[第九章 数据链接播放器规格 3](#_Toc4286)

[9.1. 介绍 3](#_Toc8023)

[9.2. 约定 3](#_Toc15764)

[9.3. MAC子层规范 3](#_Toc10742)

[9.3.1. 频道访问 3](#_Toc24562)

[9.3.2. MAC确认 3](#_Toc6979)

[9.3.3. MAC子层服务规范 3](#_Toc9587)

[9.3.4. MAC帧格式 3](#_Toc5802)

[9.3.5. MAC命令框架 3](#_Toc1826)

[9.3.6. MAC常数和PIB属性 7](#_Toc20241)

[9.3.7. MAC功能描述 8](#_Toc14896)

[9.3.8. MAC安全套件规格 9](#_Toc17218)

[9.3.10. MAC附件 9](#_Toc20270)

[9.3.11. 修改的MAC子层数据原语 9](#_Toc25266)

[9.4. IPv6适配子层规范 9](#_Toc15428)

[9.4.1. 信息基础属性 9](#_Toc1376)

[9.4.2. 数据帧格式，数据报传输和寻址 9](#_Toc12803)

[9.4.3. 网格路由 9](#_Toc14313)

[9.4.4. 调试新设备 9](#_Toc22453)

[9.4.5. 嗅探模式（可选模式） 10](#_Toc9479)

[9.4.6. 适应子层服务原语 10](#_Toc13156)

[9.5. 功能说明 13](#_Toc28674)

[9.5.1. 网络形成 13](#_Toc25330)

[第十章 安全 13](#_Toc12276)

[10.1. 访问控制和认证 13](#_Toc14059)

[10.2. 保密和诚信 13](#_Toc31170)

[10.3. 反重播和DoS预防 13](#_Toc1278)

[10.4. 认证和密钥分发协议 - IETF RFC 3748中的选择 13](#_Toc5938)

[10.5. EAP方法 13](#_Toc30538)

[10.5.1. EAP-PSK概述 13](#_Toc15258)

[10.5.2. 组密钥分发 13](#_Toc1745)

[10.5.3. 配置扩展格式 13](#_Toc19177)

[10.5.4. 同行程序 13](#_Toc727)

[10.5.5. 服务器端程序 13](#_Toc11807)

[附件A 协议实现一致性声明 13](#_Toc21500)

[1.1. 概观 13](#_Toc18551)

[1.2. PICS形式表 13](#_Toc24904)

[1.2.1. 功能设备类型（来自IEEE 802.15.4的D.7.1） 13](#_Toc31423)

[1.2.2. PHY功能（来自IEEE 802.15.4的D.7.2.1节） 13](#_Toc28299)

[1.2.3. PHY分组（来自IEEE 802.15.4的D.7.2.2） 13](#_Toc20161)

[1.2.4. 射频（IEEE 802.15.4的D.7.2.3条） 13](#_Toc18106)

[1.2.5. MAC子层功能（来自IEEE 802.15.4的D.7.3.1） 13](#_Toc29356)

[1.2.6. MAC帧（IEEE 802.15.4的D.7.3.2条款） 13](#_Toc23087)

[附件B 路由成本 13](#_Toc11467)

[2.1. 复合度量法 13](#_Toc30713)

[附件C 消息的设备启动顺序 13](#_Toc29213)

[附件D 轻量级点播Ad hoc距离矢量路由协议 - 下一代（LOADng） 13](#_Toc17053)

[4.1. 介绍 13](#_Toc24199)

[4.2. 术语和符号 13](#_Toc17403)

[4.3. 适用性声明 13](#_Toc950)

[4.4. 协议概述和功能 13](#_Toc24881)

[4.5. 协议参数 13](#_Toc27627)

[4.6. 协议消息内容 13](#_Toc13997)

[4.7. 信息库 13](#_Toc22596)

[4.8. LOADng路由器序列号 13](#_Toc26071)

[4.9. 路线维护 14](#_Toc15942)

[4.10. 单向链路处理 14](#_Toc26867)

[4.11. RREQ和RREP消息的通用规则 14](#_Toc26286)

[4.12. 路由请求（RREQ） 14](#_Toc26411)

[4.13. 路由回复（RREP） 14](#_Toc24532)

[4.14. 路由错误（RERR） 14](#_Toc4585)

[4.15. 路由回复确认（RREP\_ACK） 14](#_Toc18473)

[4.16. 度量 14](#_Toc7647)

[4.17. 安全考虑 14](#_Toc22928)

[附件E 6LoWPAN调试 14](#_Toc15728)

[5.1. 介绍 14](#_Toc9386)

[5.2. 术语 14](#_Toc28509)

[5.3. 引导 14](#_Toc9033)

[5.4. IANA考虑 14](#_Toc19430)

[5.5. 安全考虑 14](#_Toc17313)

[附件F 对日本的区域要求 14](#_Toc2990)

[6.1. 概观 14](#_Toc5348)

[6.2. ARIB带规划的物理层规格 14](#_Toc8859)

[6.3. 数据链路层规范 14](#_Toc12369)

[附录I 编码和解码的例子 14](#_Toc6414)

[I.1. 数据编码示例 14](#_Toc17897)

[I.2. 数据解码示例 14](#_Toc29714)

[附录II 加密构建块的测试向量 14](#_Toc19864)

[II.1. 介绍 14](#_Toc20086)

[参考书目 14](#_Toc14137)

# 

# 数据链接播放器规格

* 1. **介绍**
  2. **约定**
  3. **MAC子层规范**
     1. **频道访问**
        1. **概观**
        2. **帧间间距**
        3. **CSMA-CA**
        4. **优先级**
        5. **ARQ**
        6. **分段和重组概述**
     2. **MAC确认**
        1. **MAC生成**
        2. **ACK生成**
        3. **NACK生成**
        4. **ACK和NACK的有效性**
        5. **分段重传**
        6. **后续段碰撞避免**
     3. **MAC子层服务规范**
        1. **选项**
        2. **扩展**
     4. **MAC帧格式**
        1. **选项**
        2. **扩展**
     5. **MAC命令框架**
        1. **选项**

[IEEE 802.15.4]第7.3节中描述的MAC帧格式适用于选择

如表9-6所示。

* + - 1. **扩展**
         1. **支持MAC命令架构**

本建议书支持表9-7中描述的MAC命令架构。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 命令架构标识符 | 命令名称 | 章节 |
| 0x00-0x06 | 保留值 | - |
| 0x07 | 信标请求 | 见第7.3.7节 |
| 0x08-0x09 | 保留值 | - |
| 0x0A | 色调映射响应 | 见第9.3.5.2.2节 |
| 0x0B-0xFF | 保留值 | - |

表 9-7 MAC命令帧

* + - * 1. **色调映射响应**

如果接收到(分组段控制字段)的 色调映射请求（TMR）位 被置位，则MAC子层 产生 色调映射响应命令。 这意味着 分组发起者 从 目的地设备 请求 色调映射信息。目标设备 必须估计 (两点之间的这个特定的) 通信链路，并选择最优的物理层参数。 色调映射响应 包含 使用的色调 和 分配（色调映射）的数量，调制模式 和 传输功率控制参数。 色调映射响应命令架构 的格式如表9-8所示。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 字节：  （见第7.2.2.4条） | 1 | 7 | 12 | 2 |
| MHR域 | 命令架构标识符（见表9-9） | CENELEC频段的色调映射响应有效载荷  （见表9-9） | FCC频段的色调映射响应有效载荷  （见表9-9） | MFR字段 |

表 9-8 色调映射响应格式

对于CENELEC频段的情况，色调映射响应 消息参数 如表9-9所示FCC频段的情况，表9-10。（TM列表见表7-13）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 域 | 字节 | 位号 | 位数 | 描述 |
| TTXRES | 0 | 7 | 1 | 传输增益分辨率对应于一个增益步长  0: 6 dB  1: 3 dB |
| TXGAIN | 0 | 6-3 | 4 | 所需的发射机增益指定要求多少增益步长。 |
| MOD | 0 | 2-1 | 2 | 调制类型：  0 - 鲁棒模式  1 - DBPSK或BPSK  2 - DQPSK或QPSK  3-D8PSK或8-PSK |
| 有效负载调制方案（Payload modulation scheme ） | 0 | 0 | 1 | 0：差分  1：相干  第7.16条规定的相干方案是可选的。 |
| 保留值 | 1 | 7-6 | 2 | 应设置为零 |
| TM | 1 | 5-0 | 6 | 色调图[5：0]  在CENELEC-B频段中，TM [5：3]由ITU-T保留，并应设置为零 |
| LQI | 2 | 7-0 | 8 | 链接质量指标 |
| TXCOEF[3:0] | 3 | 7-4 | 4 | 指定由TM [0]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| TXCOEF[7:4] | 3 | 3-0 | 4 | 指定由TM [1]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| TXCOEF[11:8] | 4 | 7-4 | 4 | 指定由TM [2]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| TXCOEF[15:12] | 4 | 3-0 | 4 | 指定由TM [3]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| TXCOEF[19:16] | 5 | 7-4 | 4 | 指定由TM [4]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| TXCOEF[23:20] | 5 | 3-0 | 4 | 指定由TM [5]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| 保留值 | 6 | 7-0 | 8 | 应设置为零 |

表 9-9 CENELEC频段计划的色调映射响应消息说明

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 域 | 字节 | 位号 | 位数 | 定义 |
| TTXRES | 0 | 7 | 1 | 传输增益分辨率对应于一个增益步长  0: 6 dB  1: 3 dB |
| TXGAIN | 0 | 6-3 | 4 | 所需的发射机增益指定要求多少增益步长。 |
| MOD | 0 | 2-0 | 3 | 调制类型：  0 - 鲁棒模式  1 - DBPSK或BPSK  2 - DQPSK或QPSK  3 - D8PSK或8-PSK  4 - 16-QAM  5-7 - :保留值  注 - 16-QAM调制是可选的，只能在相干调制方案适用时使用。 |
| TM[0:7] | 1 | 7-0 | 8 | 色调映射[0:7] |
| TM[8:15] | 2 | 7-0 | 8 | 色调映射[8:15] |
| TM[16:23] | 3 | 7-0 | 8 | 色调映射[16:23] |
| LQI | 4 | 7-0 | 8 | 链接质量指标 |
| TXCOEF[1:0] | 5 | 7-6 | 2 | 指定由TM [0]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| TXCOEF[3:2] | 5 | 5-4 | 2 | 指定由TM [1]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| TXCOEF[5:4] | 5 | 3-2 | 2 | 指定由TM [2]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| TXCOEF[7:6] | 5 | 1-0 | 2 | 指定由TM [3]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| TXCOEF[47:46] | 10 | 1-0 | 2 | 指定由TM [23]表示的色调请求的增益步数的数量（可选） |
| 有效负载调制方案 | 11 | 7 | 1 | 0：差分  1：相干  第7.16条规定的相干方案是可选的。 |
| 保留值 | 11 | 6-0 | 7 | 在发射机处设置为零，接收机忽略 |

