

ICS 29.240

Q/GDW

国家电网公司企业标准

Q/GDW 11612.42—2016

低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范 第4—2部分：数据链路层通信协议

Low voltage power line broadband communication interoperability technical specification
part42: data link layer protocol

2017 - 06 - 16 发布

2017 - 06 - 16 实施

国家电网公司 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	3
5 数据链路层	4
附录 A（规范性附录） 白名单管理说明	96
编制说明	97

前 言

为规范电力用户用电信息采集系统宽带载波通信的协议要求，包括应用层报文格式、MAC子层功能、网络管理子层功能等内容，制定本部分。

《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范》标准分为6个部分：

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

本部分是《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范》标准的第4-2部分。

本部分由国家电网公司营销部提出并解释。

本部分由国家电网公司科技部归口。

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

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

本部分首次发布。

本部分在执行过程中的意见或建议反馈至国家电网公司科技部。

低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范

第 4-2 部分：数据链路层通信协议

1 范围

本部分规定了电力用户用电信息采集系统基于宽带载波通信网络的数据链路层技术。

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

2 规范性引用文件

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

DL/T 645 多功能电能表通信协议及其备案文件

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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

关联 association

用来在通信网络中创建成员隶属关系的一种服务。

3.2

协议数据单元 protocol data unit

两个对等实体之间交换的数据单元。

3.3

宽带载波通信网络 broadband carrier communication network

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

3.4

中央协调器 central coordinator

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

3.5

站点 station

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

3.6

代理协调器 proxy coordinator

为中央协调器与站点或者站点与站点之间进行数据中继转发的站点，简称代理。

3.7

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。应用层所承载的业务报文应符合 DL/T 645、Q/GDW 1376.2 的规定。

3.12

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。

3.13

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。

3.14

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。

3.15

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。

3.16

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。

3.17

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。

3.18

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。

3.19

网络标识符 network identifier

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。

3.20

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网络标识符和带宽的协调，保证多个网络同时正常工作。

3.21

网络标识符协调 coordination of NID

多网络共存场景下，多个网络的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网络标识符不冲突的过程。

3.22

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

下列缩略语适用于本文件。

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)

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)
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)
NID: 网络标识符 (Short Network Identifier)
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)
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)
RSVD: 保留 (Reserved)
SACK: 选择确认 (Selective Acknowledgement)
SNR: 信噪比 (Signal-to-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)
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 数据链路层

5.1 帧格式

5.1.1 MAC 帧格式

5.1.1.1 MAC 帧格式定义

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帧的基本格式如图1 所示。



图1 MAC 帧格式

5.1.1.2 MAC 帧头

5.1.1.2.1 MAC 帧头格式

MAC帧头格式如表1 所示。

表1 MAC 帧头格式

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
版本	0	0-3	4
原始源 TEI		4-7	12
	1	0-7	
原始目的 TEI	2	0-7	12
	3	0-3	
发送类型		4-7	4
发送次数限值	4	0-4	5
保留		5-7	3
MSDU 序列号	5	0-7	16
	6	0-7	
MSDU 长度	7	0-7	11
	8	0-2	
重启次数		3-6	4
代理主路径标识		7	1
路由总跳数	9	0-3	4
路由剩余跳数		4-7	4
广播方向	10	0-1	2
路径修复标志		2	1
MAC 地址标志		3	1

表 1 (续)

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
保留	10	4-7	12
	11	0-7	
组网序列号	12	0-7	8
MSDU 类型	13	0-7	8
原始源 MAC 地址	0 或者 14-19	0-7	0 或者 48
原始目的 MAC 地址	0 或者 20-25	0-7	0 或者 48

5.1.1.2.2 版本

版本是一个4比特的字段。该字段用来指示MAC帧头的字段定义版本号。
版本字段的含义如表2 所示。

表2 版本

值	定义
0	本标准协议
其他	保留

5.1.1.2.3 原始源 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。

5.1.1.2.4 原始目的 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。

5.1.1.2.5 发送类型

报文发送的类型，含义如表3 所示。

表3 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	代理广播，不需要回应
4	全网广播，需要确认回应
5	本地广播，需要确认回应
6	代理广播，需要确认回应
其他	保留

5.1.1.2.6 发送次数限值

站点对报文最大发送次数。如果该字段值为零，则可以使用本地重发次数。
需要确认回应的报文，如果回应为成功，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。

5.1.1.2.7 MSDU 序列号

指产生MSDU的原始设备分配给该MSDU的递增序列号。

5.1.1.2.8 MSDU 长度

MAC帧中携带的MSDU的长度。

5.1.1.2.9 重启次数

指站点重启次数。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。

5.1.1.2.10 代理主路径标识

当前报文是否根据代理主路径模式进行转发的标志，含义如表4 所示。

表4 代理主路径

值	定义
0	未启用代理主路径模式
1	当前使用代理主路径模式

5.1.1.2.11 路由总跳数

路由总跳数指MAC帧可以被转发的总跳数。报文在转发过程中，该字段的值不能修改，保持与原文数值一致。

5.1.1.2.12 路由剩余跳数

路由剩余跳数指MAC帧可以被转发的剩余跳数。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。

5.1.1.2.13 广播方向

广播报文的传输方向，含义如表5 所示。

表5 广播方向

值	定义
0	双向广播（不限定方向）
1	下行广播（从 CCO 发起广播至 STA）
2	上行广播（从 STA 发起广播至 CCO）
其他	保留

5.1.1.2.14 路径修复标志

路径修复标志，标识本帧报文在传输中是否触发过路径修复。1代表已触发过路径修复过程，0代表未触发过路径修复，含义如表6 所示。

表6 路径修复标志

值	定义
0	当前报文未触发过路径修复
1	当前报文已触发过路径修复

5.1.1.2.15 MAC 地址标志

MAC地址标志字段，用于指示MAC帧头中是否携带MAC地址，含义如表7 所示。

表7 MAC 地址标志

值	定义
0	未携带 MAC 地址
1	携带 MAC 地址

5.1.1.2.16 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每次重新组网后都需要加1。

5.1.1.2.17 MSDU 类型

MSDU类型字段用于指示MSDU帧的类型，如表8 所示。

表8 MSDU 类型

值	定义
0	网络管理消息
1 - 47	数据链路层待扩展
48	应用层报文
49	以太网报文
其他	待扩展

5.1.1.2.18 原始源 MAC 地址

原始源MAC地址是48比特字段，指最初产生MSDU帧的站点MAC地址。该字段只有在“MAC地址标志”字段值为1时存在。原始源MAC地址不能为FF-FF-FF-FF-FF-FF；00-00-00-00-00-00为非法地址。

5.1.1.2.19 原始目的 MAC 地址

原始目的MAC地址是48比特字段，指MSDU帧的最终目的站点MAC地址。该字段只有在“MAC地址标志”字段值为1时存在。原始源MAC地址不能为FF-FF-FF-FF-FF-FF；00-00-00-00-00-00为非法地址。

5.1.1.3 MSDU

MAC层业务数据单元，可以是需要传送的应用层业务数据，也可以是MAC层的管理消息。

5.1.1.4 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。

5.1.2 MPDU 帧格式

5.1.2.1 MPDU 帧格式定义

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。带有多个物理块载荷的MPDU称为长MPDU，带有一个或者不携带物理块载荷称为短MPDU。MPDU帧格式如图2 所示。

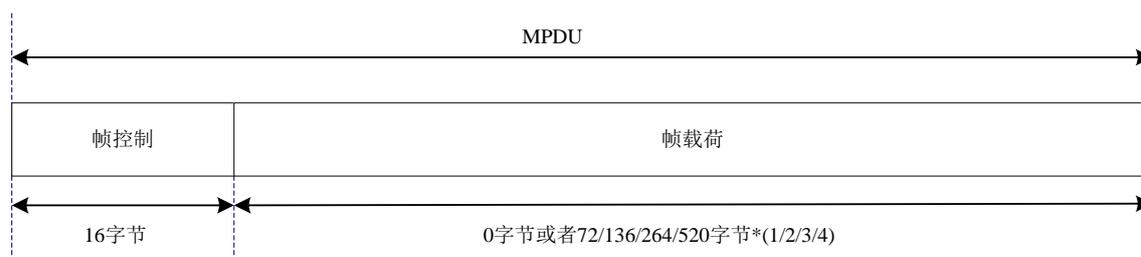


图2 MPDU 帧格式

5.1.2.2 MPDU 帧控制格式

5.1.2.2.1 MPDU 帧控制格式定义

MPDU的帧控制字段长度为16字节。MPDU帧控制字段的格式如表9 所示。

表9 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
网络类型		3-7	5
网络标识	1	0-7	24
	2	0-7	
	3	0-7	
可变区域	4-11	0-7	68
	12	0-3	
标准版本号	12	4-7	4
帧控制校验序列	13-15		24

5.1.2.2.2 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表10所示。

表10 定界符类型

值	定义
0	信标帧
1	SOF 帧
2	选择确认帧
3	网间协调帧
其他	保留

5.1.2.2.3 网络类型

网络类型是一个的5比特的字段，用于指示发送MPDU站点所在的网络类型。网络类型字段的取值和所代表的含义如表11所示。

表11 网络类型

值	定义
0	MPDU 在用信息采集系统中传输
其他	保留

5.1.2.2.4 网络标识

网络标识是一个24比特的字段，用于区分不同的宽带载波通信网络。有效取值范围为1-16777215。每个宽带载波通信网络都必须有一个唯一的NID。

5.1.2.2.5 标准版本号

标准版本号是一个4比特字段，用来表示标准演进的不同版本。标准版本号用以识别发送报文站点或者网络所使用的标准版本。其含义如表12所示。

表12 标准版本号

值	定义
0	本标准
其他	待演进

5.1.2.2.6 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。

5.1.2.2.7 可变区域

可变区域的内容由定界符类型决定。

信标帧用于CCO进行网络管理。信标帧的可变区域的格式如表13所示。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。源TEI表示发送信标的站点的TEI。分集拷贝基本模式标识信标帧发送时采用的分集拷贝基本模式，具体请参照《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范 第4-1部分：物理层通信协议》中的分集拷贝基本模式。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表14所示。

表13 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	4	0-7	32
	5	0-7	
	6	0-7	
	7	0-7	
源 TEI	8	0-7	12
	9	0-3	
分级拷贝基本模式	9	4-7	4
符号数	10	0-7	9
	11	0	
相线		1-2	2
保留		3-7	9
	12	0-3	

表14 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

SOF帧主要用于设备之间传输数据。SOF帧的可变区域内容如表15所示。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。含义如表16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，其帧长包括SOF帧的帧载荷传输时间和竞争帧间隔时间，定义如图3所示。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、应答帧间隔时间、

选择确认传输时间以及竞争帧间隔时间，定义如图4 所示。物理块个数，表示SOF帧的帧载荷中携带的物理块数量，SOF帧可支持1至4个物理块规格。物理块的大小支持72/136/264/520字节四种规格。符号数，表示在SOF帧的载荷部分包含的OFDM符号个数。广播标志位，表示该SOF帧是否为广播报文，含义如表17 所示。重传标志位，表示该SOF帧是否为重传报文，含义如表18 所示。加密标志位为预留信息段，为增加链路层加密机制提供支持。分集拷贝基本模式，分集拷贝基本模式是一个4比特字段，该字段表示SOF帧的帧载荷调制使用的分集拷贝基本模式，同时，分集拷贝基本模式也指示了SOF帧的物理传输块大小。不同分集拷贝基本模式可支持的物理块数量不同，具体请参照“低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范 第4-1部分：物理层通信协议”的“分集拷贝基本模式”。分集拷贝扩展模式，分集拷贝扩展模式是一个4比特字段，其基本含义与分集拷贝基本模式没有区别。用法和分集拷贝基本模式有关联，当分集拷贝基本模式的值为15时，表示本SOF帧的载荷是使用分集拷贝扩展模式调制，接收方需要解析本字段，获取对载荷进行译码的分集拷贝扩展模式。分集拷贝扩展模式的取值和所代表的含义参照《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范 第4-1部分：物理层通信协议》的“分集拷贝扩展模式”。

表15 SOF 帧的可变区域

字段	字节号	比特位	字段大小（比特）
源 TEI	4	0-7	12
	5	0-3	
目的 TEI		4-7	12
	6	0-7	
链路标识符	7	0-7	8
帧长	8	0-7	13
	9	0-4	
物理块个数		5-7	3
符号数	10	0-7	9
	11	0	
广播标志位		1	1
重传标志位		2	1
加密标志位		3	1
分集拷贝基本模式		4-7	4
分集拷贝扩展模式	12	0-3	4

表16 链路标识符定义

值	定义
0 - 3	报文优先级
4 - 254	业务分类 LID
255	无效值

注：优先级取值越大标识优先级更高。



图3 无选择确认的单帧传输

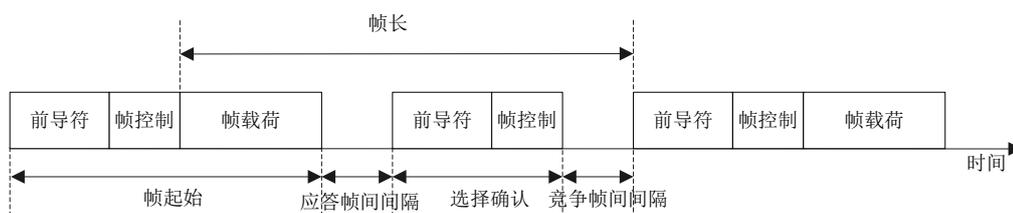


图4 带选择确认的单帧传输

表17 广播标志位

值	说明
0	非广播报文
1	广播报文

表18 重传标志位

值	说明
0	非重传报文
1	重传报文

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表19所示。接收结果，表示SOF帧的接收结果，接收结果的取值和解释如表20所示。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。源TEI是一个12比特字段，表示为选择确认帧的源终端的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。信道质量，表示站点在接收本帧所对应的SOF报文时，计算得到的信道质量。信道质量用原始信噪比数据表示。站点负载，表示选择确认帧的源站点的负载，取值为该源站点上未发送的缓存报文的数量。扩展帧类型，表示在定界符类型之上，所扩展定义的帧类型，含义如表21所示。

表19 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	4	0-3	4
接收状态		4-7	4
源 TEI	5	0-7	12
目的 TEI	6	0-3	
		4-7	12
	7	0-7	
接收物理块个数	8	0-2	3
保留		3-7	5
信道质量	9	0-7	8
站点负载	10	0-7	8
保留	11	0-7	8
扩展帧类型	12	0-3	4

表20 接收结果值

值	定义
0	表示 SOF 帧全部接收成功。
1	表示 SOF 帧的物理块存在循环冗余校验失败的情形。
其他	保留

表21 扩展帧类型

值	说明
0	表示为选择确认帧。
其他	保留

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表22 所示。持续时间，持续时间是一个16比特的字段，表示本网络需要申请占用的时隙长度。单位：1毫秒。带宽开始偏移，下个带宽时隙开始时刻的时间偏移，单位：1毫秒，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。接收到邻居网络号，能够接收到邻居网络的网络号，表示本网络能够接收到该网络的信号，每次发送多网络协调帧时携带一个邻居网络号，通过多次发送，告知周边邻居网络本网络可接收到的邻居网络。

表22 网间协调的可变区域

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
持续时间	4	0-7	16
	5	0-7	
带宽开始偏移	6	0-7	16
	7	0-7	
接收到的邻居网络号	8	0-7	24
	9	0-7	
	10	0-7	
保留	11	0-7	12
	12	0-3	

5.1.2.3 SOF 帧 MPDU 帧载荷格式

载荷的物理块格式有4种，物理块的大小可选为72/136/264/520字节。

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、物理块体和物理块检查序列。物理块头为1个字节，物理块检查序列为3个字节。物理块的格式如图5 所示。

物理块头包含物理块体的属性信息。物理块头的格式如表23 所示。序列号是一个6比特的字段，初始值为0，表示MPDU的载荷中物理块的序号，一个MAC帧，被分割为物理块后，每个物理块需要对应一个物理块的序号，例如，如果一个MAC帧，封装在一个MPDU中，共携带了4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；第四个物理块的物理块头中，序列号的值是3。帧起始标志是一个1比特的字段，当对应的物理块体，是MAC帧分片后的第一个物理块体时，需设置本字段的值为1；否则，需设置本字段的值为0。帧结束标志是一个1比特的字段，当对应的物理块体，是MAC帧分片后的最后一个物理块体时，需设置本字段的值为1；否则，需设置本字段的值为0。

物理块体中携带由MSDU所组成的MAC帧的分段，大小为132字节或者516字节。

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两部分为目标，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。

