

# 基于 Internet 的无线 Mesh 网络节点接入策略

张 鹏, 杨寿保, 胡 云, 王大鹏, 腾 达

(中国科学技术大学计算机科学技术系, 合肥 230026)

**摘 要:** 针对无线 Mesh 网络模型在整体性能和稳定性方面存在的缺陷, 利用无线节点特性引入一种适用于 Internet 接入的无线 Mesh 网络模型——FIA-WMN 网络模型, 并提出该模型上的节点接入控制策略。仿真实验结果表明, 该模型及接入策略能有效改善无线 Mesh 网络的性能。

**关键词:** 无线 Mesh 网络; 节点接入控制; 路由 metric

## Wireless Mesh Network Node Access Strategy Based on Internet

ZHANG Peng, YANG Shou-bao, HU Yun, WANG Da-peng, TENG Da

(Dept. of Computer Science & Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

**【Abstract】** In view of the demerits of Wireless Mesh Network(WMN) in its performance and stability, a network model called FIA-WMN is introduced with accessing to Internet by using the features of wireless nodes. The strategy of node access control is also proposed. Simulation experimental results show FIA-WMN model and this access strategy can effectively promote the performance of WMN.

**【Key words】** Wireless Mesh Network(WMN); node access control; routing metric

### 1 概述

无线Mesh网络(Wireless Mesh Network, WMN)<sup>[1]</sup>是种新型无线网络体系结构,由Mesh路由器和Mesh用户构成。固定的Mesh路由器通过无线多跳链接形成无线Mesh网络的主干;支持移动的Mesh用户通过Mesh路由器接入Internet。WMN通过固定无线路由器,给用户 提供稳定的无线接入,同时,网络主干全部使用无线技术相连,部署成本较有线网络具有一定优势。相对于传统Ad Hoc网络,专用于转发数据的Mesh路由器提升了整个网络容量,也使网络可靠性得到增强。

目前关于 WMN 无线节点接入方面的研究主要集中在信道分配和移动切换。文献[2]通过改造 MAC 层使多 Radio 环境下的无线节点可以无缝地接入网络;文献[3-4]对多信道无线 Mesh 网络中信道分配算法进行研究;文献[5]提出利用多信道同时接入无线 Mesh 网络以提高网络容量的方案;文献[6]对移动终端的切换问题进行研究。上述针对无线节点接入的研究大多沿用 Ad Hoc 网络中的模型,缺乏对无线 Mesh 网络自身特性的考虑。

在 WMN 网络中,当无线用户需要访问 Internet 时,先接入最近的一个无线 Mesh 路由器,该路由器将用户对 Internet 的访问转发至网关。无线 Mesh 路由器由于只转发数据而没有移动性方面的需求,因此其位置通常是固定不变的;而无线终端用户具有较强的移动性和不确定性。因此,无线 Mesh 网络中各节点物理特性迥异,在网络中所充当的角色各有不同,其在无线 Mesh 网络接入模型中对应的功能实体是互异的。以往的无线 Mesh 网络接入模型对所有节点采用相同的接入策略,忽视了网络中各节点的不同特性和应用需求,这不但使网络结构变得复杂,也使上层路由决策和负载均衡变得困难,从而导致整体网络系统性能难以提升,稳定性无法满足要求。

本文对无线 Mesh 网络各节点的物理特性以及功能特性

进行分类,利用无线 Mesh 网络中节点的异构性建立适用于 Internet 接入场景的 Mesh 网络模型(Fixed Internet Access WMN, FIA-WMN),并给出无线节点接入控制策略。

### 2 FIA-WMN 网络模型

通过对现实应用场景的抽象能够得到一种具有代表性的网络模型,即固定互联网接入无线 Mesh 网络 FIA-WMN 模型。本节介绍 FIA-WMN 的结构和流量特性。

#### 2.1 FIA-WMN 网络结构

FIA-WMN 网络模型将无线 Mesh 网络中的节点按自身特性和应用需求划分成无线 Mesh 主干(Mesh Backbone, MB)和无线自治域 (Mesh Domian, MD)<sup>2</sup> 个层次。

固定 Mesh 路由器(Fixed Mesh Router, FMR)在转发数据的同时,也提供类似接入点(Access Point, AP)的无线覆盖功能,FMR 相互连接构成无线 Mesh 主干 MB。其中,一个或多个 FMR 通过有线方式连接到 Internet,为 FIA-WMN 网络提供 Internet 接入,本文把这种特殊的 FMR 定义为 Mesh 网关(Mesh Gateway, MG)。MB 通常由运营商或网络管理机构部署,使用固定的无线 Mesh 路由器,且一旦部署后就不会改变,只在需要时进行扩充,这就保证了无线 Mesh 网络具有较高的性能和较好的稳定性。