表9-10 FCC频段计划的色调映射响应消息描述

MOD：指定所需调制类型的参数。 接收机计算（其从发射机接收的）色调映射请求消息的 信噪比，并且确定其希望发射机使用的DBPSK，BPSK，DQPSK，QPSK，D8PSK，8-PSK，16-QAM调制或鲁棒模式 当发送下一个数据帧时。 表9-11和9-12列出了允许的位值及其对应的调制类型。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| MOD值 | 解释 | |
|  | 差分调制方案 | 相干调制方案 |
| 00 | 鲁棒模式 | 鲁棒模式 |
| 01 | DBPSK调制 | BPSK调制 |
| 10 | DQPSK调制 | QPSK调制 |
| 11 | D8PSK调制 | 8-PSK调制 |

表 9-11 CENELEC频段的MOD字段

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| MOD值 | 解释 | |
|  | 差分调制方案 | 相干调制方案 |
| 000 | 鲁棒模式 | 鲁棒模式 |
| 001 | DBPSK调制 | BPSK调制 |
| 010 | DQPSK调制 | QPSK调制 |
| 011 | D8PSK调制 | 8-PSK调制 |
| 100 | 保留值 | 16-QAM调制 |
| 101-111 | 保留值 | 保留值 |

表 9-12 FCC频段的MOD字段

简写说明：

**TXRES：**

指定与一个(增益步骤相对应的)发射增益分辨率的参数。

**TXGAIN：**

向发射机指定 其(应用于其发射信号的)总增益量的参数。 该参数中的值应指定所需增益步骤的总数。 TXRES给出一个增益步长值。 接收机计算接收的信号电平，并将其与VTARGET（预定义的期望接收电平）进行比较。 两个值之间的差值被映射到4比特值，该值指定发射机应用于下一个要传输的帧的增益或减小量。 最高有效位中的“0”表示正增益值，因此发射机增益增加，“1”表示负增益值，因此发射机增益减小。 TXGAIN = 0的值通知发送器使用与前一帧相同的增益值（默认值）。

**TM**

一个指定色调图的参数。 接收机估计信道每一个色调的质量，并将每个子带（CENELEC频段的每个子带的6个色调，FCC频带规划的3个色调）映射到值为0的一位值指示给远程 发送方应在相应的子载波上发送伪数据，而“1”值表示有效数据应在相应副载波上传输。

**TXCOEF(可选)**

一个参数，指定由色调图的一个有效位表示的每组色调的发射器增益。 接收机测量信道的频率依赖衰减，并且可以要求发射机通过增加经历衰减的频谱的部分上的发射功率来补偿该衰减，以便均衡接收的信号。 每组色调映射到CENELEC-A的4位值或FCC的2位值，其中最高有效位中的“0”表示正增益值，因此发射机增益按比例增加 通过TXRES请求该部分，“1”表示负增益值，因此对于该部分请求由TXRES缩放的发射器增益的减小。 实现此功能是可选的，它适用于频率选择性通道。 如果未实现此功能，则应使用零值。

**LQI：**

LQI值在物理层中计算，并通过ppduLinkQuality参数通过PD-DATA.indication原语传递给MAC，请参见表7-27。

**Payload modulation scheme：**

指定用于物理层有效载荷的调制方案的参数。 值为0表示远程发送器应使用差分方案，而“1”值表示应使用相干方案。 如果接收机没有实现可选的相干方案，该字段将被忽略，差分调制将被远程设备使用。

在接收到色调映射响应命令帧时，MAC子层用相应的色调图和该设备的通信参数来更新邻居表。如果该设备的表中没有条目已经存在，则可以基于实现相关的限制来添加新条目。 邻居表在表9-20中定义。

**应采用以下步骤执行自适应色调映射功能：**

1. 当 站 准备传输数据时，它将 首先 检查 邻居表 是否已经存在(与目标设备地址相关的)记录。 如果记录不存在或已过期（TMRValidTime计数器为“0”），则MAC子层设置输出(分组段控制字段的) 色调映射请求位 并请求新的色调映射信息。 在这种情况下，MAC数据应以鲁棒模式发送（注意除了数据帧和色调映射响应之外的MAC帧不应设置 色调映射请求位，并且使用(色调映射响应帧中的)色调映射请求位 是可选的）
2. 如果存在邻居表记录，并且色调映射参数仍然有效（TMRValidTime大于“0”），则MAC子层不需要发送色调映射请求消息。 在这种情况下，MAC子层使用来自邻居表的信息来适当地配置发送模式中的物理TX，并构造出帧的帧控制报头（FCH）。
3. 当目的站接收到数据帧时，它将检查段控制字段中的色调映射请求位。 如果该位被设置，目标站将测量通道的载波质量，构建并发送一个色调映射响应消息回到发起者站。 如果没有设置色调映射请求位，目标站不应发送色调映射响应消息。 色调映射响应消息应始终使用默认鲁棒调制传输。 目标设备使用来自帧控制头的参数来解码MAC数据字段。
4. 在从源站接收到色调映射请求消息之后，目的站将尝试尽快发送色调映射响应消息。
5. 如果源站接收到色调映射响应消息，它将用新的色调映射，调制和TX增益参数 更新 (与目标地址相关的)邻居表记录。 如果记录不存在，MAC子层将创建一个新的记录。 TMRValidTime应设置为macTMRTTL（在9.3.6.2.2中定义）。 在接收到色调映射响应消息之后，设备将开始使用更新的邻居表信息来进行到相关联目的地的所有传输，直到TMRValidTime字段达到值“0”。
6. 如果源站在向特定目的地发送色调映射请求消息之后没有接收到色调映射响应消息，则将其要发送的下一MAC数据帧的段控制中的色调映射请求位设置为相同 目的地。 换句话说，MAC子层将继续向同一目的地发送色调映射请求消息。
7. 如果没有数据发送到该设备，则MAC子层不应该向目标设备发送色调映射请求消息。

色调映射请求/响应消息序列图如9.3.9.2.4所示。

* + 1. **MAC常数和PIB属性**
       1. **选项**

[IEEE 802.15.4]第7.4节中描述的MAC帧格式适用于表9-13中指定的选择。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 章节 | 标题和备注/修改 | 声明 |
| 7.4 | MAC常数和PIB属性 | N |
| 7.4.1 | MAC常数  ——aExtendedAddress参数应等于EUI-48地址的设备映射到EUI-64地址。  ——本建议书将aMaxMACPayloadSize参数固定为400字节。  ——aUnitBackoffPeriod参数应设置为aSlotTime。  ——本建议书未使用IEEE802.15.4中未列出的MAC常数。  ——附加的MAC子层常数在第9.3.6.2.1节中定义。 | S, E |
| 7.4.2 | MAC PIB属性  本建议书使用的IEEE 802.15.4 MAC PIB属性如表9-18所示。 表9-18中未列出的IEEE 802.15.4 MAC PIB属性未被本建议书使用。  附加的MIB属性在9.3.6.2.2中定义 | S, E |

表9-13 [IEEE 802.15.4]第7.4节的选择

* + - 1. **扩展**
         1. **附加MAC子层常数**

表9-14定义了本建议书添加的MAC子层常量列表。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 常数 | 描述 | 值 | |
| aPreamSymbolTime | 定义物理层上一个前导码符号的持续时间（以微秒为单位）。 | CENELEC | 640 |
| FCC | 213 |
| aSymbolTime | 定义物理层上一个数据符号的持续时间（以微秒为单位）。 | CENELEC | 695 |
| FCC | 232 |
| aSlotTime | 竞争时隙的持续时间（在数据符号中）。 | 2 | |
| aCIFS | 定义帧间空间竞争（数据符号数）。 它在第9.3.1节中定义。 | CENELEC | 8 |
| FCC | 10 |
| aRIFS | 定义响应帧间间隔（数据符号数）。 它在第9.3.1节中定义。 | CENELEC | 8 |
| FCC | 10 |
| aEIFS | 定义扩展帧间间隔的持续时间。 它在第9.3.1节中定义。 | aSymbolTime × (aMaxFrameSize + aRIFS + aCIFS) + aAckTime | |
| aMinFrameSize | 定义数据符号中的最小MAC帧大小。 | CENELEC | 4 |
| FCC | 1 |
| aMaxFrameSize | 定义数据符号中的最大MAC帧大小。 | CENELEC | 252 |
| FCC | 511 |
| aAckTime | 定义确认的持续时间：  NPRE - 第7.3.1节定义前导符号数。  NFCH - 第7.3.1节定义了FCH符号数。 | NPRE × aPremSymbolTime + NFCH × aSymbolTime | |

