

# 基于无线 Mesh 网络的路由协议研究

陈 贇<sup>1</sup> 蒋念平<sup>2</sup>

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

**摘要:** 无线 Mesh 网络是一种新型的无线通信网络,由于发展不成熟,没有统一的通信方案,路由协议也是一样。现有路由协议各有各的缺陷,在分析了各类协议的优势和不足后,提出一种基于多收发器 Mesh 节点的路由算法,可以避开一些任务繁忙的节点,降低网络延时。在新型体系下,Mesh 节点的路由选择主要基于路由的期待传输时间(expected transmission time,ETT),而不是最小跳数,能够更好的进行路由选择,避免增加局部网络拥堵,增加网络的吞吐量。通过仿真软件 OMNeT++4.0 进行仿真可以发现,新型路由体系应用在网络流量大的场合相比传统路由体系将具有明显优势。

**关键词:** 无线 Mesh 网络;路由协议;多收发器;期待传输时间;路由选择

**中图分类号:** TP368.1;TN915.02 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.0811

## Router protocol research based on wireless mesh network

Chen Yun<sup>1</sup> Jiang Nianping<sup>2</sup>

(University of Shanghai for Science and Technology, Department of Electronics and Computer Engineering, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Wireless mesh network is a new system of wireless information exchange network, due to the immature solution of communication protocols, there is no unified communication solutions. The existing routing protocol each have their own shortcomings, after analyzing the advantages and disadvantages of various types of protocol, proposed a routing algorithm based on multi transceiver which is able to avoid those busy nodes and to reduce network latency. Under the new system, mesh node would choose routing mainly based on ETT (expected transmission time) of every routing rather than minimum hops, which would provide a better way to choose routing that is able to avoid increasing partial network congestion while increasing network throughput. With the help of simulation software OMNeT++4.0, we can find that the new routing system has some advantages in network-traffic occasions comparing with traditional routing system.

**Keywords:** wireless mesh network; routing protocols; multi-transceiver; ETT; routing

## 1 引言

无线 Mesh 网络也称为“多跳(multi-hop)”网络,是一种与传统无线网络完全不同的新型无线网络技术,是一种高容量、高速率的点对点分布式网络,可以看成是无线局域网和移动 Ad Hoc 网络优势的融合<sup>[1]</sup>,是 Internet 的无线版本,是解决宽带无线接入“最后一公里”瓶颈问题的新型网络结构<sup>[2]</sup>。

无线 Mesh 网络技术目前还未成熟,有许多问题需要研究,特别是协议上的问题。在网络的物理层、Mac 层、路由层、传输层都有各种各样的协议,而且硬件上的设计各有差异。在每个层次又有各种各样的问题,如隐藏终端、最佳路由选择、网络分区等等,这些问题之间又相互之间或多或

少有影响,目前没有办法用一个统一的协议来解决。无线网络中的路由判据主要有最小跳数(minimum hop count, MHC)、单跳往返时间(per-hop round trip time, RTT)、期待传输次数(expected transmission count, ETC)和期待传输时间(expected transmission time, ETT)等<sup>[3]</sup>,基于不同的路由判据衍生了不同的路由协议,但基于期望时间的路由协议相对较少,而本文的路由算法就是基于 ETT 进行设计。

## 2 当前无线 Mesh 网络路由体系分析

无线 Mesh 网络的路由协议可以借鉴 Ad Hoc 网络的路由协议。Ad Hoc 网络路由协议可以分为 3 种:1)表驱动路由协议,也叫先验式路由协议;2)按需路由协议,也叫反

应式路由协议;3)前二者的混合,叫混合式路由协议。无线 Mesh 网络也可以沿用这三种类型的路由协议。目前几种比较典型的路由协议包括目的序列距离矢量路由协议(DSDV),动态源路由协议(DSR),Ad Hoc 按需距离矢量路由协议(AODV)等<sup>[4]</sup>。