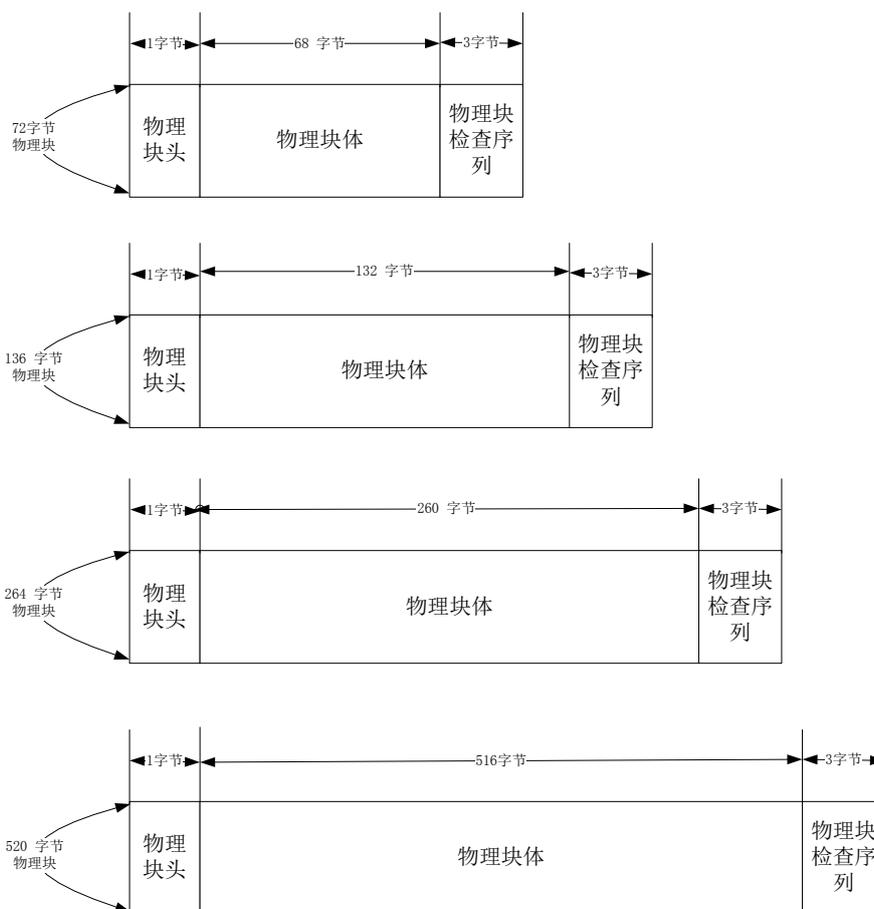


图5 SOF 帧物理块格式

表23 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	0-5	6
帧起始标志	0	6	1
帧结束标志	0	7	1

5.1.2.4 信标 MPDU 帧载荷格式

5.1.2.4.1 物理块格式

载荷的物理块格式有4种，物理块的大小可选为72/136/264/520字节。信标帧的载荷只支持一个物理块；缺省支持136/520字节的两种规格物理块格式，可选支持72/264字节的物理块格式。

物理块格式如图6 所示。

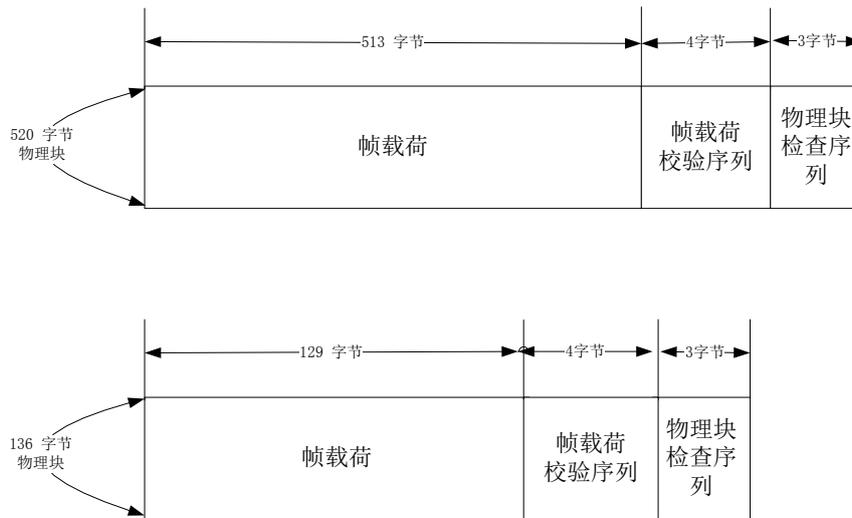


图6 物理块格式

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中帧载荷部分的内容。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两部分为目标，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。

5.1.2.4.2 帧载荷格式

不同大小的信标帧载荷，采用的调制方式分集拷贝基本模式不同。

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表24所示。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表25所示。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表26所示。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表27所示。信标使用标志位是一个1比特的字段，表示是否允许使用信标报文进行信道评估。信标使用标志位的取值和含义如表28所示。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每次重新组网后都需要自动加1。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，指本网络CCO的MAC地址。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表29所示。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表30所示。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表31所示。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。信标条目类型的不同，长度字段的大小也不同，如表31所示，部分信标条目的长度字段为1字节，部分信标条目的长度字段为2字节。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表32所示。路由参数通知条目的格式如表33所示。频段通知条目的格式如表34所示。时隙分配条目的格式如表35所示。非中央信标信息字段的格式如表36所示。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表37所示。绑定CSMA时隙信息字段的格式如表38所示。

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。

物理块检验序列是一个24比特的字段。校验时，以帧载荷和BPCS信标帧载荷校验序列两部分为目标，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。

表24 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		3	1
保留		4-5	2
开始关联标志位		6	1
信标使用标志位		7	1
组网序列号	1	0-7	8
信标周期计数	2	0-7	32
	3	0-7	
	4	0-7	
	5	0-7	
CCO MAC 地址	6	0-7	48
	7	0-7	
	8	0-7	
	9	0-7	
	10	0-7	
保留	11	0-7	
保留	12-19	0-7	64
信标管理信息	20-128 或 20-512	0-7	可变长
帧载荷校验序列	129-131 或 /513-515	0-7	32

表25 信标类型

值	定义
0	发现信标
1	代理信标
2	中央信标
其他	保留

表26 组网标志位

值	定义
0	组网未完成
1	组网完成

表27 开始关联标志位

值	定义
0	不允许站点发起关联请求
1	允许站点发起关联请求

表28 开始关联标志位

值	定义
0	不允许使用信标进行信道评估
1	允许使用信标进行信道评估

表29 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

表30 信标条目数

值	定义
0x00—0x02	保留
0x03	存在 3 个信标条目，如此类推

表31 信标条目头

值	定义	对应信标条目长度字段大小
0x00	站点能力条目	1
0x01	路由参数条目	1
0x02	频段变更条目	1
0x03-0xBF	保留	1
0xC0	时隙分配条目	2
0xC1-0xFF	保留	2

表32 站点能力条目

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
TEI	0	0-7	12	站点 TEI
	1	0-3		
代理站点 TEI	1	4-7	12	发送信标站点的代理站点 TEI
	2	0-7		
发送信标站点 MAC 地址	3	0-7	48	信标发送站点 MAC 地址
	4	0-7		
	5	0-7		
	6	0-7		
	7	0-7		
	8	0-7		
路径最低通信成功率	9	0-7	8	站点到 CCO 整个路径的最低通信成功率。 CCO 时，成功率为 100%
角色	10	0-3	4	站点角色 角色定义： 0x0:未知 0x1:STA 0x2:PCO 0x4:CCO 其他：保留
层级数	10	4-7	4	层级数

表 32 (续)

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
代理站点信道质量	11	0-7	8	与代理站点之间的信道质量
相线	12	0-1	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
保留	11	2-7	6	保留

表33 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
路由周期	0	0-7	16	路由周期。表示用于路由评估的时间周期。 单位：秒
	1	0-7		
路由评估剩余时间	2	0-7	16	距离下次路由评估的剩余时间。 单位：秒
	3	0-7		
代理站点发现列表周期	4	0-7	16	代理站点发送发现列表报文的间隔周期。单位：秒
	5	0-7		
发现站点发现列表周期	6	0-7	16	发现站点发送发现列表报文的间隔周期。单位：秒
	7	0-7		

表34 频段通知条目

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
目标频段	0	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《低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范 第 3—1 部分: 物理层通信协议》相关章节。
频段切换剩余时间	1	0-7	32	距离实施频段切换, 剩余的时间长度。单位: 毫秒
	2	0-7		
	3	0-7		
	4	0-7		

表35 时隙分配条目

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
非中央信标时隙总数	0	0-7	8	非中央信标时隙总数
中央信标时隙总数	1	0-3	4	中央信标时隙总数
CSMA 时隙支持的相 线个数	1	4-5	2	CSMA 时隙支持的相线个数。 取值范围：1-3
保留	1	6-7	10	保留
	2	0-7		
代理信标时隙总数	3	0-7	8	代理信标时隙总数
信标时隙长度	4	0-7	8	每个信标时隙占用的时隙长度。 单位：1 毫秒
CSMA 时隙分片长度	5	0-7	8	CSMA 时隙分片的大小。 单位：10 毫秒
绑定 CSMA 时隙相线 个数	6	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	7	0-7	8	绑定 CSMA 时隙支持的业务报文 lid。
TDMA 时隙长度	8	0-7	8	TDMA 时隙长度。 单位：1 毫秒
TDMA 时隙链路标识 符	9	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	10	0-7	32	信标周期的开始时刻 NTB 值。
	11	0-7		
	12	0-7		
	13	0-7		
信标周期长度	14	0-7	32	信标周期的时间长度 单位：1 毫秒
	15	0-7		
	16	0-7		
	17	0-7		
保留	18-19	0-7	16	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 “非中央信标时隙总数” 计算字段占用总大小。 信息的字段定义。 如表 36 所示。

表 35 (续)

字段	字节号	比特位	字段大小 (比特)	定义说明
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 “CSMA 时隙支持的相线个数”计 算字段占用总大小。 信息字段的定义，如表 37 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“绑定 CSMA 时隙相线个数”计算字段占 用总大小。 信息字段的定义，如表 38 所示。

表36 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
		0-3	4	
信标类型	1	4	1	信标类型 0x0: 发现信标 0x1: 代理信标
保留		5-7	3	保留

表37 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：1 毫秒
	1	0-7		
	2	0-7		
CSMA 时隙相线	3	0-1	2	定义： 0x0: 全相线 0x1: A 相线 0x2: B 相线 0x3: C 相线
保留	3	2-7	6	保留

表38 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：1 毫秒
	1	0-7		
	2	0-7		
绑定 CSMA 时隙的相线	3	0-1	2	0x0: 全相线; 0x1: A 相线; 0x2: B 相线; 0x3: C 相线
保留	3	2-7	6	保留

5.1.3 管理消息帧格式

5.1.3.1 管理消息帧格式定义

MAC层的管理消息报文。管理消息报文头的定义如表39 所示。

表39 管理消息报文头格式

字段	字节号	字段大小(字节)
管理消息类型 (MMTYPE)	0-1	2
保留	2-3	3

管理消息类型 (MMTYPE) 的定义如表40 所示：

表40 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)	0x0000
关联确认 (MMeAssocCnf)	0x0001
关联汇总指示 (MMeAssocGatherInd)	0x0002
代理变更请求 (MMeChangeProxyReq)	0x0003
代理变更确认 (MMeChangeProxyCnf)	0x0004
代理变更确认 (MMeChangeProxyBitMapCnf)	0x0005
离线指示 (MMeLeaveInd)	0x0006
心跳检测 (MMeHeartBeatCheck)	0x0007
发现列表 (MMeDiscoverNodeList)	0x0008
通信成功率上报 (MMeSuccessRateReport)	0x0009
网络冲突上报 (MMeNetworkConflictReport)	0x000A
过零 NTB 采集指示 (MMeZeroCrossNTBCollectInd)	0x000B
过零 NTB 上报 (MMeZeroCrossNTBReport)	0x000C
保留	0x000D-0x4F
路由请求(MMeRouteRequest)	0x0050

表 40 (续)

管理消息名称	管理消息类型标识符
路由回复(MMeRouteReply)	0x0051
路由错误(MMeRouteError)	0x0052
路由应答(MMeRouteAck)	0x0053
链路确认请求(MMeLinkConfirmRequest)	0x0054
链路确认回应(MMeLinkConfirmResponse)	0x0055

5.1.3.2 关联请求报文

5.1.3.2.1 关联请求报文格式定义

关联请求报文 (MMeAssocReq) 格式的定义如表41 所示。

表41 关联请求报文格式

字段	字节号	比特位	字段大小(字节)
站点 MAC 地址	0-5	0-7	6
候选代理 TEI0	6	0-7	12 比特
	7	0-3	
保留	7	4-7	4 比特
...
候选代理 TEI4	14	0-7	12 比特
	15	0-3	
保留	15	4-7	4 比特
相线	16	0-1	2 比特
		2-3	2 比特
		4-5	2 比特
		6-7	2 比特
保留			
设备类型	17	0-7	1
保留	18-19	0-7	1
MAC 地址类型	20	0-7	1
保留	21	0-7	1
站点关联随机数	22-25	0-7	4
站点版本信息	26-53	0-7	28
硬复位累积次数	54-55	0-7	2
软复位累积次数	56-57	0-7	2
代理类型	58	0-7	1
组网序列号	59	0-7	1
端到端序列号	60-63	0-7	4

5.1.3.2.2 站点 MAC 地址

表示发起关联请求的站点的MAC地址，长度为6字节。

5.1.3.2.3 候选代理 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。

5.1.3.2.4 相线

表示本站点的所属相线的评估结果，最低比特位字段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，相线的值定义如表42 所示。

表42 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

5.1.3.2.5 设备类型

表示终端设备的类型，定义如表43 所示。

表43 设备类型字段

值	定义
1	抄控器
2	集中器本地通信单元
3	电表通信单元
4	中继器
5	II 型采集器
6	I 型采集器单元

5.1.3.2.6 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。

5.1.3.2.7 MAC 地址类型

表示关联入网时使用的 MAC 地址的来源，定义如表 44 所示。

表44 MAC 地址类型字段

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

5.1.3.2.8 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。

5.1.3.2.9 站点版本信息

表示站点的软硬件版本信息，定义如表45 所示。

系统模式表示系统当前的工作模式，如表46 所示。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。系统异常原因表示系统的上次异常原因，定义如表47 所示。主版本号用来表示终端设备当前软件版本的主版本号。编译时间表示软件版本文件的编译日期和时间，定义如表48 所示。次版本号用来表示终端设备当前软件版本的次版本号。芯片版本号表示芯片的版本号。系统启动原因表示系统启动的原因，定义如表49 所示。参数主版本号表示当前终端设备的配置文件的主版本号。参数次版本号表示当前终端设备的配置文件的次版本号。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。

表45 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

表46 系统模式字段

值	定义
0	正常模式
其他	保留

表47 系统异常原因字段

值	定义
0	系统正常
其他	应用层保留

表48 编译时间字段

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

表49 系统启动原因字段

值	定义
0	正常重启
其他	保留

5.1.3.2.10 硬复位累积次数

记录设备的硬件复位的累计次数。

5.1.3.2.11 软复位累积次数

记录设备的软件复位的累计次数。

5.1.3.2.12 代理类型

表示代理站点的类型，定义如表50 所示。

表50 代理类型

值	定义
0	表示是站点动态选择的代理。
其他	保留。

5.1.3.2.13 组网序列号

表示关联请求报文产生时的组网序列号。

5.1.3.2.14 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。

5.1.3.3 关联确认报文

5.1.3.3.1 管理确认报文格式定义

关联确认报文（MMeAssocCnf）格式的定义如表51 所示。

表51 关联确认报文格式

字段	字节号	比特位	字段大小 (字节)
站点 MAC 地址	0-5	0-7	6
CCO MAC 地址	6-11	0-7	6
结果	12	0-7	1
站点层级	13	0-7	1
站点 TEI	14	0-7	12 比特
	15	0-3	
保留	15	4-7	4 比特
代理 TEI	16	0-7	12 比特
	17	0-3	
保留	17	4-7	4 比特
总分包数	18	0-7	1
分包序号	19	0-7	1
站点关联随机数	20-23	0-7	4
重新关联时间	24-27	0-7	4
端到端序列号	28-31	0-7	4
路径序号	32-35	0-7	4
组网序列号	36	0-7	1
保留	37-39	0-7	3
路由表信息	可变	0-7	可变长

5.1.3.3.2 站点 MAC 地址

用来标识关联确认报文的终端设备的MAC地址。

5.1.3.3.3 CCO MAC 地址

表示本网络的CCO的MAC地址。

5.1.3.3.4 结果

关联请求的确认结果，定义如表52 所示。

表52 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
其他	保留

5.1.3.3.5 站点层级

表示站点入网后的所处拓扑层级。

5.1.3.3.6 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。

5.1.3.3.7 代理 TEI

CCO为该站点选定的代理站点的设备标识TEI。

5.1.3.3.8 总分包数

表示关联回复消息报文分包后，分包的总个数。

5.1.3.3.9 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。

5.1.3.3.10 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发送的关联请求报文中携带的站点关联随机数。