表9-14 [IEEE 802.15.4]第7.4.1节的附加MAC子层常数

* + - * 1. **附加的MAC子层属性**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 属性 | 标识符 | 类型 | 范围 | 描述 | 默认值 | |
| macHighPriorityWindowSize | 0x0100 | 无符号整型 | [1, 2^3-1] | 高优先级竞争窗口大小的插槽数。 默认值为7×aSlotTime | 7 | |
| macTxDataPacketCount | 0x0101 | 无符号整型 | [0, 2^32-1] | 成功发送单播MSDU的统计计数器 | 0 | |
| macRxDataPacketCount | 0x0102 | 无符号整型 | [0, 2^32-1] | 成功接收单播MSDU的统计计数器 | 0 | |
| macTxCmdPacketCount | 0x0103 | 无符号整型 | [0, 2^32-1] | 成功发送命令数据包的统计计数器 | 0 | |
| macRxCmdPacketCount | 0x0104 | 无符号整型 | [0, 2^32-1] | 成功接收命令数据包的统计计数器 | 0 | |
| macCSMAFailCount | 0x0105 | 无符号整型 | [0, 2^32-1] | 计算CSMA退款达到macMaxCSMABac koffs的次数 | 0 | |
| macCSMAnoACKCount | 0x0106 | 无符号整型 | [0, 2^32-1] | 计算在发送单播数据帧时不接收到ACK的次数（ACK的丢失归因于冲突） | 0 | |
| macRxDataBroadcastCount | 0x0107 | 无符号整型 | [0, 2^32-1] | 成功接收广播帧的统计计数器 | 0 | |
| macTxDataBroadcastCount | 0x0108 | 无符号整型 | [0, 2^32-1] | 统计计数器发送的广播帧数 | 0 | |
| macBadCRCCount | 0x0109 | 无符号整型 | [0, 2^32-1] | 统计计数器收到的CRC数量差 | 0 | |
| macNeighbourTable | 0x010A | 集合 | --- | 9.3.7.2中定义的邻居表 | Empty | |
| macFreqNotching | 0x010B | 布尔类型 | FALSE  TRUE | S-FSK 63和74 kHz频率切口。 参见[ITU-T G.9901]第B.3条）。 | FALSE | |
| macCSMAFairnessLimit | 0x010C | 无符号整型 | (2×(macMaxBE-macMinBE))-255 | 频道接入公平限制指定退出次数尝试次数，退避指数设置为minBE | 25 | |
| macTMRTTL | 0x010D | 无符号整型 | [0, 2^8-1] | 色调映射参数的最长录像时间以分钟为单位 | 2 | |
| macNeighbourTableEntryTTL | 0x010E | 无符号整型 | [0, 2^8-1] | 在几分钟内，邻居表中的条目的最长生存时间 | 255 | |
| macRCCoord | 0x010F | 无符号整型 | [0, 2^16-1] | 协调器的路由成本用作信标有效载荷作为RC\_COORD | 65535 | |
| macToneMask | 0x0110 | 72比特 | [0, 2^72-1]] | 定义在符号形成期间使用的色调蒙版。 | CENELE C-A | 0x000000000FFFFFFFFF |
| FCC  怀疑少一个F | 0xFFFFFFFFFFFFFFFFF |
| macBeaconRandomizationWindo wLength | 0x0111 | 无符号整型 | [1, 2^8-2]] | 信标随机化的持续时间（秒）。 | 12 | |
| macA | 0x0112 | 无符号整型 | [3, 20] | 该参数控制自适应CW线性下降 | 8 | |
| macK | 0x0113 | 无符号整型 | [1, macCSMA FairnessLi mit] | 频道访问公平限制的速率适配因子 | 5 | |
| macMinCWAttempts | 0x0114 | 无符号整型 | [0, 2^8-1] | 使用最小CW连续尝试次数 | 10 | |
| macCENELECLegacyMode | 0x0115 | 无符号整型 | [0, 2^8-1] | 此只读属性指示节点的能力。 见表9- 16。 | 1 | |
| macFCCLegacyMode | 0x0116 | 无符号整型 | [0, 2^8-1] | 此只读属性指示设备的功能。 见表9-17。 | 1 | |

表 9-15 [IEEE 802.15.4]第7.4.2节的附加属性0

|  |  |
| --- | --- |
| macCENELEC LegacyMode值 | 描述 |
| 0 | 使用以下配置：  - 当I（i，j）= 0时，基本交错  - 交换器参数ni和nj不被交换 |
| 1 | 使用以下配置：  - 全块交错  - 当I（i，j）= 0时，交换器参数ni和nj被交换 |
| 2-225 | 保留值 |

表9-16 macCENELECLegacyMode值和描述

|  |  |
| --- | --- |
| macFCCLegacyMode值 | 描述 |
| 0 | 使用以下配置：  - 差分FCH调制  - 基本交错  - 当I（i，j）= 0时，交换器参数ni和nj不被交换  - 单RS块 |
| 1 | 使用以下配置：  - 相干FCH调制  - 全块交错  - 当I（i，j）= 0时，交换器参数ni和nj被交换  - 两个RS块 |
| 2-225 | 保留值 |

表 9-17 macFCCLegacyMode值和描述

* + - * 1. **MAC子层属性及其相关ID**

表9-18表示本建议书使用的现有IEEE 802.15.4 MAC子层属性。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 属性 | 识别码 | 类型 | 范围 | 描述 | 默认值 |
| macAckWaitDuration | 0x0040 | Integer | 0x0-0xFFFF | 确认时间（以微秒为单位） | aSymbolTime × (aRIFS + aCIFS)+ aAckTime |
| macBSN | 0x0049 | Integer | 0x0-0xFF | 信标帧序列号 | 随机生成 |
| macDSN | 0x004C | Integer | 0x0-0xFF | 数据帧序列号 | 随机生成 |
| macMaxBE | 0x0047 | Integer | 0-20 | 后退指数的最大值。 它应该总是大于macMinBE | 8 |
| macMaxCSMABackof fs | 0x004E | Integer | 0x0-0xFF | 最大回退次数 | 50 |
| macMaxFrameRetries | 0x0059 | Integer | 0-10 | 最大重传次数 | 5 |
| macMinBE | 0x004F | Integer | 0-20 | 退货指数的最小值 | 3 |
| macPanId | 0x0050 | Integer | 0x0-0xFFFF | PAN ID | 0xFFFF |
| macSecurityEnabled | 0x005D | Boolean | TRUE-FALSE | 安全启用 | TRUE |
| macShortAddress | 0x0053 | Integer | 0x0-0xFFFF | 设备短地址 | 0XFFFF |
| macPromiscuousMode | 0x0051 | Boolean | - | 混杂模式启用 | FALSE |
| macTimeStampSuppor ted | 0x005C | Boolean | - | MAC帧时间戳支持启用 | TRUE |
| macKeyTable | 0x0071 | Set | - | 该属性保存MAC层加密所需的GMK密钥。 该属性可以保存两个16字节的密钥。 行索引对应于密钥标识符值。 出于安全考虑，键入条目不能被读取，只能写入或删除。 | Empty |
| macFrameCounter | 0x0077 | Integer | 0x00000000 – 0xFFFFFFFF |  | 0x00000000 |

表9-18 MAC子层属性及其相关ID

* + 1. **MAC功能描述**
       1. **选项**

[IEEE 802.15.4]第7.5节中描述的MAC功能描述适用于表9-19中指定的选择。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 章节 | 标题和备注/修改 | 声明 |
|  |  | S |
|  |  | E |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  | E |
|  |  | E |
|  |  | N |
|  |  | S |
|  |  |  |
|  |  | S |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  | N |
|  |  | N |
|  |  |  |
|  |  |  |
| 7.5.2.3.4 |  | S |
| 7.5.2.4 |  | S, E |
| 7.5.2.5 |  | E |
| 7.5.3 |  | N |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
| 7.5.4.3 |  |  |
|  |  |  |
|  |  | N |
|  |  | N |
|  |  | N |
|  |  |  |
|  |  | N |
|  |  | E |
|  |  | E |
|  |  | N |
|  |  | N |
|  |  | N |
|  |  |  |
|  |  | N |
|  |  | S |
|  |  | S |
|  |  | S |
|  |  |  |
|  |  | E |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  | N |
|  |  | N |
|  |  |  |
|  |  | S |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

表 9-19 [IEEE 802.15.4]第7.5节的选择

* + - 1. **扩展**

每个设备都应该维护一个“邻居表”，其中包含有关设备POS中所有设备的信息。 类似于[IEEE 802.15.4]，ITU-T G.9903设备的POS是ITU-T G.9903分组传输的接收范围。 每当从相邻设备接收到任何帧并且每次接收到色调映射响应命令（根据[IEEE 802.15.4] 7.5.6.2进行过滤）时，该表被实现。 该表可以通过适配，MAC子层和物理层访问。 此表的每个条目都包含表9-20中列出的字段：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 域名 | 空间（bit） | 描述 |
| 短地址 | 16 | 该条目所指的邻居的MAC短地址。 |
| 有效负载调制方案 | 1 | 有效负载调制方案在发送给该邻居时使用。  0：差分  1：相干  相干方案（见第7.16节）是可选的。 |
| 色调映射 | 6 | 发送到该邻居时要使用的色调图。 |
| 调制类型 | 2 | 发送给该邻居时使用的调制类型。  0：鲁棒模式  1：DBPSK或BPSK  2：DQPSK或QPSK  3：D8PSK或8-PSK |
| 传输增益 | 4 | 当发送给该邻居时使用的发射机增益。 |
| 传输资源 | 1 | 发射机增益对应于一个增益步长。  0：6 dB  1：3 dB |
| TXCOEF[3:0] | 4 | 由TM[0]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[7:4] | 4 | 由TM[1]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[ | 4 | 由TM[2]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[ | 4 | 由TM[3]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[ | 4 | 由TM[4]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[ | 4 | 由TM[5]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| LQI | 8 | 连接到邻居的链路质量指标（反向LQI） |
| 相位差 | 3 | 本地节点的电源相位与相邻节点之间的60度的倍数的相位差（见第7.17.2.4节和第8.9节） |
| TMR有效时间 | 8 | 色调映射响应参数被认为有效之前的剩余时间（以分钟为单位）。  - 创建条目时，该值应设置为默认值。  - 当达到0时，如果数据发送到该设备，则可以发出色调映射请求。 成功收到色调映射响应后，该值设置为macTMRTTL（见表9-15）。 |
| 邻居有效时间 | 8 | 剩余时间在几分钟内，直到该条目被视为有效。 每次创建一个条目或从该邻居收到一个帧（数据或ACK）时，它被设置为macNeighbourTableEntryTTL。 当它达到零时，该条目在表中不再有效，可能会被删除。 |

