

团 标 准

T/CES XXX—XXXX

综合能源系统本地无线组网技术规范

Technical specification for local wireless communication of
integrated energy system

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

1 范围	5
2 规范性引用文件	5
3 术语和定义	5
3.1	5
3.2	5
4 缩略语	5
5 总体架构	5
5.1 通信节点	5
5.2 网络拓扑	5
5.3 协议栈分层结构	5
5.4 特性综述	6
6 网络层协议规范	7
6.1 网络与通信节点维护	7
6.1.1 建立一个新网络	7
6.1.2 加入一个网络	2
6.1.3 叶子节点加入一个网络	4
6.1.4 地址分配机制	5
6.2 网络层传输与接收	5
6.3 路由	5
6.4 广播通信	5
6.5 永久性数据	5
6.6 叶子节点工作机制	5
6.6.1 唤醒模式	5
6.6.2 叶子节点发送数据	6
6.6.3 CCO 查询数据	6
6.7 网络层帧格式	7
6.7.1 网络层帧格式定义	7
6.7.2 网络层通用帧格式	7

7.7.3 网络层数据帧格式	7
6.7.4 网络层命令帧格式	7
6.7.5 网络层命令帧	8
7 网络层服务	18
8 MAC 层协议规范	18
8.1 一般要求和定义	18
8.1.1 信道访问协议	19
8.1.2 启动和维护网络	19
8.1.3 时隙同步	19
8.1.4 发送、接收和确认	19
8.6 MAC 层帧格式	19
8.6.1 MAC 层帧格式定义	19
8.6.2 MAC 层通用帧格式	19
8.6.3 MAC 层信标帧格式	20
8.6.4 MAC 层数据帧格式	20
8.6.5 MAC 层确认帧格式	20
8.6.6 MAC 层上报帧格式	20
9 MAC 层服务	21
9.1 MAC 层数据服务	21
10.2 MAC 层管理服务	21
9.3 MAC 层常量	21
9.4 MAC 层属性库	21
10 物理层协议规范	21
10.1 物理层一般要求和定义	21
10.1.1 工作频率范围	21
10.1.2 调制方式	21
10.1.3 调制频率偏差及信道带宽	22
10.1.4 码流发送顺序	22
10.1.5 数据调制	22
10.1.6 调制频率偏差及信道带宽	22

10.1.7 信道切换时间	24
10.1.8 发射功率	24
10.1.9 带外杂散辐射	24
10.2 通用无线电规范	24
10.2.1 空中码元速率和接收机灵敏度	24
10.2.2 接收机抗干扰抑制	25
10.2.3 发送到接收转换时间	25
10.2.4 接收到发送转换时间	25
10.2.5 发射中心频率容差	25
10.2.6 接收信号强度指示器	25
10.2.7 空闲信道评估	25
10.3 物理层协议帧格式	25
10.3.1 一般数据包的格式	25
11 物理层服务	26
11.1 物理层常量	26
11.2 物理层属性库	27
附录 A	28
(资料性附录)	28
物理层帧生成示例	28
A.1 概述	28
A.2 生成 SHR	28
A.3 生成 PHR	28
A.4 生成 FCS	28
A.5 组帧	28
A.6 白化	28

前　　言

为规范工业园区综合能源系统本地无线组网协议，满足各类能源设备和低功耗传感设备数据传输要求，制定本标准。本标准按照GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分 标准的结构与编写》给出的规则起草。

本标准由中国电工技术学会提出。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

本标准为首次发布。

综合能源系统本地无线组网技术规范

1 范围

本规范规定了综合能源系统本地无线组网协议，包括总体架构、网络层协议规范、MAC层协议规范和物理层协议规范。

本规范适用于工业园区综合能源系统中供能端与用能端采用无线通信技术对能源供应与用户侧各项用能数据、能源流转数据进行采集与监测。

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 698.44 电能信息采集与管理系统 第4-4部分 通信协议 微功率无线通信协议

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件，其它术语和定义见DL/T698.44的第3章。

3.1

中心节点 central node

安装在综合能源设备中，具备自组网和终端接入的功能。

3.2

子节点 subnode

安装在综合能源中继设备中，具备通信中继和终端通信接入的功能。

安装在综合能源传感设备中，具备终端通信接入的功能。

4 缩略语

见 DL/T 698.44 的第 4 章。

5 总体架构

5.1 通信节点

本标准定义了三种通信节点：中心节点、子节点、叶子节点。中心节点与子节点之间可以交互通信，子节点之间可以转发数据；子节点和叶子节点可以交互通信；中心节点和叶子节点可以交互通信。

5.2 网络拓扑

本标准规定的本地无线通信系统以中心节点为根，可组成单跳星型网络、多跳树状网络及多跳级联网络。

5.3 协议栈分层结构

本标准规定的本地无线通信协议栈采用分层结构，每一层为上面的层执行一组特定的服务：数据实体提供了数据传输服务，管理实体提供了所有其它的服务。每个服务实体通过一个服务接入点（SAP）为上层提供一个接口，每个服务接入点（SAP）支持多种服务原语来实现要求的功能。

协议栈结构如图1所示，包括物理层（PHY）、介质访问控制层（MAC）、网络层（NWK）。

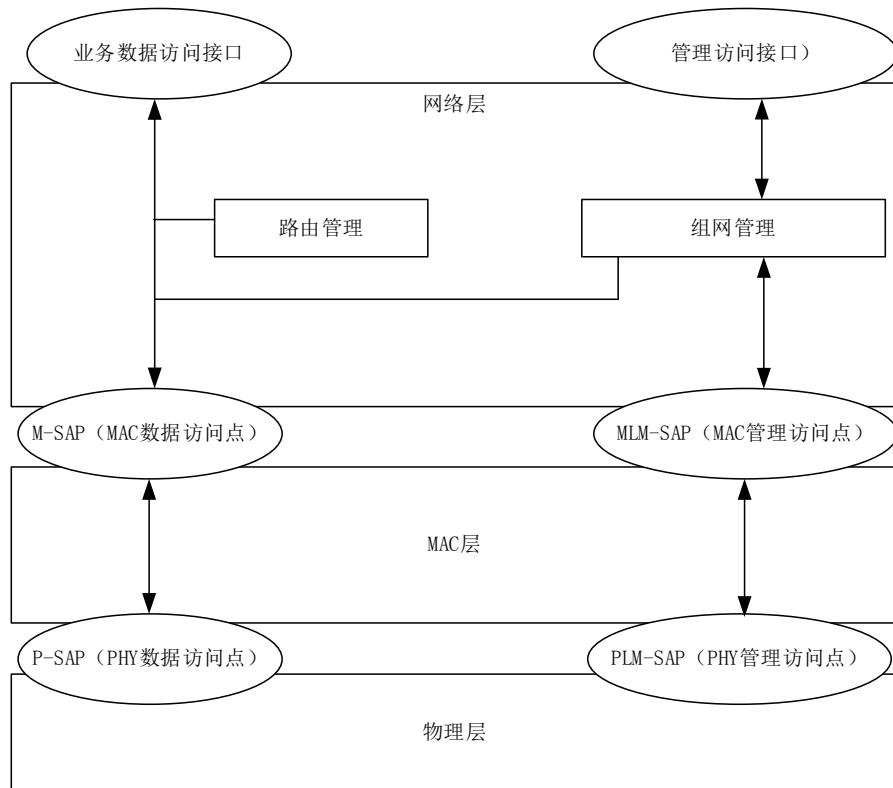


图 1 协议栈分层结构

数据帧格式如图2所示。

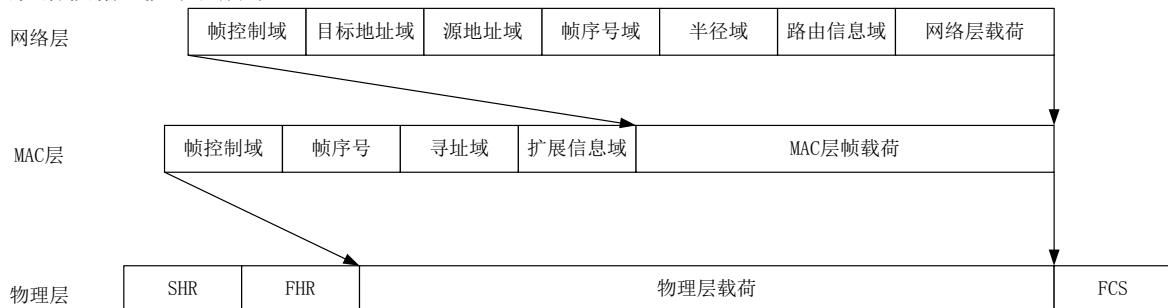


图 2 数据帧格式

物理层定义了以下内容：

- 射频通信所需要的频率资源、输出功率限制、调制方式、调制频偏、空中码元速率；
- 数据信道的编码方式和数据白化；
- 信道切换的方法。

MAC层定义了以下内容：

- 免冲突载波侦听多址接入（CSMA-CA）控制机制；
- 时分多址接入（TDMA）控制机制。

网络层定义了以下内容：

- 在指定的信道组上组建网络；
- 通信节点加入一个正常工作的网络；
- 为到预定目的地的帧寻找路由；
- 端到端的数据传输，确认和重传。

5.4 特性综述

见DL/T 698. 44—2014的4. 5。

6 网络层协议规范

6.1 网络与通信节点维护

所有的子节点提供以下功能:

- 加入一个网络;
- 重新加入一个网络;
- 维护临时邻居场强列表。

中心节点提供以下另外的功能:

- 建立一个新网络;
- 允许节点加入网络;
- 维护网络中各节点列表及邻居场强信息列表。

6.1.1 建立一个新网络

建立一个新网络, 或称组网, 通过使用NLME-NETWORK-FORMATION.request原语发起。只有中心节点才可以尝试建立一个新网络。如果这个流程在任何其它设备上发起, NLME将终止该程序, 并通知上层这一不合法的请求, 这个通知通过发出状态参数设置为INVALID_REQUEST的NLME-NETWORKFORMATION.confirm原语实现。