表驱动路由协议通过连续的检测链路质量,时刻维护准确的网络拓扑和路由信息。虽然发送报文时可立即得到正确的路由信息,但表驱动路由需要大量的控制报文,消耗了大量网络资源<sup>[5]</sup>。

反应式路由协议中节点不需要维护网络的拓扑结构,仅当需要时才查找相应的路由,这就节省了路由维护的开销,特别是当网络流量不大时,节省的资源很可观。反应式路由算法比先应式路由算法有着较好的包接收率、较低的网络开销和较好的网络扩展性等,故现有大量文献主要针对反应式路由算法<sup>[6]</sup>。

混合路由协议结合了表驱动路由和按需路由的优点。混合路由在域内使用先应式路由,在域外使用反应式路由。混合路由的本质就是定义路由区域,并且把先应式路由限定在本域内。混合路由需要预先给定域的半径,但问题是网络状态和节点密度可能是动态变化的,不容易给出最佳半径。

### 3 基于无线 Mesh 网络的新型路由体系

现有的 Mesh 路由体系中 Mesh 路由器既要为本地设备提供接入服务,同时又要为其他节点提供数据转发服务,很容易造成局部网络拥堵。硬件上已经有人提出了每个节点安装两个收发器的设计,本文采用类似的设计。

#### 3.1 Mesh 路由器功能设计

在 IP 网络中,路由表是工作在 IP 协议网络层实现子网之间转发数据的设备。路由器内部,如图 1 所示,可以划分为控制平面和数据通道。

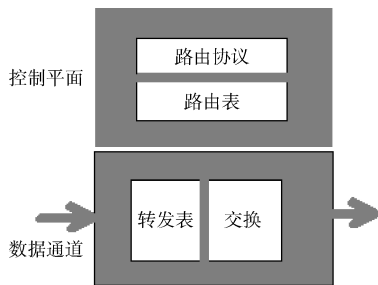


图 1 传统路由器结构

路由协议根据网络拓扑结构动态生成路由表。IP 协议把整个网络划分为管理区域,这些管理区域称为自治域,由此,路由协议就有域内协议和域间协议之分。

域内路由协议,如 OSPF,在路由器间交换管理域内链路状态,根据链路状态推导出路由表。域间路由协议,如 BGP,根据距离向量和过滤策略生成全网路由表<sup>[7]</sup>。域间

路由协议相邻节点交换数据,不能使用多播方式,只能采用点到点连接,而且域间路由协议不能使用缺省路由,BGP 路由表必须表达 IP 网络全部子网的信息,所以路由表项较多<sup>[8]</sup>。

Mesh 路由器的设计可以借鉴 IP 网络路由器。不同的是,现在在每个节点配置多个网卡,每个网卡具备独立的收发器,同时使用不同频段(如 802.11a,802.11b,802.11g)上的信道分别通信,避免同频干扰,而且这两个网卡功能也不同,后面将会提到。

#### 3.2 基于多网卡路由器的 Mesh 网络路由算法

前面提到表驱动路由协议需要节点时刻维护网络路由信息,为此需要发送大量报文,大大增加了网络开销,占用了大量网络资源。但不可否认的是,表驱动路由协议可以立即获准确的路由信息。而按需路由协议节省了大量网络资源,但是获得准确路由增加了网络延时。为此,提出一种基于多网卡 Mesh 路由器的通信方式。

现有的路由协议均以最小跳数(HOP)为标准来选择路由路径。研究表明,这种判据在大多数情况下并非有效,如链路质量较差或网络拥挤的情况下,选出的路由往往不是最优路由。

现假设系统符合以下情况:

- 1) Mesh 路由器配置两个网卡,每个网卡装有一个半双工收发器;
- 2) 每个收发器都有多个信道,其中一个网卡专门用于交换另一个收发器的路由信息;
- 3) 每个节点能周期性的获得所有下一跳节点的使用信道情况和收发情况;
- 4) 能生成全网路由表(使用类似 IP 网络域间协议 BGP);
- 5) 硬件符合 IEEE802.11 标准,因此不需要修改现有应用层协议和网络层协议,节点就可以使用多信道<sup>[9]</sup>;
- 6) 节点状态信息包含信息很少,远少于一个数据分组,所以发送一个节点状态信息的所需时间远小于发送一个数据分组的时间,这样节点间才能了解某个时刻相邻节点的收发状态。