**基金项目:** 中国科学技术大学研究生创新基金资助项目“面向 Internet 应用的无线 Mesh 网络负载均衡路由协议研究”(KD2007048); Intel 高校基金资助项目“WiFi/UWB/WiMAX/3G Heterogeneous Multiple Radio Wireless Network Accessing & Routing Algorithm-Wireless Everywhere”(4507336215)

**作者简介:** 张 鹏(1982 - ),男,硕士研究生,主研方向:无线 Mesh 网络;杨寿保,教授、博士生导师;胡 云、王大鹏、腾 达,博士研究生

**收稿日期:** 2008-04-30 E-mail: pzhang@mail.ustc.edu.cn

无线自治域 MD 是移动终端的覆盖区域，由一个 FMR，多个 Mesh 用户(Mesh User, MU)和若干个移动 Mesh 路由器(Mobile Mesh Router, MMR)组成。其中，FMR 是 MD 的中心，管辖整个 MD；MU 包括笔记本、PDA 等移动终端；MMR 提供网络末端的数据转发功能，可扩展无线 Mesh 网络的覆盖范围，一般由用户根据需要自行架设，体现了无线网络灵活多变的可缩放性。

FIA-WMN 网络的结构如图 1 所示。

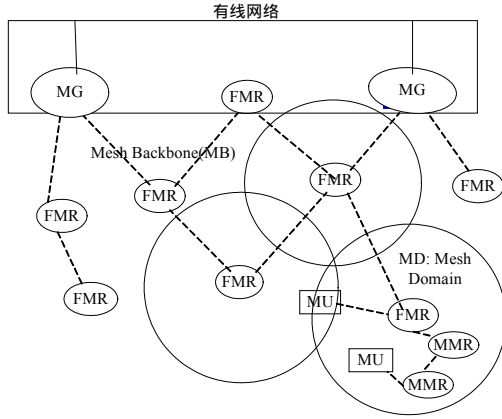


图 1 FIA-WMN 网络结构

## 2.2 FIA-WMN 网络的流量特性

无线 Mesh 网络的网关 MG 节点作为无线 Mesh 网络连接 Internet 网络的桥梁，虽然也具有 FMR 的无线功能，但由于其必须通过有线网络连接 Internet，因此它不具备任何移动特性。在 FIA-WMN 网络中，大部分需求都是从终端向 Internet 发起的数据传输请求。这样的流量特点使整个网络的负载都从末端汇集到 MG 节点上。这就要求 MG 在承载整个网络流量的同时，也负责收集 FIA-WMN 网络信息，通过对流量以及各节点状态的分析，进行后续的动态平衡等全局调整。

无线自治域 MD 中所有来自 MU 的数据都通过 MMR 转发或直接发送到管辖这个 MD 的 FMR 上，再由该 FMR 经多跳将数据送至 MG，最终发送到 Internet，即完成一次从无线终端到有线网络的数据传输，如图 2 所示。MD 内部的结构组织相对灵活，可根据用户需要自行定义，所使用的路由策略也不必完全相同。

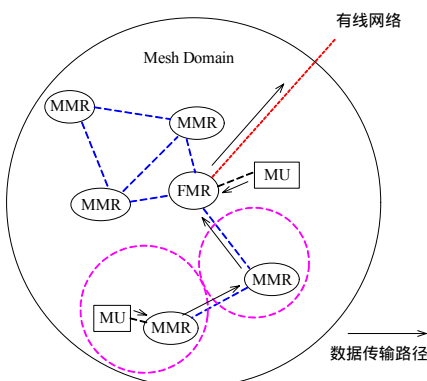


图 2 无线自治域 MD 功能示意图

## 3 FIA-WMN 节点接入控制策略

### 3.1 系统初始化

无线 Mesh 网络中的节点在启动后要维护一个节点状态表，以保存自己和邻居节点的属性和状态，如图 3 所示。

数据项	内容和功能		
ID	节点标识，每个节点在接入控制中有唯一的 ID		
Attribution	节点归属节点信息，FMR 即为自身，MU/MMR 的归属节点为他们所在的 MD 中的 FMR		
Admission	连接认证，有允许连接(Allow)和拒绝连接(Deny)2 个状态		
Hop	节点到 MG 节点的跳数，为连入网络的节点 $Hop=Hop_{max}$ ，MG 节点的 $Hop=0$		
NeighborList	ID(邻居节点 ID)	Hop(邻居节点到 MG 的跳数)	Stat 作为链路选择的 metric
	Node1	H1	S1
	Node2	H2	S2
	...	...	...