组网的过程如图3所示。

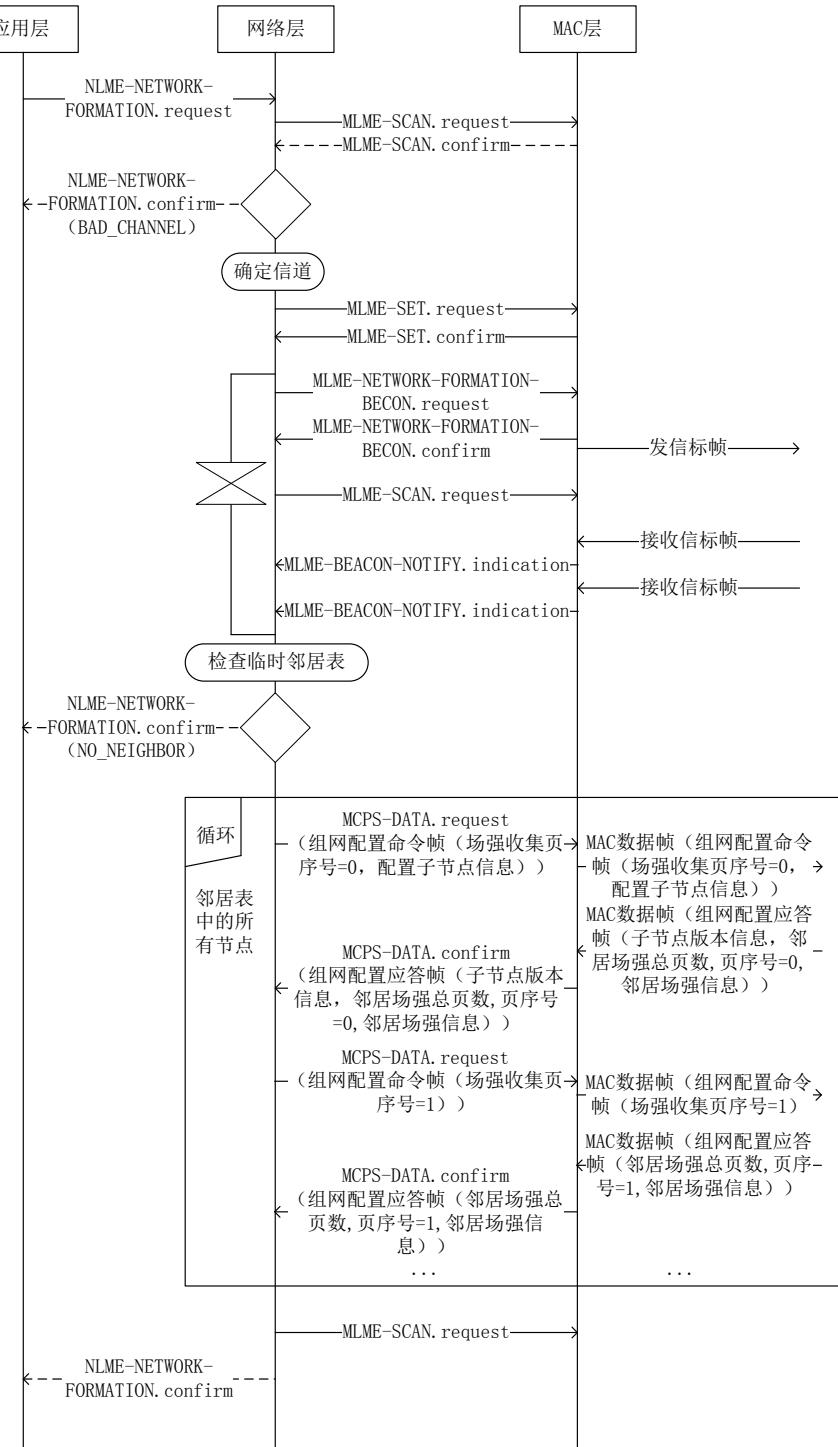


图 3 CCO 组网过程

6.1.1.1 确定信道

当发起组网时，首先确定组网信道组号。该信道组号由应用层配置，并通过NLME-NETWORK-FORMATION.Request原语的SetupChannelGroupSn参数获得，组网信道带宽固定为25kHz。然后确定工作信道，采取能量检测扫描，随机选取等方法，这里采用能量扫描。

NLME请求MAC层在一个指定的信道组的各信道上执行一个能量检测扫描，以寻找可能的干扰，该指定的信道组号是通过NLME-NETWORK-FORMATION.request原语的ScanChannelGroupSn参数获得。通过给MAC层发出MLME-SCAN.request原语来发起一个信道扫描，ScanType参数设置为能量检测扫描。

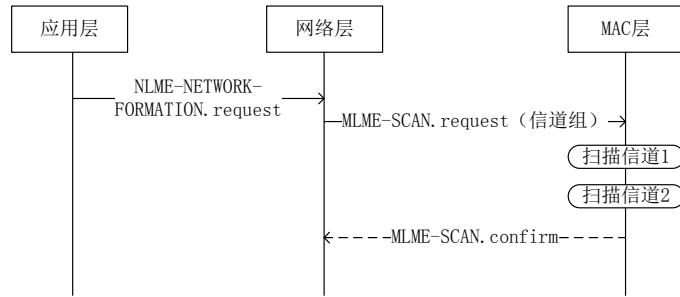


图 4 能量检测扫描过程

6.1.1.2 确定组网信标参数

1) 确定 PanID

如果信道组可用, NLME为网络选择一个PanID, PanID的确定方法为:

$PanID = (nwkLocalLongAddress \bmod 69069) \&& 0xFFFF;$

其中:

$nwkLocalLongAddress$ 为中心节点的长地址。

一旦NLME做了选择, 它通过发出 MLME-SET.request 原语, 将MAC层的macPANID属性设置为该值。

2) 确定短地址

PanID选定后, NLME设置中心节点的短地址, 中心节点的短地址固定为0xAAAA。

短地址确定后, NLME通过发出 MLME-SET.request 原语设置MAC层的macLocalShortAddress属性等于 $nwkLocalshortAddress$ 。

3) 确定网络规模

短地址确定后, NLME确定新建网络的规模, 即其中子节点的个数, 网络规模的确定方法是:

$nwkScale = apsNumNode + \text{random}(x) \% 32;$

其中:

$nwkScale$ 为网络规模;

$apsNumNode$ 为由接入设备下发至中心节点的节点数, 其值通过 NLME-NETWORK-FORMATION.request原语的 $apsNumNode$ 参数获得。

4) 确定时隙号、层次号和信标轮次

一旦确定了网络规模, NLME确定时隙号、层次号和信标轮次。其中: 一个超帧中的时隙总数 $aNumSuperframeSlots$ 设置为网络规模, 即:

$aNumSuperframeSlots = nwkScale;$

中心节点的时隙号设置为0, NLME通过发出MLME-SET.request原语设置MAC层的macTimeSlotSn属性等于0。

中心节点的层次号为0, 即: `nwkDepth = 0`; 其中: `nwkDepth`为层次号。

中心节点的信标轮次为1, `NLME`通过发出`MLME-SET.request`原语设置MAC层的`macSuperframeRound`属性等于1。

5) 确定组网信标标识

一旦确定了时隙号、层次号和信标轮次, `NLME`确定组网信标标识。

组网信标标识是一次组网操作的唯一序号, 在首次组网时中心节点将信标标识设置为一个`0x01-0xFF`范围内的随机数并维护, 以后每次组网时将其加1, `0xFF`时重新返回`0x01`; 子节点在组网期间维护组网信标标识, 组网结束后将其丢弃。信标标识在初始化时置为0。

6) 确定场强门限

一旦确定了组网信标标识, `NLME`确定场强门限。

该场强门限值在系统初始化时被加载或被设置。

7) 构造信标载荷的字节序列并写入 MAC 层

一旦确定了上述所有组网信标参数, `NLME`按照9.6.3小节所述格式构造信标载荷, 信标载荷使用`MLME-SET.request`原语写入到MAC层PIB中。`macBeaconPayloadLength`属性设置为信标载荷的长度, 表示信标载荷的字节序列要写入到`macBeaconPayload`属性。

6.1.1.3 发送组网信标帧

完成上述步骤后, 中心节点`NLME`启动一个定时器, 并使用`MLME-NETWORK-FORMATION-BECON.request`原语来发起组网信标的发送。信标在MAC层的发送和再生见9.3.1。

中心节点`NLME`从`MLME-NETWORK-FORMATION-BECON.confirm`原语得到发送组网信标的结果, 如果返回为非`SUCCESS`则中止组网并通知上层, 这个通知通过发出状态参数设置为`BECON-TRANS-FAILURE`的`NLME-NETWORK-FORMATION.confirm`原语实现; 如果返回为`SUCCESS`, 则使用通过参数`ScanType`设置为被动扫描的原语`MLME-SCAN.request`发起被动扫描, 其扫描时长参数`ScanDuration`设置为`0xFFFF`即无穷。

上述定时器的时长设置如下:

时长 = `macSlotDuration` × `nwkScale` × `nwkNumNetworkFormationBeaconRound`;

其中:

`macSlotDuration`为时隙长度; `nwkScale`为网络规模;

`nwkNumNetworkFormationBeaconRound`为总组网信标轮次。

扫描期间, 如果接收到MAC层通过`MLME-BEACON-NOTIFY.indication`原语返回的PAN描述符则将其中的信息记录到邻居场强表中, 详见MAC层被动信道扫描9.2.4.2小节。这些PAN描述符可能来自子节点再生的已发送的信标帧, 也有可能来自子节点再生的其他中心节点发出的信标帧或直接来自其他中心节点发出的信标帧。

定时器到时后扫描结束, 中心节点检查自己的临时邻居表, 若其为空则通过发出状态参数设置为`NO_NEIGHBOR`的`NLME-NETWORK-FORMATION.confirm`原语中止组网, 若不为空则开始下一阶段即组网配置阶段。

子节点上电后如同中心节点, 首先确定组网信道组号。该信道组号由应用层配置, 通过原语`MLME-SCAN.request`传递给`MLME`, 同时使用通过参数`ScanType`设置为被动扫描的原语`MLME-SCAN.request`发起被动扫描, 其扫描时长参数`ScanDuration`设置为`0xFFFF`。

6.1.1.4 组网配置

信标帧的发送流程结束以后, `NLME`开始进行组网配置。

中心节点维护两个列表: 临时邻居表和邻居场强表。`NLME`检查邻居场强表, 并和接入设备下发至中心节点的节点列表对比, 筛选出属于本网络的邻居节点; 接入设备下发至中心节点的节点列表通过`NLME-NETWORK-FORMATION.request`原语的参数`NodeList`得到。

中心节点依次对属于本网络的各个节点执行组网配置, 组网配置实现两个功能: 一个功能是对子节点进行路由配置, 另一个功能是收集该子节点的邻居场强。

中心节点的组网配置通过构造并发送组网配置命令帧然后接收组网配置应答帧来获取, 其中:

——中心节点首先计算从中心节点到目标子节点的至多 `nwkcTerminalMaxRoute` 条路径, 建立路由表, 然后构造组网配置命令帧并采用计算的路径发送给该目标子节点, 若有传输失败即未收到组网配

置应答帧时，在这些路径中按从优到劣的顺序进行尝试；若计算出的路径都无法成功完成组网配置，待其它子节点的配置结束后再次尝试；

——组网配置命令帧中的时隙是按层数的从小到大进行分配，同层节点则按照随机方式分配；

——组网配置命令帧中同时会携带邻居场强收集的指示，目标子节点的邻居场强信息可分作多页存储，中心节点先收集第0页，目标子节点在回复的组网配置应答帧中包含场强表总页数及当前页数信息，中心节点根据这些信息判断是否需要继续对其执行后续场强收集操作；

——中心节点在各已收集节点的邻居场强信息中进行查询，将其中未收录于自己邻居场强表中的节点与接入设备下发至中心节点的节点列表对比，筛选出属于本网络的节点并加入邻居场强表中；