表9-20 CENELEC频段计划的邻居表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 域名 | 空间（bit） | 描述 |
| 短地址 | 16 | 该条目所指的邻居的MAC短地址。 |
| 有效负载调制方案 | 1 | 有效负载调制方案在发送给该邻居时使用。  0：差分  1：相干  相干方案（见第7.16节）是可选的。 |
| 色调映射 | 24 | 发送到该邻居时要使用的色调图。 |
| 调制类型 | 3 | 发送给该邻居时使用的调制类型。  0：鲁棒模式  1：DBPSK或BPSK  2：DQPSK或QPSK  3：D8PSK或8-PSK  4：16-QAM  5-7：保留值  注 - 16-QAM调制是可选的，只能在相干调制方案适用时使用。 |
| 传输增益 | 4 | 当发送给该邻居时使用的发射机增益。 |
| 传输资源 | 1 | 发射机增益对应于一个增益步长。  0：6 dB  1：3 dB |
| TXCOEF[1:0] | 2 | 由TM[0]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[3:2] | 2 | 由TM[1]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[5:4] | 2 | 由TM[2]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[7:6] | 2 | 由TM[3]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[9:8] | 2 | 由TM[4]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[11:10] | 2 | 由TM[5]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[13:12] | 2 | 由TM[6]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[15:14] | 2 | 由TM[7]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[17:16] | 2 | 由TM[8]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[19:18] | 2 | 由TM[9]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[21:20] | 2 | 由TM[10]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[23:22] | 2 | 由TM[11]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[25:24] | 2 | 由TM[12]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[27:26] | 2 | 由TM[13]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[29:28] | 2 | 由TM[14]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[31:30] | 2 | 由TM[15]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[33:32] | 2 | 由TM[16]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[35:34] | 2 | 由TM[17]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[37:36] | 2 | 由TM[18]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[39:38] | 2 | 由TM[19]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[41:40] | 2 | 由TM[20]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[43:42] | 2 | 由TM[21]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[45:44] | 2 | 由TM[22]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| TXCOEF[47:46] | 2 | 由TM[23]表示的色调请求的增益步长数（可选的） |
| LQI | 8 | 连接到邻居的链路质量指标（反向LQI） |
| 相位差 | 3 | 本地节点的电源相位与相邻节点之间的60度的倍数的相位差（见第7.17.2.4节和第8.9节） |
| TMR有效时间 | 8 | 色调映射响应参数被认为有效之前的剩余时间（以分钟为单位）。  - 创建条目时，该值应设置为默认值。  - 当达到0时，如果数据发送到该设备，则可以发出色调映射请求。 成功收到色调映射响应后，该值设置为macTMRTTL（见表9-15）。 |
| 邻居有效时间 | 8 | 剩余时间在几分钟内，直到该条目被视为有效。 每次创建一个条目或从该邻居收到一个帧（数据或ACK）时，它被设置为macNeighbourTableEntryTTL。 当它达到零时，该条目在表中不再有效，可能会被删除。 |

表9-21 FCC频段规划的邻居表

如果设备接收到源地址字段（MAC子层头）在邻居表中不存在的帧，则它将为该设备添加一个具有以下默认值的新条目：

ModulationType = 0 (鲁棒模式)

Payload modulation scheme = 0 (差分调制方案)

ToneMap = all bits set to 1

TxGain = 0

TxCoeff = all bits set to 0

LQI = 0

TMRValidTime = 0

NeighbourValidTime= macNeighbourTableEntryTTL

邻居表在属性macNeighbourTable的信息库中可用（见第9.3.6.2.2节）。

* + 1. **MAC安全套件规格**

[IEEE 802.15.4]第7.6节中描述的安全套件规范适用于表9-22中规定的选择。

表 9-22 [IEEE 802.15.4]第7.6节的选择

* + 1. **说明MAC-PHY的消息序列图**
       1. **选项**
       2. **扩展**
    2. **MAC附件**
    3. **修改的MAC子层数据原语**
       1. **MCPS-DATA请求**

MCPS-DATA.request原语的语义如下：

MCPS-DATA.request (

SrcAddrMode, //Src地址模式

DstAddrMode, //Dst地址模式

DstPANId, //Dst PAN ID

DstAddr, //Dst地址

msduLength, //msdu长度

msdu, //MSDU

msduHandle, //msdu手柄

TxOptions, //发送选项

SecurityLevel, //安全级别

KeyIdMode, //关键id模式

KeySource, //关键来源

KeyIndex, //主要指标

QualityOfService //服务质量

)

* + - 1. **MCPS-DATA指示**
  1. **IPv6适配子层规范**
     1. **信息基础属性**
        1. **通用**

表9-27列出了适配子层的信息基（IB）属性。

表 9-27 适应子层IB属性

表9-28给出了一个符合[IETF RFC 4861]的IPv6前缀表项的例子。 IPv6前缀表在属性adpPrefixTable下的信息库中可用（请参阅表9-27）。

表 9-28 前缀表项的示例（资料性）

adpContextInformationTable是16个条目的数据集。 表9-29给出了符合[IETF RFC 6775]的每个条目的结构示例。

表 9-29 上下文信息表条目（信息）

* + - 1. **路由，广播和黑名单邻居表描述**

表9-30介绍了路由表项。 其条目由根据第9.4.3.1节定义的路由集更新（见表9-36的D.7.1）。 路由表位于adpRoutingTable属性下的信息库中（请参阅表9-27）。

表9-30 路由表条目

表9-31描述了广播日志表项。 广播日志表位于adpBroadcastLogTable属性下的信息库中（请参阅表9-27）。

表 9-31 广播日志表项

表9-32描述了列入黑名单的邻居表项。 其条目由按照9.4.3.1定义的黑名单邻居集更新（见表9-36的D.7.3）。 列入黑名单的邻居表位于adpBlacklistTable属性下的信息库中（请参见表9-27）。

表9-32 列入黑名单的邻居表项

* + 1. **数据帧格式，数据报传输和寻址**
       1. **IETF RFC 4944的选择**
       2. **IETF RFC 6282的选择**
       3. **扩展**
          1. **命令帧头**

除了[IETF RFC 4944]中规定的LoWPAN头外，本建议书还定义了一个新的命令帧头。 这用于第9.4.3节中定义的网格路由过程。

如图9-12所示，使用ESC报头类型（参见[IETF RFC 4944]的第5.1节）识别ADP子层命令帧，随后是一个指示ADP命令类型的8位调度字段。 如果6LowPAN帧中存在多个报头，则该报头应位于最后位置。

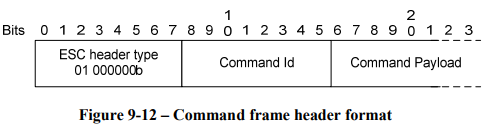


图 9-12 命令帧头格式

* + - * 1. **适应层框架的安全处理**
    1. **网格路由**
       1. **附件D的选择**

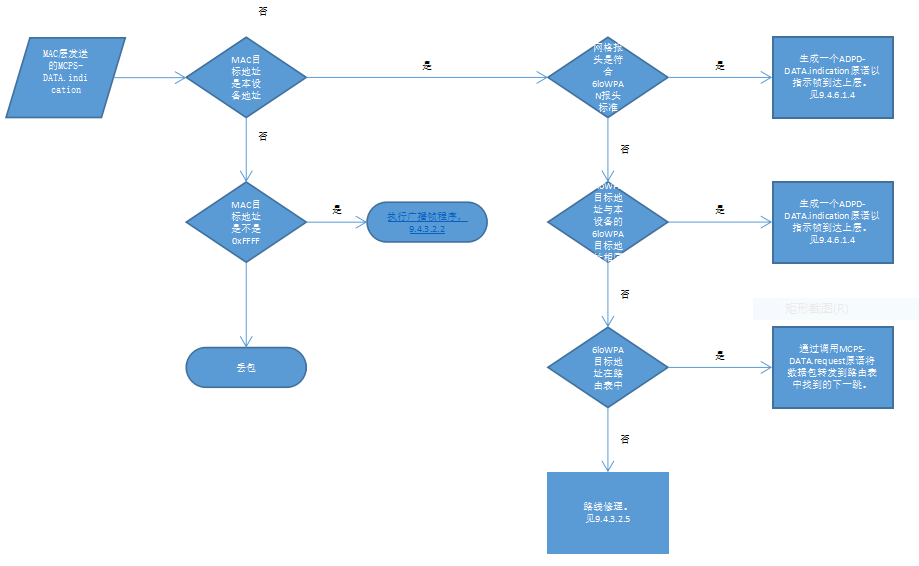
LOADng是ITU-T G.9903默认路由机制，应由ITU-T G.9903设备支持。 在本建议书中，附件D中规定的LOADng协议专门用于第2层路由，附件D中使用的术语“路由域”应被解释为“第2层路由域”。

附件H中规定的LOADng协议可能被禁用。 这允许ITU-T G.9903设备支持点对点单跳通信或非默认路由协议。 附录D中描述的网格布线适用于表9-36中的选择。

* + - 1. **附件D的扩展**
         1. **单播数据包路由**

参数值解释：

|  |  |
| --- | --- |
| 参数值 | 描述 |
| DstAddrMode=0x02 | 16位短地址 |
| DstAddr = MAC destination address | 目标地址 |
| SrcAddr = MAC source address | 源地址 |
|  |  |
|  |  |



* + - * 1. **多播/广播**

**分组路由**

分组路由机制基于[IETF RFC 4944]的第11.1节。 本节详细说明广播和组播数据包的路由。

如[IETF RFC 4944]的第11.1节所述，每个广播分组具有包含序列号的BC0头部。 每次节点发送广播数据包时，它将增加该序列号。

每个节点应具有广播日志表。 该表用于路由广播数据包，每个条目包含表9-31中描述的参数。

每当一个设备接收到具有严格大于0的网格报头的HopsLft字段（见[IETF RFC 4944]的第5.2节）的广播地址时，它将检查具有相同SrcAddr的广播日志表中是否存在条目，SeqNumber。 如果存在条目，则接收到的帧被静默地丢弃。 否则，在表中添加一个新条目，并使用值adpBroadcastLogTableEntryTTL初始化TimeToLive字段（参见表9-27）。 当该值达到0时，该条目将从广播日志表中删除。

当设备接收到广播帧时，必须在广播日志表中创建一个条目，它将减少其HopsLft字段。 如果HopsLft不为零，则触发所接收的广播帧的发送。

这可以通过以下算法来总结，在接收到目的地址为0xFFFF的帧时执行（对于相应的流程图也参见图9-14）：

图 9-14

注 - 在组播地址的情况下，如[IETF RFC 4944]第3节所述，广播地址0xFFFF用于MAC级别。 使用与广播帧相同的算法路由多播帧。

广播日志表在信息库中具有adpBroadcastLogTable属性（参见表9-27和9-31）。

**组**

每个设备可以属于一组或多组设备。 IB属性adpGroupTable（见表9-27）存储16位组地址列表。

当设备接收MAC广播消息时，如果6LoWPAN网格报头中的最终目的地址等于adpGroupTable中的16位组地址之一，则会向上层生成ADPD-DATA.indication原语（如上所述） 在第9.4.3.2.2.1节）。

