# 先验多树多网关多路径无线Mesh路由协议(Proactive Multi-Tree Multi-Gateway Multi-Path wireless mesh routing protocol, PMTMGMP)

## 协议说明

这是一个为IEEE 802.11s协议编写的路由协议。

## 名词解释

## 终端结点（Mesh Terminal Point，MTERP）

Mesh AP（MAP）结点或Mesh Portal（MPP）结点。

## 不同类型的终端节点

即若某个终端节点为MAP，另外一个终端节点为MPP则称两者为不同类型的终端节点。

## 辅助节点（Mesh Secondary Point， MSECP）

某个MTERP的邻居结点，用于生成主动树，以分流通往这个MTERP的流量，使其在到达MTERP之前尽量的将流量分配到多个不同的路径中。也是路由时区分通向MTERP的多条路径的识别标志。

## 根节点（Root Mesh Point, RMP）

起始创建mesh网络的节点，需要自身是一个MSECP。由根节点生成的先验树所属于MSECP所属的MTERP。

## 路由协议帧序号（PMTMGMP sequence number, PMTMGMP SN）

广播式路由协议相关帧中的序号。用于区分不同次生成的路径。PMTMGMP SN与其所说帧的原始发送MTERP相关。

## 源节点的地址（Originator Mesh STA Address）

## 目标节点的地址（Target Mesh STA Address）

## 辅助节点的地址（Secondary Mesh STA Address）

## 多网关选择

多网关选择只发生在上行信息过程中，即自MAP发送数据到某个MPP的过程。这是因为对于多网关路由协议来说，通过任意MPP都可以链接到外部网络，然而来自某个不属于此Mesh网络的STA的数据是通过指定的MAP进入Mesh网络的。所以如果外部网络中的中的数据需要发送回STA时，需要将数据传输到指定的MAP（STA接入的）。

当STA发生移动，切换所属MAP时，下行数据传输到上一个所属的MAP，并由上一个MAP转发到当前所属MAP。

## 路径不重复效验

逐个比较路由表中同源节点地址不同辅助节点地址中的路由路径和PGEN的路由路径，统计路径中经过的相同的节点的个数占两条路径中最短的路径的节点个数的百分比，并返回多个辅助节点地址不同的路径中统计结果最大的结果，如果这个结果小于PMTMGMPpathRepeatability，这认为PGEN中的路径可以接受，否则拒绝接受路径。

其计算方法为统计比较两段路径相同的结点的个数。

## 广播信息

## 终端辅助节点搜索帧（SEC Request，SECREQ）

某个MTERP发出，发送给自己的邻居Mesh Point，并等待自己的邻居Mesh Point返回SECREP。并根据回复顺序来选定有限数量的MSECP

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 源终端结点地址 | 路径生成顺序号 | 终端节点类型 |
| OriginatorAddress | MSECPSelectIndex | NodeType |
| 进行MSECP选择的终端节点 | 发送此帧的节点 | MAP或MPP |

## 终端辅助节点反馈帧（SEC Reply，SECREP）

Mesh网络中的非MTERP收到来自某个MTERP节点的SECREQ时，会生成此信息。此信息中包含相关度量信息。并将其发送给MTERP，从而争夺MSECP的身份。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 源结点地址 | 候选MSECP地址 | 所属其他终端节点数量 | 路径生成顺序号 |
| OriginatorAddress | CandidateMSECPaddress | AffiliatedMTERPnum | PathGenerationSequenceNumber |
| 进行MSECP选择的终端节点 | 发送此帧的节点 | 不包括当前源结点及类型相反的节点。 |  |

## 终端辅助节点确认信息帧（SEC Acknowledgement，SECACK）

终端节点通过比较来自不同邻居节点的SECREP，选取所属辅助节点，并对其返回SECACK信息。并分配MSECP Index

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 源终端结点地址 | 路径生成顺序号 | 终端节点类型 |
| OriginatorAddress | MSECPSelectIndex | NodeType |
| 进行MSECP选择的终端节点 | 发送此帧的节点 | MAP或MPP |