图 3 节点状态

在图 3 中，NeighborList 是按照 S 值降序排列的，以作为上层路由选择的参考指标。目前在无线网络中常见的 metric 是以跳数作为参考指标的，而 ETX<sup>[7]</sup> 和 ETT 是基于链路质量的，WCETT<sup>[8]</sup> 则综合了跳数和链路质量。

可以看出，多跳无线网络的性能主要由跳数和相邻节点间的链路质量决定。这里把 metric 抽象为这 2 个因素的函数，即  $S=f(H, L)$ 。其中，节点到网关的跳数 H 要小于网络允许的最大跳数  $H_{max}$ ，同时相邻节点间链路质量 L 必须大于网络所能容忍最差质量  $L_{min}$ 。

### 3.2 固定 Mesh 路由器 FMR 节点的加入和更新

固定 Mesh 路由器 FMR 节点的加入过程如图 4 所示。

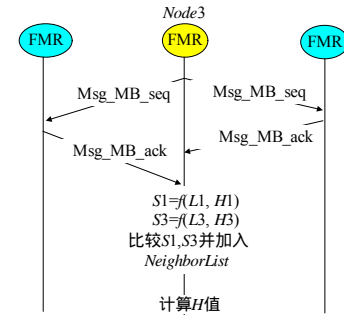


图 4 固定 Mesh 路由器 FMR 节点加入过程

对图 4 的说明如下：

(1) 如果节点  $H \neq 0$ ，则每隔一段时间需进行广播连接请求 Msg\_MB\_seq。

(2) 邻居节点收到 Msg\_MB\_seq 后，如果 Admission=Allow 且自己的  $H < HOP_{max}$ ，则需返回连接应答 Msg\_MB\_ack 帧，其所包含的信息如表 1 所示。

表 1 Msg\_MB\_ack 帧信息

数据项	内容和功能
ID	节点标识
Hop	该节点 Hop 值
timestamp	该节点的收到 Msg_MB_seq 和发出 Msg_MB_ack 的时间戳

(3) 节点发出 Msg\_MB\_seq 后需等待一段时间，并收集从邻居节点传来的 Msg\_MB\_ack。根据收到的 Msg\_MB\_ack 帧中包含的时间戳以及自身记录所发出的 Msg\_MB\_Seq 和收到的 Msg\_MB\_Ack 时间计算 L。若该邻居节点的  $L > L_{min}$  且  $H < H_{max}$ ，则使用  $f(H, L)$  计算 S，并将该邻居节点按 S 值降序放入 NeighborList。

(4) 将 S 值最大的邻居节点的 H 值+1 作为本节点的 H 值。

### 3.3 固定 Mesh 路由器 FMR 节点失效更新

当节点  $i$  向邻居节点  $j$  连续若干次发送数据失败时,则可认为该邻居节点  $j$  失效。这时只要在  $i$  的  $NeighborList$  中将  $j$  的条目删除,重新计算  $H$  即可。若删除  $j$  后  $NeighborList$  为空,则节点  $i$  重新广播  $Msg\_MB\_ack$  以加入网络。

### 3.4 无线自治域 MD 的内部管理

由于每个 MD 有且仅有唯一的 FMR 接入 FIA-WMN 网络,因此这个 FMR 就作为该 MD 中所有节点的归属标识,以辨别已连接的 MU/MMR 属于哪个 MD。

#### (1)MU/MMR 节点加入更新

MU/MMR 的加入过程和 FMR 类似,加入时发送探测消息  $Msg\_MD\_seq$ ,当邻居节点收到  $Msg\_MD\_seq$  后,若允许接入,则返回  $Msg\_MD\_ack$ ,其所包含的信息如表 2 所示。

表 2  $Msg\_MD\_ack$  帧信息

数据项	内容和功能
ID	该节点标识
Attribution	归属信息
Hop	该节点的 Hop
timestamp	该节点的收到 $Msg\_MD\_seq$ 和发出 $Msg\_MD\_ack$ 的时间戳

MU/MMR 需等待一段时间,以收集从邻居节点传来的  $Msg\_MD\_ack$ ,通过  $f(L, H)$  计算  $S$ ,并将该邻居节点按  $S$  值降序放入  $NeighborList$ 。选出  $S$  值最大的节点,同时计算自己的  $H$ ,并拷贝归属信息。

#### (2)Mesh 用户 MU 的失效和切换

Mesh 用户 MU 失效过程是由其邻居节点感知的。当一个邻居节点向相邻的 MU 连续若干次发送数据失败时,就可认为该 MU 已离开,此时只要直接在邻居节点的  $NeighborList$  中删除该 MU 条目。由于每个节点都保存了所有可感知的邻居节点信息,因此在路由层同时使用 TMIP 和 FLAT<sup>[6]</sup> 即可完成客户端的切换过程。