可以使用ADPM-SET.request原语从adpGroupTable中添加或删除组。 该表的大小是实现特定的，并且应至少有一个条目。 组由上层管理的方式超出了本文档的范围。

* + - * 1. **路由发现**

**手动路由发现**

手动路由发现 可以由上层触发，用于 维护 或 性能目的。 这通过调用ADPM-ROUTE-DISCOVERY.request原语来完成。 然后，适配子层生成RREQ帧并执行如第9.4.3.1节所述的算法。

算法完成后，适配子层生成具有相应状态码的ADPM-ROUTEDISCOVERY.confirm原语，并最终修改其路由表。

只能同时处理一个路由发现过程。 任何其他ADPM-ROUTEDISCOVERY.request都将被忽略。

所有设备都应支持LOADng协议，并相应地修改其路由表。

**自动路由发现**

如果一个ADPD.DATA.request原语被调用，其DiscoverRoute参数设置为TRUE，并且如果在由DstAddr指定的设备的路由表中没有条目可用，则适配层生成RREQ并执行第9.4.3.1节中描述的算法,以找到到目的地的路线。 如果路由发现成功，则根据新发现的路由将数据帧发送到目的地。 如果路由发现失败，则适配层将生成状态码为ROUTE\_ERROR的ADPD-DATA.confirm原语。

如果使用其DiscoverRoute参数设置为FALSE来调用ADPD.DATA.request原语，并且如果在由DstAddr指定的设备的路由表中没有条目可用，则适配层将生成ADPD-DATA.confirm原语，其中 状态代码ROUTE\_ERROR。

路径修复程序见第9.4.3.2.5节。

**手求和路由错误生成频率限制**

节点应在两个连续的RREQ / RERR生成之间等待adpRREQRERRWait秒，以限制网络中广播数据包的数量。 adpRREQRERRWait属性的定义在9.4.1.1节中给出。

* + - * 1. **路径发现**

**运算符**

路径发现可以由上层触发，用于维护或性能目的。这通过调用ADPM-PATH-DISCOVERY.request原语来完成。然后，适配子层生成路径请求帧（PREQ），并执行以下子条款中描述的算法。

在算法完成之后（在PREQ接收到具有与路径发现目的地（DstAddr）对应的预期发起者）的路径应答帧（PREP）之后或在PREQ传输之后经过adpPathDiscoveryTime之后），适配子层生成ADPM-PATH-DISCOVERY.confirm原语到上层

在其PREQ帧发送后的adpPathDiscoveryTime秒后接收的路径应答帧将被忽略。

DstAddr（PREQ帧中的目标字段和PREP帧中的预期发起方字段）用作路径发现的标识符，因此同一目的地只能处理一个路径发现过程。当第一个仍在进行时，对同一目的地的路径发现的第二次调用将导致ALREADY\_IN\_PROGRESS状态。 PREQ帧沿着前向路径发送，同时携带更新的逐跳链路与度量类型字段相关联的成本信息由ADPM-PATHDISCOVERY.request给出。类似地，沿着反向路径发送PREP帧，同时承载更新的逐跳链路成本信息。请注意，由ADPM-PATH-DISCOVERY.request给出的度量类型字段（PathMetricType）与adpMetricType属性共享相同的标识符和计算过程。然而，它们可以不同（即，路径发现可以收集与用于路由的路由不同的度量）。

在路径发现期间，不允许链路修复，路由错误和路由表更新。

**生成路径请求（PREQ）**

生成PREQ消息的节点（见第9.4.3.2.7.4节）应：

按照上层的指导，设置节点的目的地址到PREQ消息传播的地方。

设置自己的地址作为发起者地址。

设置指标路径发现消息中报告的链路成本的度量类型（按照上层指导）。

然后，发送PREQ中描述的动作适用。

**处理路径请求（PREQ）**

在接收路径请求（PREQ）时，正向路径上的第i个节点（见第9.4.3.2.7.4节）：

将其16位地址附加到Hop-i转发路径字段。

追加由PathMetricType指定的链接成本，并将其与传入帧更新为Hop-i转发路径链路成本字段。如果节点不支持度量，则“不支持度量标准”（MNS）字段设置为1，并将其链路成本字段设置为0。

如果PREQ目的地址是接收到PREQ消息的节点的地址，则PREQ不转发，并且应用PREP生成。

否则，发送PREQ中描述的动作应适用。

**发送路径请求（PREQ）**

如果在路由表中找到PREQ目的地址，则将PREQ消息转发到目的地的下一跳（见第9.4.3.2.1节）。 然而，不使用路线修复程序。

如果在路由表中没有找到PREQ目的地址，或者PREQ传输失败，则应用PREP生成。

**生成路径回复（PREP）**

生成PREP消息的节点（见第9.4.3.2.7.5节）应：

将PREQ始发者地址设置为目标地址。

将PREQ目的地址设置为预期的发起方地址。

设置自己的地址作为发起者。

追加PathMetricType，MNS和保留位，由PREQ消息传送的正向路径地址及其相关链路成本。

然后，发送PREP中描述的动作适用。

**处理路径回复（PREP）**

在接收路径答复（PREP）时，反向路径上的第j个节点（见第9.4.3.2.7.5节）：

将其16位地址附加到Hop-j反向路径字段。

追加PathMetricType指定的链接成本，并将其与传入帧进行更新，转发到Hop-j转发路径链路成本字段。 如果节点不支持度量，则“不支持度量标准”（MNS）字段设置为1，并将其链路成本字段设置为0。

如果PREP目标地址是接收PREP的节点的地址，则ADPMPATH-DISCOVERY.confirm（见第9.4.6.2.21节）被发送到上层，PathAddress字段包含构成节点的地址表 路径（或路径的一部分）及其相关的正向和反向链路成本。

否则，发送PREQ中描述的动作应适用。

**发送路径回复（PREP）**

如果在路由表中找到PREP目标地址，则节点将PREP消息转发到目的地的下一跳（见第9.4.3.2.1节）。 然而，不使用路线修复程序。

如果在路由表中没有找到PREP目的地址，或者PREP传输失败，则节点丢弃PREP。

* + - * 1. **路由修复和路由错误**

RREQ：路由请求（Route Request）

RREP：路由回复（Route Reply）

RERR：路由错误（Route Error）

路由修复有两种情况：

•当中间节点接收到不存在的目的地址的数据包时在路由表中，

•假设传输不成功（MCPS-DATA.confirm状态等于TRANSACTION\_EXPIRED或NO\_ACK）。

在路由修复过程中缓冲数据包待处理。

为了修复路由，节点传播RREQ，其发起方地址设置为其自己的地址，目的地址设置为数据包的最终目的地址。 在这些情况下，RREQ消息中的路由修复标志设置为“1”，Hop Limit字段设置为（HopLeft-1），HopLeft值取自触发路由修复过程的数据帧。 针对这些RREQ产生的RREP消息，将其修复标志设置为“1”。

如果修复节点在2 \* adpNetTraversalTime秒内从最终目的地收到RREP（见表9-27），则更新其路由表，并通过新路由将缓冲的数据包发送到目的地。 如果分组传输由于链路断开而再次发生故障，则不再进行路由修复，并且丢弃该分组。

如果路由修复过程在中间节点失败，则该节点向发起方发送RERR，并且丢弃缓冲的数据包。

RERR消息携带一个错误代码，指示修复失败的原因。 错误代码在表9-37中定义。 RRER生成应符合9.4.3.2.3.3。

|  |  |
| --- | --- |
| 码 | 描述 |
| 0 | 没有可用的路由 |
| 1-251 | 保留值 |
| 252-255 | 未分配：预留用于实验用途 |

表 9-37 路由错误码

* + - * 1. **链接成本计算**

前向和反向链路成本可以用于附件B中定义的路由成本计算。虽然可以从接收的RREQ计算前向链路成本，但是可以通过以下方法获得反向链路成本：

1. 使用邻居表

如果上一跳信息在邻居表中，并且仍然有效，则可以用于计算反向链路成本。

2. 使用RLCREQ（反向链路成本请求）和RLCREP（反向链路成本回复）：

如果adpRLCEnabled设置为TRUE，则可以将单播RLCREQ发送到上一跳以请求反向链路成本。 在接收到RLCREQ之后，上一跳应计算反向链路成本，并用RLCREP进行回复，例如RLCREP.link-cost =反向链路成本。

LOADng路由器至少等待两个连续的RLCREQ消息之间的adpRREQRERRWait秒。

* + - * 1. **路由数据包和消息格式**

本条款中描述的数据包和消息格式应用于实施LOADng（见附件D）。

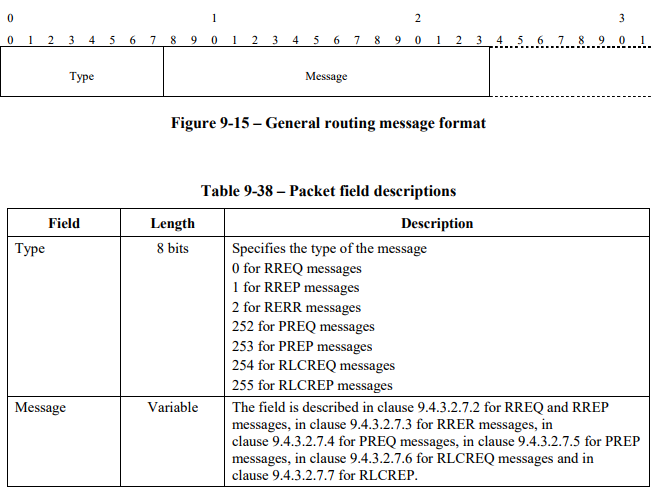
**一般数据包格式**

分组的生成，转发和处理应遵循LOADng协议。 预计一些路由数据包将为每一跳改变其内容。 因此不得使用6loWPAN网格报头和广播报头：

——当广播RREQ时，RREQ消息被发送到MAC层广播地址，而没有6loWPAN广播报头。

——发送所有路由消息，都不带6loWPAN 网格报头。

根据附录D生成，转发和处理的所有数据包的一般格式如图9-15和表9-38所示。



**路由请求（RREQ）和路由回复（RREP）消息格式**

RREQ和RREP消息的类型字段分别等于0和1。 RREQ和RREP格式如图9-16和表9-39所示，根据附件D生成，转发和处理。

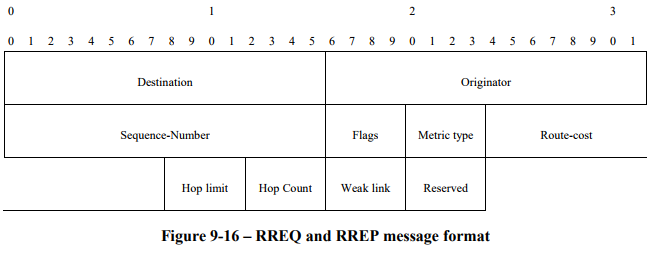


表9-39 路由请求（RREQ）和路由回复（RREP）消息字段描述

**路由错误（RERR）消息格式Route Error**

**路径请求（PREQ）消息格式Path Request**

**路径响应（PREP）消息格式Path Reply**

**RLC请求消息格式**

**RLC响应消息格式**

* + 1. **调试新设备**
       1. **附件E的选择**
       2. **附件E的扩展**
          1. **LoWPAN自举协议（LBP）消息格式（先不看）**