## 路径生成起始反馈帧（Path Generate Reply，PGER）

用于通知结点开始路径生成以及确保SECACK帧成功收到，如果PMTGMGMPpgerWaitTime到期后PGER仍然没有收到，MTERP将重发SECACK。

## 路径生成帧（Path Generate，PGEN）

从某个MTERP的某个MSECP开始，创建和生成一条路径生成信息，信息以泛洪的方式传播。PGEN会记录每一条的路由信息。

## 路径更新帧（Path Update，PUPD）

对于Mesh BSS中的节点，会周期的对它路由表中的每个MTERP的MSECP的路径下一跳发送彼此之间AALM信息，发送过程为对遍历全部的下一跳节点，发送对应此结点的AALM。

## 路径更新补充路径生成帧（Path Update Path Generate Request，PUPGQ）

在路径生成完成，进行路径更新时，收到PUPD的节点路由表中不含有PUPD的MTERP和MSECP对应路由路径，将想PUPD的发送节点发送PUPGQ来进行补充生成的请求。

## 路径错误帧（Path Error，PERR）

数据传输过程发现路径错误后的反馈帧

## 积累传播时间链接度量（Accumulated Airtime Link Metric， AALM）

本章节定义一个可以用于路径选择协议来识别一个无线感应的路径的链接度量AALM。此度量用于路径选择中多条路径的优先级比较，以及在MTERP中的多网关选择。

AALM基于HWMP的传播时间链接度量(Airtime Link Metric，ALM)，采用递归的方式从根节点（）向所在先验树的全部叶子节点传播，在传播过程中，每个节点依据接收到的来自父节点的（通过父节点的广播）AALM并进行递归运算。如果叶子节点本身是一个MTERP与此先验树所属MTERP是不同类型的终端节点，那么叶子节点处运算出的AALM即为此叶子节点到先验树所属MTERP的路径度量。此度量结果参与多网关选择。

路由路径中第i跳节点中ALM的值ci由下列公式计算出：

路由路径中第i跳节点中AALM的值AALMi由下列公式计算出：

或

参数说明：

O：信道访问复写，包括了帧头，传输序列，访问协议帧等，其推荐值取决于物理层协议。

Bt：测试帧大小，其推荐值为8192。

r：表示在当前条件下，某个MP要传输标准大小Bt数据的速率（单位Mb/s），这个估计取决于本地启用的速率配置。

ef：标准大小Bt的帧在当前传输速率r下，帧因为传输错误而破损的可能性，它的估值只是本地的实施选择。

ci：IEEE802.11S中定义的传播时间链接度量（Airtime link metric，ALM）度量。下标i代表路径中结点序号，终端节点的序号为0，其辅助节点的序号为1；

ki:如果当前结点为终端节点m为某个参数（用于尽量避免采用某个终端节点作为路径），否则m=1；

此度量值的单位为TU的double（待定）

特点：

1. 考虑了节点中BUFFER待发送帧数量对数据传输延迟的影响。
2. 对终端节点和辅助节点的度量有所加成，在一定条件下降低了这两种节点的选择优先度，从而减少使用这两种节点作为中继的概率，避免拥塞。
3. 与当前跳越临近的节点的路径度量的权重越大，使在路径选择中尽可能的优先考虑路径中距离较近的节点的度量值，这符合数据传输的顺序的要求。

注意：

当前结点中待发送帧在BUFFER中的列队长度会在数据传输时考虑；

## 路径生成过程

一个Mesh STA将会执行主动搜索或者被动搜索，这取决于相关配置。当一个Mesh节点加入某个Mesh BSS之后，如果它被配置为MTERP，将参考以下各节过程构建出一条路径。

## MSECP筛选过程

MTERP将广播一条SECREQ帧到自己一跳范围内的节点，并开始延迟计时，计时时间为PMTMGMPsecSetTime。MTERP的非MTERP邻居节点接收到SECREQ后，计算自身到METRP的ALM度量，并通过SECREP返回给MTERP，同时还将发送自己属于多少个其他MTERP的MSECP。当计时结束之后MTERP根据收到的SECREP中的ALM进行MSECP的筛选。筛选时，如果某个邻居结点是属于其他MTERP的MSECP，且属于n个其他MTERP，其中m个是与发送SECREQ不同的类型，则它的ALM需要乘以m + 1来参与筛选。（如果某个MTERP的邻居结点也是一个MTERP结点，它将不会返回SECREP）。