## 4 仿真实验及性能分析

为验证 FIA-WMN 网络模型在节点接入控制方面的性能,本文在相同节点拓扑情况下,分别采用 FIA-WMN 模型的节点接入方式和无节点状态表驱动,并采用 Hop 作为路由 metric 的方式(以下称为普通模型)进行对比实验。在 ns2 下建立的仿真场景如图 5 所示。

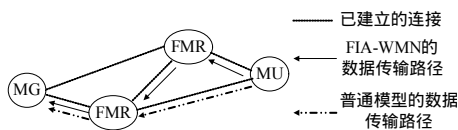


图 5 仿真实验场景

该场景由 4 个节点组成:一个节点模拟 MU 发送数据;一个节点模拟 MG 接收数据;其余 2 个节点模拟 FMR 作为转发节点。模拟实验中采用 802.11b 协议,TCP 传输采用稳定的 FTP 流。

#### 4.1 节点加入的仿真测试结果及分析

当 MU 加入已有的 3 个节点的 FIA-WMN 网络时,可连接到网络中的 2 个 FMR 中。在 FIA-WMN 模型中,路径选择由  $S$  值决定;在普通模型中则是根据跳数选择路径,显然 MU 可通过 2 hop 到达 MG。节点加入仿真测试结果如图 6 所示。其中,2 个模型在传输开始时都有一定的延迟。FIA-WMN 模型的时延主要是由 MU 广播  $Mesh\_MD\_seq$  并等待  $Mesh\_MD\_ack$  引起的,而普通模型同样需要类似的邻居节点发现过程,这说明采用本文提出的策略并不会明显增加节点

连接时的网络开销。在传输持续一定时间直至吞吐量稳定后,FIA-WMN 模型持续传输速率比普通模型高出 40%,这是因为在 FIA-WMN 模型中,节点可根据合理的路由 metric 来选择路径,从而获得较高的吞吐量。

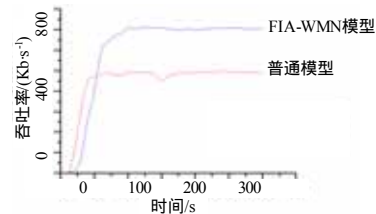


图 6 节点加入仿真测试结果

#### 4.2 节点失效仿真测试结果及分析

本实验在传输过程中设定一个 FMR 失效,则对于 FIA-WMN 模型来说需重建路由;而对于普通模型几乎没有影响。节点失效仿真测试结果如图 7 所示。

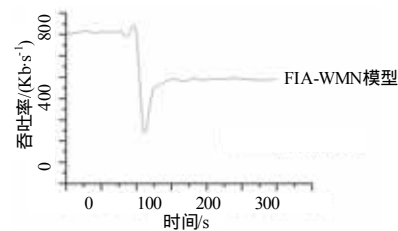


图 7 节点失效仿真测试结果

从图 7 中可以看出,在 100 s 时 FMR 失效,此时 MU 按原有路径发送数据失败;当发送失败超过最大次数时,MU 从节点状态表的  $NeighbourList$  中为路由提供备选链路。FIA-WMN 模型重建路由过程较短暂,虽然在 110 s 附近整体吞吐量有所下降,但数据传输速率很快恢复到场景变化后所能达到的最大值,说明使用本文所提出的策略能降低节点失效对整个网络的影响。

## 5 结束语

本文根据现实场景构建了基于 Internet 接入应用的无线 Mesh 网络模型,并在该模型上提出基本的节点接入控制策略:(1)系统初始化;(2)主干节点的加入和离开;(3)终端的加入、离开和切换。仿真实验结果表明,该模型和对应的策略能有效解决无线 Mesh 网络接入 Internet 和节点接入控制问题,具有一定的实际意义。

### 参考文献

- [1] Ian F, Wang Xudong, Wang Weilin. Wireless Mesh Networks: A Survey[J]. Computer Networks and ISDN Systems, 2005, 47(4): 445-487.
- [2] Adya A, Bahl P, Padhye J, et al. A Multi-radio Unification Protocol for IEEE 802.11 Wireless Networks[C]//Proc. of the 1st Int'l Conf. on Broadband Networks. Washington D. C., USA: IEEE Computer Society, 2004.
- [3] Alicherry M, Bhatia R. Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multi-radio Wireless Mesh Network[C]//Proc. of ACM MobiCom'05. NY, USA: ACM Press, 2005.
- [4] Kodialam M, Nandagopal T. Characterizing the Capacity Region in Multi-radio Multi-channel Wireless Mesh Network[C]//Proc. of ACM MobiCom'05. NY, USA: ACM Press, 2005.

(下转第 100 页)