5.1.3.3.11 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。

5.1.3.3.12 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。

5.1.3.3.13 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。

5.1.3.3.14 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。

5.1.3.3.15 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表53所示。

表53 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。

路由表的定义如表54所示。

表54 子站点表

字段	字节号	比特位	字段大小	定义
直连站点[0]	0	0-7	12 比特	直连 STA 的 TEI
	1	0-3		

表 54 (续)

字段	字节号	比特位	字段大小	定义
保留	1	4-7	4 比特	保留
...	...	...	...	直连 STA 的 TEI
直连站点[N-1]	...	...	...	直连 STA 的 TEI N=直连站点数。
直连代理[0]	0	0-7	12 比特	直连代理 PCO 的 TEI
	1	0-3		
保留	1	4-7	4 比特	保留
该代理下子站点数	2-3	0-7	2 字节	该 PCO 下所有子站 点的个数。
子站点[0]	4	0-7	12 比特	该 PCO 下的子站点 TEI。
	5	0-3		
保留	5	4-7	4 比特	保留
...	...	...	...	该 PCO 下的子站点 TEI。
子站点[M0-1]	...	...	...	该 PCO 下的子站点 TEI。M0= 直连代 理[0]下的子站点数
直连代理[1]	0	0-7	12 比特	直连代理 PCO 的 TEI
	1	0-3		
保留	1	4-7	4 比特	保留
该代理下子站点数	2-3	0-7	2 字节	该 PCO 下所有子站 点的个数。
子站点[0]	4	0-7	12 比特	该 PCO 下的子站点 TEI。
	5	0-3		
保留	5	4-7	4 比特	保留
...	...	...	...	该 PCO 下的子站点 TEI。
子站点[M1-1]	...	...	...	该 PCO 下的子站点 TEI。 M1=直连代理[1]下 的子站点数
...
直连代理[S]	0	0-7	12 比特	直连代理 PCO 的 TEI。S=直连站点数
	1	0-3		
保留	1	4-7	4 比特	保留
该代理下子站点数	2-3	0-7	2 字节	该 PCO 下所有子站 点的个数。
子站点[0]	4	0-7	12 比特	该 PCO 下的子站点 TEI。
	5	0-3		

表 54 (续)

字段	字节号	比特位	字段大小	定义
保留	5	4-7	4 比特	保留
...	...	...	...	该PCO下的子站点 TEI。
子站点[MS-1]	...	...	...	该PCO下的子站点 TEI。 MS=直连代理[S] 下的子站点数

直连站点，当描述站点B为站点A的直连站点时，一般是指站点B与站点A之间可以直接通信，不需要中继。子站点，当描述站点C为站点A的子站点时，C一般为需要通过A来与CCO完成通信的A的所有子孙站点中的一个。直连子站点，当站点D为站点A的直连子站点时，说明站点D既是站点A的直连站点，也是站点A的子站点。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的子站点的数量，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。

5.1.3.4 关联汇总指示报文

5.1.3.4.1 关联汇总指示格式

关联汇总指示报文（MMeAssocGatherInd）格式的定义如表55 所示。

表55 关联汇总指示报文格式

字段	字节号	比特位	字段大小(字节)
结果	0	0-7	1
站点层级	1	0-7	1
CCO MAC 地址	2-7	0-7	6
代理 TEI	8	0-7	12 比特
	9	0-3	
保留	9	4-7	保留
组网序列号	10	0	1
汇总站点数	11	0	1
保留	12-15	0	4
站点信息	可变长	0	可变长

5.1.3.4.2 结果

表示关联请求的结果，固定值为0，表示允许加入网络。

5.1.3.4.3 站点层级

表示所有新入网站点所处的网络层级。

5.1.3.4.4 CCO MAC 地址

表示本网络中CCO的设备MAC地址。

5.1.3.4.5 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。

5.1.3.4.6 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。

5.1.3.4.7 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。

5.1.3.4.8 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表56 所示。

表56 站点信息字段

字段	字节号	比特位	字段大小	定义
站点 MAC 地址 1	0-5	0-7	6 字节	站点的 MAC 地址
站点 TEI1	6	0-7	12 比特	分配给站点的 TEI
	7	0-3		
保留	7	4-7	4 比特	保留
站点 MAC 地址 2	8-13	0-7	6 字节	站点的 MAC 地址
站点 TEI2	14	0-7	12 比特	分配给站点的 TEI
	15	0-3		
保留	15	4-7	4 比特	保留
...
站点 MAC 地址 N	...	...	...	站点的 MAC 地址 N=汇总站点数
站点 TEIN	...	...	...	分配给站点的 TEI N=汇总站点数

5.1.3.5 代理变更请求报文

5.1.3.5.1 代理变更请求报文格式

代理变更请求报文（MMChangeProxyReq）格式的定义如表57 所示。

表57 代理变更请求报文格式

字段	字节号	比特位	字段大小
站点 TEI	0	0-7	12 比特
	1	0-3	
保留	1	4-7	4 比特
新代理 TEI0	2	0-7	12 比特
	3	0-3	
保留	3	4-7	4 比特
...
新代理 TEI4	10	0-7	12 比特
	11	0-3	
保留	11	4-7	保留
旧代理 TEI	12	0-7	12 比特
	13	0-3	
保留	13	4-7	4 比特
代理类型	14	0-7	1 字节
原因	15	0-7	1 字节
站点相线	16	0-1	2 比特
		2-3	2 比特
		4-5	2 比特
保留		6-7	2 比特
端到端序列号	17-20	0-7	4 字节
组网序列号	21	0-7	1 字节
保留	22-23	0-7	2 字节

5.1.3.5.2 站点 TEI

表示申请进行代理变更站点的设备标识。

5.1.3.5.3 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。

5.1.3.5.4 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。

5.1.3.5.5 代理类型

表示申请代理变更站点的原代理类型，定义如表58 所示。

表58 代理类型

值	定义
0	表示站点动态选择的代理
其他	保留

5.1.3.5.6 原因

表示站点发起代理变更原因，定义如表59 所示。

表59 代理变更原因

值	定义
0	未知
1	表示周期代理变更
其他	保留

5.1.3.5.7 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，相线的值定义如表60 所示。

表60 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
其他	无效

5.1.3.5.8 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。

5.1.3.5.9 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。

5.1.3.6 代理变更请求确认报文

5.1.3.6.1 代理变更请求确认报文格式

代理变更请求确认报文（MMeChangeProxyCnf）格式的定义如表61 所示。

表61 代理变更请求确认报文格式

字段	字节号	比特位	字段大小(字节)
结果	0	0-7	1
总分包数	1	0-7	1
分包序号	2	0-7	1
站点 TEI	3	0-7	12 比特
	4	0-3	
保留	4	4-7	4 比特
代理 TEI	5	0-7	12 比特
	6	0-3	
保留	6	4-7	4 比特
子站点数	7-8	0-7	2
组网序列号	9	0-7	1
端到端序列号	10-13	0-7	4
路径序号	14-17	0-7	4
保留	18-19	0-7	8
子站点条目	可变长	0-7	可变长

5.1.3.6.2 结果

表示代理变更结果，定义如表62 所示。

表62 代理变更结果

值	定义
0	表示变更成功
其他	保留

5.1.3.6.3 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。

5.1.3.6.4 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。

5.1.3.6.5 站点 TEI

表示申请代理变更的站点的TEI。

5.1.3.6.6 代理 TEI

表示申请代理变更站点的新代理站点的TEI。

5.1.3.6.7 子站点数

表示申请代理变更站点的所有子站点的数目。

5.1.3.6.8 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。

5.1.3.6.9 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。

5.1.3.6.10 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。

5.1.3.6.11 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，定义如表63 所示。

表63 子站点条目

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)	定义
TEI[0]	0	0-7	12	子站点的 TEI
	1	0-3		
保留	1	4-7	4	保留
TEI[1]	2	0-7	12	子站点的 TEI
	3	0-3		
保留	3	4-7	4	保留
...	...	...	...	子站点的 TEI
TEI[N-1]	...	...	...	子站点的 TEI N=子站点数

5.1.3.7 代理变更请求确认报文（位图版）

5.1.3.7.1 代理变更请求确认报文（位图版）格式

代理变更请求确认报文（位图版）（MMeChangeProxyBitMapCnf）格式的定义如表64 所示。

表64 代理变更请求确认报文（位图版）格式

字段	字节号	比特位	字段大小(字节)
结果	0	0-7	1
站点 TEI	1	0-7	12 比特
	2	0-3	
保留	2	4-7	4 比特
代理 TEI	3	0-7	12 比特
	4	0-3	
保留	4	4-7	4 比特
端到端序列号	5-8	0-7	4
路径序号	9-12	0-7	4
组网序列号	13	0-7	1
位图大小	14-15	0-7	2
保留	16-19	0-7	3
子站点位图	可变长	0-7	可变长

5.1.3.7.2 结果

表示代理变更结果，定义如表65 所示。

表65 代理变更结果

值	定义
0	表示变更成功
其他	保留

5.1.3.7.3 站点 TEI

表示申请代理变更的站点的TEI。

5.1.3.7.4 代理 TEI

表示申请代理变更站点的新代理站点的TEI。

5.1.3.7.5 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。

5.1.3.7.6 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。

5.1.3.7.7 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。

5.1.3.7.8 位图大小

表示“子站点位图”字段的大小，单位是字节。

5.1.3.7.9 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。

5.1.3.8 离线指示报文

5.1.3.8.1 离线指示报文格式

离线指示报文（MMeLeaveInd）格式的定义如表66 所示。

表66 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

5.1.3.8.2 原因

表示CCO告知站点需要离线的原因，定义如表67 所示。

表67 原因字段

值	定义
0	CCO 通知站点立即离线。
1	CCO 判断网络拓扑的层级超过上限。
2	CCO 判断站点不在最新的白名单中
其他	保留

5.1.3.8.3 站点总数

表示CCO告知的需要离线的站点个数。

5.1.3.8.4 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。

5.1.3.8.5 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。定义如表68所示。

表68 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

5.1.3.9 心跳检测报文

5.1.3.9.1 心跳检测报文格式

心跳检测报文（MMeHeartBeatCheck）格式的定义如表69 所示。

表69 心跳检测报文格式

字段	字节号	比特位	字段大小(字节)
原始源 TEI	0	0-7	12 比特
	1	0-3	
保留	1	4-7	4 比特
发现站点数最大的 站点 TEI	2-3	0-7	12 比特
	3	0-3	
保留	3	4-7	4 比特
最大的发现站点数	4-5	0-7	2
位图大小	6-7	0-7	2
发现站点位图	可变长	0-7	可变长

5.1.3.9.2 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。

5.1.3.9.3 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。

5.1.3.9.4 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。

5.1.3.9.5 位图大小

表示“发现站点位图”字段的大小，单位是字节。

5.1.3.9.6 发现站点位图

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1比特值为1，表示可以发现TEI为1的站点；第1字节的第0比特值为1，表示可以发现TEI为8的站点。

5.1.3.10 发现列表报文

5.1.3.10.1 发现列表报文格式

发现列表报文（MMeDiscoverNodeList）格式的定义如表70所示。

表70 发现列表报文格式

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
TEI	0	0-7	12
	1	0-3	
代理 TEI	1	4-7	12
	2	0-7	
角色	3	0-3	4
层级	3	4-7	4
MAC 地址	4-9	0-7	48
CCO MAC 地址	10-15	0-7	48
相线	16	0-5	6
保留	16	6-7	2
代理站点信道质量	17	0-7	8
代理站点通信成功率	18	0-7	8
代理站点下行通信成功率	19	0-7	8
站点总数	20-21	0-7	16
发送发现列表报文个数	22	0-7	8
上行路由条目总数	23	0-7	8
路由周期到期剩余时间	24-25	0-7	16
最小通信成功率	26	0-7	8
位图大小	27-28	0-7	16
保留	29-31	0-7	24
上行路由条目信息	可变长	0-7	可变长
发现站点列表位图	可变长	0-7	可变长
接收发现列表信息	可变长	0-7	可变长

5.1.3.10.2 TEI

表示发送发现列表报文的站点的终端设备标识TEI。

5.1.3.10.3 代理 TEI

表示发送发现列表报文的站点的代理站点的TEI。

5.1.3.10.4 角色

表示发送发现列表报文的站点的角色。

5.1.3.10.5 层级

表示发送发现列表报文的站点的网络层级。

5.1.3.10.6 MAC 地址

表示发送发现列表报文的站点的MAC地址。

5.1.3.10.7 CCO MAC 地址

指本网络CCO的MAC地址。

5.1.3.10.8 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。定义如表71 所示。

表71 相线评估信息字段

字段	比特位号	字段大小(比特)	定义
相线 1	0-1	2	评估出的第一相线
相线 2	2-3	2	评估出的第二相线
相线 3	4-5	2	评估出的第三相线

5.1.3.10.9 代理站点信道质量

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。信道质量用原始信噪比数据表示。

5.1.3.10.10 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。
使用百分比数据表示，如与代理站点的通信成功率为78%，则该值填写为78。

5.1.3.10.11 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。

5.1.3.10.12 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。

5.1.3.10.13 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。

5.1.3.10.14 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5条路由表项。

5.1.3.10.15 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。

5.1.3.10.16 最小通信成功率

表示发送发现列表报文的站点到CCO的整个路径中，某级最弱连接的通信成功率。

5.1.3.10.17 位图大小

表示“发现站点列表位图”字段的大小，单位是字节。

5.1.3.10.18 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2字节*上行路由条目总数，定义如表72 所示。

表72 上行路由信息字段

字段	字节号	比特位	字段大小(比特)
下一跳站点 TEI0	0	0-7	12
	1	0-3	
路由类型 0	1	4-7	4
...
下一跳站点 TEI4	8	0-7	12
	9	0-3	
路由类型 4	9	4-7	4

路由类型定义如表73 所示。同级路由，指使用与本站点层级相同站点，作为下一跳路由站点；上级路由，指使用比本站点低一个层级的站点，作为下一跳路由站点；代理主路径路由，指使用本站点的代理站点，作为下一跳路由站点；上上级路由，指使用比本站点低两个层级的站点，作为下一条路由站点。

表73 路由类型字段

值	定义
0	表示错误的路由类型
1	表示同级路由类型
2	表示上级路由类型
3	表示代理主路径路由类型

表 73 (续)

值	定义
4	表示上上级路由类型
其他	保留

5.1.3.10.19 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。

5.1.3.10.20 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表74 所示。

表74 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

5.1.3.11 通信成功率上报报文

5.1.3.11.1 通信成功率上报报文格式

通信成功率上报报文（MMeSuccessRateReport）格式的定义如表75 所示。

本报文只需要由代理站点发送。

表75 通信成功率上报报文格式

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

保留	1	4-7	4 比特
----	---	-----	------

表 75 (续)

字段	字节号	比特位	字段大小(字节)
站点总数	2-3	0-7	2 字节
通信成功率信息	可变长	0-7	可变长

5.1.3.11.2 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。

5.1.3.11.3 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。

5.1.3.11.4 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表76 所示。表示子站点的设备标识。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。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。

表76 成功率信息

字段	字节数	比特位	字段大小(字节)	定义
站点的 TEI	0	0-7	12 比特	站点的 TEI
	1	0-3		
保留	1	4-7	4 比特	保留
下行通信成功率	2	0-7	1	下行通信成功率
上行通信成功率	3	0-7	1	上行通信成功率

5.1.3.12 网络冲突上报报文

5.1.3.12.1 网络冲突上报报文格式

网络冲突上报报文（MMeNetworkConflictReport）格式的定义如表77 所示。

表77 网络冲突上报报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
CCO MAC 地址	0	6
	1	
	2	
	3	

	4	
	5	

表 77 (续)

字段	字节号	字段大小(字节)
邻居网络个数	6	1
网络号字节宽度	7	1
邻居网络条目	可变长	可变长

5.1.3.12.2 CCO MAC 地址

表示与本网络发生冲突的邻居网络的CCO MAC地址。

5.1.3.12.3 邻居网络个数

周边可见邻居网络的个数。

5.1.3.12.4 网络号字节宽度

网络号的字节宽度，单位是字节。本协议中网络号字节宽度默认为3。

5.1.3.12.5 邻居网络条目

邻居网络信息，具体如表78 所示。

表78 邻居网络条目

字段	字节号	字段大小(字节)
邻居网络(0)	0-2	3
邻居网络(1)	3-5	3
.....
邻居网络(N)	3N-(3N+2)	3

5.1.3.13 过零 NTB 采集指示报文

5.1.3.13.1 过零 NTB 采集指示报文格式

过零NTB采集指示报文(MMeZeroCrossNTBCollectInd)格式的定义如表79 所示。本报文由CCO创建发送。

表79 过零 NTB 采集指示报文格式

字段	字节号	比特位	字段大小(字节)
TEI	0	0-7	12 比特
	1	0-3	
保留	1	4-7	4 比特
采集站点	2	0-7	1

采集周期	3	0-7	1
采集数量	4	0-7	1

5.1.3.13.2 TEI

需要进行过零NTB采集的站点的TEI。

该指定的TEI，只有在指定单站点采集时有效，需要结合“采集站点”字段来判断。

5.1.3.13.3 采集站点

指示需要进行过零NTB采集的站点，定义如表80 所示。

表80 过零 NTB 采集站点

值	定义
0	指定单站点采集
1	指定全网站点采集
其他	保留

5.1.3.13.4 采集周期

指示采集过零NTB的周期。在50Hz的电力线上，一个电力线周期是指一个正弦波的周期20ms。采集的过零NTB的时刻，与理论过零时刻的偏差，必须保证在±1.2ms以内。定义如表81 所示。