配置多网卡的 Mesh 路由器其中一个网卡命名为节点状态网卡,此网卡不参与传输数据包,通过此网卡周期性的和其他节点交换数据信道信息,此网卡使用单独的频段如 802.11b 和其他节点的数据信道状态卡建立一个独立的局域网。为此路由器需要把真正收发数据分组的网卡的情况如发送忙、接收忙、接收或发送多少数据分组、信道空闲等通过节点状态网卡发送给其他节点。这样当有数据转发任务的时候,其他节点可以根据本节点是否能接受任务来选择最好路径。

为说明这样设计的必要性,现举例说明:如图 2 是一个局部无线 Mesh 网络,从节点 1 到节点 6 有多条路径,按照跳数从少到多排序:1—4—6,1—2—4—6,

1—2—5—6, 1—2—3—4—6。通常情况下按照选择跳数少的原则,路由选择表应该选择第一条路径,但是如果节点 3 和节点 4 的正在一条信道上通信,而节点 2 和节点 5 空闲,选择第 3 条路径更为合理。

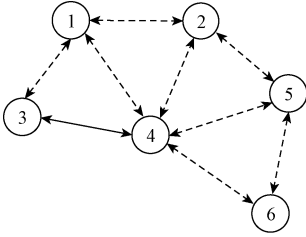


图 2 局部无线 Mesh 网络

为此,节点除了维护路由表以外,应该再增加一条路径优先级表,在高优先级路径等待时间较长时,自动选择下一优先级路径。此外,Mesh 网络中的路由器通过报文维护本身及区域内其他节点的路由表,路由表的内容是每个节点下一跳能到达的节点,也就是说有多少节点就有多少路由表,而且这些路由表存在于区域内每个路由器的缓存中。当源节点向需要目的节点发送数据分组时,首先通过路由器通过节点路由表计算出  $L$  (由于涉及具体协议编写,  $L$  此处不给出具体数值,视情况而定) 条路径<sup>[10]</sup>,按跳数从少到多排序。

假设此刻网络情况如图 3,其中用于数据分组传输的网卡有多条信道,围绕此图具体说明该算法。

如图 3 所示(如果两个没有互相连接,表示不在彼此传输范围内),现在节点 1 要向节点 6 发送  $N$  个数据分组,但是此刻部分节点还有收发任务。节点 2 在信道 2 上要向节点 7 发送  $P_2$  个数据包,节点 4 要在信道 1 上要向节点 9 接收  $P_4$  个数据包(由于临近节点互相交换信息,节点 9 将要发送的数据分组数即节点 4 将接收的数据分组数),节点 5 在信道 3 上要向节点 10 传输  $P_5$  个数据分组,如果要经过这些节点传输数据必须让之前正在进行的任务先完成。

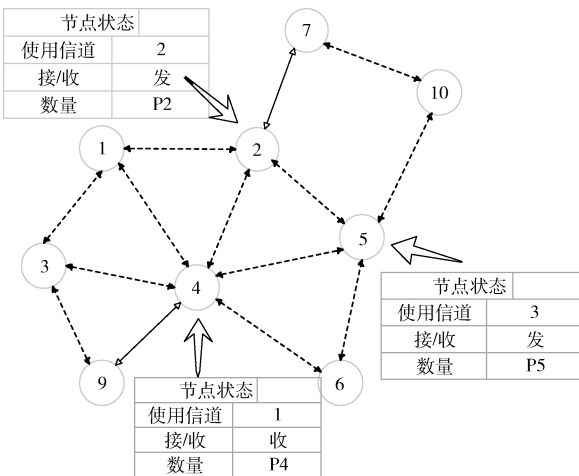


图 3 某时刻网络状态

根据全网路由表,路由器可以得到此时路由按跳数从少到多排列,跳数为 2 的有①④⑥,跳数为 3 的有①②④⑥、①②⑤⑥、①③④⑥、①④⑤⑥,跳数为 4 的有①②④⑤⑥、①③④⑤⑥、①②④⑤⑥、①④②⑤⑥等。可以发现跳数越多越会包含跳数少路由的节点,这样跳数为 4 的基本上不用考虑。为此,这里路由由优先级表添加路径需要加上几条原则:

