白名单设置的动作。 0x00，关闭白名单； 0x01，添加白名单； 0x02，删除白名单
本次设置总数	2 字节数量	1 - 1024	本次设置的白名单表项数量
MAC 地址 1	6 字节 MAC	-	白名单 MAC 地址
MAC 地址 2	6 字节 MAC	-	白名单 MAC 地址
...	6 字节 MAC	-	白名单 MAC 地址
MAC 地址 n	6 字节 MAC	-	白名单 MAC 地址 其中 n 为本次设置总数

7.4.3.10.2 数据链路层处理

数据链路层根据白名单设置原语中的操作标志，将白名单MAC地址添加进白名单表项，或者将白名单中已经存在的表项删除。

8 应用层

8.1 概述

应用层定义了CCO与STA之间各种业务的数据交互过程，包括交互的报文格式和交互流程。包括的具体业务有：数据转发业务、命令业务、广播业务和主动上报业务等。

8.2 通用报文结构

应用层报文需遵循通用报文结构，如0所示。

字节：1	2	1	变长L
报文端口号	报文标识符	报文选项字	应用层业务报文
通道控制信息			应用层数据

通用报文格式

8.2.1 报文端口号

报文端口号是1字节的字段，指CCO与STA之间进行交互时，应用层报文传输中的端口号，取值固定为0x10。

8.2.2 报文标识符

报文标识符是2字节的字段，指CCO与STA之间传输的应用层报文标识符，应用层报文固定为0x0101。

8.2.3 报文选项字

报文选项字是1字节的字段，默认设置为0。

8.2.4 应用层业务报文

应用层业务报文包括数据转发报文、命令报文和主动上报报文等。

字节数: 2	1	1	2	2	变长L0	变长L1		
控制域	业务标识	应用版本号	帧序号	帧长	业务数据单元	扩展域数据区长度	厂家编码	扩展数据区载荷
业务报文头					业务报文域	业务扩展域		

8.2.4.1 控制域

控制域包括定义帧类型域、业务扩展域等内容，长度为16比特。具体帧控制域内容格式如下所示。

D15	D14	D13	D12	D11~D4	D3~D0
传输方向位	启动标志位	响应标识位	业务扩展域标识位	保留	帧类型域

帧类型域

帧类型域规定了帧所属类型，不同帧类型域内容不同，表时的帧类型不同。本规范帧类型分为数据转发帧、命令帧、广播帧和主动上报帧四种，帧类型域长度为4比特，数据内容如下所示。

帧类型域D3 D2 D1 D0	帧类型名称	应用类型条目
0000	确认/否认	8.3
0001	数据转发帧	8.4
0010	命令帧	8.5
0011	主动上报帧	8.6
1110	厂家调试	备用
其它	保留	

业务扩展域标识位

业务扩展域标识位取值决定数据帧中业务扩展域是否存在，长度为1比特。业务扩展标识位内容如下所示。

业务扩展域标识位 D12	含义
0	无业务扩展域
1	有业务扩展域

响应标识位

响应标识位是1比特的字段，用来描述该报文是否需要目标设备应答。

响应标识位 D13	含义
0	不需要应答
1	需要应答

启动标志位

传输方向位是1比特的字段，用来区分上下行通信数据报文，由CCO发送给STA数据报文的方向为下行方向，STA上报给CCO数据报文的方向为上行方向。

启动标志位 D14	含义
0	此帧报文来自从动站
1	此帧报文来自启动站

传输方向位

传输方向位是1比特的字段，用来区分上下行通信数据报文，由CCO发送给STA数据报文的方向为下行方向，STA上报给CCO数据报文的方向为上行方向。

传输方向位 D15	含义
0	下行方向
1	上行方向

8.2.4.2 业务标识

业务标识是16比特的字段，是应用层报文的具体标识符，具体内容和取值如下所示。

帧类型	业务标识	描述
确认/否认	0x00	确认
	0x01	否认
	0x02~0xFF	保留
数据转发	0x00	数据透传
	0x01~0xFF	保留
命令	0x00	查询搜表结果
	0x01	下发搜表列表
	0x02	文件传输
	0x03	允许/禁止从节点事件
	0x04	从节点重启
	0x05~0xFF	保留
主动上报	0x00	事件主动上报
	0x01~0xFF	保留