对应每个MTERP可以拥有的MSECP的数量由PMTMGMPmsecpNum定义。如果全部的SECREP数量小于PMTMGMPmsecpNum，则选取全部邻居节点作为SECREP。否则将对所有SECREP来源结点以ALM度量值和所属其他MTERP的乘积排序，选取最小的PMTMGMPmsecpNum个节点作为MSECP。

当选取MSECP之后，MTERP将对列表中的全部MSECP发送SECACK来确认邻居节点为自己的MSECP。并再次计时PMTMGMPsecSetDelayTime，用于延迟进行下次筛选。

收到SECAK的MSECP将返回PGER到MTERP并广播PGEN来开启路径生成。

以上发送的相关SECREQ、SECREP、SECACK帧都带有相同的PMTMGMP SN。



## 先验多树生成

MSECP接收到SECACK之后，广播以SECACK来源的MTERP，MTERP的类型、SECACK中的PMTMGMP SN和自身信息构建的PGEN。并通过此帧的逐步转发构建一棵单向的主动树。主动树的生成过程如下：

MSECP广播原始的PGEN，其邻居结点接收到PGEN后，比较PGEN的PMTMGMP SN和节点路由表中PGEN的源节点地址和辅助节点地址同时符合的路由信息的PMTMGMP SN：

* 如果节点中全部源节点地址符合的路由信息的PMTMGMP SN > PGEN的PMTMGMP SN，则接受PGEN；
* 如果节点中源节点地址和辅助节点地址符合的路由信息的PMTMGMP SN = PGEN的PMTMGMP SN，则此路径路由信息已经确定，此帧无效，丢弃；
* 如果节点中有若干个源节点地址符合的路由信息的PMTMGMP SN = PGEN的PMTMGMP SN，则说明已经有来自PGEN的对应源节点的其他辅助节点的PGEN到达，这时需进行路径不重复效验，如果效验不通过，则开启计时PMTMGMPpgenAcceptDelayTime，到期如果没有接收到其它同源节点地址、同辅助节点地址PGEN，则接受原PGEN，如果接收到的其它同源节点地址、同辅助节点地址PGEN，且此PGEN通过路径不重复效验，则接受新的PGEN，如果计时结束前接收到的多个同源节点地址、同辅助节点地址PGEN都无法通过路径不重复效验，则接受结果最好的一个。
* 如果节点的PMTMGMP SN < PGEN的PMTMGMP SN，则此帧过期，丢弃；

如果PGEN被接受，则修改节点路由表中源节点地址和辅助节点地址匹配的路由信息。设置匹配路由信息中的下一跳节点为PGEN的发送者节点，设置匹配路由信息中的PMTMGMP SN为PGEN的PMTMGMP SN，将PGEN的路由路径和路径跳数存入匹配路由表的路径信息。

当PGEN在Mesh网络中全部被丢弃后先验树生成完成，由于每个节点都记录它到PGEN的发送辅助节点的路由路径，所以对于生成的先验树来说网络中的任何非根结点都有一条通向根结点的单向路径。此时因为属于同一个MTERP的多个MSECP同时生成不同的先验树，所以对于网络中的其他结点来说，构成了通往这个MTERP的多条单向路径。



## 路径信息自检更新

路由表中路径信息以PMTGMGMProuteInforCheckPeriod周期进行自检，当信息存在时间超过PMTGMGMProutePathInforLife，且当前路径GSN不是最大GSN（已有新路径存在）时路径信息无效并丢弃。

## 路径度量信息更新

如果节点的路由表中存在至少一条以某个MTERP为目标的路由信息，那么它将以PMTMGMPpathMetricUpdataPeriod为周期， 发送PUPD。PUPD发送的初始延迟与MSECP搜索延迟相同。PUPD每次发送约等于PMTMGMPpudpSendSize条路由路径的度量信息。当PUPD每次添加的路由树在路由表中循环选择，通过PUPDsendRouteTreeIter序号记录。

每次发送的PUPD带有以发送者的路由表中的一个终端节点所属全部辅助节点的多条路由路径的AALM（仅一次路径生成周期内寿命），如果发送PUPD时路由路径的状态不为Confirmed，则不发送AALM。循环路由表中的全部终端节点。即，如果当前结点的路由表存储网络中全部MTERP的路由信息，那么每间隔网络终端节点数量×PMTMGMPpathMetricUpdataPeriod可以更新一次同一个终端节点的ALLM。