——当所有属于本网络的节点都完成组网配置，此阶段结束。

6.1.1.5 完成组网

NLME使用通过参数SanType设置为被动扫描的原语MLME-SCAN.request发起对维护信道组及工作信道组的被动扫描，其扫描时长参数ScanDuration设置为0xFFFF。然后NLME通过发出状态参数设置为SUCCESS的NLME-NETWORK-FORMATION.confirm原语通知应用层组网已结束。

6.1.2 加入一个网络

加入一个网络是指游离子节点主动加入到一个正常工作的网络的过程。

游离子节点是指：

——一个全新的子节点；

——上电后读取所在终端设备的地址，与节点长地址不相等时，节点清除所有配置参数与状态值，进入游离态；

——已入网节点在规定时长内未侦听到所在网络的任何帧（无论是否与本身相关）则进入游离态。

游离子节点成功加入一个网络的流程如图5，申请入网被拒绝的流程如图6所示。

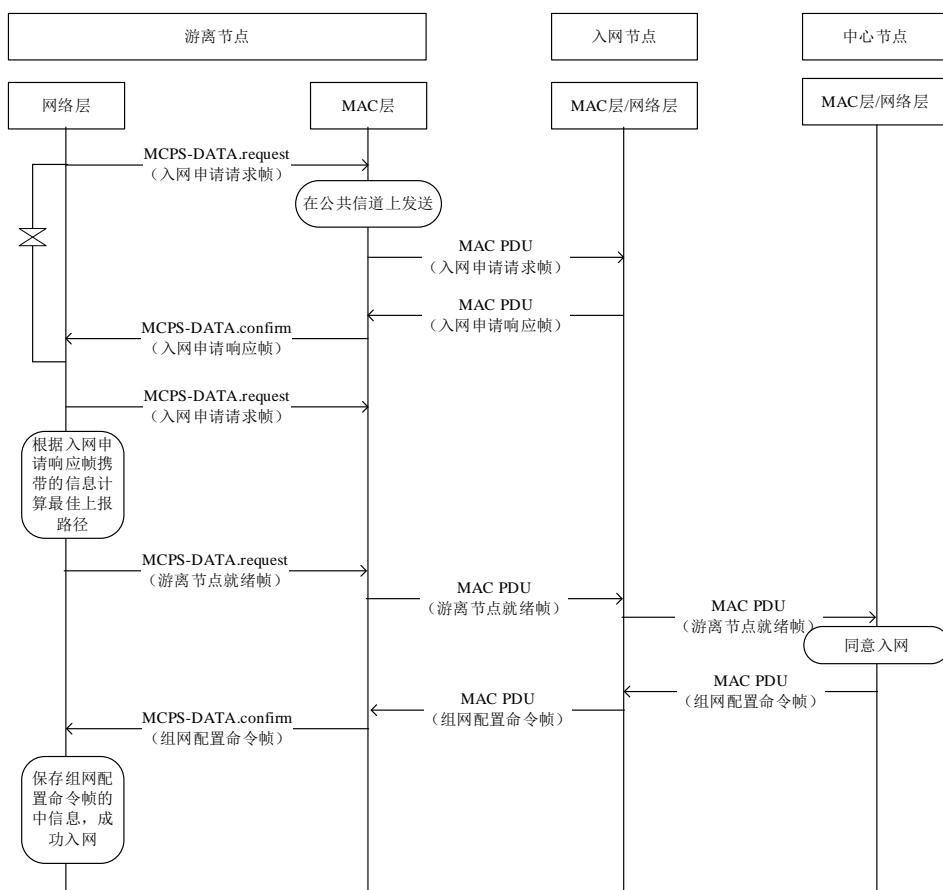


图 5 游离节点成功入网

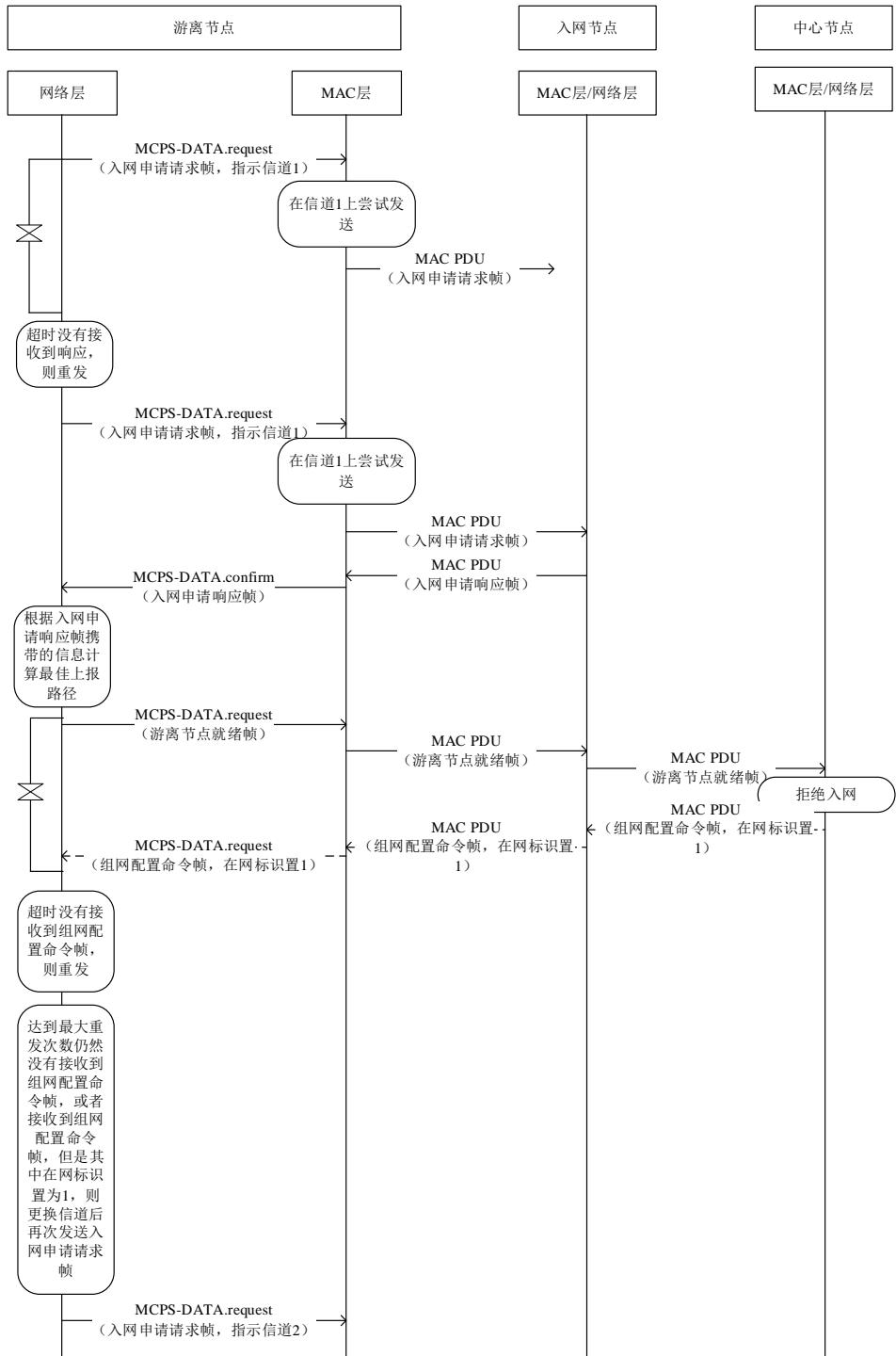


图 6 游离节点入网失败

6.1.2.1 发送入网申请请求帧

游离节点NLME构造入网申请请求帧，并启动一个定时器，其时长为nwkOrphanApplyInterval，在公共信道上发送入网申请请求帧，如果定时器超时前没有收到入网申请响应帧，则在公共信道重发入网申请请求帧。NLME发送入网申请请求帧是通过向MAC层发出一个MCPS-DATA.request原语实现，DstAddr参数设置为广播地址，PanID参数设置为0xFFFF，ChannelGroupSn参数设置按前述方法设置。

游离节点在收到一个组网信标帧后停止发送入网申请请求帧，开始进入组网流程，见7.1.1，若在nwkNetworkFormationWaitTime内未收到组网配置命令帧即未完成组网，则退出组网流程，继续此前的发送入网申请请求帧的过程。

6.1.2.2 接收入网申请响应帧

见DL/T 698.44-2014的6.1.1.2.2。

6.1.2.3 发送游离节点就绪帧

见DL/T 698.44-2014的6.1.1.2.3。

6.1.3 叶子节点加入一个网络

叶子节点入网成功过程如图7所示。

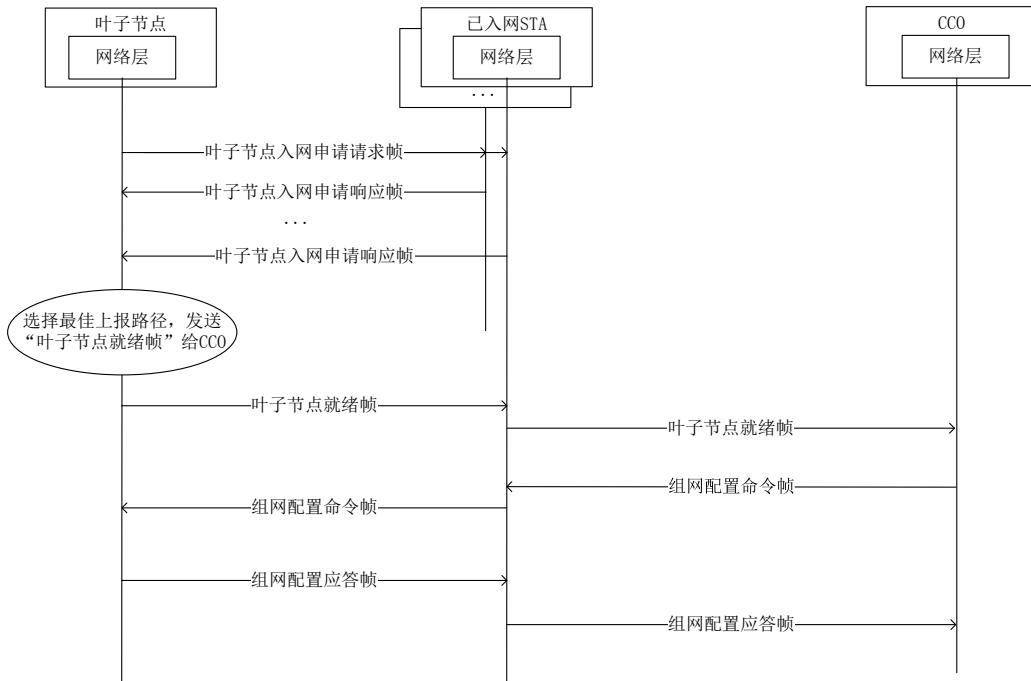


图 7 叶子节点入网成功

6.1.3.1 发送叶子节点入网申请请求帧

叶子节点NLME构造叶子节点入网申请请求帧，并启动一个定时器，其时长为nwkOrphanApplyInterval，在公共信道上发送叶子节点入网申请请求帧，如果定时器超时前没有收到入网申请响应帧，则在公共信道重发叶子节点入网申请请求帧。NLME发送叶子节点入网申请请求帧是通过向MAC层发出一个MCPS-DATA.request原语实现，DstAddr参数设置为广播地址，PanID参数设置为0xFFFF，ChannelGroupSn参数设置按前述方法设置。