- 1) 跳数少的优先级最高;
- 2) 跳数多的路径如果包含跳数少的路径的中间节点,则该路径优先级低于同跳数包含上一优先级路由中间节点少的路径;
- 3) 同跳数中间节点待转发任务多的优先级低于待转发任务少的,该原则低于上一条;
- 4) 优先级路由表的路由条数不多于 5 (上面提到的  $L$ , 这里定为 5) 条(降低算法复杂度)。

有了以上原则,路由优先级表最高优先级路径应是 1、①④⑥,次优先级是 2、①②⑤⑥,第 3 优先级是 3、①③④⑥(原则 C),第 4 优先级是 4、①④⑤⑥,5、①②④⑥(随机排列)。优先级表如表 1,数值越小,优先级越高。

表 1 路由优先级表

优先级	路径
0	1-4-6
1	1-2-5-6
2	1-3-4-6
3	1-4-5-6
4	1-2-4-6

按照路由优先级,先来计算最高优先级路径①④⑥的期待传输时间  $ETT_1$ ,由于传输时间占整个过程的大部分,计算时只考虑每两个节点间传输数据分组的时间,然后进行求和。路径 1 中节点 1 要向节点 4 传输数据必须等到节点 4 的任务完成所以要等待时间  $T_1$ 。假设节点传输一个数据分组的时间为  $T_0$ ,那么:

$$TWT_1 = P_4 \times T_0 \tag{1}$$

节点 1 传送  $N$  个数据分组到节点 4 的传输时间为:

$$Tp_1 = N \times T_0 \tag{2}$$

节点 4 传送  $N$  个数据分组到节点 6 的传输时间为:

$$Tp_4 = N \times T_0 \tag{3}$$

那么根据式(1)~(3),路径 1 的  $ETT$  为:

$$ETT_1 = TWT_1 + Tp_1 + Tp_4 \tag{4}$$

根据以上计算方法,次优先级的路径①②⑤⑥也分段进行,首先是节点 1 要传输数据给节点 2,但是此时节点 2 还有待转发任务未完成,那么,节点 1 要等待时间  $TWT_1$  如下:

$$TWT_1 = P_2 \times T_0 \tag{5}$$

然后节点 1 开始发送数据分组给节点 2,发送时间为  $Tp_1$ :

$$Tp1 = N \times T0 \quad (6)$$

接着,节点2准备发送数据分组给节点5,前面提到再整个传输过程开始前节点5有P5个数据分组待发送,由于这个计算过程是发生在整个发送任务之前,节点2不能通过节点状态网卡获得节点1和2完成数据传输后节点5的状态,所以要计算节点2等待时间TWT2:

$$TWT2 = P5 \times T0 - TWT1 - Tp1 \quad (7)$$

此处要注意,协议编写时要判断TWT2是否大于0,若TWT2小于0,则令TWT2等于0。

再来计算节点2向节点5传输数据分组的时间Tp2:

$$Tp2 = N \times T0 \quad (8)$$

节点5传输数据分组给节点6的时间是Tp5:

$$Tp5 = N \times T0 \quad (9)$$

根据式(5)~(9),路径2的ETT:

$$\begin{cases} ETT2 = TWT1 + Tp1 + TWT2 + Tp2 + Tp5 \\ TWT2 = TWT2(TWT2 \geq 0) \end{cases} \quad (10)$$