表81 过零 NTB 采集周期

值	定义
0	二分之一电力线周期
1	一个电力线周期
其他	保留

5.1.3.13.5 采集数量

表示需要采集的过零NTB的数量。

在指示报文下发后，所指定的站点，需要连续的采集过零点NTB的数量。

5.1.3.14 过零 NTB 告知报文

5.1.3.14.1 过零 NTB 告知报文格式

过零NTB告知报文（MMeZeroCrossNTBReport）格式的定义如表82 所示。

本报文可由STA站点或者CCO站点创建发送。

表82 过零 NTB 告知报文格式

字段	字节号	比特位	字段大小(字节)
----	-----	-----	----------

TEI	0	0-7	12 比特
	1	0-3	
保留	1	4-7	4 比特
告知总数量	2	0-7	1

表 82 (续)

字段	字节号	比特位	字段大小(字节)
相线 1 差值告知数量	3	0-7	1
相线 2 差值告知数量	4	0-7	1
相线 3 差值告知数量	5	0-7	1
基准 NTB	6-9	0-7	4
相线 1 过零 NTB 差值	可变长	0-7	可变长
相线 2 过零 NTB 差值	可变长	0-7	可变长
相线 3 过零 NTB 差值	可变长	0-7	可变长

5.1.3.14.2 TEI

表示告知过零NTB信息的站点。

5.1.3.14.3 告知总数量

表示站点告知的过零NTB的数量。

5.1.3.14.4 相线差值告知数量

表示站点告知相应相线的过零NTB差值的数量。

5.1.3.14.5 基准 NTB

表示站点告知的基准NTB。该NTB是站点告知的第一个过零点NTB值，是后续过零NTB用来计算差值的基准NTB。该字段保存的NTB值，是采集的过零点NTB值原始32比特数据，右移8比特之后的数据，相当于原始数据的高24比特数据。

5.1.3.14.6 相线过零 NTB 差值

表示每个相线的过零NTB与基准NTB的差值的全部数据，按照相线1-相线3的顺序依次保存。

过零NTB差值的计算方法：以基准NTB为开始，后续的每一个过零NTB，都与基准NTB做差值计算；将计算得到的差值数据，右移8bit，只保留高比特位的部分。

将最终得到的差值，作为过零NTB差值，按照时间顺序，存入“过零NTB差值”字段，上报CCO。

说明：在电力线的工频周期中，过零点的间隔一般在10ms左右，两个过零点之间的NTB差值不会超过20个比特位的表示区间。所以，过零点NTB差值，在右移8比特后，需要用12比特的字段来表示。

每个相线的过零NTB差值存储的定义如表83 所示。

表83 过零 NTB 差值格式

字段	字节号	比特号	字段大小 (比特)	定义
----	-----	-----	--------------	----

过零 NTB 差值[0]	0	0-7	8	过零 NTB 差值[0]低 8 位
	1	0-3	4	过零 NTB 差值[0]高 4 位
过零 NTB 差值[1]		4-7	4	过零 NTB 差值[1]低 4 位
	2	0-7	8	过零 NTB 差值[1]高 8 位
过零 NTB 差值[2]	3	0-7	8	过零 NTB 差值[2]低 8 位

表 83 (续)

字段	字节号	比特号	字段大小 (比特)	定义
过零 NTB 差值[3]	4	0-3	4	过零 NTB 差值[2]高 4 位
		4-7	4	过零 NTB 差值[3]低 4 位
	5	0-7	8	过零 NTB 差值[3]高 8 位
...

5.1.3.15 路由请求报文

5.1.3.15.1 路由请求报文格式

路由请求报文 (MMeRouteRequest) 的格式定义如表84 所示。

表84 路由请求报文格式

字段	字节号	字段大小(比特)
版本	0	8
路由请求序列号	1-4	32
保留	5	3
路径优选标志	5	1
负载数据类型	5	4
负载数据长度	6	8
负载数据	可变长	可变长

5.1.3.15.2 版本

指路由修复算法版本号。该字段用于表示实时路由修复算法的演进版本。

5.1.3.15.3 路由请求序列号

指一次路由修复请求的标识。路由请求序列号的生成规则为，2 字节的业务报文原始源地址，加上业务报文的 MSDU 序列号。例如：

当某站点要转发的业务报文的 OSTEI 为 0x0118，MSDU 序列号为 0x2345，则针对该业务报文发起路由修复时，路由请求序列号为 0x01182345。

5.1.3.15.4 路径优选标志

路径优选标志，在构成到达路由请求报文发起站点的路径时，该标志用于标识转发路由请求报文的

当前站点是否具有优先被选择地位,即站点具有优先被选择地位时,转发的路由请求报文将携带该标志。

如果具有优选地位,则设置本标志为 1,否则设置本标志为 0。

5.1.3.15.5 负载数据类型

负载数据类型,含义如表85 所示。

表85 负载数据类型

值	定义
0	未携带负载数据
1	传播路径列表
其他	保留

5.1.3.15.6 负载数据长度

路由请求报文所携带的负载数据的长度,可以为 0。

5.1.3.15.7 负载数据

路由请求报文所携带的负载数据的内容。当负载数据类型为 0x1 时,负载数据的内容格式如表 86 表示。TEI 表示路由请求报文转发过程中途经的站点。每途经一个站点,则传播路径列表中,多一组数据。通信成功率表示该站点与前一跳站点之间的上下行通信成功率。用百分比数值表示。信道质量表示该站点接收路由请求报文时,计算得到的信道质量。信道质量用原始信噪比数据表示。

表86 传播路径列表格式

字段	字节号	比特位	字段大小
TEI0	0	0-7	12 比特
	1	0-3	
保留	1	4-7	4 比特
通信成功率 0	2	0-7	1 字节
信道质量 0	3	0-7	1 字节
...
TEIn	n	0-7	12 比特
	n+1	0-3	
保留	n+1	4-7	4 比特
通信成功率 n	n+2	0-7	1 字节
信道质量 n	n+3	0-7	1 字节

5.1.3.16 路由回复报文

5.1.3.16.1 路由回复报文格式

路由回复报文 (MMeRouteReply) 的格式定义如表87 所示。

表87 路由回复报文格式

字段	字节号	字段大小(比特)
版本	0	8
路由请求序列号	1-4	32
保留	5	4
负载数据类型	5	4

表 87 (续)

字段	字节号	字段大小(比特)
负载数据长度	6	8
负载数据	可变长	可变长

5.1.3.16.2 版本

指路由修复算法版本号。该字段用于表示实时路由修复算法的演进版本。

5.1.3.16.3 路由请求序列号

指一次路由修复请求的标识。

路由回复报文中的该字段，使用对应的路由请求报文中的该字段值填充。

5.1.3.16.4 负载数据类型

负载数据类型，含义如表88 所示。

表88 负载数据类型

值	定义
0	未携带负载数据
1	传播路径列表
其他	保留

5.1.3.16.5 负载数据长度

路由回复报文所携带的负载数据的长度，可以为0。

5.1.3.16.6 负载数据

路由回复报文所携带的负载数据的内容。当负载数据类型为 0x1 时，负载数据的内容格式如表 89 表示。TEI 表示路由回复报文转发过程中途经的站点。每途经一个站点，则传播路径列表中，多一组数据。通信成功率表示该站点与前一跳站点之间的上下行通信成功率。用百分比数值表示。信道质量表示该站点接收路由回复报文时，计算得到的信道质量。信道质量用原始信噪比数据表示。

表89 传播路径列表格式

字段	字节号	比特位	字段大小
----	-----	-----	------

TEI0	0	0-7	12 比特
	1	0-3	
保留	1	4-7	4 比特
通信成功率 0	2	0-7	1 字节
信道质量 0	3	0-7	1 字节
...
TEIn	n	0-7	12 比特

表 89 (续)

字段	字节号	比特位	字段大小
	n+1	0-3	
保留	n+1	4-7	4 比特
通信成功率 n	n+2	0-7	1 字节
信道质量 n	n+3	0-7	1 字节

5.1.3.17 路由错误报文

5.1.3.17.1 路由错误报文格式

路由错误报文 (MMeRouteError) 的格式定义如表90 所示。

表90 路由错误报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
版本	0	1
路由请求序列号	1-4	4
保留	5	1
不可达站点数量	6	1
不可达站点列表	可变长	可变长

5.1.3.17.2 版本

指路由修复算法版本号。该字段用于表示实时路由修复算法的演进版本。

5.1.3.17.3 路由请求序列号

指一次路由修复请求的标识。

路由错误报文中的该字段，使用对应的路由请求报文中的该字段值填充。

5.1.3.17.4 不可达站点数量

不可达站点列表中站点的数量。

5.1.3.17.5 不可达站点列表

表示从该站点无路由可达的站点列表。

每个地址占用 2 字节，表示不可达站点的 TEI。

5.1.3.18 路由应答报文

5.1.3.18.1 路由应答报文格式

路由应答报文（MMeRouteAck）的格式定义如表91 所示。

表91 路由应答报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
版本	0	1
路由请求序列号	1-4	4

5.1.3.18.2 版本

指路由修复算法版本号。该字段用于表示实时路由修复算法的演进版本。

5.1.3.18.3 路由请求序列号

指一次路由修复请求的标识。

路由应答报文中的该字段，使用对应的路由请求报文中的该字段值填充。

5.1.3.19 链路确认请求报文

5.1.3.19.1 链路确认请求报文格式

链路确认请求报文（MMeLinkConfirmRequest）的格式定义如表92 所示。

表92 链路确认请求报文格式

字段	字节号	字段大小(字节)
版本	0	1
路由请求序列号	1-4	4
保留	5	1
确认站点数量	6	1
确认站点列表	可变长	可变长

5.1.3.19.2 版本

指路由修复算法版本号。该字段用于表示实时路由修复算法的演进版本。

5.1.3.19.3 路由请求序列号

指一次路由修复请求的标识。

链路确认请求报文中的该字段，使用对应的路由请求报文中的该字段值填充。

5.1.3.19.4 确认站点数量

需要进行链路确认站点的数量。

5.1.3.19.5 确认站点列表

表示需要进行链路确认的具体站点的列表。

每个站点占用 2 字节，表示确认站点的 TEI。

5.1.3.20 链路确认回应报文

5.1.3.20.1 链路确认回应报文格式

链路确认回应报文（MMeLinkConfirmResponse）的格式定义如表93 所示。

表93 链路确认回应报文格式

字段	字节号	字段大小(比特)
版本	0	8
路由请求序列号	1-4	32
层级	5	8
信道质量	6	8
路径优选标志	7	1
保留	7	7

5.1.3.20.2 版本

指路由修复算法版本号。该字段用于表示实时路由修复算法的演进版本。

5.1.3.20.3 路由请求序列号

指一次路由修复请求的标识。

链路确认回应报文中的该字段，使用对应的路由请求报文中的该字段值填充。

5.1.3.20.4 层级

指发送链路确认回应报文的站点，在网络中所处的层级。

5.1.3.20.5 信道质量

表示该站点在接收对应的链路确认请求报文时，计算得到的信道质量。信道质量用原始信噪比数据表示。

5.1.3.20.6 路径优选标志

路径优选标志，在构成到达路由请求报文发起站点的路径时，该标志用于标识转发路由请求报文的当前站点是否具有优先被选择地位。

如果具有优选地位，则设置本标志为 1，否则设置本标志为 0。

5.2 MAC 子层功能描述

5.2.1 基本机制

宽带载波通信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图7所示。

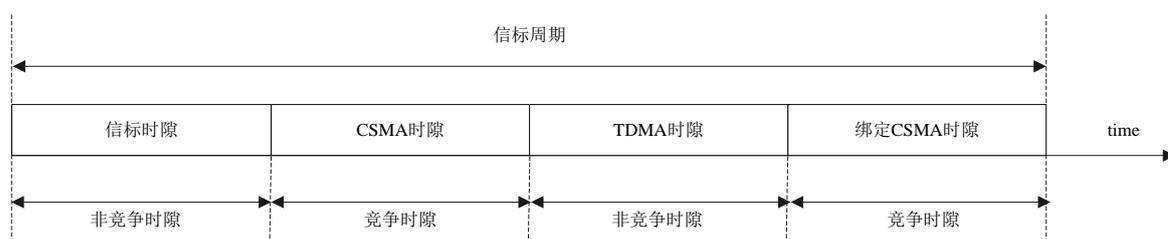


图7 时隙划分示意图

5.2.2 信标机制

5.2.2.1 信标分类

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。

5.2.2.2 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。

5.2.2.3 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。

5.2.2.4 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。

5.2.3 时隙管理

5.2.3.1 时隙管理算法

CCO, PCO, STA三个角色，对于信标中时隙的管理算法必须保持统一。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5.1.2.4 小节），也同样需要遵照统一的算法。基本的时隙划分如图7 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1毫秒。

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，一般会按照如图7 所示的分配顺序排列。

5.2.3.2 信标时隙

5.2.3.2.1 信标时隙分割

整个信标周期中，信标的时隙一般按照如图8 所示进行分割。

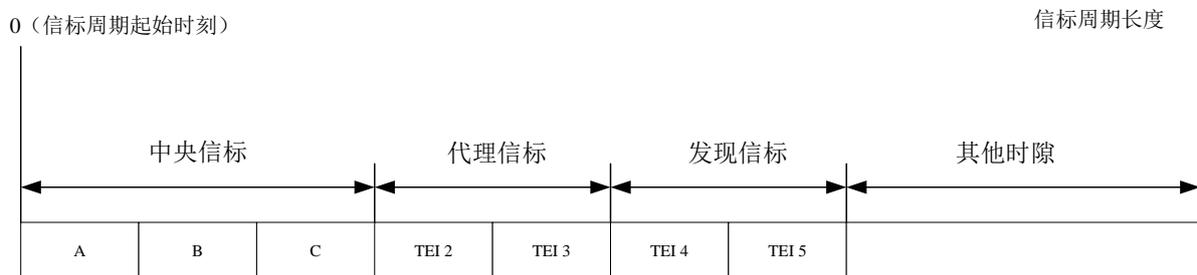


图8 信标时隙分割示意图

5.2.3.2.2 中央信标时隙

如图8 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1毫秒。

5.2.3.2.3 代理信标时隙

如图8 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1毫秒。

5.2.3.2.4 发现信标时隙

如图8 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1毫秒。

5.2.3.3 CSMA 时隙

如图9 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 N_1 ， N_2 ， N_3 片， $N_1 \leq N_2 \leq N_3$ ，则一共存在 M 片= $N_1 + N_2 + N_3$ 。

先分配第一个相线的时隙片，位置如下 $0, M/N_1, 2M/N_1, \dots, (N_1 - 1)M/N_1$

第二个相线时隙片位置如下， $1, 1 + M/N_2, \dots, 1 + (N_2 - 1)M/N_2$ ，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。