叶子节点在收到一个组网信标帧后停止发送叶子节点入网申请请求帧，开始入网流程，见7.1.1，但是叶子节点不需要再生信标帧。若在nwkNetworkFormationWaitTime内未收到组网配置命令帧即未完成组网，则退出组网流程，继续此前的发送叶子节点入网申请请求帧的过程。

6.1.3.2 接收入网申请响应帧

在网工作状态的路由汇聚节点在公共信道收到叶子节点的叶子节点入网申请请求帧时，应先计算自己的应答时隙。

应答时隙=由中心节点分配到的时隙mod64。

计算自己的应答时隙后，以接收到的叶子节点入网申请请求帧为时隙0，在这个新的时隙去竞争应答，竞争失败的节点放弃应答，获得应答权的节点在公共信道按自己的时隙回应一个叶子节点入网申请响应帧，该操作通过向MAC层发出一个MCPS-DATA.request原语实现，DstAddr参数设置为叶子节点长地址，PanID参数设置为0xFFFF。

叶子节点在发送叶子节点入网申请请求帧并接收到一个叶子节点入网申请响应帧后，持续接收可能出现的其他叶子节点入网申请响应帧，直到一个nwkOrphanApplyInterval时长，同时，叶子节点在接收叶子节点入网申请响应帧时也记录场强值。然后NLME在收到的所有叶子节点入网申请响应帧中选出一条最优路径，以此路径构造叶子节点就绪帧，选择最优路径的原则是：

- 1) 如果有来自中心节点的叶子节点入网申请响应帧，则无需选择路径；
- 2) 在所有场强值高于场强门限的邻居节点中，选择它们的叶子节点入网申请响应帧的路径中层次数最少的；若场强值都不高于场强门限，则在所有收到的叶子节点入网申请响应帧的路径中选出层次数不超过6的邻居节点中场强最强的。

6.1.3.3 发送叶子节点就绪帧

NLME根据前一节选出的路径构造出叶子节点就绪帧并通过向MAC层发出一个MCPS-DATA.request原语发送叶子节点就绪帧，DstAddr参数设置为从叶子节点入网申请响应帧中获得的中心节点地址，PanID参数设置为接收入网申请响应帧中获取的PanID。叶子节点就绪帧在公共信道上发送。

中心节点在接收到叶子节点发来的叶子节点就绪帧后，验证该叶子节点是否在白名单列表中：如果叶子节点在该列表内则该帧中网络层载荷域命令标识符的在网标标识置0，然后下发组网配置命令帧，在组网配置命令帧中携带的“子节点配置信息”中包含工作信道组、短地址、PanID、唤醒模式、睡眠周期，不携带路径信息；如果叶子节点不在该列表内，则该帧中网络层载荷域命令标识符的在网标标识置1。

如果叶子节点接收到在网标识为1，则认为自己不在该中心节点管辖范围，则记录该中心节点地址和PanID，然后在公共信道上继续发送叶子节点入网申请请求帧，并且选择与记录的中心节点地址和PanID不同的网络接入。

叶子节点在向中心节点发送叶子节点就绪帧后若在nwkOrphanApplyInterval时长内未收到中心节点的组网配置命令帧，则认为自己不在该中心节点管辖范围内，则记录该中心节点地址和PanID，然后在公共信道上继续发送叶子节点入网申请请求帧，并且选择与记录的中心节点地址和PanID不同的网络接入。

6.1.4 地址分配机制

见DL/T 698.44-2014的6.1.1.3。

6.2 网络层传输与接收

见DL/T 698.44-2014的6.1.2。

6.3 路由

见DL/T 698.44-2014的6.1.3。

6.4 广播通信

见DL/T 698.44-2014的6.1.4。

6.5 永久性数据

节点停电或复位时，以下信息应当在停电和复位期间不丢失，以维持一个网络的运行：

- 网络的PanID；
- 节点的6字节网络地址；
- 节点的2字节网络地址；
- 子节点存储网络中心节点的6字节网络地址；
- 子节点存储由中心节点分配的时隙号；
- 子节点存储由中心节点分配的层次号；
- 路由表；
- 中心节点存储组网信标标识；
- 场强门限；
- 信道组号。

6.6 叶子节点工作机制

6.6.1 唤醒模式

LN节点可使用非连续发送eDTX以减少功耗，叶子节点定义了三种唤醒模式：

a)以主动唤醒为主的混合唤醒模式：支持叶子节点自行唤醒或传感器唤醒，但是以叶子节点根据睡眠周期自行唤醒为主要唤醒模式。

b)以被动唤醒为主的混合唤醒模式：支持传感器唤醒或叶子节点自行唤醒，但是以叶子节点下的传感器有数据发送来唤醒叶子节点为主要唤醒模式。

c)仅有主动唤醒的唤醒模式：只有叶子节点根据睡眠周期自行唤醒这一种唤醒模式。

无论设置哪种唤醒模式，叶子节点都会执行周期睡眠，只不过睡眠周期长短不同，对于“以被动唤醒为主的混合唤醒模式”的睡眠周期较长。一般情况下，叶子节点执行周期睡眠，如果传感器有事件发生，传感器唤醒叶子节点，此时叶子节点停止睡眠周期定时器，待数据发送完成再次进入睡眠后重启睡眠周期定时器。在以被动唤醒为主的混合唤醒模式下，如果叶子节点周期定时器到期醒来，会构造“叶子节点工作正常”的状态指示发送给STA。

6.6.2 叶子节点发送数据

LN节点开机入网后立即进入睡眠，睡眠周期以及唤醒模式由中心节点在组网配置命令帧中下发给叶子节点。

叶子节点唤醒后，如果有数据要发送，则构造缓存数据上报帧发送。

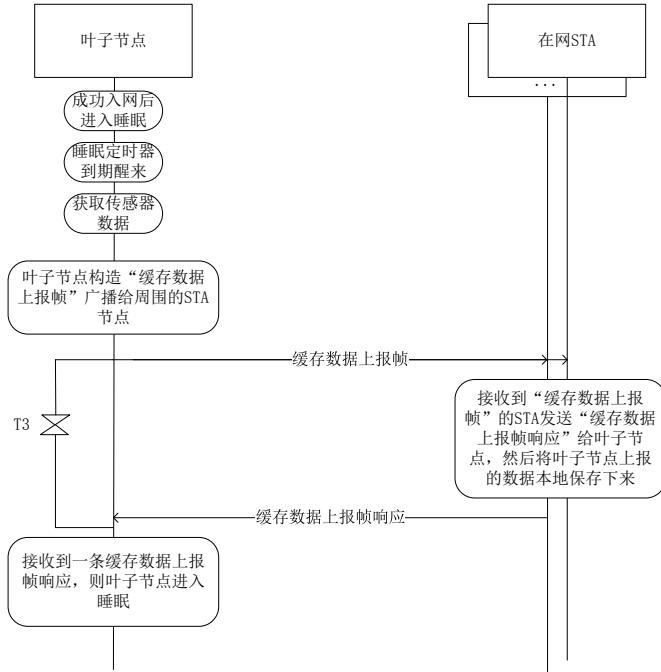


图 8 叶子节点数据发送

6.6.3 CCO 查询数据

6.6.3.1 周期查询

CCO在组网完成后，针对叶子节点，周期向STA查询叶子节点对应的传感器数据。为了保证CCO能够获取尽可能全的数据块，CCO会向网络中所有的非中继STA的STA查询。

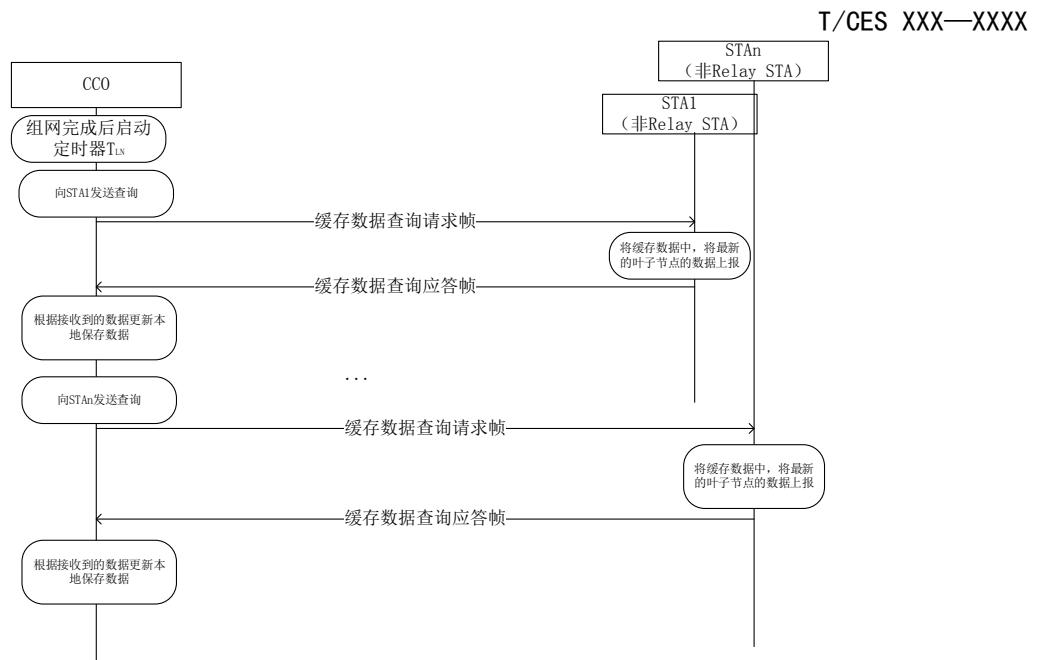


图 9 CCO 周期查询传感器数据过程

(1) 发送缓存数据查询请求帧

CCO组网完成后判断有叶子节点，则启动定时器 T_{LN} 。

定时器 T_{LN} 到期，CCO停止定时器 T_{LN} ，然后CCO针对每个非中继STA发起查询，即发送“缓存数据查询请求帧”，其中目标地址域填写非中继STA的地址。