8.2.4.3 应用版本号

应用版本号是1字节的字段，指从CCO发送给STA的应用层数据的版本号。考虑兼容性，本版本取值固定为1。应用帧结构发生变化时，对应的应用版本号需增加。

8.2.4.4 帧序号

帧序号有效取值范围为0x0000~0xFFFF，在每次传输新的应用层帧后加1，0xFFFF后返回0x0000。响应帧序号与启动帧序号相同。重发请求报文的帧序号不增加。

8.2.4.5 帧长

帧长包括业务报文域L0（业务数据单元）和业务扩展域L1（扩展域数据区长度、厂家编码和扩展数据区载荷）总字节数。

8.2.4.6 业务报文域

业务报文域包括业务数据单元，其具体内容根据业务标识有不同的内容。

8.2.4.7 业务扩展域

业务扩展域包含于应用层帧头部分，属于可选项。帧头是否包含业务扩展域取决于控制域中业务扩展域标志位内容。业务扩展域提供了功能扩展空间，用户可根据自身需求，对业务扩展域内容进行定制。业务扩展域包括扩展域数据区长度、厂家编码和扩展数据部分，其中扩展域数据区长度部分占1字节，用于标识厂家编码和扩展数据区长度，厂家编码部分占2字节，格式为ASCII码，用于标识本帧业务扩展域属于哪个厂商。厂家标识和扩展域数据区内具体功能的管理建议使用备案制。

字节数：1	2	变长L
扩展域数据区长度	厂家编码	扩展域数据区

8.3 确认/否认

8.3.1 0x00：确认

无业务报文载荷。

8.3.2 0x01：否认

字节数：1
原因码
业务数据单元

原因码：0为通信超时，1表示业务标识不支持，2表示CCO忙，3表示电表层无应答，4表示格式错误，FFH其他；

8.4 数据转发业务

8.4.1 0x00：数据透传

8.4.1.1 下行业务报文格式

CCO向STA发送的数据透传下行业务报文载荷格式如**错误！未找到引用源。**所示。

字节数: 6	6	1	1	2	变长 L
源地址	目的地址	设备超时时间	保留	转发数据长度	转发数据内容
业务数据单元					

8.4.1.1.1 源地址

主节点地址，6字节，默认可以填0。

8.4.1.1.2 目的地址

实际电表的地址，6字节。

8.4.1.1.3 设备超时时间

设备超时时间是8比特的字段，由CCO给定，STA将其作为与设备之间通信时超时时间，在此时间内，STA没有收到设备的应答，则放弃本次转发。单位：100毫秒。值为0时，STA取默认超时时间。

8.4.1.1.4 保留

保留位默认填0

8.4.1.1.5 转发数据长度

转发数据长度是16比特的字段，指从CCO发送给STA抄表数据的长度，即实际数据域的长度。

8.4.1.1.6 转发数据内容（DATA）

数据（DATA）字节长度可变，指由CCO下发给STA的数据转发报文数据。

8.4.1.2 上行业务报文格式

STA向CCO发送的数据透传的上行业务数据单元如**错误！未找到引用源。**所示。

字节数: 6	6	2	2	变长 L
源地址	目标地址	保留	转发数据长度	转发数据内容
业务数据单元				

8.4.1.2.1 源地址

电表地址，6字节。

8.4.1.2.2 目的地址

主节点地址，6字节，默认可以填0。

8.4.1.2.3 保留

保留位默认填0

8.4.1.2.4 转发数据长度

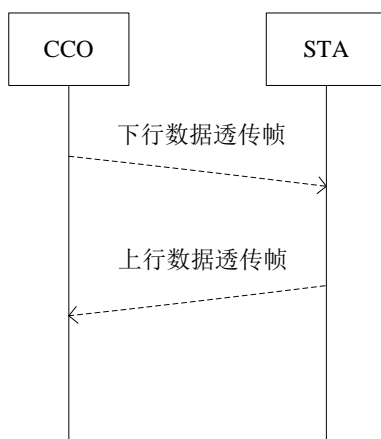
转发数据长度是16比特的字段，指从STA发送给CCO抄表结果数据的长度，即实际数据（DATA）域的长度。