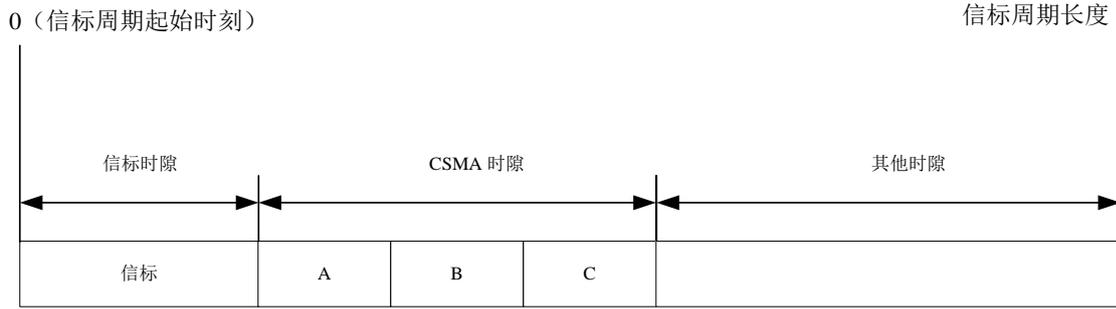


图9 CSMA 时隙分割示意图

5.2.3.4 TDMA 时隙

如图10 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1毫秒。

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。

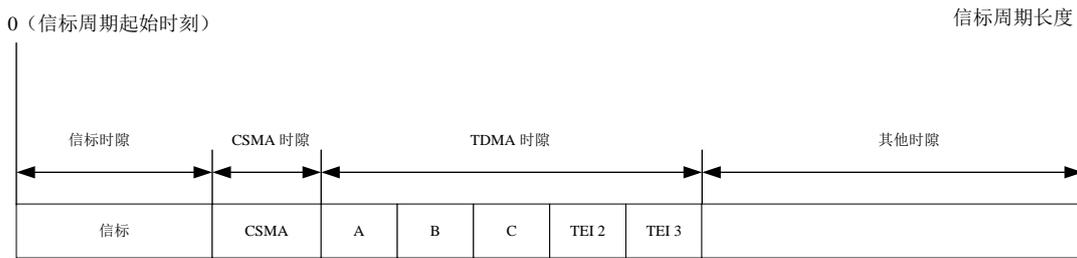


图10 TDMA 时隙分割示意图

5.2.3.5 绑定 CSMA 时隙

如图11 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。

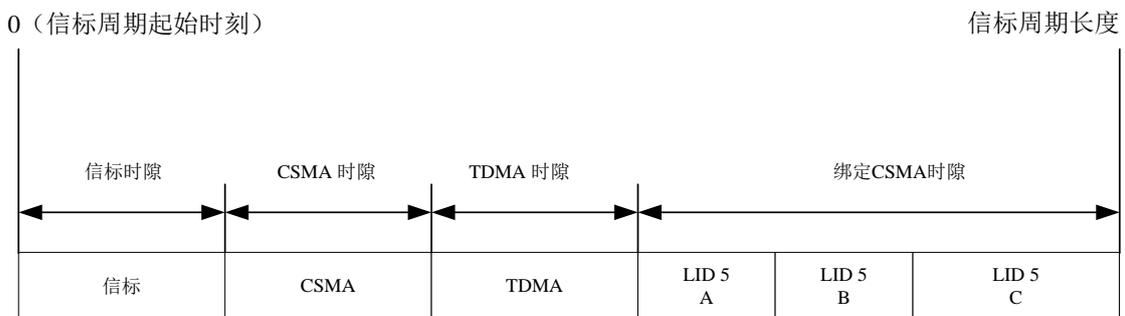


图11 绑定 CSMA 时隙分割示意图

5.2.4 信道访问

5.2.4.1 CSMA/CA 信道访问

5.2.4.1.1 信道访问规则

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。

5.2.4.1.2 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a)、b)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，可通过以下c)、d)两种情形，判断出现了冲突：

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

5.2.4.1.3 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表94所示。

表94 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

5.2.4.1.4 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。

5.2.4.1.5 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。

5.2.4.1.6 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。

5.2.4.2 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。

5.2.4.3 帧间隔

5.2.4.3.1 帧间隔定义

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。

5.2.4.3.2 帧间隔类型

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）如图12 所示：



图12 突发帧间隔示意图

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）如图13 所示。SOF帧需要等选择确认(SACK)的场景中，竞争帧间隔(CIFS)如图14 所示。



图13 竞争帧间隔示意图 1

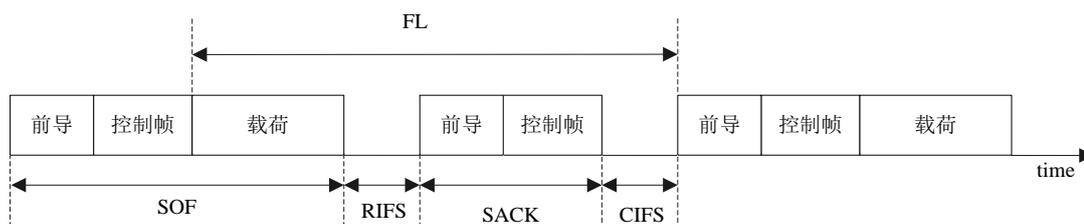


图14 竞争帧间隔示意图 2

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)如图15 所示：

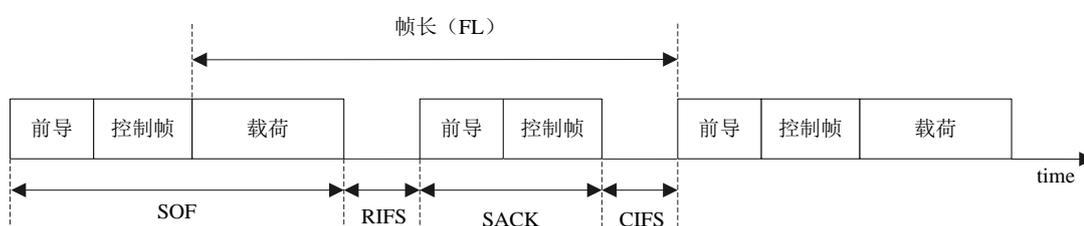


图15 回应帧间隔示意图

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）如图16 所示。

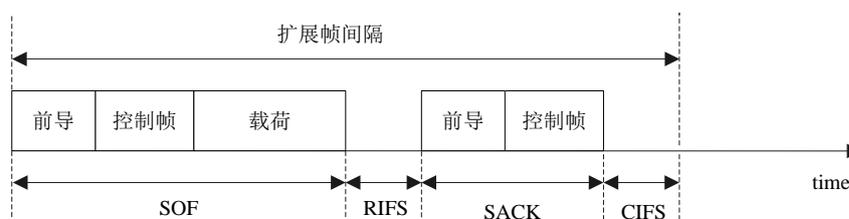


图16 扩展帧间隔示意图

5.2.4.3.3 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图17 所示。其他种类的帧间隔也是按照同样的方式进行测量。

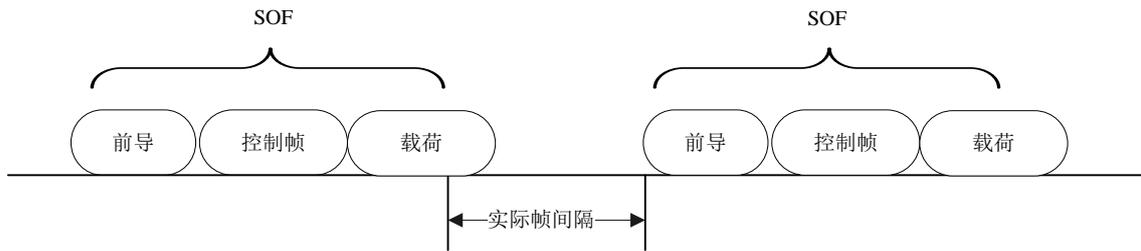


图17 帧间隔测量示意图

5.2.4.3.4 帧间隔范围

帧间隔取值范围定义如表95 所示。

表95 帧间隔取值范围

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

5.2.5 数据处理

5.2.5.1 数据处理过程

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MAC帧头中的“原始源MAC地址”和“原始目的MAC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TEP”和“原始目的TEP”与之相对应。

5.2.5.2 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帧的生成如图18 所示：



图18 MAC 帧生成示意图

5.2.5.3 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4种大小，分别为72/136/264/520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”。

分片时，可根据物理层的限制，选用合适的分片规格；并且只能用同一种规格，完成对MAC帧的分片；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。

5.2.5.4 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，也可以使用多个短MPDU进行传输。

长MPDU的生成，如图19 所示：

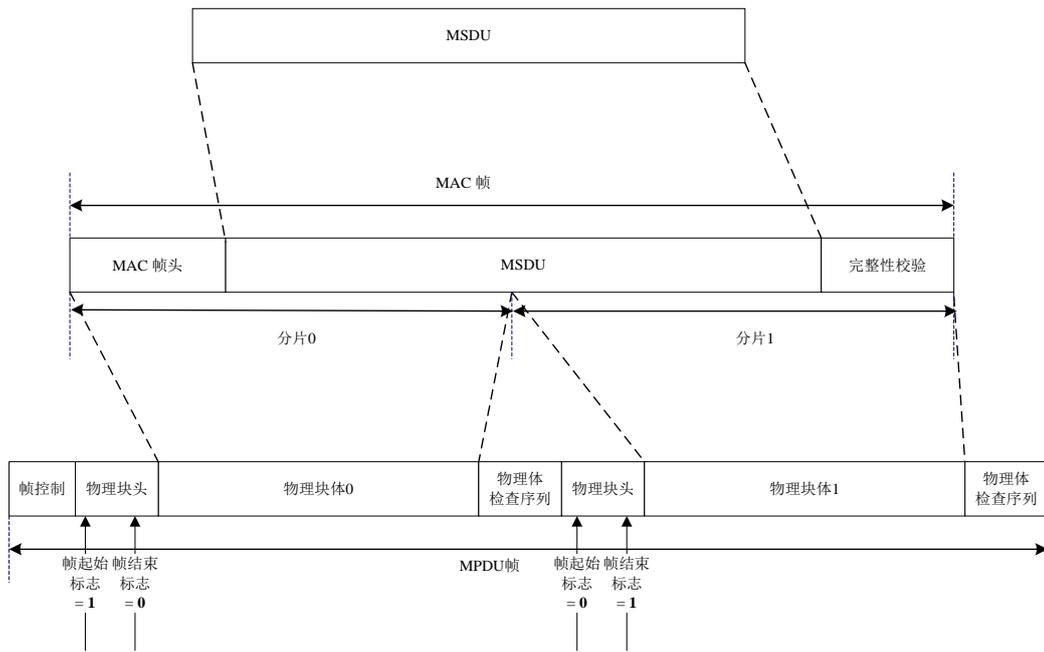


图19 长 MPDU 生成示意图

短MPDU的生成，如图20 所示：

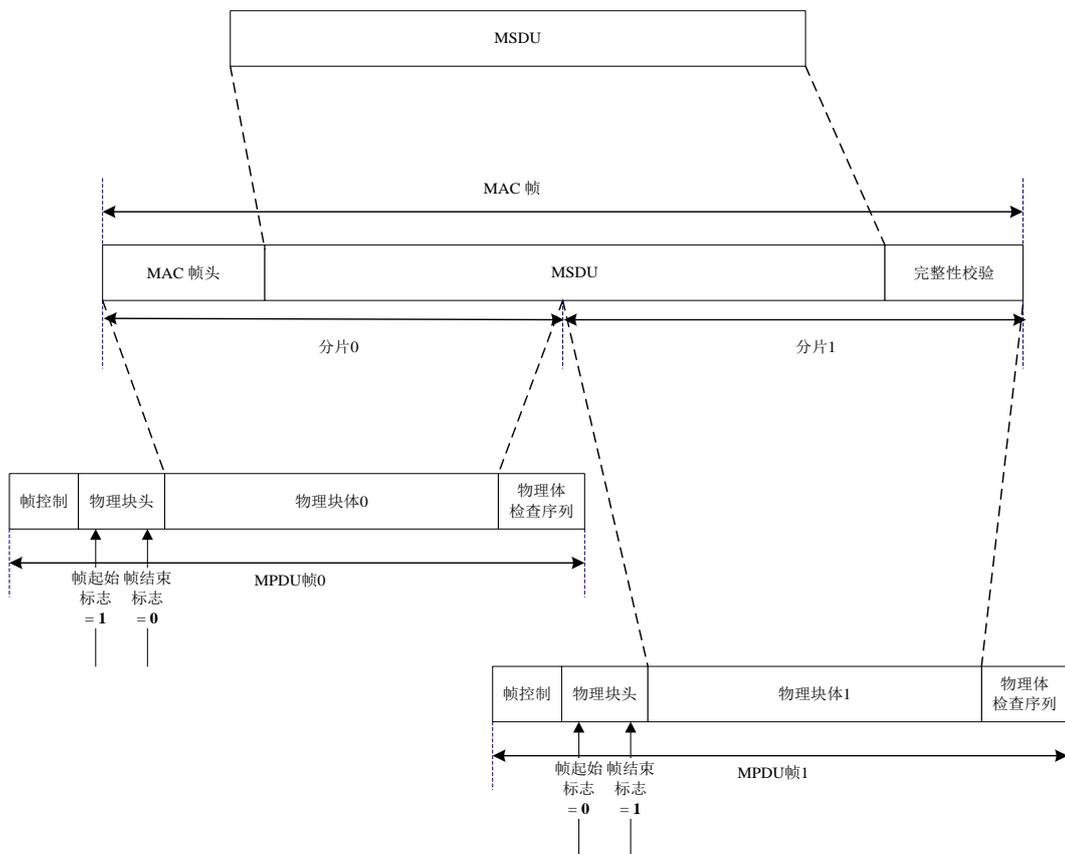


图20 短 MPDU 生成示意图

5.2.5.5 重组

当一个MAC帧的分片后的“物理块体”，被接收方接收成功后，则需要将该MAC帧所有的“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”，“帧起始标志”，“帧结束标志”，将所有的“物理块体”进行有序的重组。重组的分片，可以是来自于同一个MPDU中的“物理块体”，也可以是来自连续的多个MPDU中的“物理块体”。

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，如图21 所示：

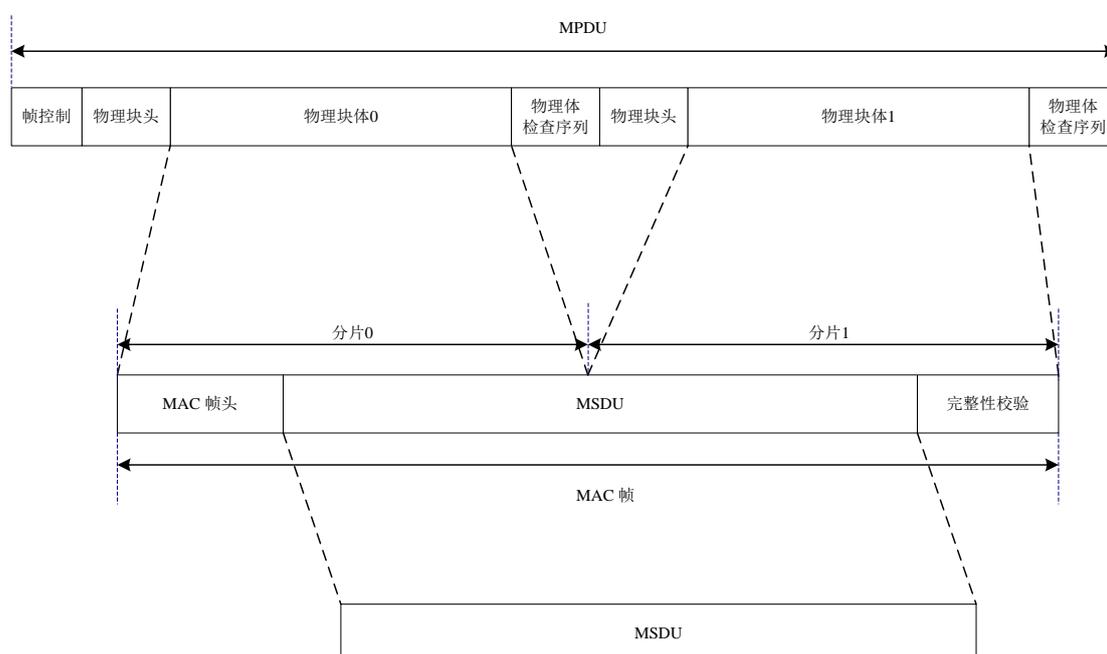


图21 MAC 帧重组示意图

5.2.6 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。

5.2.7 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图22 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。

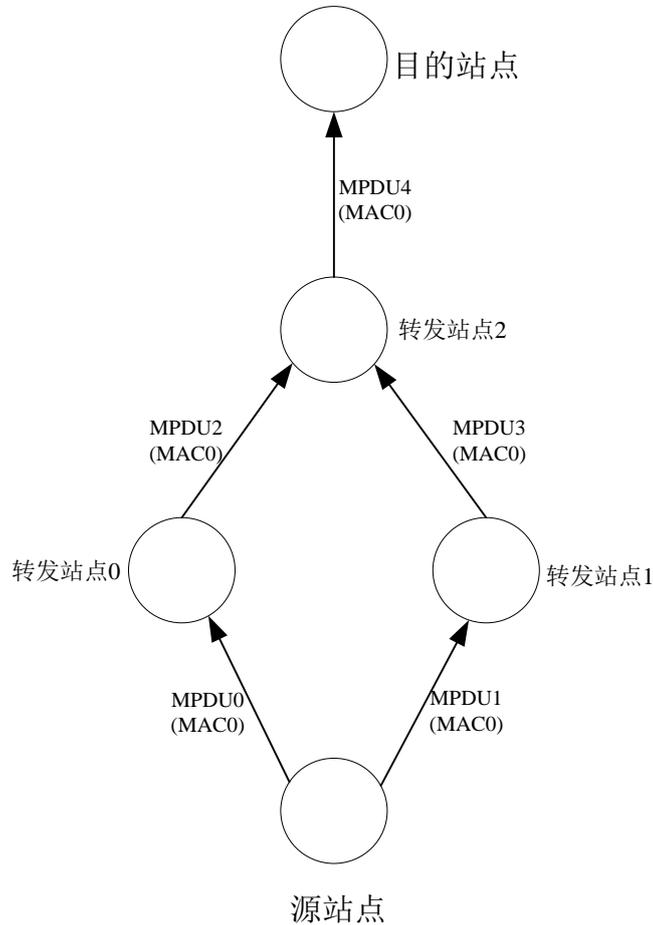


图22 报文过滤示意图

5.2.8 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。

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图23：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。