接收到“缓存数据查询请求帧”的STA，将缓存的叶子节点对应的传感器数据封装在“缓存数据查询应答帧”中发送给CCO。

(2) 接收缓存数据查询应答帧

CCO接收到“缓存数据查询应答帧”后，解析载荷数据：

a)如果CCO本地有叶子节点地址对应的数据块，则比较数据块序号：如果STA返回的数据块序号比CCO本地保存的数据块序号新，则使用新的数据覆盖本地旧的数据；否则，CCO不更新本地保存的该叶子节点的数据。

b)如果CCO本地没有保存某叶子节点的数据块，则CCO直接保存该叶子节点地址及对应的数据块，并将该叶子节点地址增加到该STA下叶子节点地址列表中。

c)如果CCO本地维护的STA下叶子节点地址不在STA上报的叶子节点地址中，则CCO将该叶子节点从STA下的叶子节点地址列表中删除。

6.6.3.2 指定节点查询

流程与周期查询基本一致，但是对指定叶子节点的传感器数据查询，只会根据CCO维护的到叶子节点的路由查询，而不会查询全部的非中继STA。

6.7 网络层帧格式

6.7.1 网络层帧格式定义

见DL/T 698.44-2014的6.2。

6.7.2 网络层通用帧格式

见DL/T 698.44-2014的6.2.1。

7.7.3 网络层数据帧格式

见DL/T 698.44-2014的6.2.2.1。

6.7.4 网络层命令帧格式

网络层命令帧包含网络层帧头和网络层载荷，网络层帧头包含帧控制域、目标地址域、源地址域、半径域、帧序号域和路由信息域，网络层载荷包含网络层帧载荷域。网络层命令帧格式见DL/T 698.44-2014的6.2.2.2。

6.7.5 网络层命令帧

本节描述了各种具体类型的网络层命令帧。

本规范支持的所有类型的网络层命令帧见下表，网络层帧头应符合网络层命令帧格式。

表 1 网络层命令帧标识

网络层命令帧标识	命令名称
0x01	入网申请请求
0x02	入网申请响应
0x03	路由错误
0x10	--
0x11	--
0x12	--
0x13	--
0x16	游离节点就绪
0x19	组网配置命令
0x1A	组网配置应答
0x20	缓存数据上报帧
0x21	缓存数据上报响应帧
0x22	缓存数据查询请求帧
0x23	缓存数据查询响应帧
0x24	叶子节点入网申请请求帧
0x25	叶子节点入网申请响应帧
0x26	叶子节点就绪帧

6.7.5.1 入网申请请求帧

见DL/T 698.44-2014的6.3.1。

6.7.5.2 入网申请响应帧

见DL/T 698.44-2014的6.3.2。

6.7.5.3 游离节点就绪帧

见DL/T 698.44-2014的6.3.3。

6.7.5.4 路由错误帧

见DL/T 698.44-2014的6.3.4。

6.7.5.5 组网配置命令帧

组网配置命令帧用于完成子节点配置和邻居场强收集功能。

6.7.5.5.1 帧控制域

表 2 组网配置命令帧的帧控制域

子域	所在比特	值	说明
----	------	---	----

帧类型	b1-b0	01	帧类型为网络层命令帧
目标地址模式	b3-b2	11	目标地址长度为 6 个字节
源地址模式	b5-b4	11	源地址长度为 6 个字节
路由指示	b7	0/1	根据组网配置的目标子节点与中心节点之间的路径是否存在中继节点确定存在/不存在路由信息域

6.7.5.5.2 目标地址域

目标地址域的值设置为信宿的地址, 即组网配置的目标子节点的地址, 地址长度由目标地址模式子域确定。

6.7.5.5.3 源地址域

源地址域的值设置为信源的地址, 即中心节点的地址, 地址长度由源地址模式子域确定。

6.7.5.5.4 半径域

半径域的值按照通用网络层帧格式构造。

6.7.5.5.5 帧序号域

帧序号域的值设置为中心节点当前的nwkSequenceNumber加1。

6.7.5.5.6 路由信息域

当帧控制域路由指示子域的值为0b时帧中存在路由信息域其构造方式如下:

- 中继节点数子域的值设置为中心节点到达目标子节点需要经过的中继节点个数;
- 中继索引子域的值按照通用网络层帧格式构造, 即用 a) 中所得中继节点数子域的值初始化;
- 中继列表地址模式子域格式符合通用网络层帧格式;
- 中继列表子域格式符合通用网络层帧格式。

6.7.5.5.7 网络层帧载荷域

组网配置命令帧的网络层帧载荷域格式见下表。

表 3 网络层帧载荷域

字节数: 1	字节数: 1	字节数: 1 字节	变长	1 字节
命令标识符	命令选项	场强收集的页序号	子节点配置信息	节点类型

a)命令标识符

组网配置命令帧的命令标识符为0x19。

b)命令选项

组网配置命令帧的命令选项长8比特, 每一个比特对应着一种配置项, 每一个比特的值为1时代表对应配置项存在, 为0时代表对应的配置项不存在。

表 4 命令选项

B7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
在网标识	页序号标识	中继列表	PanID	短地址	工作信道组号	层次号	时隙号

说明:页序号标识为1时代表“场强收集的页序号”存在, 为0时代表“场强收集的页序号”不存在。

场强收集的页序号长1字节, 定义如下:

表 5 场强收集页序号

b7-b4	b3-b0
保留	页序号

子节点配置信息 (根据命令选项中的指示携带具体的信息域):

表 6 子节点配置信息

字 节	2	2	1	1	2*n1	1	2*n2	1	2*n3
-----	---	---	---	---	------	---	------	---	------

数: 1												
工作信道组号	b15-b14	b13-b10	b9-b0	短地址	PanID	路径数 n	路径 1 中继节点数 n1	路径 1 中继节点数表	路径 2 中继节点数 n2	路径 2 中继节点数表	路径 3 中继节点数 n3	路径 3 中继节点数表
工作信道组号	保留	层次号	时隙号	短地址	中继列表							

如果是叶子节点，则子节点配置信息定义如下：

表 7 叶子节点的子节点配置信息

字节数: 1	2	2	2	2bit	14bit
工作信道组号	Bit15-Bit14	b13-b10	Bit9-bit0	短地址	PanID
工作信道组号	预留	层次号	时隙号	短地址及 PanID	低功耗配置

唤醒模式:

00: 以主动唤醒为主的混合唤醒模式，是指正常睡眠周期，一边情况下都是执行主动唤醒，一旦传感器有事件发生则使用被动唤醒，被动唤醒后，睡眠定时器重启。

01: 以被动唤醒为主的混合唤醒模式，是指睡眠周期比较长，一般情况下都是执行被动唤醒，被动唤醒后，睡眠定时器重启。周期定时器到期执行主动唤醒。如果叶子节点仅用于水浸传感器类，则可使用这种唤醒模式。

10: 仅主动唤醒的唤醒模式，是指正常睡眠周期，任何情况下都仅执行主动唤醒。

11: 预留。

d) 节点类型（必填）

节点类型的取值如下：

0x00:STA

0x01:RelaySTA

0x02:LN

其它保留。

6.7.5.6 组网配置应答帧

6.7.5.6.1 帧控制域

表 8 组网配置应答帧的帧控制域

子域	所在比特	值	说明
帧类型	b1-b0	01	帧类型为网络层命令帧
目标地址模式	b3-b2	11	目标地址长度为 6 个字节
源地址模式	b5-b4	11	源地址长度为 6 个字节
路由指示	b7	0/1	根据组网配置的目标子节点与中心节点之间的路径是否存在中继节点确定存在/不存在路由信息域

6.7.5.6.2 目标地址域

目标地址域的值设置为信宿的地址，即CCO的地址，地址长度由目标地址模式子域确定。

6.7.5.6.3 源地址域

源地址域的值设置为信源的地址, 即接收到组网配置命令帧的子节点的地址, 地址长度由源地址模式子域确定。

6.7.5.6.4 半径域

半径域的值按照通用网络层帧格式构造。

6.7.5.6.5 帧序号域

帧序号域的值设置为中心节点当前的nwkSequenceNumber加1。

6.7.5.6.6 路由信息域

见6.7.5.5.6。

6.7.5.6.7 网络层帧载荷域

组网配置应答帧的网络层帧载荷域格式:

表 9 组网配置应答帧的帧载荷域

字节数: 1	字节数: 1	字节数: 5	变长
命令标识符	命令选项	子节点版本信息	邻居场强信息

a)命令标识符

组网配置应答帧的网络命令标识为0x1A。

b)命令选项

组网配置应答帧的命令选项长8比特, 每一个比特对应着一种信息域标识, 每一个比特的值为1时代表对应信息域存在, 为0时代表对应的信息域不存在。

表 10 组网配置应答帧的命令选项

B7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
保留	保留	子节点版本信息标识	邻居场强信息标识	子节点类型			

---邻居场强信息

邻居场强信息包括三部分: 总页数、页序号、邻居场强信息。

表 11 邻居场强信息

B7-b4	b3-b0	变长
总页数	页序号	邻居场强值信息

页序号代表本帧中的邻居场强信息页的序号, 总页数代表本节点的邻居场强信息的总页数。每一页存放16个邻居场强信息, 总页数最大为5页。

其中邻居场强值信息定义如下:

表 12 邻居场强值信息

字节数: 1	字节数: 6	字节数: 1	,,,	字节数: 6	字节数: 1
节点个数 n	地址	场强值	,,,	地址	场强值
邻居节点 1				邻居节点 n	

节点个数为 1 个字节的十六进制数, 取值范围为 0x00-0x10; 地址长度为 6 个字节; 场强值为 1 个字节。

---子节点版本信息

表 13 子节点版本信息

字节数: 2	字节数: 3
硬件版本信息	软件版本信息

6.7.5.7 缓存数据上报帧

功能说明

缓存数据上报帧是由叶子节点构造并发送给周围的邻居STA节点。

6.7.5.7.1 帧控制域

表 14 帧控制域

子域	所在比特	值	说明
帧类型	b1-b0	01	帧类型为网络层命令帧
目标地址模式	b3-b2	11	目标地址长度为 6 个字节
源地址模式	b5-b4	11	源地址长度为 6 个字节
路由指示	b7	0	不存在路由信息域

6.7.5.7.2 目标地址域

目标地址域的值设置为信宿的地址，广播地址，地址长度由目标地址模式子域确定。

6.7.5.7.3 源地址域

源地址域的值设置为信源的地址，即叶子节点的地址，地址长度由源地址模式子域确定。

6.7.5.7.4 半径域

半径域的值为1。

6.7.5.7.5 帧序号域

帧序号域的值设置为当前的nwkSequenceNumber加1。

6.7.5.7.6 网络层帧载荷域

数据请求命令帧的网络层帧载荷域格式：

表 15 帧载荷域

字节数: 1	1	2	变长
命令标识符	命令选项	PanID	数据块

1) 网络命令标识

数据请求命令帧的网络命令标识为 0x20。

2) 命令选项

比特值置为0表示不携带对应的数据项；比特值置为1表示携带对应的数据项。

表 16 命令选项

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
保留	保留	保留	保留	保留	保留	数据块指示	PanID 指示