8.4.1.2.5 数据（DATA）

数据（DATA）字节长度可变，指STA收到下接设备（如电能表、采集器）的抄表应答报文。

8.4.1.3 数据转发业务传输流程

CCO向STA发送的数据转发报文，STA通过电能表或采集器获取到结果之后，将结果应答给CCO。数据转发业务传输流程如0所示。



数据转发业务报文传输流程

8.5 命令业务

8.5.1 0x00: 查询搜表结果

8.5.1.1 下行业务报文格式

应用头长度为0，无数据单元。

8.5.1.2 上行业务报文格式

上行业务数据单元格式如下。

字节数: 1	3	8*n		
电表数量	保留	电表 1 信息	...	电表 n 信息
业务数据单元				

8.5.1.2.1 电表数量

表地址数量，BIN格式。

8.5.1.2.2 保留

默认填0。

8.5.1.2.3 电表信息

电表信息格式如下。

内容	数据格式	字节数
电表地址	BCD	6
保留（默认填0）	BIN	2

8.5.2 0x01：下发搜表列表

8.5.2.1 下行业务报文格式

下行业务数据单元格式如下

字节数：1	3	8*n		
电表数量	保留	电表 1 信息	...	电表 n 信息
业务数据单元				

8.5.2.1.1 电表数量

表地址数量，BIN格式。

8.5.2.1.2 保留

默认填0。

8.5.2.1.3 电表信息

电表信息格式如下。

内容	数据格式	字节数
电表地址	BCD	6
保留（默认填0）	BIN	2

8.5.2.2 上行业务报文格式

上行为确认/否认帧。

8.5.3 0x02：文件传输

8.5.3.1 业务报文格式

业务数据单元格式如下。

字节数：1	3	L
文件传输信息 ID	保留	文件传输信息
业务数据单元		

8.5.3.1.1 文件传输信息 ID

文件传输信息ID定义如下。

文件传输信息ID	含义
0x00	下发文件信息
0x01	下发文件数据
0x02	查询文件数据包接收状态
0x03	文件传输完成通知
0x04	文件数据本地广播转发
0x05~0xFF	保留

下发文件信息

下行帧

文件信息内容格式如下。

内容	数据格式	字节数
文件性质	BIN	1
保留	BIN	3
目的地址	BIN	6
文件总校验	BIN	2
文件大小	BIN	4
文件总段数n	BIN	2
文件传输时间窗	BIN	2
文件传输ID	BIN	4

文件性质：

- 1) 00H：清除下装
- 2) 02H：从节点模块文件；
- 3) 03H：采集器文件

保留：固定填0。

目的地址：广播时填0x999999999999。

文件大小：文件的总长度，单位字节。

文件总段数n：文件传输内容的总段数。

文件总校验：文件所有内容的CRC16校验和。CRC16校验生成多项式采用CRC16-CCITT（0x1021）， $x^{16}+x^{12}+x^5+1$ 。

文件传输ID：由CC0生成，确保前后2次文件传输ID不同。STA收到新的文件传输ID时，需要清除下装数据；重复收到相同文件传输ID，不再清除下装。

文件传输时间窗：单位：分钟。文件传输过程的最长时间，超过该时间文件没有收全，本次传输STA自动放弃。文件传输完毕后，CCO会通知站点重启，使新程序生效；如果STA识别到自身需要升级软件，且升级文件实际已全部收全，但在时间窗内没有收到过重启命令，则时间窗到期时自行重启。如果不是给STA升级，时间窗到期时无需重启。

上行帧：是否应答需根据响应标志位确定。

内容	数据格式	字节数
文件传输ID	BIN	4
结果码	BIN	4

结果码：0表示成功，其他值备用。

文件数据

下行帧

文件数据内容格式如下。

内容	数据格式	字节数
文件段号	BIN	2
文件总段数n	BIN	2
文件传输ID	BIN	4
文件段校验	BIN	2
文件段长度L	BIN	2
文件段内容	BIN	L