**一般**

**嵌入式EAP消息**

**配置参数**

* + - * 1. **6LoWPAN自举程序**

**概观**

本条款对6LoWPAN自举程序提出了一些增强和澄清。 当ADPM-NETWORK-JOIN.request原语被上层调用时，执行此过程。

图9-25提供了在引导过程中在设备之间交换的消息的概述。

LBA（LoWPAN Bootstrapping Agent）：LoWPAN自举代理

LBD（LoWPAN Bootstrapping Device）：LoWPAN自举装置

LBP（LoWPAN Bootstrapping Protocol）：LoWPAN自举协议

LBS（LoWPAN Bootstrapping Server）：LoWPAN自举服务器

EAP（Extensible Authentication Protocol ）: 可扩展认证协议

图 9-25 Bootstrapping协议消息序列图

图9-26总结了在LBD和LBS之间需要交换单个LBP协议消息时，在设备不同协议层之间PAN上的标称关联过程中涉及到的转发消息。

图9-26 自举协议消息转发顺序图

**发现阶段**

在自举程序开始时，终端设备（也称为LoWPAN自举设备或LBD）将启动“主动信道扫描”（见表9-19）。

更高层可以通过调用ADPM-DISCOVERY.request原语并指定扫描的持续时间来启动主动扫描。 建议持续时间参数大于macBeaconRandomizationWindowLength。 适配层然后使用以下参数调用MAC层的MLME-SCAN.request原语：

* • ScanType = 0x01
* • ScanChannels = all bits to 0 (not used)
* • ScanDuration = ADPM-DISCOVERY.request duration parameter value
* • ChannelPage = 0 (not used)
* • SecurityLevel = 0
* • KeyIdMode = Ignored
* • KeySource = Ignored
* • KeyIndex = Ignored.

LBD发送一跳广播Beacon.request帧，邻居中的任何全功能设备应通过发送带有PAN标识符，短地址和能力的信标帧进行回复，如表9-19所示。

在接收到每个信标帧后，LBD中的MAC层发出具有对应于信标的PANDescriptor参数的MLME-BEACONNOTIFY.indication原语。 在扫描持续时间结束时，适配层产生包含PANDescriptorList的ADPM-DISCOVERY.confirm原语。

用于加入网络的LBA的选择是特定于实现的，但可以基于以下标准：

•协调员路线成本的最小值

•信标链路质量的最大值

•根据循环算法的简短地址。

•完成扫描过程后，设备可以按照第9.4.4.2.2.6节中描述的步骤加入网络。

**访问控制阶段**

一旦发现阶段完成，LBD发送LBP连接帧到LBA。 该帧包含一个携带加入的LBD的EUI-64地址的字段。

该帧与自举过程的初始部分期间的任何其他帧一样，在LBD和LBA之间传输，在MAC层没有任何额外的安全性。

当由LBA接收时，该帧由LBA中继给LBS。 假定LBA完全自举，具有以安全方式直接向LBS发送任何消息的全部能力。

LBP协议的设计适合两种不同的身份验证体系结构：

* LBS直接支持认证功能，在这种情况下，所有认证资料（访问列表，证书等）都应该加载到LBS中; 要么
* 认证功能由远程（通常是集中式）的AAA服务器支持，在这种情况下，LBS只负责通过标准的AAA协议（即RADIUS [IETF RFC 2865]）。

以下过程描述仅基于第一个体系结构，但对第二个体系结构的扩展很简单。

所以，当被LBS接收时，EUI-64地址可以与访问控制列表（白名单或黑名单）进行比较，有以下可能性：

* 该地址不符合访问控制列表，并且LBS发回LBP拒绝消息，嵌入EAP失败消息; 要么
* 该地址适合访问控制列表（或者访问控制未实现），并且LBS发回LBP CHALLENGE消息，嵌入EAP请求消息。 后一个消息还携带第一个认证消息。
* 在本建议书的这个版本中，按照[IETF RFC 3748]的建议，EAP标识阶段被跳过，通过发送所选EAP方法的第一条消息直接进入认证阶段。
* 当需要漫游功能时，EAP身份阶段可以稍后重新引入。

在这两种情况下，这些消息由LBA中继到LBD。

**认证和密钥分发阶段**

**授权和初始配置阶段**

**为协调器之外的任何节点加入PAN**

**离开PAN - 由PAN协调员删除设备**

**离开PAN - 自行移除设备**

* + 1. **嗅探模式（可选模式）**

该模式用于支持对电力线上传输的数据包进行监控。 一旦激活，调制解调器将处理所有数据包，而不管其目的地址。 嗅探器调制解调器将为任何接收到的数据包产生一个ADPD-DATA.indication。 在嗅探模式下激活的调制解调器不应转发数据包。 如果一个嗅探调制解调器接收到一个片段，它应该为这个包添加一个IPv6片段头，以便上层可以检测到它。 片段偏移量字段和标识字段应分别设置为LOWPAN头和Datagram\_Tag的偏移量。

* + 1. **适应子层服务原语**
       1. **ADP数据原语**
          1. **概观**
          2. **ADPD-DATA请求;’[]\**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPD-DATA.confirm**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPD-DATA指示**

**服务原语的语义**

该原语用于将接收的数据从适配子层传送到上层。 这个原语的语义如下：

ADPD-DATA.indication（NsduLength，Nsdu，LinkQualityIndicator）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 类型 | 有效范围 | 描述 |
| Nsdu长度 | 整形 | 0-1280 | NSDU的字节数 |
| Nsdu | 一组八位字节 | — | 接收到的Nsdu |
| LinkQualityIndicator | 整形 | 0x00-0xFF | 在接收帧期间的链路质量的值。（链路质量指标） |

表 9-53 ADPD-DATA.indication原语的参数

**生成时**

当最终目的地是已经接收到的当前站的有效数据帧时，该原语由适配子层产生。

**收到影响**

在生成该原语时，向上层通知数据帧的到达。

* + - 1. **ADP管理服务**
         1. **概观**

ADPM允许传输用于网络维护的命令帧。 ADPM支持的基元列表是：

* + - * 1. **ADPM-DISCOVERY.request**

**服务原语的语义**

ADPM允许传输用于网络维护的命令帧。ADPM支持的原语列表是：

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-DISCOVERY.confirm**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-NETWORK-START.request**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-NETWORK-START.confirm**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-NETWORK-JOIN.request**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-NETWORK-JOIN.confirm**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-NETWORK-LEAVE.request**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-NETWORK-LEAVE.indication**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-NETWORK-LEAVE.confirm**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-RESET.request**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-RESET.confirm**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-GET.request**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-GET.confirm原**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-SET.request**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-SET.confirm**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-NETWORK-STATUS.indication**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-ROUTE-DISCOVERY.request**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-ROUTE-DISCOVERY.confirm**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM路径，DISCOVERY.request**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM路径，DISCOVERY.confirm**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-LBP.request**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-LBP.confirm**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-LBP.indication**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - * 1. **ADPM-BUFFER.indication**

**服务原语的语义**

**生成时**

**收到影响**

* + - 1. **行为MAC指示**
         1. **概观**
         2. **MCPS-DATA指示**
         3. **MLME-ASSOCIATE.indication**
         4. **MLME-DISASSOCIATE.indication**
         5. **MLME信标NOTIFY.indication**
         6. **MLME-GTS.indication**
         7. **MLME-ORPHAN.indication**
         8. **MLME-COMM-STATUS.indication**
  1. **功能说明**
     1. **网络形成**

网络的形成只能由PAN协调员来完成。 PAN协调员以外的任何设备不得尝试执行网络组建。

在网络形成之前，PAN协调器应按第9.4.4.2.2.2节的规定进行主动扫描。如果由ADPM-DISCOVERY.confirm原语给出的PANDescriptorList是空的，则PAN协调器可以启动一个新的网络。如果PANDescriptorList不是空的，则PAN协调器可以通知系统的其余部分PAN已经在设备的POS中操作，并且可以在之后启动新的网络。与此行为相关的程序和决定是特定于实现的。

网络发现后，PAN协调器应将其PAN ID设置为存储在其中的预定义值。该值可以从配置服务器远程获取或本地计算。 PAN ID在协调器中被选择和设置的方式是特定于实现的。

注 - 如[IETF RFC 4944]第6节所述，PAN标识符应与0xFCFF进行逻辑“与”运算;另见表9-33。

一旦确定了PAN标识符，自适应子层将使用以下参数调用MLME-START.request：

•PANId =计算的PAN标识符;

•LogicalChannel = 0（未使用）;

•ChannelPage = 0（未使用）;

•StartTime = 0（未使用）;

•BeaconOrder = 15（无信标网络）;

•SuperframeOrder = 15（未使用）;

•PANCoordinator = TRUE;

•BatteryLifeExtension = FALSE（未使用）;

•CoordRealignment = FALSE;

•CoordRealignSecurityLevel，CoordRealignKeyIdMode，CoordRealignKeySource和CoordRealignKeyIndex：未使用，应设置为0;

•BeaconSecurityLevel = 0;