$$TWT2 = 0(TWT2 < 0)$$

同样的,路径3~5的ETT也按照上面的方式计算,但是这里注意到路径3~5包含路径1全部节点,所以这些路径的ETT必定不会小于路径1,可以判定:

$$\begin{cases} ETT3 \geq ETT1 \\ ETT4 \geq ETT1 \end{cases} \quad (11)$$

$$ETT5 \geq ETT1$$

所以这里只需要比较ETT1和ETT2来选择路径,在ETT1≤ETT2时,选择路径1;当ETT1>ETT2时,选择路径2。当然并不是所有情况都只需要计算两个ETT,当低优先级路径不完全包含高优先级路径时,就需要计算这条路径的ETT,所以在判断是否需要计算路径的ETT时,可以加上3条原则:

1)如果低优先级的路径完全包含高优先级路径的全部节点,那么这条路径的ETT比不会小于高优先级路径,因此不用计算该路径的ETT;

2)若节点在整个传送过程开始前有任务,需要计算该节点在收发数据之前需要等时间TWT实际上每个节点开始发送数据前,都要计算TWT,上面计算过程没提到的TWT是因为没有TWT(如路径2节点5给节点6传输数据时,该TWT就是节点2给节点5发送数据前的TWT);

3)若路径中的两个节点原本有对应的收发任务(即一个节点发,另一个节点收,但两个节点都在路径中),那么计算TWT时只需要计算其中一个节点的TWT,因为经过TWT后,两个节点原本的任务都完成了。

以上就是本文设计的路由算法,这里将该算法命名为RMETT(redesigned minimum expected transmission time)。该算法只针对未划分区域的Mesh网络和分区后Mesh区域内通信,也就是说对于范围十分大的分区型Mesh网络(类似IP网络的分区),两个不同区域内的节点

的路由选择不一定适合。域间路由选择可以参考文献[6]。

#### 4 新型路由体系RMETT性能理论分析

由于在多收发器的基础上设计,通过节点状态网卡能够不断检测网络拓补和链路质量变化然后来更新路由表<sup>[11]</sup>,并且不影响数据分组的收发,节点状态网卡起到监视器的作用。新型路由算法的主要作用是寻找最高效的路由,如果和Mac层协议相结合还能为Mac层提供信道信息。新型算法解决了表驱动路由协议和按需路由协议的缺陷,虽然看起来用一个单独的网卡来传输节点路由信息有些浪费,但是该网卡还可以另外设计功能。

在现在的IEEE 802.11s下,多无线Mesh路由器只是IEEE 802.11 b/g的无线物理层收发机。接入服务的节点还要承担数据转发任务,如果Mesh骨干网中每个Mesh接入点只有一个无线收发机,在为本区域内终端接入服务的同时,还要承担其他节点的转发任务,终端用户得到的资源比起WiFi网络会有所降低<sup>[12]</sup>。为此,对于新型路由体系中,节点状态网卡还可以为终端提供接入服务。不仅如此,在几乎所有WSN(wireless sensor network)中,都存在隐藏终端问题,采用控制信息与数据转发分离的设计能更好的解决此问题。

#### 5 仿真与结果分析

实验环境使用OMNeT++4.0仿真工具对原始最小跳数算法(MHC)和本文的最小期待传输时间算法(RMETT)进行分析比较。

仿真环境中100个节点随机并均匀分布在200m×200m的正方形区域内,节点通信距离为20m,s数据分组长度其中只有Sink节点直接与网关相连并处于区域中心,这样一来与Sink节点相距最远的节点就有4个,这4个节点最少要经过200/(20×1.414)个路径节点才能与Sink节点通信,除这4个距离Sink节点和Sink节点本身以外的节点都称为路径节点,且实验中繁忙路径节点均匀分布。仿真中假设丢包率为0,丢包率为0是指在比较理想的传输环境下,节点/网关最大的数据交付能力,即设备的最大吞吐量<sup>[13]</sup>。