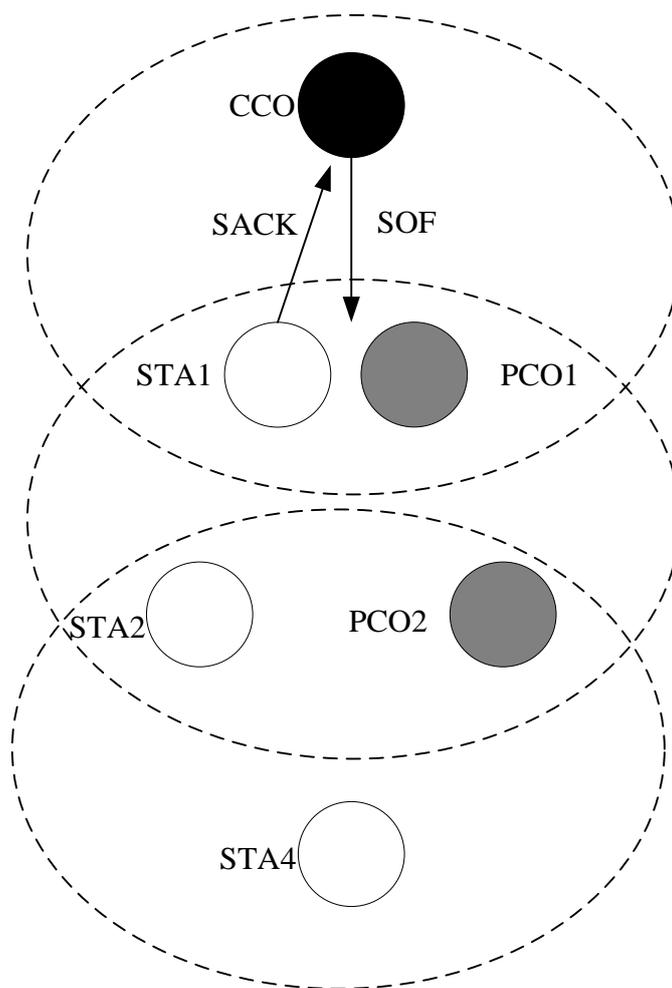


图23 单播报文收发示意图

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。

根据处理方式的不同，广播报文区分为本地广播，代理广播和全网广播，可根据MAC帧头中的“发送类型”字段，判断该报文的广播类型。本地广播报文，接收站点在接收后，不需要再次转发。代理广播和全网广播的报文，站点在处理完后，还需要进一步判断是否需要转发。对于广播报文，转发是需要判断广播报文的转发方向，广播报文的转发方向可根据MAC帧头中的“广播方向”字段来确定。对于上行报文，只有上行方向上的站点需要转发，对于下行报文，只有下行方向上的站点需要转发；对于需要双向转发的报文，上下行方向上的站点都可参与转发。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。站点对于转发过的广播报文，不需要再次转发。

本地广播报文的转发，如图24 所示：CCO发送的本地广播报文，STA1和PCO1接收后，并不进行转发。

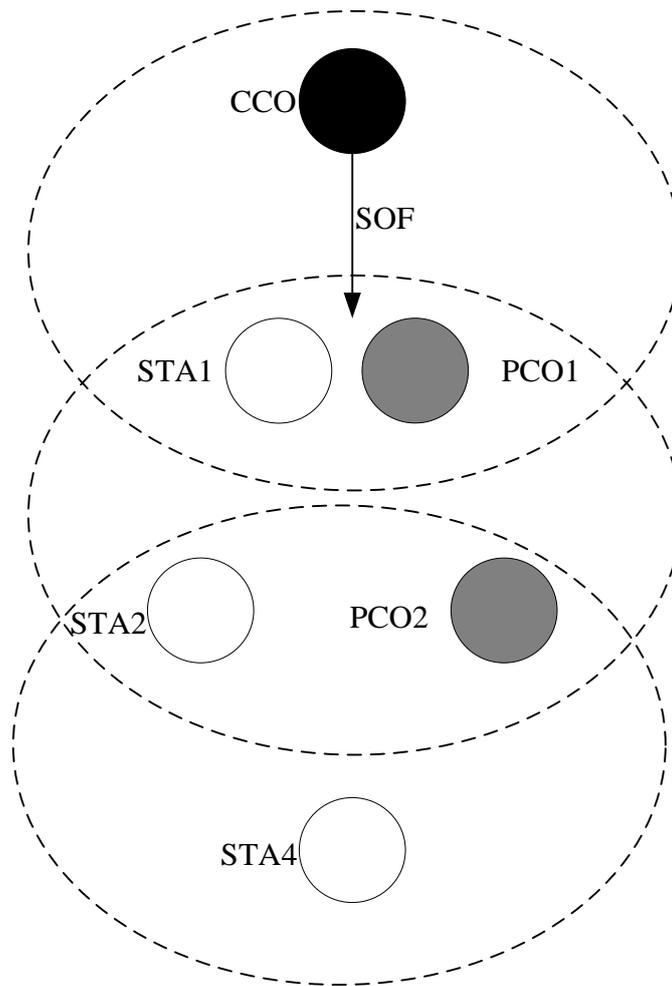


图24 本地广播收发示意图

下行代理广播，如图25 所示：CCO发送的下行代理广播报文，STA1和PCO1在接收后，由PCO1进行了转发，PCO1转发的代理广播报文，PCO2也进行了转发，达到了全网站点都能接收处理的目的。上行代理广播报文的转发方式与下行类似，只有代理站点参与转发。

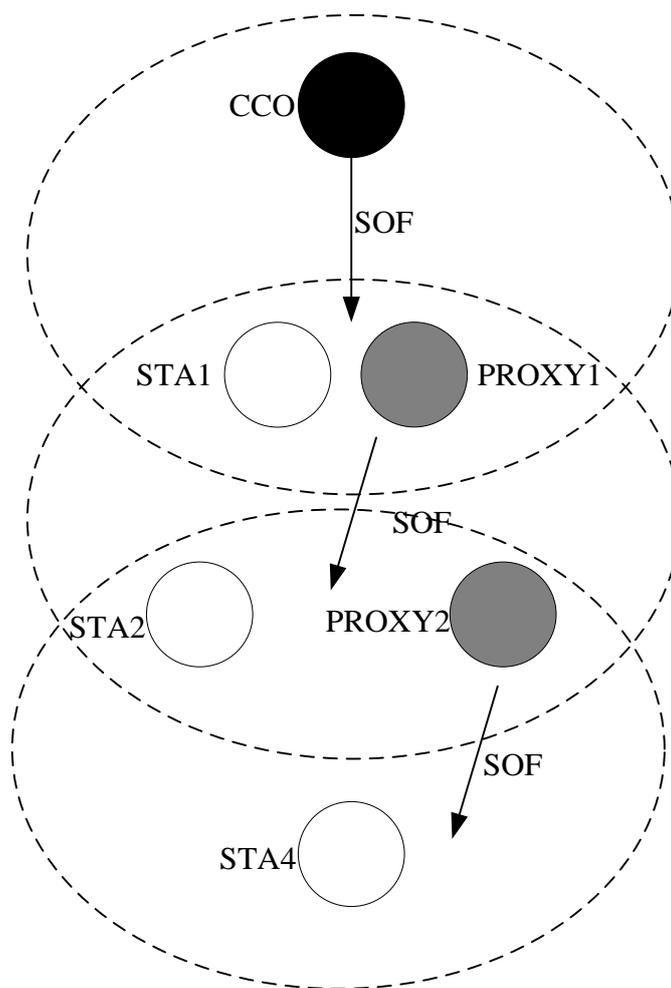


图25 代理广播收发示意图

全网广播报文的转发，除所有站点都可以参与转发外，其他处理与代理广播报文的转发处理基本一致。

5.2.9 PHY 时钟与网络时间同步

5.2.9.1 网络时间定义

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5.1.2.1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。

5.2.9.2 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5.1.2.1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：

$$BTS_JITTER = \max_{j,k} |(BTT_j - BTT_k) - (BTS_j - BTS_k) / 25| \quad (1)$$

式(1)中：

BTT_j —任意信标BTT值；

BTT_k —另一任意信标BTT值；

BTS_j —对应任意信标帧“帧控制”中“信标时间戳”的值；

BTS_k —对应另一任意信标帧“帧控制”中“信标时间戳”的值。

BTT_j 及 BTT_k 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。

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)。

5.2.9.3 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。

5.2.9.4 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。

5.2.9.5 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： $50\text{MHz} \pm 5\text{ppm}$ 。

5.3 网络管理子层功能描述

5.3.1 功能分类

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。

5.3.2 多网络共存及协调

5.3.2.1 网络标识

网络标识(NID)，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NID，表示当前的报文所属的宽带载波通信网络。

NID的可用范围为1~16777215。

5.3.2.2 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NID的协商，确定各自网络的NID，避免形成多个网络使用同一个NID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。

5.3.2.3 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NID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。

5.3.2.4 NID 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NID，与本网络选定的NID一致时，则表明网络NID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NID已经与本网络的NID不同，则本网络的原NID保持不变。如果直到协商缓冲期到期，发现邻居网络的NID与本网络的NID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NID作为本网络的标识。

当CCO确定启用新的NID后，必须启动本网络的重新组网。

当CCO通过网络冲突上报报文，获知存在多网络冲突时，可首先比较CCO的MAC地址，如果本网络的MAC地址较大时，可继续保持现有的NID不变，如果冲突状态持续超过30分钟，可变更本网络的NID；当本网络的MAC地址较小时，可及时变更本网络的NID，选择一个新的空闲的NID作为本网络的NID。

当CCO完成一轮NID的协商后，后来再次出现NID冲突的情形，则需要按照同样的过程，再次协商，直到NID不同为止。

5.3.2.5 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，以及带宽的开始时刻偏移等参数，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图26 所示：

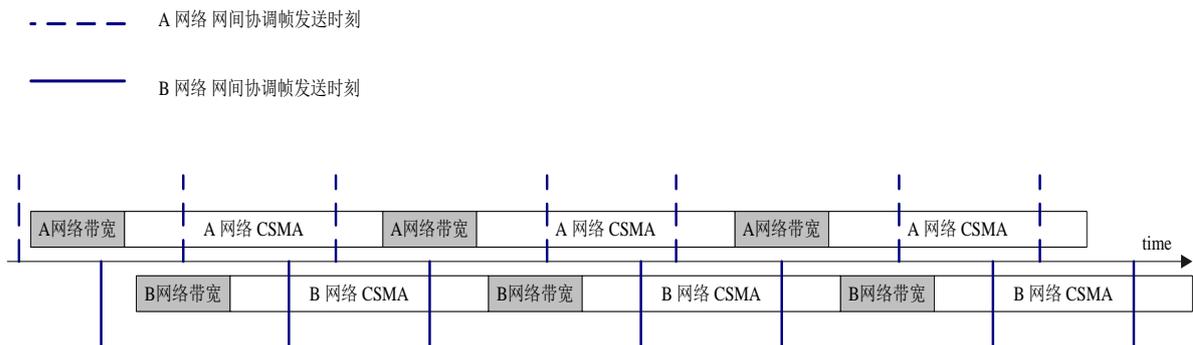


图26 多网络带宽协商示意图

5.3.2.6 带宽协调原则

5.3.2.6.1 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图27 所示：



图27 带宽协商申请

单通退避原则的示意图如图28 所示：

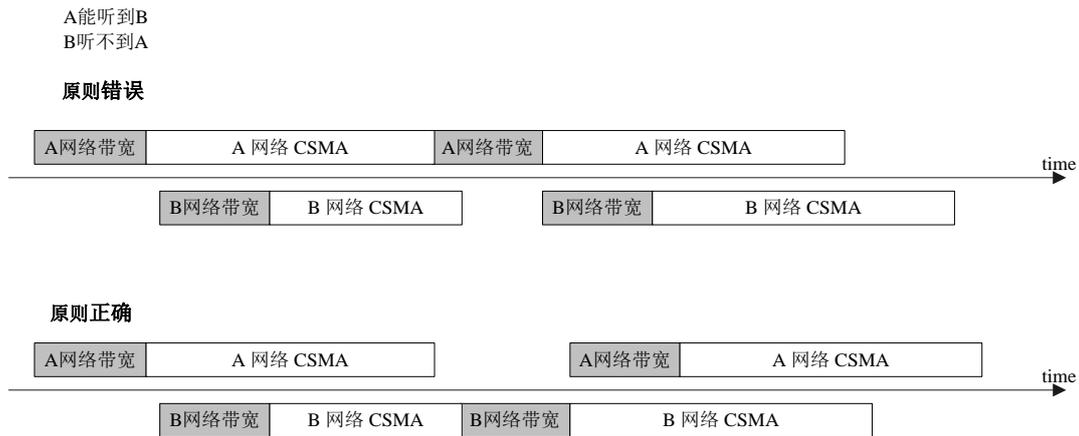


图28 带宽协商原则一

5.3.2.6.2 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图29 所示：

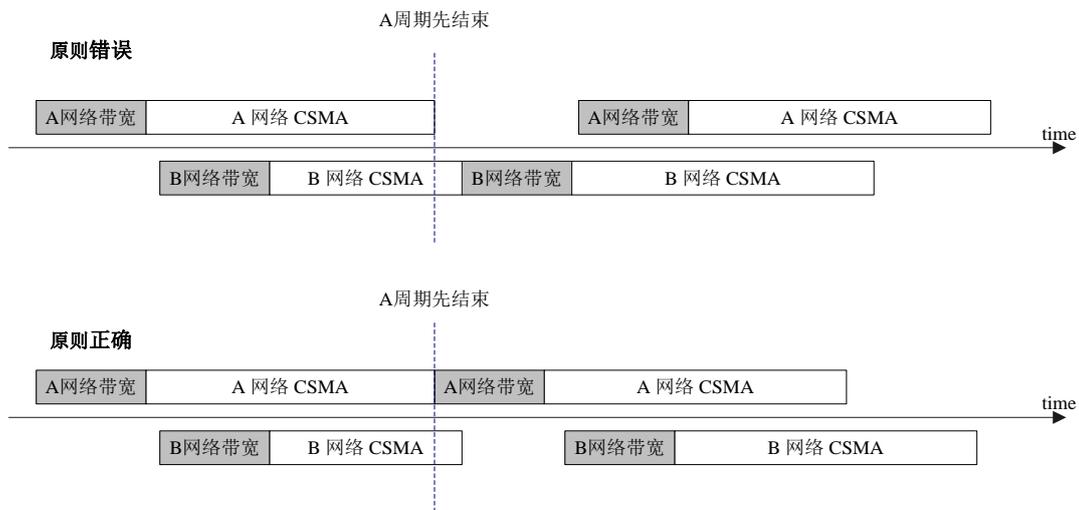


图29 带宽协商原则二

5.3.2.6.3 小NID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NID较小的网络的带宽占用生效，NID较大的网络，需要退避NID较小网络的申请带宽。

NID小优先原则的示意图如图30 所示：

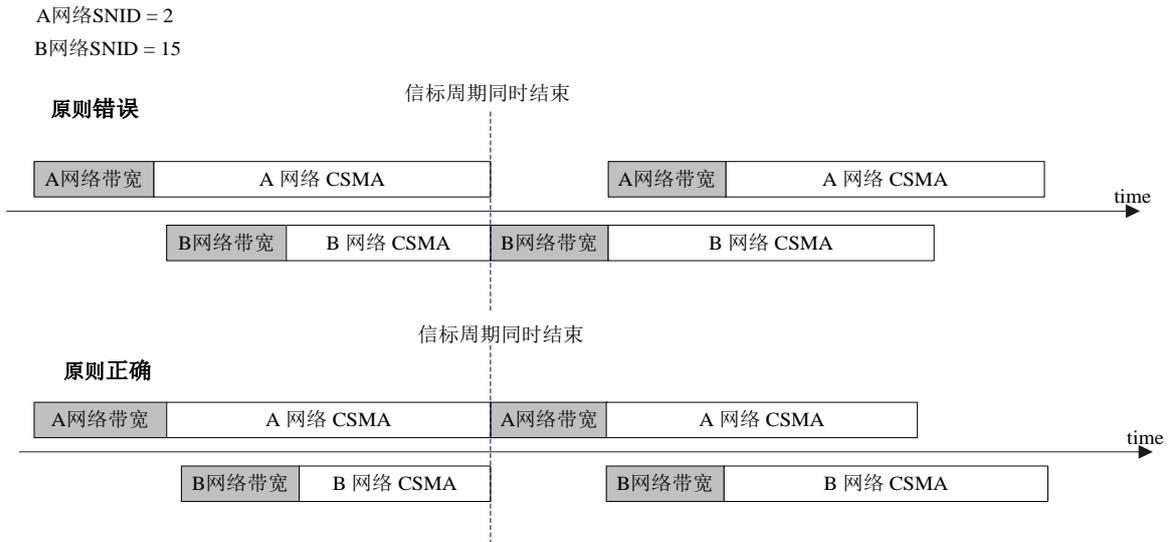


图30 带宽协商原则三

5.3.2.7 白名单

5.3.2.7.1 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；当请求入网站的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。