PUPD的邻居节点接收到PUPD后，验证自己的路由表中是否存在PUPD中源节点地址匹配的路由信息。如果存在，逐个验证匹配路由信息中，每个不同辅助节点路径的下一跳节点是否为PUPD的发送者节点，如果是则使用PUPD中辅助节点地址对应的路径的AALM更新路由表中的地址的AALM。PUPD的自某个MTERP的MSECP开始发送。

发送PUPD时，需效验路由表中对应路由路径状态，如果路由路径不为Confirmed，则不发送其AALM。

## 路径度量信息更新时路径补充生成

当某节点收到来自其他节点的PUPD时，如果当前节点路由表中不存在PUPD中MTERP和MSECP对应的路由路径信息，则说明此路径未成功生成，它将发送PUPGQ来向PUPD的发送节点请求此路由路径信息。

接收PUPGQ后，接收节点将重发MTERP和MSECP对应的PGEN。

每轮PUPD发送只响应一次PUPGQ



## 多网关选择

由于自MPP结点到MAP结点的下行信息往往是指定目标MAP的，所以不需要进行多网关选择。即多网关选择只发生在发送上行信息到Mesh网络外部时。

当需要将数据上行发往Mesh网络时，MAP结点将会在自己路由表中搜索通往其他MPP节点的ALLM最小的一个进行发送。由于AALM已经包含了通往MPP节点的路径拥堵情况和网络负载，所以多网关选择能够实现一定的负载均衡作用。

## 多网关路径选择

当Mesh网络中的节点接收到一个发往某个MTERP的数据帧时，会比较路由表中发往的MTERP对应的AALM，并选择其中最小的一个的下一跳节点作为数据帧的发送方向。由于AALM会依据网络负载状态更新，所以数据包总会选择较好的路径作为前进方向。当网络中的某个节点发送故障或拥堵时，除非所有的路由路径都会经过它，否则它只会导致经过它的某一个或几个通往指定MTERP的AALM增加，这种变化将会随着PUPD的逐级发送发往单向路径的起始结点。数据帧沿着单向路径传输的过程中，会由于AALM的变化而避开拥堵或者出现故障的路径。这样既能保持网络负载均衡，也能保证网络的容错性。

## 配置参数

## 辅助节点设置延迟时间PMTMGMPsecSetTime

用于等待辅助节点反馈信息的时间。

## 辅助节点筛选延迟时间PMTMGMPsecSetDelayTime

两次进行筛选辅助节点的间隔。

## 终端节点所属辅助节点数量PMTMGMPmsecpNum

终端节点可以拥有的辅助节点数量。

## 路径生成帧接受延迟PMTMGMPpgenAcceptDelayTime

在有同一源节点的同样PMTMGMGP SN路由信息的前提下，接受PGEN的延迟等待。

## 路径度量信息更新周期PMTMGMPpathMetricUpdataPeriod

节点对路由表中所有下一跳节点的遍历发送PUPD的间隔，每经过PMTMGMPpathMetricUpdataPeriod就会向下一个未发送的节点发送PUPD。

## 路径重复效验值PMTMGMPpathRepeatability

用于效验路径是否重复。

## 路径生帧成附带节点数量PMTMGMPpgenNodeListNum

生成路径时PGEN帧附带的部分路径最大长度，此长度的路径用于效验路径重复.

## MTERP积累传播时间链接度量倍率PMTMGMPmterpAALMmagnification

MTERP节点计算AALM时采用的m值。

## MSECP积累传播时间链接度量倍率PMTMGMPmsecpAALMmagnification

MSECP节点计算AALM时采用的m值。

## PGER延迟等待时间PMTGMGMPpgerWaitTime

用于等待MSECP的回复SECACK的延迟。

## 路由表路径信息寿命PMTGMGMProutePathInforLife

路由表路径信息的寿命，超出的路径将会丢弃。

## 路由表信息检测间隔PMTGMGMProuteInforCheckPeriod

进行路由表信息自检的时间间隔

## PUPD发送间隔PMTMGMPpathMetricUpdatePeriod

PUPD的发送时间间隔。

## PUPD发送数据量PMTMGMPpudpSendSize

PUPD发送的数据量。

## PUPD发送的路由树序序号PUPDsendRouteTreeIndex

PUPD发送路由树数据。在路由表中循环选择路由树添加，PUPDsendRouteTreeIndex用于标记选择的路由树。