•BeaconKeyIdMode，BeaconKeySource，BeaconKeyIndex：未使用，应设置为0。

MAC子层然后生成MLME-START.confirm原语和相应的状态码，通过生成ADPM-NETWORK-START.confirm将其转发到上层。

# 安全

* 1. **访问控制和认证**
  2. **保密和诚信**

如图10-2所示，保密和完整性服务在不同的层面得到保证：

· 在MAC级别：如[IEEE 802.15.4]中所定义的，CCM \*类型的加密被传送到在网络中的节点之间传送的每个帧。 它是一个通用的低层机密性和完整性服务（具有防重播功能）。 MAC帧在每一跳都被加密和解密。 唯一的例外是在引导过程的早期阶段一些控制良好的帧。 为了相当支持这个服务，网络中的所有节点都接收到相同的组主密钥（GMK）。 这个GMK通过使用EAP-PSK安全通道被单独和安全地分发到每个节点。

图 10-2 保密和安全

· 在EAP-PSK级别：根据[IETF RFC 4764]的定义，EAP-PSK提供机密性和完整性（以及重播保护）服务，也称为保护信道（PCHANNEL），用于EAP服务器之间通过EAP交换的消息 和任何同行。

* 1. **反重播和DoS预防**
  2. **认证和密钥分发协议 - IETF RFC 3748中的选择**
  3. **EAP方法**
     1. **EAP-PSK概述**
     2. **组密钥分发**
     3. **配置扩展格式**
     4. **同行程序**
     5. **服务器端程序**

1. **协议实现一致性声明**
   1. **概观**
   2. **PICS形式表**
      1. **功能设备类型（来自IEEE 802.15.4的D.7.1）**
      2. **PHY功能（来自IEEE 802.15.4的D.7.2.1节）**
      3. **PHY分组（来自IEEE 802.15.4的D.7.2.2）**
      4. **射频（IEEE 802.15.4的D.7.2.3条）**
      5. **MAC子层功能（来自IEEE 802.15.4的D.7.3.1）**
      6. **MAC帧（IEEE 802.15.4的D.7.3.2条款）**
2. **路由成本**
   1. **复合度量法**
3. **消息的设备启动顺序**
4. **轻量级点播Ad hoc距离矢量路由协议 - 下一代（LOADng）**

本建议书根据第9.4.3.1条的要求和声明规定了第2层路由机制。

* 1. **介绍**

轻量级按需特定距离矢量路由协议 - 下一代（LOADng）是一种反应式路由协议。作为被动协议，LOADng的基本操作包括由LOADng路由器（始发者）产生路由请求（RREQ），用于在发现到目的地的路由时转发这些RREQ直到它们到达目的地LOADng路由器，路由的生成 通过指示的目的地收到RREQ时的回复（RREP），以及将这些RREP单播逐跳转发给始发者。 如果检测到路由被中断，例如，如果检测到将数据分组转发到朝向预期目的地的路由上记录的下一跳失败，则将路由错误（RERR）消息返回给该数据分组的发起者通知发起人关于路线的破损。

* 1. **术语和符号**
     1. **消息和消息字段表示法**

LOADng路由器生成并处理消息，每个消息都有许多不同的字段。 为了描述协议操作，特别是这种消息的生成和处理，使用下列符号：

MsgType.field

where:

MsgType - 是消息的类型（例如，RREQ或RREP）

field - 是消息中的字段（例如发起者）

条款D.6中描述了不同的信息，它们的字段及其含义。

将高级消息及其内容与低级编码和帧格式分开以供传输的动机是允许将协议逻辑的讨论与消息编码和帧格式分开，并支持不同的帧格式。

* + 1. **变量符号**

变量仅作为澄清描述的一种方式引入到规范中。 使用以下符号：

MsgType.field - 如果“字段”是消息MsgType中的一个字段，则MsgType.field也用于表示该字段的值。

bar - 一个变量（不由MsgType预置），通常通过基于元素值的计算来获得。

* + 1. **其他符号**

本文件使用以下附加的符号约定：

a := b赋值运算符，左侧（a）赋予右侧（b）的值。

c = d比较运算符，如果左侧（c）的值等于右侧（d）的值，则返回TRUE。

* + 1. **术语**

本文档使用以下术语：

**LOADng路由器(LOADng router)：**

实现此路由协议的路由器。 LOADng路由器至少配备一个，可能还有更多的LOADng接口。

**LOADng接口(LOADng interface)：**

根据本建议书，LOADng路由器连接到通信介质，通过它接收和生成控制消息。 LOADng接口分配有一个或多个地址。

**链路(Link)：**

根据本建议书，如果两个接口之一可以接收控制消息，则存在两个LOADng接口之间的链路。

**消息(Message)：**

携带协议信息的基本实体，以地址对象和TLV的形式。

**链接度量(Link metric)**：

一对LOADng接口之间链接的成本（权重）。

**路由度量标准(Route metric)：**

RREQ或RREP已经跨越的链路的链路度量的总和。

* 1. **适用性声明**

LOADng是一种反应式协议，即，只有当路由器（例如，代表所连接的主机）发送数据分组时，以及当路由器没有该目的地的路由时才发现路由。 在这种情况下，路由器在整个网络中淹没路由请求（RREQ）以发现目的地。 与主动协议相反，反应式协议只要求当前使用的路由的状态，而主动协议则定期发送控制流量并将路由存储到网络中的所有目的地。 泛滥RREQ可能会导致帧冲突，从而导致数据丢失。 而且，网络接口上的每个传输都会消耗能量，缩短电池驱动路由器的使用寿命。 因此，为了减少控制流量，LOADng（和一般的反应式协议）在以下约束条件下是最适合的：

* 网络中几乎没有并发的流量流量（即流量只在几个源和目的地之间流动）
* 国家对路由器的要求非常严格，即在路由器上只存储少量路由是有益的

具体而言，LOADng的适用性取决于其特性，对于该协议是：

* 是一种反应式路由协议;
* 被设计为在具有动态拓扑的网络中工作，其中由于冲突，信道不稳定性或路由器的移动，链路可能是有损的;
* 支持为RREQ使用优化的泛洪;
* 使得任何LOADng路由器能够发现到路由域中的目的地的双向路由，即到相同路由域中的任何其他LOADng路由器以及连接到该LOADng路由器的主机或网络;
* 支持从16个八位字节到一个八位字节的任何长度的地址;
* 支持按目的地路由维护; 如果目标无法访问，则执行该单一（双向）路由的重新发现，而不需要全局拓扑重新计算。
  1. **协议概述和功能**

这个协议的目标是每个LOADng路由器独立地：

* 发现到网络中任何目的地的双向路由。
* 只有在有数据流量沿该路由发送时才建立路由。
* 只要有数据流量沿着该路线发送，就保持路线。

仅基于网络事件生成控制流量：需要新路由或检测到活动路由时中断。 具体来说，这个协议不需要定期的信令。

* + 1. **概观**

对于每个LOADng路由器，通过执行以下任务来实现这些目标：

* 当有一个数据包传送到一个目的地时，路由集中不存在元组，并且数据包源在本地到该LOADng路由器（即，是本地接口集中的地址或目的地址集LOADng路由器），产生编码目的地址的路由请求（RREQ），并通过它的所有LOADng接口发送这个RREQ。
* 接收到RREQ后，在路由集中插入或刷新元组，记录从RREQ到发起方地址的路由，以及从RREQ收到的邻居LOADng路由器。这将安装反向路由（朝向来自RREQ的发起者地址）。
* 收到RREQ后，检查指示的目的地址：
* 如果该地址是目标地址集中的地址或LOADng路由器的本地接口集合中的一个地址，则生成沿着所安装的反向路由以逐跳方式单播的路由回复（RREP）。
* 如果该地址不是目标地址集或LOADng路由器的本地接口集中的地址，请将RREQ作为转发候选者。
* 当RREQ被认为是转发的候选者时，根据为网络指定的泛洪操作进行转发。
* 接收到RREP后，在路由集中插入或刷新元组，记录从RREP到发起方地址的路由，以及从其收到RREP的邻居LOADng路由器。这将安装前向路由（从RREP到发起者地址）。始发者地址可以是来自LOADng路由器的本地接口集的地址，也可以是来自其目的地地址集（即连接到该LOADng路由器的主机的地址）的地址。
* 收到RREP后，将其作为单播转发到相应反向路由的记录下一跳，直到RREP到达具有来自其本地接口集或目标地址集中的RREP的目的地址的LOADng路由器。
* 在转发RREQ或RREP时，更新包含在该RREQ或RREP消息中的路由度量。

生成RREQ的LOADng路由器指定它需要哪个度量类型。 接收到RREQ的路由器会处理它，并根据该度量更新RREQ中的路由度量信息（如果可能的话）。 但是，所有的LOADng路由器都将更新RREQ中的信息，以便能够支持“跳数”缺省度量。 如果LOADng路由器不能理解在RREQ中指定的度量类型，它将把路由度量值更新为其最大值，以确保将其指示给RREQ的其他接收者。 一旦路由度量值被设置为其最大值，那么沿着到目的地的路径上的LOADng路由器可以改变该值。

* + 1. **LOADng路由器和LOADng接口**
    2. **信息库概述**

必要的协议状态通过五个信息集记录：“路由集”，“本地接口集”，“黑名单邻居集”，“目的地址集”和“待定确认集”。

路由集合包含元组，每个元组代表下一跳开始，以及指向目标地址的路由的度量。此外，路由集还会记录从目的地收到的最后一条消息的序列号。该信息是从生成元组的消息（RREQ或RREP）中提取的，以便启用路由。路由表将使用此路由集进行更新。 （LOADng路由器可以选择使用路由集合中的任何或全部目的地址来更新路由表，这个选择不属于本建议书的范围。

本地接口集包含元组，每个元组代表LOADng路由器的本地LOADng接口。每个元组都包含该LOADng接口的一个或多个地址的列表。

列入黑名单的邻居集合包含表示最近已经检测到单向连接的LOADng路由器的邻居LOADng接口地址的元组。

目标地址集包含表示LOADng路由器负责的地址的元组，即该LOADng路由器的地址，或者直接连接到该LOADng路由器的主机和网络的地址，并使用它来连接到路由域。这些地址可能特别属于不执行LOADng的设备，因此不能处理LOADng消息。 LOADng路由器通过产生RREP来响应指向它们的RREQ来提供到这些地址的连接。