5.3.2.7.2 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NID，然后向CCO发起关联请求。

当STA接收到关联确认报文后，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NID，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。

5.3.3 单网络组网

5.3.3.1 单网络组网基本流程

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0xFFF，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

5.3.3.2 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，关联汇总指示等报文。

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，通过发送关联确认报文或者关联汇总指示报文告知给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，可以通过关联确认报文，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，通知给入网请求的STA站点。

关联确认报文，以及关联汇总指示报文，都只能在CSMA时隙中进行发送。

5.3.3.3 STA的组网行为

STA上电后，可能会收到多个网络（NID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5.1.2.4），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发送的关联确认报文或者关联汇总指示报文，或者代理站点发送的关联确认报文。STA根据报文中的“结果”判断是否入网成功。如果未收到关联确认或者关联汇总指示报文，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NID），请求加入网络。

STA收到关联汇总指示报文或者关联确认报文后，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。

5.3.3.4 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转发给STA站点。

关联确认报文的转发等，只能在CSMA时隙中发送。

5.3.3.5 管理消息报文交互

关联入网管理报文的交互过程如图31 所示。

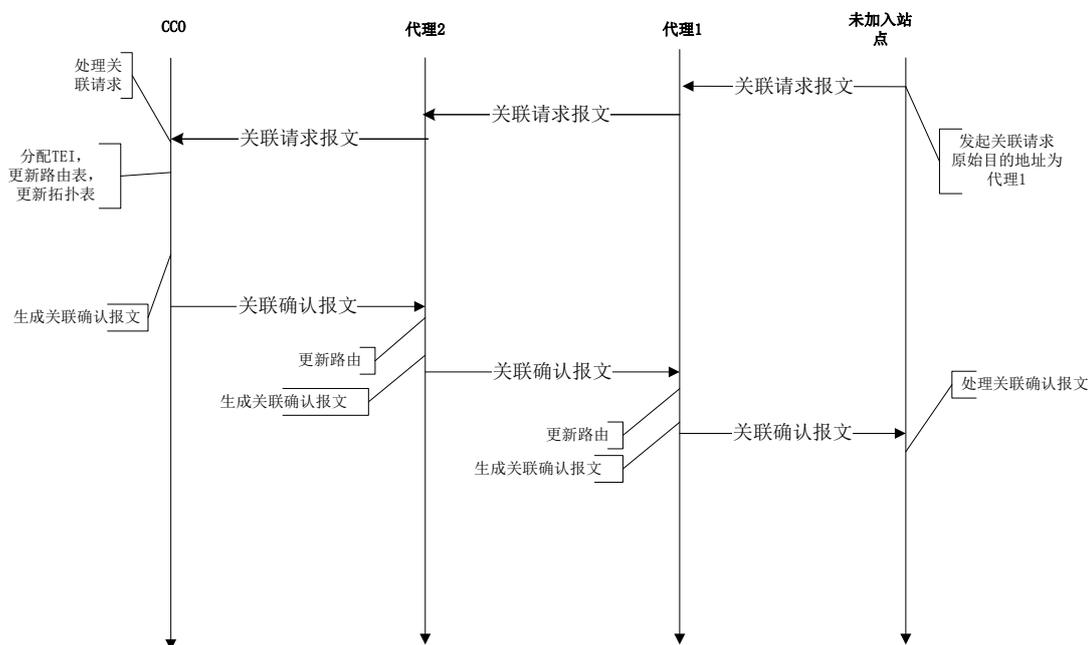


图31 关联入网管理报文交互流程图

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，同样生成关联确认报文，携带CCO填充的内容，发送给请求入网的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确认报文。

关联汇总指示报文的用法如图32 所示：

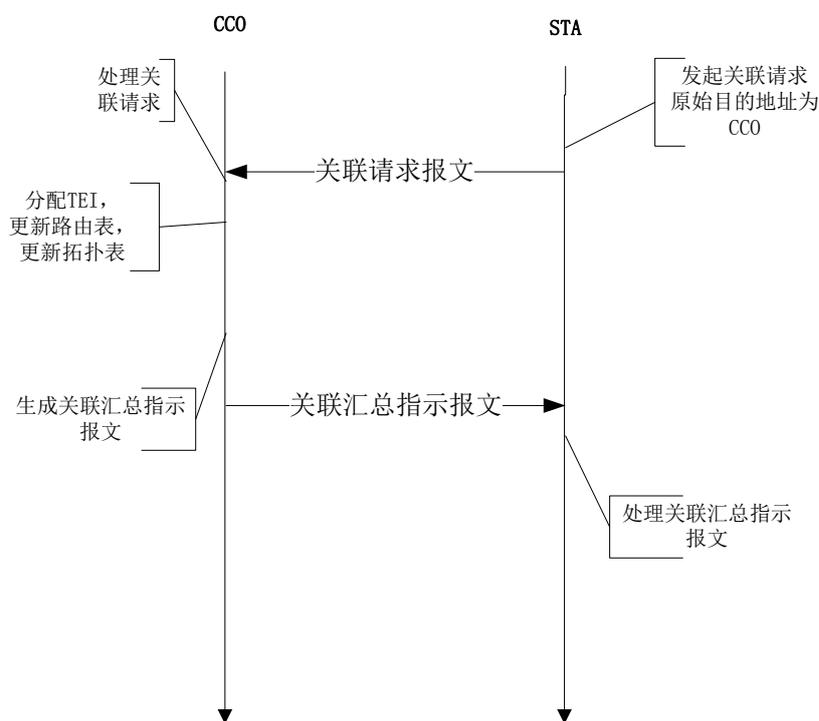


图32 关联汇总指示报文用法

5.3.4 网络维护

5.3.4.1 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。

5.3.4.2 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。

5.3.4.3 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。

站点计算与其他站点的通信成功率（或者上下行通信成功率）时，可以由上行通信成功率乘以下行通信成功率计算得到。

成功率都以二进制数据来表示，最大值不超过100。

5.3.4.4 网络状态维护

5.3.4.4.1 网络状态分类

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。

5.3.4.4.2 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。

5.3.4.4.3 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。

5.3.4.4.4 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。

5.3.4.4.5 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：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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；
- d) STA 站点接收到离线指示报文，指示自己离线；
- e) 一级 STA 站点，如果检测到 CCO 的 MAC 地址发生变化，且已经连续一个周期；
- f) 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；
- g) 本站点的层级超过最大层级限制（15 级），站点需要离线。

5.3.4.5 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33 所示。

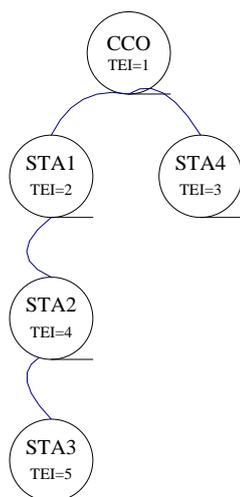


图33 网络拓扑图

在图33 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站点的路由表项如表96 所示。

表96 CCO 路由表项

原始目的 TEI	目的 TEI
2	2
3	3
4	2
5	2

STA1站点的路由表项如表97 所示。

表97 STA1 路由表项

原始目的 TEI	目的 TEI
1	1
4	4
5	4

STA2站点的路由表项如表98 所示。

表98 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。

5.3.4.6 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，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。

通过关联确认报文，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。

5.3.4.7 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。

5.3.4.8 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，具体内容整理如表99 所示：

表99 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 根据路由周期来设置。 设置范围：1/8个路由周期	高层级代理站点，在该周期内，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CCO。
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	CCO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。 CCO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。

5.3.4.9 实时路由修复

站点在转发业务数据时，如果周期性评估的路由无效或者无路由时，可根据业务报文的触发，发起实时的路由修复，以便发现到达业务报文的最终目的地址的实时路由。

当站点确认需要发起路由修复时，以洪泛的形式发送路由请求报文（MMERouteRequest），对最终目的节点进行搜索。路由请求报文传输流程如图34所示。

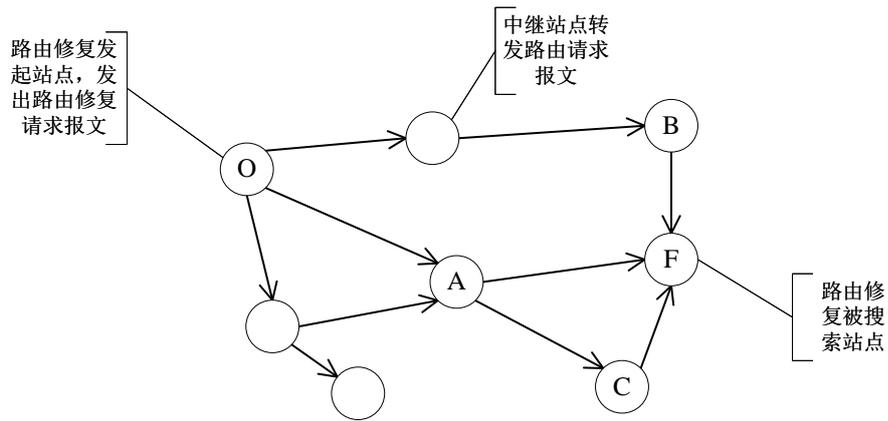


图34 路由修复请求报文传输流程

被路由请求报文所搜索的最终站点，在接收到路由请求报文后，需要组织路由回复报文 (MMeRouteReply)，并将路由回复报文，以单播报文的形式发送至路由请求报文的发起站点。。路由回复报文传输流程如图35 所示。

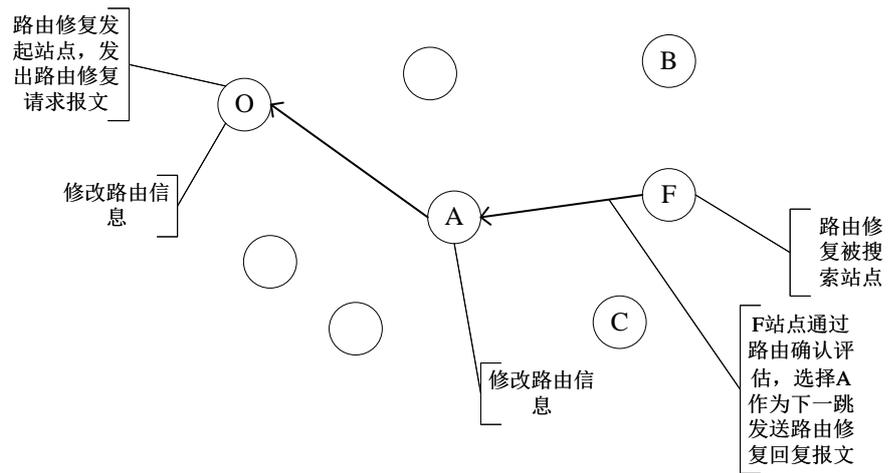


图35 路由修复回复报文传输流程

发起路由请求的站点在预定时间内收到了相应的路由回复报文，则该站点将向被搜索的最终目的站点发送路由应答报文 (MMeRouteAck)，通知该最终目的节点。路由应答过程如图36 所示。

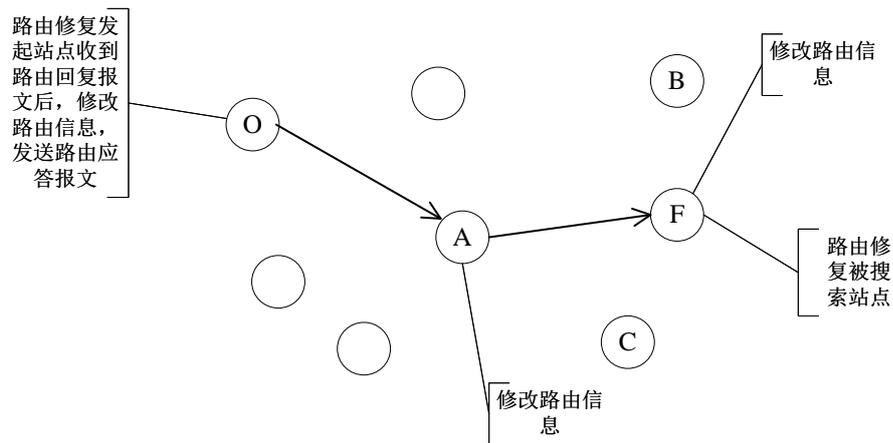


图36 路由修复路由回应报文

发起路由请求报文的站点, 如果在预定时间内未收到相应的路由回复报文, 该站点将向触发本次路由请求任务的原始站点发送路由错误报文 (MMeRouteError), 以单播报文的形式通知任务的原始站点业务报文转发失败。

站点在转发路由回复报文时, 可以使用链路确认请求报文 (MMeLinkConfirmRequest), 发起链路评估, 以便确定路由回复报文的下一个目的站点。

站点在收到链路确认请求报文后, 在评估本地的相关路由数据后, 确定是否发送链路确认回应报文 (MMeLinkConfirmResponse)。通过链路回应报文, 携带相关的链路信息, 回应给链路确认报文的发起站点。链路确认过程如图37 所示。

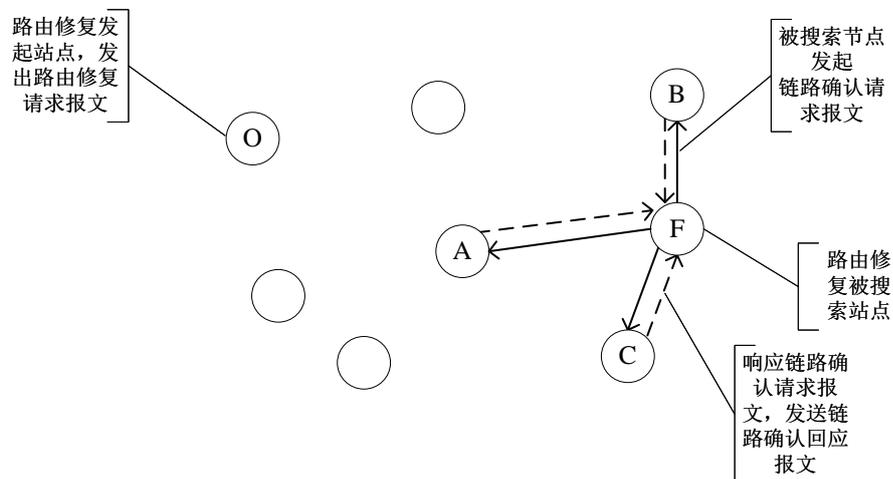


图37 路由修复链路确认流程

链路确认请求报文的发起站点, 在接收到链路确认回应报文后, 可进行路由下一跳目的站点的选择, 确定下一跳后, 需要转发出路由回复报文。

5.3.4.10 相线识别

一般的电力线网络中, 存在A/B/C三个相线的物理线路分支。

CCO一般会同时工作在A/B/C三个相线上,与A/B/C三个相线上的终端设备进行通信。而终端设备STA,一般情况下,只会工作在A/B/C三个相线的其中一个分支上。

相线识别的目的,主要是确认一个电力线网络中,A/B/C三个相线上,各自有多少个终端设备,以及具体是哪些终端设备。

一般的,属于同一个相线的终端设备,具有相同的电力线工频周期,具有相同的过零点时刻;而不同相线的终端设备,虽然具有相同的电力线工频周期,但是过零点时刻却不相同。

采用过零点时刻比对的方法,可以识别出终端设备的所属相线。即: STA采集本站点的相线过零点NTB,上报给CCO; CCO采集本站点A/B/C三个相线的过零点NTB(也可以采集A相线的过零点,计算出B/C相的过零点); CCO将STA上报的过零点NTB,与自己采集的过零点NTB进行比对计算,根据差值,即可判断该STA的所属相线。

本协议中,相线识别的过程是: CCO向STA站点下发“过零NTB采集指示报文”,指示STA进行过零NTB采集,与此同时,CCO开始采集本站点上A/B/C三个相线的过零点NTB; STA根据CCO的指示报文,完成过零点NTB采集后,通过“过零NTB告知报文”上报本站点采集的过零点NTB信息; CCO根据STA站点上报的过零点NTB信息,与自己的过零点NTB比对计算后,获得该STA站点的所属相线。