3) 数据块

数据块定义：

数据块

1	变长
序号	数据块内容

--序号：长1字节，用于标识传感器数据，序号初始化为0，每发送一次数据加1。

--数据块内容定义：

表 17 数据块内容

1 字节	1 字节	1 字节	可变	1 字节	可变		1 字节	可变
状态数据项	数据项个数 n	数据项 1 长度	数据项 1	数据项 2 长度	数据项 2	...	数据项 n 长度	数据项 n

--状态数据项：由叶子节点产生的数据项，每个比特位指示某个状态，比特位取值为1表示工作异常；比特位取值为0表示工作正常，比特位对应的状态如下：

表 18 状态数据项

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
数据项 7 状态	数据项 6 状态	数据项 5 状态	数据项 4 状态	数据项 3 状态	数据项 2 状态	数据项 1 状态	叶子节点 状态

如果叶子节点状态对应的比特位取值为1，则不会再携带后面的数据项。

如果某数据项的状态对应的比特位取值为1，则仍然需要上报数据项，数据项的取值为0。

6.7.5.8 缓存数据上报响应帧

6.7.5.8.1 帧控制域

帧控制域定义见表19。

表 19 帧控制域

子域	所在比特	值	说明
帧类型	b1-b0	01	帧类型为网络层命令帧
目标地址模式	b3-b2	11	目标地址长度为 6 个字节
源地址模式	b5-b4	11	源地址长度为 6 个字节
路由指示	b7	0	不存在路由信息域

6.7.5.8.2 目标地址域

目标地址域的值设置为接收到的缓存数据上报帧的源地址，地址长度由目标地址模式子域决定。

6.7.5.8.3 源地址域

源地址域的值设置为本节点的地址，地址长度由源地址模式子域决定。

6.7.5.8.4 半径域

半径域的值设置为0x1。

6.7.5.8.5 帧序号域

帧序号域的值设置为收到的入网申请请求帧的帧序号域的值。

6.7.5.8.6 路由信息域

入网申请响应帧无路由信息域。

6.7.5.8.7 网络层帧载荷域

缓存数据上报响应帧的网络层帧载荷域格式：

表 20 帧载荷域

字节数: 1	1	9	2
命令标识	命令选项	STA 所在网络信息	低功耗配置

1) 网络命令标识

入网申请响应帧的网络命令标识为 0x21。

2) 命令选项

比特值置为0表示不携带对应的数据项；比特值置为1表示携带对应的数据项。

表 21 命令选项

B7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
保留	保留	保留	保留	保留	保留	低功耗配置	STA 所在网络信息指示

3) STA所在网络信息定义如下：

表 22 STA 网络信息

字节数: 1	2	6
--------	---	---

工作信道组号	PanID	中心节点地址
--------	-------	--------

4) 低功耗配置

低功耗配置定义如下:

表 23 低功耗配置参数

2bit	14bit
唤醒模式	睡眠周期 (单位为分钟)

6.7.5.9 缓存数据查询请求帧

功能说明: CCO构造“缓存数据查询请求帧”并发送给STA, 用于查询传感器数据。

6.7.5.9.1 帧控制域

表 24 帧控制域

子域	所在比特	值	说明
帧类型	b1-b0	01	帧类型为网络层命令帧
目标地址模式	b3-b2	11	目标地址长度为 6 个字节
源地址模式	b5-b4	11	源地址长度为 6 个字节
路由指示	b7	0/1	根据组网配置的目标子节点与中心节点之间的路径是否存在中继节点确定存在/不存在路由信息域

6.7.5.9.2 目标地址域

目标地址域的值设置为信宿的地址, 这里是指与叶子节点直连的STA的地址, 地址长度由目标地址模式子域确定。

6.7.5.9.3 源地址域

源地址域的值设置为信源的地址, 即CCO的地址, 地址长度由源地址模式子域确定。

6.7.5.9.4 网络层帧载荷域

网络层帧载荷域格式:

表 25 帧载荷域

字节数: 1	1	变长
命令标识符	命令选项	叶子节点信息

1) 网络命令标识

缓存数据查询请求帧的网络命令标识为 0x22。

2) 命令选项

比特值置为0表示不携带对应的数据项; 比特值置为1表示携带对应的数据项。

表 26 命令选项

B7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
保留	低功耗配置指示						

3) 叶子节点信息

表 27 叶子节点信息

1 字节	2 字节	1 字节	2 字节			2 字节	1 字节	2 字节
叶 子 节 点 个 数 n	叶 子 节 点 地 址 1	序 号 1	低 功 耗 配 置 (可 选)		...	叶 子 节 点 地 址 n	序 号 n	低 功 耗 配 置 (可 选)

说明：一条“缓存数据查询请求帧”中携带的是在同一个STA下的所有叶子节点的信息，每个叶子节点地址对应的序号是指CCO已经接收到的最新的传感器数据块的序号。

6.7.5.10 缓存数据查询应答帧

6.7.5.10.1 帧控制域

表 28 帧控制域

子域	所在比特	值	说明
帧类型	b1-b0	01	帧类型为网络层命令帧
目标地址模式	b3-b2	11	目标地址长度为 6 个字节
源地址模式	b5-b4	11	源地址长度为 6 个字节
路由指示	b7	0/1	根据组网配置的目标子节点与中心节点之间的路径是否存在中继节点确定存在/不存在路由信息域

6.7.5.10.2 目标地址域

目标地址域的值设置为信宿的地址，这里是CCO的地址，地址长度由目标地址模式子域确定。

6.7.5.10.3 源地址域

源地址域的值设置为信源的地址，即STA地址，地址长度由源地址模式子域确定。

6.7.5.10.4 网络层帧载荷域

网络层帧载荷域格式：

表 29 帧载荷域

字节数：1	变长
命令标识	叶子节点数据项

1) 网络命令标识

路由应答帧的网络命令标识为 0x23。

2) 叶子节点数据项包含STA下所有叶子节点上报的传感器数据内容。格式如下表所示。

表 30 叶子节点数据项

1 字 节	2 字 节	1 字 节	1 字 节	1 字 节	1 字 节	变 长		1 字 节	变 长		2 字 节	1 字 节	1 字 节	1 字 节	1 字 节	变 长		1 字 节	变 长
叶 子 节 点 个 数 n	叶 子 节 点 地 址 1	序 号	状 态 数 据 项	数 据 项 个 数 m1	数 据 项 长 度 1	...	数 据 项 1	数 据 项 m1	数 据 项 m1	...	叶 子 节 点 地 址 n	序 号	状 态 数 据 项	数 据 项 个 数 mn	数 据 项 1	数 据 项 mn	...	数 据 项 mn	数 据 项 长 度

状态数据项参见“缓存数据上报帧”的定义。

6.7.5.11 叶子节点入网申请请求帧

帧格式

同“入网申请请求帧”。

6.7.5.11.1 帧控制域

表 31 帧控制域

子域	所在比特	值	说明
----	------	---	----

T/CES XXX—XXXX

帧类型	b1-b0	01	帧类型为网络层命令帧
目标地址模式	b3-b2	11	目标地址长度为 6 个字节
源地址模式	b5-b4	11	源地址长度为 6 个字节
路由指示	b7	0	不存在路由信息域

6.7.5.11.2 目标地址域

目标地址域的值设置为广播地址0xFFFFFFFFFFFF。

6.7.5.11.3 源地址域

源地址域的值设置为信源的地址,即申请入网的叶子节点的地址,地址长度由源地址模式子域决定。

6.7.5.11.4 半径域

半径域的值设置为0x01。

6.7.5.11.5 帧序号域

帧序号域的值设置为节点当前的nwkSequenceNumber加1。

6.7.5.11.6 路由信息域

无路由信息域。

6.7.5.11.7 网络层帧载荷域

叶子节点入网申请帧的网络层帧载荷域格式:

表 32 帧载荷域

字节数: 1	字节数: 1
网络命令标识	命令选项

1) 网络命令标识: 入网申请帧的网络命令标识为 0x24。

2) 命令选项: 作为扩展参数备用, 其缺省值为 0。

6.7.5.12 叶子节点入网申请响应帧

帧格式

同“入网申请响应帧”。

6.7.5.12.1 帧控制域

表 33 帧控制域

子域	所在比特	值	说明
帧类型	b1-b0	01	帧类型为网络层命令帧
目标地址模式	b3-b2	11	目标地址长度为 6 个字节
源地址模式	b5-b4	11	源地址长度为 6 个字节
路由指示	b7	0	不存在路由信息域

6.7.5.12.2 目标地址域

目标地址域的值设置为收到的叶子节点入网申请请求帧的源地址, 地址长度由目标地址模式子域决定。

6.7.5.12.3 源地址域

源地址域的值设置为本节点的地址, 地址长度由源地址模式子域决定。

6.7.5.12.4 半径域

半径域的值设置为0x1。

6.7.5.12.5 帧序号域

帧序号域的值设置为收到的入网申请请求帧的帧序号域的值。

6.7.5.12.6 路由信息域

无路由信息域。

6.7.5.12.7 网络层帧载荷域

叶子节点入网申请响应帧的网络层帧载荷域格式：

表 34 帧载荷域

字节数: 1	1	2	6	2	1	1	变长
命令标识	命令选项	PanID	中心节点地址	时隙号层次号	RSSI	中继数	中继列表

1) 网络命令标识

入网申请响应帧的网络命令标识为 0x25。

2) 命令选项

入网申请响应帧的命令选项作为扩展参数备用，其缺省值为 0。

3) PanID

设置为本节点所在网络的 PanID。

4) 中心节点地址

设置为本节点所在网络的中心节点的长地址，长度为 6。

5) 时隙号层次号

设置为本节点的时隙号层次号。时隙号层次号的格式：

表 35 时隙号层次号

字节数: 2		
b15-b14	b13-b10	b9-b0
保留	层次	时隙号

6) RSSI

设置为本节点接收入网申请请求帧时的 RSSI 值。

7) 中继数

设置为本节点存储的上行至中心节点的最优路径中的中继节点个数+1，若本节点为中心节点，中继数为 0。

8) 中继列表

设置为本节点存储的上行至中心节点的最优路径中的中继节点列表，并包括本节点在内，每个中继节点地址长度为 2。

6.7.5.13 叶子节点就绪帧

帧格式

同“游离节点就绪帧”。

6.7.5.13.1 帧控制域

表 36 帧控制域

子域	所在比特	值	说明
帧类型	b1-b0	01	帧类型为网络层命令帧
目标地址模式	b3-b2	11	目标地址长度为 6 个字节
源地址模式	b5-b4	11	源地址长度为 6 个字节

路由指示	b7	0/1	若选择的路径是直达中心节点, 路由指示子域的值为 0b0, 不存在路由信息域; 若选择的路径不能直达中心节点, 路由指示子域的值为 0b1, 存在路由信息域
------	----	-----	---