文件段号：文件内容的传输帧序号，取值范围0至n-1（n为文件总段数）

文件总段数n：文件传输内容的总段数。

文件传输ID：由CCO生成，确保前后2次文件传输ID不同。STA收到新的文件传输ID时，需要清除下装数据；重复收到相同文件传输ID，不再清除下装。

文件段校验：文件段的CRC16校验和。CRC16校验生成多项式采用CRC16-CCITT(0x1021), $x^{16}+x^{12}+x^5+1$ 。

文件段长度L：该帧文件内容长度；从0至n-2帧的文件内容长度应该相同，第n-1帧根据实际情况可以小于前n-1帧的帧长。

文件段内容：传输文件段的数据内容

上行帧：是否应答需根据响应标志位确定。

内容	数据格式	字节数
文件传输ID	BIN	4
结果码	BIN	4

结果码：0表示成功，其他值备用。

文件数据本地广播转发

下行帧格式与文件数据帧相同，站点接收到本数据帧后，以本地广播方式转发，转发时“文件传输信息ID”应改为0x01（即下发文件数据）。

上行帧格式与文件数据帧相同。

文件包接收状态

下行帧

文件数据内容格式如下。

内容	数据格式	字节数
文件传输ID	BIN	4
起始段号	BIN	2
连续N个文件段状态位	BIN	2

起始段号：查询的起始段号，从0开始。

连续N个文件段状态位：每次查询的段个数，0xFFFF表示查询所有的包状态。

上行帧

文件数据内容格式如下。

内容	数据格式	字节数
文件传输ID	BIN	4
起始段号	BIN	2
连续N个文件段状态	BIN	(N+7)/8

文件传输完成通知

下行帧

文件传输完成通知内容格式如下。

内容	数据格式	字节数
文件传输ID	BIN	4
延时启用时间	BIN	2

延时启用时间：延时启用时间是指STA在收到该报文后等待N秒后启用该文件，单位：秒；收到本命令时，以最后一次收到该报文时间点为基准，重新计算延时时间。延时启用时间为0时，立即启用。如果是进行程序升级操作，通常升级完后设备需要重启后生效，则重启的时间应按照此参数执行。

上行帧：

是否应答需根据响应标志位确定。

内容	数据格式	字节数
文件传输ID	BIN	4
结果码	BIN	4

0表示成功，其他值备用。

文件传输交互流程为：

(1) 准备文件传输前，CCO给全网发清除下装命令，STA接收到后，准备接收新的升级指令。当文件传输过程中准备放弃剩余文件时，CCO可以给全网发送清除下装命令。

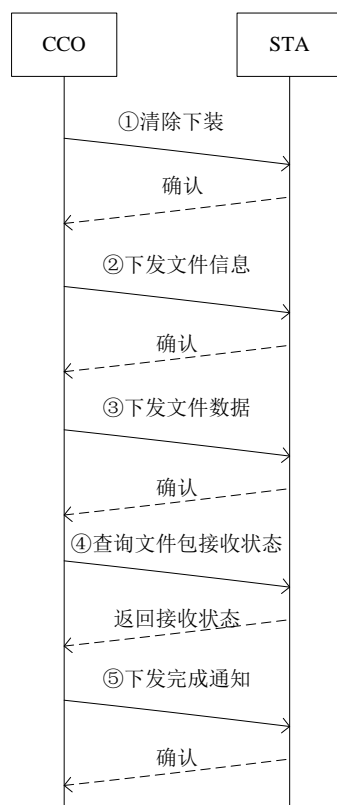
(2) 开始文件传输时，CCO给全网发送文件信息报文，通知全网准备传输文件，包括传输的目标对象，以及待传输的文件信息等。如果STA接收本命令时，文件传输ID与以前收到的不一致，需要放弃以前接收到的数据，重新全新接收文件；