CCO站点也可以创建“过零NTB告知报文”, STA站点可根据CCO告知的过零NTB差值,与本站点的过零NTB比较,判断本站点所处的相线,判断方法与CCO一致。

5.4 数据链路层服务

5.4.1 概述

如图38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CCO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CCO本地的数据信息或者配置本地的数据。

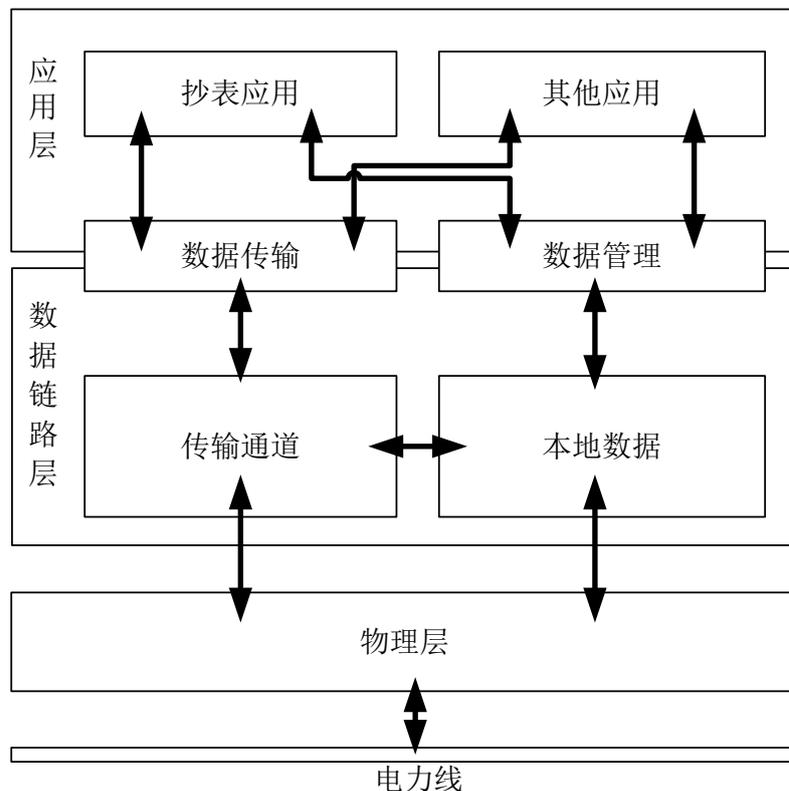


图38 数据链路层服务图

5.4.2 数据链路层数据传输服务

5.4.2.1 数据传输原语分类

数据链路层的数据传输服务原语，如表100 所示。

表100 数据链路层数据传输服务原语

原语名称	功能
MSDU 发送原语	发送 MSDU 帧
MSDU 接收原语	接收 MSDU 帧
业务注册请求原语	申请注册业务应用类型
业务注册确认原语	确认业务应用类型注册
业务 LID 申请原语	申请业务 LID 分配
业务 LID 确认原语	确认业务 LID 分配
业务 LID 释放原语	释放已分配的业务 LID

5.4.2.2 MSDU 发送原语

5.4.2.2.1 原语语义

通过MSDU发送原语，应用层可以将APDU等MSDU帧形式的数据，交由数据链路层进行发送。MSDU发送原语的语义如表101 所示。

表101 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。
原始目的地址	6 字节 MAC 地址	-	MSDU 帧的最终接收站点的 MAC 地址。
原始源地址	6 字节 MAC 地址	-	MSDU 帧的初始创建站点的 MAC 地址。
MSDU 类型	1 字节	0 - 255	表示业务报文类型。
链路标识符 (LID)	1 字节	0 - 254	0-3，表示优先级； 4-254，表示业务分类 255，表示无效值

5.4.2.2.2 数据链路层处理

数据链路层将MSDU报文封装为MAC帧。

数据链路层发送MSDU报文时，根据发送原语中的原始目的地址，原始源地址，MSDU类型等，生成MAC帧头。

数据链路层对MSDU报文内容不做修改。

数据链路层根据链路标识符，对报文进行调度发送，当链路标识符为无效值时，按照缺省优先级调度发送。

5.4.2.3 MSDU 接收原语

5.4.2.3.1 原语定义

数据链路层通过MSDU接收原语，通知应用层接收MSDU报文。MSDU接收原语的语义如表102 所示。

表102 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。
原始目的地址	6 字节 MAC 地址	-	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	-	MSDU 报文的初始创建站点的 MAC 地址。

5.4.2.3.2 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，根据解析到的MSDU类型，可以将解析出来的MSDU帧，通过MSDU接收原语，交由相应的业务应用处理。

5.4.2.4 业务注册请求原语

5.4.2.4.1 原语定义

应用层业务，通过业务注册请求原语，完成对数据链路层数据传输服务的注册使用。业务注册请求原语的语义如表103 所示。

表103 业务注册请求原语

名称	类型	有效范围	描述
MSDU 类型	1 字节	48 - 255	业务申请的 MSDU 类型。
缺省优先级	1 字节	0 - 3	业务报文的缺省优先级

5.4.2.4.2 数据链路层处理

数据链路层根据既定的业务类型规划，以及已完成确认的业务注册情况，处理业务注册请求原语。数据链路层对于业务注册请求中的需求，存在批准和不批准两种可能。数据链路层对于业务注册请求原语，通过业务注册确认原语进行确认。

5.4.2.5 业务注册确认原语

5.4.2.5.1 原语定义

数据链路层，通过业务注册确认原语，完成对应用层业务的注册请求的确认。业务注册确认原语的语义如表104 所示。

表104 业务注册确认原语

名称	类型	有效范围	描述
确认结果	1 字节	0 - 2	0, 表示按注册请求批准。1, 表示按实际分配批准。2, 表示未批准, 注册失败
MSDU 类型	1 字节	48 - 255	批准的 MSDU 类型。
缺省优先级	1 字节	0 - 3	批准的报文缺省优先级

5.4.2.5.2 数据链路层处理

数据链路层通过业务注册确认原语，对业务注册请求原语进行确认。

5.4.2.6 业务 LID 申请原语

5.4.2.6.1 原语定义

应用层业务，通过业务LID申请原语，进行业务分类LID的申请。业务LID申请原语的语义如表105 所示。

表105 业务 LID 申请原语

名称	类型	有效范围	描述
业务 LID	1 字节	4 - 254	应用层业务申请的LID

5.4.2.6.2 数据链路层处理

数据链路层根据既定的LID规划，以及已完成的LID批准情况，完成对业务LID申请原语的处理。

数据链路层对业务LID申请，存在批准和不批准两种情况。

数据链路层对已经分配的LID，不会进行二次分配，除非该LID被释放。

数据链路层对业务LID申请原语，使用业务LID确认原语完成确认。

5.4.2.7 业务 LID 确认原语

5.4.2.7.1 原语定义

数据链路层，通过业务注册确认原语，完成对应用层业务的注册请求的确认。业务LID确认原语的语义如表106 所示。

表106 业务 LID 确认原语

名称	类型	有效范围	描述
确认结果	1 字节	0 - 2	0, 表示申请需求批准 1, 表示按实际分配批准 2, 表示未批准, 申请失败

业务 LID	1 字节	4 - 254	批准的业务 LID。
--------	------	---------	------------

5.4.2.7.2 数据链路层处理

数据链路层通过业务LID确认原语，对业务LID申请原语进行确认。

5.4.2.8 业务 LID 释放原语

5.4.2.8.1 原语定义

应用层业务通过业务LID释放原语完成对业务LID的释放。业务LID释放原语的语义如表107 所示。

表107 业务 LID 释放原语

名称	类型	有效范围	描述
业务 LID	1 字节	4 - 254	表示要释放的业务LID

5.4.2.8.2 数据链路层处理

数据链路层根据业务LID释放原语，完成LID资源的回收，之后，可将该LID再次分配。

5.4.3 数据链路层数据管理服务

5.4.3.1 数据管理原语分类

数据链路层的数据管理服务原语一共有10个，如表108 所示：

表108 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 NID 查询原语	查询 CCO 的 NID 信息
网络 NID 上报原语	上报 CCO 的 NID 信息
网络 NID 设置原语	设置 CCO 的 NID 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

5.4.3.2 网络拓扑查询原语

5.4.3.2.1 原语定义

应用层可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。网络拓扑查询原语的语义如表109 所示。

表109 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

表 109 （续）

名称	类型	有效范围	描述
请求表项数量	2 字节数量	1 - 1024	本次请求的有效表项数量

5.4.3.2.2 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。

5.4.3.3 网络拓扑上报原语

5.4.3.3.1 原语定义

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。网络拓扑上报原语的语义如表110 所示。

表110 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”

表111 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

表 111 (续)

名称	类型	有效范围	描述
下行通信成功率	1 字节	0 - 100	站点的下行通信成功率
MAC 地址	6 字节 MAC	-	站点的 MAC 地址

5.4.3.3.2 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。

5.4.3.4 网络 NID 查询原语

5.4.3.4.1 原语定义

应用层通过网络NID查询原语,查询CCO的网络NID。网络NID查询原语的语义如表112 所示。

表112 网络 NID 查询原语

名称	类型	有效范围	描述
-	-	-	-

5.4.3.4.2 数据链路层处理

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

5.4.3.5 网络 NID 上报原语

5.4.3.5.1 原语定义

数据链路层通过网络NID上报原语,向应用层上报本网络的NID信息。网络NID上报原语的语义如表113 所示。

表113 网络 NID 上报原语

名称	类型	有效范围	描述
网络 NID	3 字节	1-16777215	本网络的 NID。

5.4.3.5.2 数据链路层处理

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

5.4.3.6 网络 NID 设置原语

5.4.3.6.1 原语定义

应用层可以通过网络NID设置原语，要求数据链路层修改本网络的NID。网络NID设置原语的语义如表114 所示。

表114 网络 NID 设置原语

名称	类型	有效范围	描述
网络 NID	3 字节	1-16777215	本网络的新的 NID。

5.4.3.6.2 数据链路层处理

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

5.4.3.7 邻居网络查询原语

5.4.3.7.1 原语定义

应用层通过邻居网络查询原语，查询CCO的邻居网络信息。邻居网络查询原语的语义如表115 所示。

表115 邻居网络信息查询原语

名称	类型	有效范围	描述
-	-	-	-

5.4.3.7.2 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。

5.4.3.8 邻居网络上报原语

5.4.3.8.1 原语定义

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。邻居网络上报原语的语义如表116 所示。

表116 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 – 31	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”
--	--	--	------------------------------------------

表117 网络拓扑上报单个表项信息原语

名称	类型	有效范围	描述
NID	3 字节	1-16777215	邻居网络的网络标识
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。

5.4.3.8.2 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。

5.4.3.9 白名单查询原语

5.4.3.9.1 原语定义

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。白名单查询原语的语义如表118所示。

表118 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

5.4.3.9.2 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。

5.4.3.10 白名单上报原语

5.4.3.10.1 原语定义

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。白名单上报原语的语义如表119所示。

表119 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

表 119 (续)

名称	类型	有效范围	描述
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

5.4.3.10.2 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。

5.4.3.11 白名单设置原语

5.4.3.11.1 原语定义

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。白名单上报原语的语义如表120 所示。

表120 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

5.4.3.11.2 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。

附 录 A
(规范性附录)
白名单管理说明

载波节点（电表模块及采集器），通过搜索电表地址，作为自身MAC地址申请入网。当使用电表地址作为设备的MAC地址时，需要转换为网络字节序。由于集中器可以获取电表（设备）地址，从而由CCO（集中器模块）判断允许或拒绝载波节点是否入网，可以自动完成组网，即白名单认证管理。

具体载波节点搜表策略：

- a) 载波表，模块上电后，执行读取电表地址后，以该地址申请入网；
- b) 载波采集器，上电后，启动采集器搜表，以第一块电表地址申请入网。

低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范

第 4-2 部分：数据链路层通信协议

编 制 说 明

目 次

1 编制背景	99
2 编制主要原则	99
3 与其他标准文件的关系	99
4 主要工作过程	100
5 标准结构和内容	101
6 条文说明	101

1 编制背景

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

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

2 编制主要原则

本标准根据以下原则编制：

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

标准项目计划名称为“低压电力线宽带载波通信技术规范”，因标准涉及的技术内容、层级较为复杂，经编写组与专家商定，更名为“低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范 第 4—2 部分：数据链路层通信协议”。

3 与其他标准文件的关系

本部分与相关技术领域的国家现行法律、法规和政策保持一致

本部分涉及到专利的知识产权问题。

本部分中第 5.2.3 条为专利技术，其著作权名称为：CSMA 时隙提供和获取以及组网方法、设备及系统，申请号为：201210222909.2，专利权人为：华为技术有限公司，专利申请人为叶步财、郭春梅，专利授权日期为：2015.11.25，专利公开日期为：2012.10.31。

本部分中第 5.1.3 条为专利技术，其著作权名称为：一种通信方法、装置及系统，申请号为：201410484696.X，专利权人为：华为技术有限公司，专利申请人为张国宾、叶步财、郭攀，专利公开日期为：2015.1.28。

本部分中第 5.3.4 条为专利技术，其著作权名称为：获取路由的方法、装置、设备、集中器及系统，申请号为：201210479158.2，专利权人为：华为技术有限公司，专利申请人为郭攀，专利授权日期为：2016.3.30，专利公开日期为：2013.3.13。

本部分中第 5.3.2 条为专利技术，其著作权名称为：一种抄表的方法、装置和系统，申请号为：201410559896.7，专利权人为华为技术有限公司，专利申请人为万剑、刘磊、叶步财，专利公开日期为 2015.1.28。

本部分中第 5.3.2 条为专利技术，其著作权名称为：一种多个电力线网络之间协调方法及装置，申请号为：201510190891.6，专利权人为：华为技术有限公司，专利申请人为张国宾、叶步财，专利公开日期为 2016.11.23。

本部分中第 5.1.3 条为专利技术，其著作权名称为：供电网络中的相位识别装置及方法，申请号为：201510762650.4，专利权人为：华为技术有限公司，专利申请人为陈金雷、孙瑜，专利公开日期为 2016.3.2。

本部分中第 5.3.4 条为专利技术，其著作权名称为：中继站点选择方法及站点设备，申请号为：201210207969.7，专利权人为：华为技术有限公司，专利申请人为郭攀，专利公开日期为 2012.11.28。

本部分中第 5.1.2 条为专利技术，其著作权名称为：电力线通信频段的选择方法、集中器及电力线抄表系统，申请号为：201210401053.5，专利权人为华为技术有限公司，专利申请人为左文明、刘建明、赵丙镇、王一蓉、袁洲、耿亮、周宏华，专利授权日期为 2014.12.24，专利公开日期为 2013.2.13。

本部分中第 5.1.2 条为专利技术，其著作权名称为：电力线通信方法、集中控制装置和终端、电力线通信系统，申请号为：201310332758.0，专利权人为：华为技术有限公司，专利申请人为曾云宝、周宏华，专利公开日期为 2013.11.27。

本部分中第 5.3.2 条为专利技术，其著作权名称为：电力线通信网络组网的方法、集中器、站点及系统，申请号为：201310160632.X，专利权人为：华为技术有限公司，专利申请人为姜彤、董晨，专利授权日期为 2015.6.17，专利公开日期为 2013.8.21。

本部分中第 5.3.4 条为专利技术，其著作权名称为：一种实现数据汇集的方法，申请号为：201610221327.0，专利权人为：青岛东软载波科技股份有限公司，专利申请人为崔健、胡亚军、王锐、胡小晔、张海堂，专利公开日期为 2016.8.24。

对于标准制定前形成的专利，已获取上述公司的专利授权承诺函。对于标准制定中形成的专利，已与上述公司达成一致，将专利转让国家电网公司所有。

4 主要工作过程

2013 年 12 月，完成低压电力线宽带载波通信技术可行性分析。

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

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

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

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

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

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

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

2016 年 5 月，针对会议无法确定工作频段、拷贝次数等内容，启动实验室对比测试，在白噪声、脉冲噪声、单频噪声、频率偏移等多个场景下，对各厂商提供的 FPGA 进行对比验证。

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

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

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

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

2016年11月，根据标准审查意见，修改标准，完成报批稿。

5 标准结构和内容

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

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

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

本部分是Q/GDW 11612—2016的第4-2部分。

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

本部分的主要结构和内容如下：

本部分主题章有1章。本部分兼顾现有用电信息采集系统的实际状况，本着先进性和实用性、操作性和可扩展性等原则，给出了低压电力线宽带载波通信的数据链路层帧格式，同时按照分层的思想分别提出了负责接入功能的MAC子层功能要求和负责组网功能的网络管理子层功能要求，最后提出了数据链路层的传输服务和管理服务，可指导低压电力线宽带载波通信产品的研发。

6 条文说明

无