通过观察这4个节点在路径节点拥塞状态相同情况下与sink节点的平均通信延时和平均分组投递率来比较协议的性能。3种协议下的实验结果如表2、3所示。

表2 MHC、ETT和RMETT的平均延时 (s)

繁忙路径节点个数	MHC	RMETT
10	0.047 1	0.050 2
20	0.602 0	0.566 1
30	0.823 1	0.721 3
40	0.915 9	0.790 6
50	1.289 2	1.251 9

表 3 MHC、ETT 和 RMETT 的分组投递率 (%)

繁忙路径节点个数	MHC	RMETT
10	98.729 3	98.706 3
20	80.863 9	81.326 1
30	61.368 1	63.562 9
40	50.236 9	53.613 8
50	41.023 6	46.763 1

通过表 2 和 3 可以看出,随着路径节点拥塞增加 RMEET 协议在减小网络延时和分组投递率上的优势越来越明显,因为网络越拥堵,越需要避开转发任务繁重的节点。

在仿真中没有比较路由代价,因为 RMETT 采用双网卡设计,路由代价体现在硬件的花费上。

## 6 结 论

本文重点介绍了新型 Mesh 路由体系中的路由算法问题,新型路由算法从理论上说可以降低无线网络延时,提高网络吞吐量,本文目的在于提供一种新的 Mesh 网络协议设计思路。协议的设计也涉及硬件的具体设计方案,如果网络中的 Mesh 节点如文中所说符合多收发器多信道的要求,路由协议的设计就可以使用本文思路。新型路由体系会提高开发成本,但是使用成本会减少而运行效率会大大提高。在网络需求大且宽广的地方如商场,图书馆,会场等场合应用,将减少网络使用的整体成本。网络工作时只有较好的均衡各节点的能量消耗,才能避免某些节点过早消亡,提高能量效率,延长网络生存时间<sup>[14]</sup>,接下来应该对这两方面进行研究,还要考虑 MAC 层关于信道的使用。

## 参考文献

- [1] 文进. 无线 Mesh 技术在校园网建设中的应用研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.
- [2] 陈建华. 无线 Mesh 网络路由协议研究[D]. 南京:南

京信息工程大学,2009.

- [3] 陆一飞. 无线网络中编码传输和编码路由技术研究[D]. 南京:东南大学,2010.
- [4] 李嵩,楼巍. 基于 Ad-Hoc 网络的无线视频监控网络路由算法研究[J]. 仪表技术,2009(10):23-25.
- [5] 解亚琦. 无线 Mesh 网络路由协议的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2007.
- [6] 陈振,翟琰,胡松华,等. 基于网络划分的 VANET 路由构建及数据传输方法[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(8):836-842.
- [7] 倪宇哲. 基于区域的无线 Mesh 网络路由协议研究[D]. 广州:华南理工大学,2010.
- [8] 赵永精. 基于 trie 的路由查找算法研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2007.
- [9] 郑丁. 无线 Mesh 网络关键技术研究[D]. 长沙:中南大学,2009.
- [10] 何绵禄,褚伟,刘辉舟. AODV 路由协议的研究和改进[J]. 计算机工程,2015,10(1):110-114.
- [11] 邵东. Ad Hoc 网络中的低耗单播路由算法研究与应用[D]. 上海:上海交通大学,2007.
- [12] 郑彦光,徐平平,常瑞. 无线 Mesh 网络技术及其应用[J]. 电力系统通信,2007,10(7):16-20.
- [13] 张冲,熊勇,房卫东,等. ZigBee 网络性能测试系统研究[J]. 国外电子测量技术,2015,34(8):74-81.
- [14] 武海燕,李国平. 基于节点密度的非均匀分簇路由协议[J]. 电子测量技术,2014,37(12):127-130.

## 作者简介

陈贇,1992 年出生,硕士研究生,研究方向为嵌入式软件开发、无线传感器网络。

E-mail: usstchenyun@163.com

蒋念平,1957 年出生,硕士、副教授、硕士生导师,研究方向为仪器仪表开发、计算机实时控制、嵌入式系统开发及工业总线。