6.7.5.13.2 目标地址域

目标地址域的值设置为中心节点地址, 地址长度由目标地址模式子域决定。

6.7.5.13.3 源地址域

源地址域的值设置为本节点的地址, 地址长度由源地址模式子域决定。

6.7.5.13.4 半径域

半径域的值设置为中继节点数加1。

6.7.5.13.5 帧序号域

帧序号域的值设置为节点当前的nwkSequenceNumber加1。

6.7.5.13.6 路由信息域

见6.7.5.6。

6.7.5.13.7 网络层帧载荷域

叶子节点就绪帧的网络层帧载荷域格式:

表 37 帧载荷域

字节数: 1	1	2
命令标识	命令选项	时隙号层次号

1) 网络命令标识

游离节点就绪帧的网络命令标识为 0x26。

2) 命令选项

游离节点就绪帧的命令选项作为扩展参数备用, 其缺省值为 0。

3) 时隙号层次号

时隙号设置为本节点计算出的时隙号, 层次号设置为所选最优路径的来源节点的层次号加1。时隙号与层次号的格式:

表 38 时隙号层次号

字节数: 2		
b15-b14	b13-b10	b9-b0
保留	层次	时隙号

7 网络层服务

见DL/T 698.44-2014的第7章。

8 MAC 层协议规范

8.1 一般要求和定义

MAC层主要处理所有物理层无线信道的接入, 主要包括以下内容:

——支持免冲突载波侦听多址接入 (CSMA-CA) 机制;

——支持TDMA;

——在两个对等的 MAC 实体之间提供一个可靠的通信链路。

8.1.1 信道访问协议

见DL/T 698.44-2014的8.1.1。

8.1.2 启动和维护网络

见DL/T 698.44-2014的8.1.2。

8.1.3 时隙同步

见DL/T 698.44-2014的8.1.3。

8.1.4 发送、接收和确认

见DL/T 698.44-2014的8.1.5。

8.6 MAC 层帧格式

8.6.1 MAC 层帧格式定义

本节定义了MAC帧格式（MPDU）。

MAC层的帧以特定的顺序描述为一个域序列，本节所有的帧格式在物理层发送时，以从左至右，左有效比特位先传的顺序发送。每个域中的比特位从0（最左边，最低）编号，直到k-1（最右边，最高），域的长度就是k比特。长于一个字节的域，按照位编号最低的字节到位编号最高的字节的顺序被发送到PHY层。

每个MAC帧由下述基本单元所组成：

——MAC 帧头：其包含帧控制域、帧序号和地址信息。

——MAC 帧载荷：变长，其包含了指定帧类型的信息。确认帧无帧载荷区。

8.6.2 MAC 层通用帧格式

MAC层通用帧格式中包括了帧头、载荷两个部分。帧头中的各个域以固定的顺序出现。MAC层通用帧格式见下表。

表 39 MAC 层通用帧格式

字节数:2	1	2	2/6	2/6	变长				变长
帧控制域	帧序号	网络号 PanID	目标地址	源地址	扩展信息域				帧载荷
		寻址域			长度 (1 字节)	厂家标识	帧头扩展信息域数据	载荷扩展信息域数据	
MAC 帧头							MAC 帧载荷		

MAC帧头以固定顺序出现，并不是所有帧都包括寻址域。

8.6.2.1 帧控制域

帧控制域长度为16比特，包含了帧类型及其它的一些控制标志。帧控制域的格式见下表。

表 40 MAC 通用帧格式-帧控制域

b15-b14	b13-b12	b11-b10	b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2-b0
源地址模式	帧版本	目标地址模式	扩展信息域指示(0)	帧序号压缩	保留	Pan ID 压缩	确认请求	帧挂起域(0)	安全使能(0)	帧类型

除帧类型子域外，其它子域定义见DL/T 698.44-2014的8.2.1.1。

8.6.2.1.1 帧类型子域

帧类型子域长度为3比特，其应被设置成为下表列出的一个非保留的值。

表 41 帧类型子域

帧类型值b2 b1 b0	描述	使用的信道组类型
100-111	信标帧	组网信道组

001	数据帧	工作信道组
010	确认帧	被确认帧的信道组
011	命令帧	工作信道组
101	上报帧	工作信道组
000	保留（不定义）	

8.6.3 MAC 层信标帧格式

见DL/T 698.44-2014的8.2.2.1。

8.6.4 MAC 层数据帧格式

见DL/T 698.44-2014的8.2.2.2。

8.6.5 MAC 层确认帧格式

见DL/T 698.44-2014的8.2.2.3。

8.6.6 MAC 层上报帧格式

上报帧格式见下表。

表 42 上报帧格式

字节数:2	1	2	6	6	变长
帧控制域	帧序号	网络号 PanID	目标地址	源地址	上报帧载荷
		寻址域			
MAC 帧头					MAC 载荷

8.6.6.1 帧控制域

帧控制域中各子域取值见下表。

表 43 上报帧帧控制域

子域	Bits	值
帧类型子域	2-0	011
安全使能子域	3	0
帧挂起子域	4	0
确认请求子域	5	1
网络号压缩子域	6	1
Bit7	7	—
帧序列号压缩子域	8	1
扩展信息域指示子域	9	0
目标地址模式子域	11-10	10/11
帧版本子域	13-12	00
源地址模式子域	15-14	10/11

8.6.6.2 帧序号域

MAC层命令帧序号压缩子域指明了本帧中是否有帧序号。帧序号压缩子域的长度为1比特。本域的值为“1”时表示本帧中有帧序号，为“0”时表示本帧中无帧序号。

8.6.6.3 寻址域

上报帧的寻址域包含网络号子域、目标地址子域和源地址子域。

8.6.6.4 上报帧载荷

上报帧载荷见下表。

表 44 上报帧载荷

字节数: 1	变长
payloadType	PayloadData

payloadType:

1) 0x00-0x03: 保留。

2) 0x04: 停电上报载荷, 具体定义见下表。

表 45 停电上报载荷

字节数: 1	1	1	2	2			50
				b15-b9	b8	b7-b0	
payloadType=0x04	framePower.TransDsn	0xFF	Mac.TSNum	预留	bitMap 中 1 个数, 高 1 比特	bitMap 中 1 个数, 低 8 比特	bitMap

停电上报的上报帧使用本地广播在工作信道上发送, 不需要执行CSMA-CA机制。

9 MAC 层服务

9.1 MAC 层数据服务

见DL/T 698.44-2014的9.1。

10.2 MAC 层管理服务

见DL/T 698.44-2014的9.2。

9.3 MAC 层常量

见DL/T 698.44-2014的9.3。

9.4 MAC 层属性库

见DL/T 698.44-2014的9.4。

10 物理层协议规范

此规范适用于明确及统一电力行业电能信息与管理系统无线通信技术的物理层协议规范。除非另有说明, 下列条款中所有保留字段应当在发送的时候设置为零并在接收时被忽略。

10.1 物理层一般要求和定义

物理层主要处理所有物理层无线信道的接入, 主要包括以下内容:

- 1) 打开和关闭无线收发器;
- 2) 对当前工作信道进行能量检测;
- 3) 适用于免冲突载波侦听多址接入的空闲信道评估;
- 4) 信道频率选择;
- 5) 数据发送和接收。

10.1.1 工作频率范围

系统的工作频率为: 223MHz~235MHz。

10.1.2 调制方式

调制是指把基带信号的变化规律，转变为射频载波信号的幅度、频域或相位等变化规律的过程。本条规定调制方式使用FSK（Frequency Shift Keying），用两个频率特征信号分别代表二进制的0和1。为了减小调制信号的带外频率分量，改善信号频率，基带信号采用高斯滤波（GFSK）的方式，带宽、空口数据速率、调制指数以及BT因子取值参见下表。

表 46 GFSK 调制参数

参数	参数配置1	参数配置2	参数配置3	参数配置4
码元速率(kb/s)	9.6	19.2	38.4	76.8
调制指数h	1/2	1/2	1/2	1/2
BT	0.3	0.3	0.3	0.3
信道带宽(kHz)	25	50	100	200

符号	编码
“0”	$f_0 - \Delta f$
“1”	$f_0 + \Delta f$

10.1.3 调制频率偏差及信道带宽

调制信号的频率相对于载波频率的摆动幅度值，频率偏差值及信道带宽为：

表 47 频率偏差值及信道带宽

信道带宽	25kHz	50kHz	100kHz	200kHz
频率偏差值	$\pm 2.4\text{kHz}$	$\pm 4.8\text{kHz}$	$\pm 9.6\text{kHz}$	$\pm 19.2\text{kHz}$

10.1.4 码流发送顺序

码流发送的顺序定义为：低码位在前，高码位在后。

10.1.5 数据调制

如图21，来自PPDU的二进制码流先进行白化（Data Whiting）处理，白化处理后进入GFSK调制器进行调制，GFSK调制器输出对应的调制信号。



图 10 数据调制白化处理

10.1.6 调制频率偏差及信道带宽

通信信道定义在223MHz~235MHz频段。这些信道的中心频率的定义如下：

两类信道组，每个信道组有1~2个信道：

组网信道组，用于组网维护，固定使用25kHz带宽，信道组号由各节点根据使用版本配置，具体见表122；

工作信道组，用于综合能源设备信号传输等应用，可以使用不同带宽，由中心节点配置，具体划分见表123-表125：

表 48 信道分配列表-25kHz 带宽

信道组号	信道0(MHz)	信道1(MHz)	信道组号	信道0(MHz)	信道1(MHz)
0	223.0125	229.0125	17	224.6375	230.3375
1	223.1125	229.0875		224.7375	230.4125

2	223.1375	229.1625
3	223.2375	229.2375
4	223.3125	229.3125
5	223.3875	229.3875
6	223.5375	229.4625
7	223.6375	229.5125
8	223.7375	229.5875
9	223.8875	229.6625
10	223.9875	229.7375
11	224.0375	229.8125
12	224.1875	229.8875
13	224.2375	229.9625
14	224.3125	230.0375
15	224.4875	230.1125
16	224.5375	230.2625

19	224.8125	230.5375
20	224.8875	230.6125
21	224.9875	230.6875
22	225.0375	230.8875
23	225.1875	230.9625
24	225.2375	231.5125
25	225.3125	231.5875
26	225.3875	231.8125
27	225.4875	231.8875
28	225.5375	231.9625
29	225.6375	232.0125
30	225.7375	232.0875
31	225.8125	232.3125
32	225.9875	232.3875

表 49 信道分配列表-50kHz 带宽

信道组号	信道0(MHz)	信道1(MHz)	信道组号	信道0(MHz)	信道1(MHz)
0	223.025	229.025	17	224.325	229.875
1	223.075	229.075	18	224.475	229.925
2	223.225	229.125	19	224.525	229.975
3	223.275	229.175	20	224.575	230.025
4	223.325	229.225	21	224.625	230.075
5	223.375	229.275	22	224.775	230.125
6	223.525	229.325	23	224.825	230.275
7	223.575	229.375	24	224.875	230.325
8	223.625	229.425	25	224.925	230.375
9	223.675	229.475	26	224.975	230.525
10	223.875	229.525	27	225.025	230.575
11	223.925	229.575	28	225.075	230.625
12	223.975	229.625	29	225.125	230.675
13	224.025	229.675	30	225.275	230.875
14	224.175	229.725	31	225.325	230.925
15	224.225	229.775	32	225.375	230.975
16	224.275	229.825			