未决确认集包含元组，表示发送的RREP，其中RREP\_ACK是预期的，但是尚未接收到该RREP\_ACK。

路由集合，列入黑名单的邻居集合和未决确认集合均由该协议更新。使用本地接口集和目标地址集，但不通过此协议进行更新。

* + 1. **信令概述**

该协议生成并处理以下路由消息：

**路由请求（RREQ）** - 由LOADng路由器生成，当它有一个数据包传送到给定的目的地时，数据包源对于该LOADng路由器是本地的（即，是本地接口集中的地址或目的地址集 LOADng路由器），但是它的路由集合中没有可用的元组，指示到达该目的地的路由。 RREQ包含：

* - 通过请求LOADng路由器在其本地接口集中的目的地地址或其目的地地址被设置为产生RREP的方式来发现转发路由的（目的地）地址;
* - 通过RREQ转发和处理来安装反向路由的（始发者）地址，即触发RREQ生成的数据分组的源地址;
* - LOADng路由器的序列号，生成RREQ。

根据为网络指定的泛洪操作，RREQ通过网络被洪泛。

**路由回复（RREP）** - 由LOADng路由器生成，作为对RREQ的响应，LOADng路由器在其本地接口集中具有来自RREQ的地址（目标），或者在其目的地地址集中具有RREQ。 RREP以单播形式发送给该RREQ的发起者。 RREP包含：

* 转发RREP时将要安装转发路由的（发起者）地址;
* RREP将被发送到的（目的地）地址。 更准确地说，目的地址决定了RREP跟随的单播路由;
* LOADng路由器的序列号，生成RREP。

**路由回复确认（RREP\_ACK）** - 由LOADng路由器生成，作为对RREP的响应，以便向发送RREP的邻居发信号通知RREP已成功接收。 接收RREP\_ACK表明这两个相邻的LOADng路由器之间的链路是双向的。 RREP\_ACK单播到RREP到达的邻居，不被转发。 RREP\_ACK仅仅是响应于RREP而生成的，RREP通过标志明确地指示需要RREP\_ACK。

**路由错误（RERR）** - 当到达目的地的活动路由上的链路被检测为由于无法将数据分组转发到目的地而中断时，由LOADng路由器产生。 RERR单播到无法传送的数据包的来源。

* 1. **协议参数**
     1. **协议和接口号**

无

* + 1. **路由器参数**

|  |  |
| --- | --- |
| NET\_TRAVERSAL\_TIME | 数据包从网络的一端到另一端的预期时间。 |
| RREQ\_RETRIES | 在声明该目的地不可达之前，特定LOADng路由器为了发现到达目的地的路由而可能产生的后续RREQ的最大数量。 |
| RREQ\_MIN\_INTERVAL | 允许特定LOADng路由器发送的RREQ的最小间隔（以毫秒为单位）。 |
| R\_HOLD\_TIME | 路由元组在最后一次刷新之后应该保留在路由集合中的最短时间。 |
| MAX\_DIST | 代表最大可能度量的值（R\_metric字段）。 |
| B\_HOLD\_TIME | 邻居LOADng路由器和这个LOADng路由器之间的链路的时间应该被认为是非双向的，因此在那个时间（B\_HOLD\_TIME）期间忽略来自邻居LOADng路由器的RREQ应该被忽略。  B\_HOLD\_TIME应大于2 x NET\_TRAVERSAL\_TIME x RREQ\_RETRIES，以确保后续的RREQ将通过路由到达目的地，不包括黑名单邻居的链接。 |
| MAX\_HOP\_LIMIT | LOADng路由消息允许经过的跳数的最大限制。 |

* + 1. **接口参数**

不同的LOADng接口（在相同或不同的LOADng路由器上）可以使用不同的接口参数值，并且可以动态地改变它们的接口参数值。一个特定的情况是给定LOADng路由域内的所有LOADng路由器上的所有LOADng接口使用相同的一组接口参数值。

RREQ\_MAX\_JITTER是在此接口上由此LOADng路由器转发的RREQ消息的[b-IETF RFC 5148]中使用的MAXJITTER的默认值。

RREP\_ACK\_REQUIRED是一个布尔标志，它指示（如果设置）LOADng路由器被配置为期望它发送的每个RREP被RREP\_ACK确认，或者（如果被清除）该接口没有RREP\_ACK。

USE\_BIDIRECTIONAL\_LINK\_ONLY是一个布尔标志，表示LOADng路由器是否仅在该接口上使用验证的双向链路进行数据包转发。它是默认设置的。如果被清除，LOADng路由器可以使用在这个接口上没有被验证的链路是双向的。

RREP\_ACK\_TIMEOUT是传输RREP之后的最小时间量，即LOADng路由器在考虑与该邻居的链路是单向前，应该等待邻居LOADng路由器的RREP\_ACK。

* + 1. **常量**

MAX\_HOP\_COUNT是所用编码所代表的最大跳数。 不能用来限制信息的范围; 路由器参数MAX\_HOP\_LIMIT可以用来限制LOADng路由消息的范围。

* 1. **协议消息内容**

由LOADng生成和处理的协议消息在本节中使用D.2中描述的符号约定进行描述。 除非另有说明，否则下面描述的消息字段由生成消息的LOADng路由器设置，不应由中间LOADng路由器更改。

* + 1. **路由请求（RREQ）消息**

路由请求（RREQ）消息具有以下字段：

|  |  |
| --- | --- |
| RREQ.addr-length | RREQ.addr-length是一个无符号的整数字段，编码发起者和目标地址的长度如下：RREQ.addr-length：=一个地址的长度，以八比特组为单位 - 1 |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

* + 1. **路由回复（RREP）消息**
    2. **路由答复确认（RREP\_ACK）消息**
    3. **路由错误（RERR）消息**
  1. **信息库**

每个LOADng路由器都维护一个信息库，包含协议操作所需的信息集，如以下章节所述。 为了便于描述本建议书中的消息生成，转发和处理规则，将信息组织成这些信息集是非规范性的。 在维护这些信息时，实现可以选择任何表示或结构。

* + 1. **路由集**

当已知路由时，路由集记录到达每个已知目的地的路由上的下一跳。 它由路由元组组成：

R\_dest\_addr是目的地址，既可以是目的地路由器的LOADng接口的地址，也可以是经由目的地路由器可达的路由器的地址，但不在路由域内。

R\_next\_addr是到目的地的所选路由上“下一跳”的地址。

R\_metric是与地址R\_dest\_addr到目的地的所选路由相关的度量标准。

R\_metric\_type指定此路由元组的度量类型 - 换句话说，如何定义和计算R\_metric。

R\_hop\_count是到目的地址为R\_dest\_addr的所选路由的跳数。

R\_seq\_num是安装或最后更新这个元组的RREQ或RREP的RREQ.seq-num或RREP.seq-num字段的值。对于由RREQ或RREP的前一跳信息安装的路由元组，应将R\_seq\_num设置为-1。

R\_bidirectional是一个布尔标志，它指定路由元组是否被验证为表示双向路由。数据流量应该只能通过R\_bidirectional标志等于TRUE的路由元组路由，除非LOADng路由器通过将USE\_BIDIRECTIONAL\_LINK\_ONLY设置为与R\_local\_iface\_address的接口的FALSE来明确地接受路由而没有双向验证。

R\_local\_iface\_addr是本地LOADng接口的地址，通过它可以到达目的地。

R\_valid\_time指定记录在此路由元组中的信息被认为有效的时间。

* + 1. **本地接口集**

LOADng路由器的本地接口集记录其本地LOADng接口。 它由本地接口元组组成，每个LOADng接口一个：

I\_local\_iface\_addr\_list

I\_local\_iface\_addr\_list是这个LOADng接口的网络地址的无序列表。

实现应该使用至少一个包含至少一个LOADng接口地址的元组来初始化本地接口集。 如果LOADng路由器的LOADng接口发生变化（即，LOADng接口被添加，删除或更改地址），则应更新本地接口集。

* + 1. **列入黑名单的邻居**

列入黑名单的邻居记录了LOADng路由器的邻居LOADng接口地址，该路由器的连通性被检测为单向的。 具体来说，列入黑名单的邻居组记录已经接收到RREQ的邻居（即，通过该邻居可以进行前向路由），但是已经确定其不可能通信的邻居（即经由该邻居的转发路由答复失败，使得不能安装前向路由）。 它由黑名单邻居元组组成：

B\_neighbour\_address是黑名单邻居LOADng接口的地址。

B\_valid\_time - 指定记录在此元组中的信息被认为有效的时间。

* + 1. **目的地地址集**

目的地址组记录地址，除了它自己的LOADng接口地址（在本地接口集中列出）之外，LOADng路由器将为其生成RREP以响应接收到的RREQ。 目的地地址集因此代表这个LOADng路由器为其提供连接的那些目的地（即，主机）。 它由目标地址元组组成：

D\_address是连接到此LOADng路由器的目的地节点的地址，并且为此LOADng路由器提供连接。

目的地址集用于产生信令，但本身不是通过本文档中指定的信令来更新的。 目标地址集的更新是由于LOADng路由器环境的变化引起的 - 主机或外部网络与LOADng路由器连接或断开连接。 目的地地址集可以由行政供应，或由外部协议供应。

* + 1. **等待确认集**

未决确认集包含有关已经使用RREP.ackrequired标志集发送的RREP的信息，并且尚未接收到RREP\_ACK。 它由未决的确认元组组成：

P\_next\_hop是RREP发送到的邻居LOADng接口的地址。

P\_originator是RREP发起者的地址。

P\_seq\_num是发送的RREP的RREP.seq-num字段。

P\_ack\_received是一个布尔标志，它指定元组已经被相应的RREP\_ACK消息确认。 默认值是FALSE。

P\_ack\_timeout是元组过期的时间。

* 1. **LOADng路由器序列号**
  2. **路线维护**
  3. **单向链路处理**
  4. **RREQ和RREP消息的通用规则**
  5. **路由请求（RREQ）**
  6. **路由回复（RREP）**
  7. **路由错误（RERR）**
  8. **路由回复确认（RREP\_ACK）**
  9. **度量**
  10. **安全考虑**

1. **6LoWPAN调试**
   1. **介绍**
   2. **术语**
   3. **引导**
   4. **IANA考虑**
   5. **安全考虑**
2. **对日本的区域要求**
   1. **概观**
   2. **ARIB带规划的物理层规格**
   3. **数据链路层规范**
3. **编码和解码的例子**
   1. 数据编码示例
   2. 数据解码示例
4. **加密构建块的测试向量**
   1. 介绍

**参考书目**