(3) CCO下发文件数据报文；

(4) CCO查询STA收包情况，如果发现有缺失的包，可以有针对性补发；如果文件包完整，则进入下一步；

(5) CCO全网发送文件传输完成通知，STA收到该命令后，执行以下操作：

- A.如果是给STA升级，则收到完成通知后，在指定的时间后应用新程序（如需要，可以重启）；
- B.如果是给采集器升级，则收到完成通知后，启动给采集器的升级流程。



文件传输流程

8.5.3.1.2 保留

保留字节默认为0。

8.5.3.2 上行业务报文格式

上行为确认/否认帧。

8.5.4 0x03：允许/禁止从节点事件

8.5.4.1 下行业务报文格式

下行业务数据单元格式如下。

字节数：1	3
从节点事件标识	保留
业务数据单元	

8.5.4.1.1 从节点事件标识

从节点事件标识含义如下。

从节点事件标识	含义
0x00	禁止主动上报
0x01	允许主动上报
0x02~0xFF	保留

8.5.4.1.2 保留

默认填0。

8.5.4.2 上行业务报文格式

上行为确认/否认帧。

8.5.5 0x04：从节点重启

下行业务数据单元格式如下。

字节数：1	3
延时重启时间	保留
业务数据单元	

8.5.5.1.1 延时重启时间

延时重启时间是指STA在收到该报文后等待N秒后重启，单位：秒；收到重复命令时，以最后一次收到该报文时间点为基准，重新计算延时时间。延时重启时间为0时，STA；立即重启。

8.5.5.1.2 保留

默认填0。

8.5.5.2 上行业务报文格式

上行为确认/否认帧。

8.6 主动上报

8.6.1 0x00：事件主动上报

8.6.1.1 下行业务报文格式

下行为确认/否认帧。

8.6.1.2 上行业务报文格式

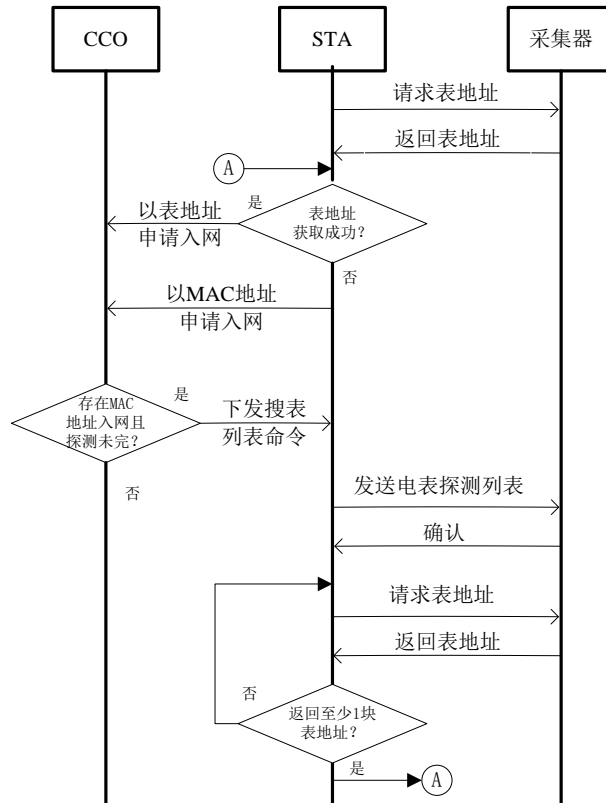
上行业务数据单元格式如下。

字节数：6	变长 L
电表地址	电表主动上报报文
业务数据单元	

附件：STA入网策略说明

(1) 电表STA：模块上电后，STA从电表获取到表地址，以该地址申请入网；

(2) 采集器STA：上电后，STA从采集器获取搜表的结果，如果能够获取到电表地址，则以任一电表地址申请入网；如果无法获取电表地址，则暂时以采集器地址申请入网，CCO检测到该情况后，下发“搜表列表”命令给STA，STA再将这些搜表列表通过“请求电表探测列表”命令转发给采集器，由采集器进行探测，如果探测成功，以探测到的任一电表地址申请入网。



采集器模块入网流程