表 50 信道分配列表-100kHz 带宽

信道组号	信道0(MHz)	信道1(MHz)	信道组号	信道0(MHz)	信道1(MHz)

0	223.050	229.050	16	225.350	230.950
1	223.250	229.150	17	225.450	231.150
2	223.350	229.250	18	225.650	231.250
3	223.550	229.350	19	225.750	231.450
4	223.650	229.450	20	225.950	231.550
5	223.850	229.550	21		231.750
6	223.950	229.650	22		231.850
7	224.150	229.750	23		231.950
8	224.250	229.850	24		232.050
9	224.450	229.950	25		232.250
10	224.550	230.050	26		232.350
11	224.750	230.250	27		232.450
12	224.850	230.350	28		232.650
13	224.950	230.550	29		232.750
14	225.050	230.650	30		232.950
15	225.250	230.850			

表 51 信道分配列表-200kHz 带宽

信道组号	信道0(MHz)	信道1(MHz)	信道组号	信道0(MHz)	信道1(MHz)
0	225.400	232.400	8	225.700	230.900
1	223.300	229.100	9		231.200
2	223.600	229.300	10		231.500
3	223.900	229.500	11		231.800
4	224.200	229.700	12		232.000
5	224.500	229.900	13		232.400
6	224.800	230.300	14		232.700
7	225.000	230.600	23		

10.1.7 信道切换时间

信道切换时间定义了发射器及接收器在一个信道频率切换到另外一个信道频率的时间（包括一些必需的设置时间），信道切换时间应≤500us。

10.1.8 发射功率

射频输出功率是指天线辐射的功率（e.r.p），符号工信部无〔2018〕165号《工业和信息化部关于调整223-235MHz频段无线数据传输系统频率使用规划的通知》的要求。

10.1.9 带外杂散辐射

用特征频率调制时在除载频和由于正常调制和切换瞬态引起的边带以及邻道以外离散频率上的辐射的功率限值，杂散辐射发射限值符合工信部无〔2018〕165号《工业和信息化部关于调整223-235MHz频段无线数据传输系统频率使用规划的通知》的要求。

10.2 通用无线电规范

10.2.1 空中码元速率和接收机灵敏度

空中码元速率是指射频信号在空中传输的速率，接收机灵敏度是指接收机能够可靠解调的最小信号能量，在使得接收器的接收误码率 $\leq 1\%$ 时，可接收的最小信号能量。不同码元速率以及不同调制参数配置下接收机灵敏度见下表，误差 $\leq 0.05\%$ 。

表 52 接收机灵敏度

码元速率(kb/s)	9.6	19.2	38.4	76.8
接收机灵敏度 (dBm)	-106	-103	-100	-97

10.2.2 接收机抗干扰抑制

接收器对于邻近信道干扰的抑制值不小于62dBc。所述邻近信道是指按10.1.6的规定，其信道号与接收器当前工作的信道信道号相邻的信道。

10.2.3 发送到接收转换时间

发送到接收转换时间应 $\leq 500\mu s$ 。

10.2.4 接收到发送转换时间

接收到发送转换时间应 $\leq 500\mu s$ 。

10.2.5 发射中心频率容差

发射特征频率偏离参考频率的最大允许偏差值，发射中心频率容差的绝对值应 $\leq 20\text{ppm}$ 。

10.2.6 接收信号强度指示器

RSSI测量值用一个字节表示，表示出RF信号场强，表达范围：-120dBm~ -40dBm（信号源直接输入时），测量范围：-110dBm~ -50dBm（信号源直接输入时），误差容限 $\pm 3\text{dB}$ 。

- 1) 场强小于等于-120dBm 时，RSSI 值都为 120；
- 2) 场强大于-120dBm 且小于-40dBm 时，RSSI 值为场强值的绝对值，例如场强-96dBm，RSSI 值为96；
- 3) 场强大于等于-40dBm 时，RSSI 值都为 40。

10.2.7 空闲信道评估

空闲信道评估用来指示当前信号是否处于空闲状态，空闲信道评估在射频收发机处于接收状态下进行，RSSI的测量时间在“10.2.1 空中码元速率”定义的速率下应该在300us以上，25kHz带宽RSSI判断的门限值默认定义为-96dBm；50kHz带宽RSSI判断的门限值默认定义为-93dBm；100kHz带宽RSSI判断的门限值默认定义为-90dBm；200kHz带宽RSSI判断的门限值默认定义为-87dBm。

检测模式：

模式1：无线能量检测（ED），在一个信道上检测空中的任何无线能量超过RSSI门限，则当前检测的信道为忙。

10.3 物理层协议帧格式

本条规定PPDU包的格式。

位于PPDU数据结构最左边的域应最先被发射或接收。对所有具有多个字节的域，应最先发射或接收最低比特位的字节；除FCS外，对每个字节，应最先发射或接收最低的比特位，而对于FCS的每个字节，应最先发射或接收最高的比特位。当物理层和MAC层之间传送数据域时，也应遵循这样的顺序。每个PPDU包由下述基本单元所组成：

- 1) SHR单元，它使接收设备能够同步和锁定比特流；
- 2) PHR单元，它包含帧长，信道组号、产品识别码及帧头校验码；
- 3) PSDU单元，可变长度载荷单元，它携带 MAC 层的信息；
- 4) FCS单元，帧校验序列，校验范围 PHR+PSDU。

10.3.1 一般数据包的格式

物理层协议数据单元的组织结构应下表所示：

表 53 物理层协议数据单元

字节数 80	2	1	1	1	1	变长	2
前导码	帧分隔符	帧长	信道索引	标准识别号	帧头校验码	物理层载荷	帧校验序列
SHR	PHR			PSDU		FCS	

前导码域: 前导码被收发信机用来对接收信号进行码片和码元同步由80个字节组成, 其顺序为010101,,,01B, 即与帧分隔符相邻的比特为“1”。

帧分隔符域: 帧分隔符域用来指示SHR的结束和PHR数据的开始。SFD的值指定为: 低字节为0x98, 高字节为0xF3。

帧长域: 帧长域占1字节, 表示长度为PSDU中包含的字节数加上3(即加上信道索引、标准识别号、帧头校验码所占的3个字节)。

信道索引域: 信道索引为发送设备指定发送数据的无线信道号, 信道索引表示公式为: 信道索引=信道组号×2+信道号。

标准识别号: 帧标准识别号为1字节长度, 范围为1~99的BCD码。

表 54 标准识别号

标准识别号值	描述
01	当前规范标准识别号
02,,99	保 留

头校验码: 帧头校验码占1字节长度, 为物理层数据包PHR前面三个字节(帧长、信道号、标准识别号)异或运算结果。

物理层载荷域: 物理层载荷域具有可变的长度, 负责传送物理层数据包里的数据。

帧校验序列域: FCS域的长度是16比特, 它包含了一个16比特CRC-ITU的序列。FCS域的数值是通过对PHR和物理层载荷计算得到的。

CRC-ITU产生多项式: $G(X) = 1 + X^5 + X^{12} + X^{16}$

11 物理层服务

物理层包含一个管理实体, 称为PLME。这个实体提供一个物理管理的服务接口, 通过它可以调用物理层管理功能。PLME也负责维护一个物理可管理对象的数据库。这个数据库被称做物理层个域网信息库(PIB)。物理层还包括一个数据处理实体PHY layer, 数据处理实体提供物理层数据服务接口(PD-SAP)对上层数据的传输处理提供支持。PLME和PHY layer都是调用下层的无线数据服务接口(RF-SAP)。

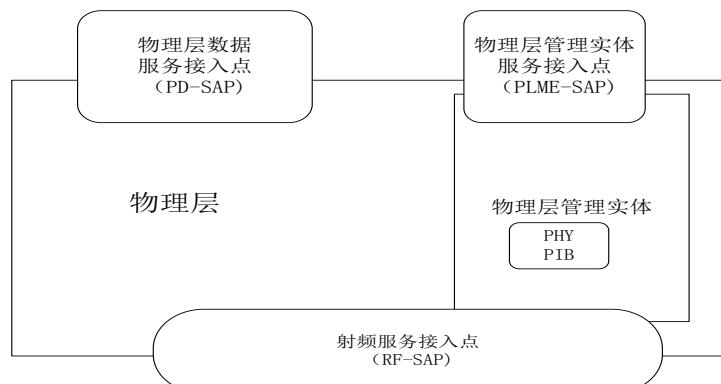


图 11 PHY 参考模型

11.1 物理层常量

表129列出了物理层的常量定义。

表 55 物理层常量

常量名	描述	值

aMaxPHYPayloadSize	物理层能够接受的 PSDU 的最大长度字节数	253
aTurnaroundTime	收发切换时间	500us

11.2 物理层属性库

物理层属性库组合了设备的物理层需要管理的属性。表130列出了物理层属性库中大部分的属性。

表 56 物理层属性库的属性

属性名	类型	字节数	范围	描述	缺省值
phyCurrentBW	整型	1	0-3	正常发送和接收时的当前信号带宽	0
phyCurrentChannel	整型	1	0-1	正常发送和接收时的当前射频工作信道编号	-
phyCurrentChannelGroup	整型	1	1-32	正常发送和接收时的当前射频工作信道组号	1
phyChannelsSupported				射频信道支持列表	-
phyCCAMode	整型	1	1	CCA 评估模式	1

附录 A (资料性附录) 物理层帧生成示例

A.1 概述

本条描述一个从MAC层传递下来的MPDU生成物理层PPDU的实例。

假设PSDU的包长为56个字节,16进制表示为(本附录比特序列均以字节为单位的16进制表示):61 CD 61 7C C8 66 12 00 00 00 00 19 A9 00 01 21 2B BC 83 12 00 00 00 00 19 A9 00 01 21 2B F2 21 FC FF 66 12 00 00 00 00 68 83 12 00 00 00 68 11 04 33 33 34 33 47 16.

物理层数据生成包含以下几个步骤：

- a) 生成 SHR比特序列。
 - b) 生成PHR比特序列。
 - c) 生成FCS比特。
 - d) 组帧形成PPDU。
 - e) 对PHR-PSDU-FCS进行白化。

A.2 生成 SHR

A.3 生成 PHR

帧长域为1个字节,它表示PSDU的56个字节数以及信道索引、标准识别号、帧头校验码的3个字节,共59个字节,表示为3B。信道索引号=信道组号×2+信道号,假设取信道组号为1,信道号为0,则信道索引号表示为02。标准识别号为1,表示为01。帧头校验码是PHR前三个字节的异或运算即:(0x3B^0x02)^0x01 = 0x39^0x01 = 0x38;则PHR为: 3B 02 01 38

1	1	1	1
帧长	信道索引	标准识别号	帧头校验码
PHR			

A.4 生成 FCS

生成的 FCS 比特序列为: 1C B5

A.5 组帧

A.6 自化