

无线网状网域间无缝切换技术研究与设计

陈康先^{1,2*}, 陆以勤¹, 罗旭光², 杨峰²

(1. 华南理工大学电子与信息学院, 广州 510640; 2. 广州杰赛科技股份有限公司, 广州 510310)

摘要: 针对无线 Mesh 网络缺乏对域间移动切换支持的问题, 提出了一种高效的无线 Mesh 网络域间无缝切换技术, 降低切换时延, 实现无线 Mesh 网络域间的无缝切换. 通过对 STA 物理地址与 IP 地址的绑定, 设计地址对应关系表和路由算法, 并在源 MAP 与目标 MAP 建立缓存机制, 保存切换过程中的通信数据包, 实现在无线 Mesh 网络域间的有效切换. 通过网络设备的缓存策略与新的算法寻址机制, 减少 STA 在切换过程中的压力, 有效降低了切换过程的丢包率, 实现 Mesh 网络域间的无感知与快速切换.

关键词: 无线 Mesh 网络; 域间切换; IP; 缓存; 地址对应关系表

中图分类号: TP393.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5463(2015)04-0150-05

Inter-Domain Seamless Handoff Scheme Research for Wireless Mesh Network

Chen Kangxian^{1,2*}, Lu Yiqin¹, Luo Xuguang², Yang Feng²

(1. School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. GCI Science & Technology Co, Ltd, Guangzhou 510310, China)

Abstract: In order to support the inter-domain handoff for wireless Mesh Network, an efficient seamless inter-domain handoff for wireless Mesh Network is proposed. The technology uses seamless handoff to reduce the handoff time delay. By binding the IP address with the STA physical address, address mapping table and routing algorithm in STA are designed. In order to realize the effective inter-domain handoff in wireless Mesh Network, the buffering strategy is built between source MAP and target MAP and the communication data package is kept during the hand-off process. By employing the buffering strategy of network devices and the new path searching algorithm, the pressure during switching for STA and the package lose rate is reduced, and the seamless and quick switching inter-domain handoff for wireless Mesh Network is realized.

Key words: wireless Mesh network; inter-domain handoff; IP; buffer; AMT (address mapping table)

无线 Mesh 网络(Wireless Mesh Network, WMN)是一种 WLAN 的扩展形式^[1-2], 通过无线多跳方式构建无线网状骨干网, 为用户提供便捷的宽带无线接入服务. 该协议物理层基于 IEEE802.11 系列标准, 结合 MIMO 技术, 具有较高的网络带宽、更广的无线网络覆盖范围、灵活的自组网、扩展方便等特点. 用户可以在移动无线网络环境下通过不同的 Mesh 接入点(MAP)便捷接入无线网络, 但由于用户的移动性或网络拓扑及其无线信号强度的动态变化导致接入 MAP 的不断变化, 因此迫切需要一种高效的无线 Mesh 网络切换机制以提高用户在漫游过程中的持续通信能力.

目前, 主流的解决方案是 iMesh 和 MobiMesh 提出的^[3], 主要通过在一个无线网状网域内实现特定主机路由, 采用节点移动来触发路由的不断更新, 以确保本域内的路由表的实时性和有效性. 但 Mesh 无线频段使用的工业开放频道(ISM)受到的无线干扰严重, 加上频繁的广播路由更新消息会给域内无线网络带来大量路由通过通讯开销和二次复杂的干扰, 致使无线网络可靠性、可扩展性变差^[4]. 另外, SMesh 通过采用多播组和多个接入点同时为一个终端提供服务, 以牺牲带宽以及固有的通信频道资源为代价来保证连续的通信, 会使得无线网络容量变得非常有限^[5], 网络的鲁棒性和用户体验受到

严重制约.当终端发生域间或者较为复杂的移动环境时,采用以上方案将不能保障用户与通信之间实现端对端的连续通信^[6].

为解决这个问题,本文搭建了一个典型的 Mesh 网络域间切换场景,设计出一种新的路由算法,结合构建 Mesh 设备的缓存机制,提出了一种新的无线网状网域间无缝切换机制,实现 Mesh 网络的不同网络域之间的漫游切换,可以更有效地解决无线网状网域间切换问题.

1 无线 Mesh 网络域间切换模型

无线 Mesh 网络域间切换模型主要在 2 个 Mesh 域之间,基于设计新的切换协议机制.在原接入 Mesh 域与目标域之间实现切换请求与响应,实现 STA 从一个 Mesh 域移动到另一外域的所有通信消息过程.设计新的路由表(地址映射表),实现 Mesh 网对一个正在移动中的 STA 进行识别与绑定.在每个 Mesh 域接入点(MAP)设置数据缓冲区,保存正在切换中的 STA 已发起的通信而未接收处理的数据信息.当 STA 完成从源 Mesh 域移动到目标 Mesh 域时,通过地址映射表识别当前的 STA,并将由目标 Mesh 域向源 Mesh 域请求接收该 STA 在切换过程中未处理数据,并由目标 Mesh 域中的 MAP 向 STA 下发数据,从而实现无缝切换.

本文使用的无线 Mesh 网络域间切换场景见图 1,WMN 由以下 4 类节点组成:Mesh 网关节点(MPP),负责连接无线 Mesh 网络中其他节点与有线网络的网关,也是单个 WMN 的唯一有线接入网关实体;Mesh 转发节点(MP),负责 WMN 各个无线节点之间建立

无线网络,实现数据传输以形成 WMN 主干传输网,主要实现无线网络节点间形成自组网功能;Mesh 接入节点(MAP),它兼容了 WLAN 中 AP 的功能,同时具备 MP 无线路由转发的功能;无线用户终端(STA)主要通过无线网络接入 MAP 接入 WMN 取得服务.通常将由一个 MPP 及多个 MP 和多个 MAP 构成的 Mesh 网络称为一个域,图 1 为包含 2 个域的 WMN 场景,分别处于 MPP1 和 MPP2 的覆盖中.

当 STA 接入无线 Mesh 网络时,获得由 WMN 域分配的一个动态 IP 地址.通过接入的 WMN,STA 不断地与接入的 WMN 取得通信与服务.STA 在域内移动时,IP 地址可以保持不变.当 STA 移动到另一个域(目标域)时,则需要由目标 WMN 域重新分配一个该无线局域网内的 IP 地址.原 WMN 域及目标 WMN 域需要通过 MAC 和 IP 地址的映射实现对应关系,通过缓存、路由等手段实现数据的不间断通信.当 STA 从一个 WMN 域移动到另一个 WMN 域时,能够迅速知道切换前后的 IP 及其映射关系,并将原缓存数据通过映射的路由,将数据发送到新的 WMN 域,实现快速无缝切换.

在 WMN 域之间,WMN 需要以 MAC 地址作为 STA 的唯一标识,减少有的方案提到的多重逻辑结构关系^[7].MAP 建立与维护 STA 的 MAC 与 IP 的对应列表,MAC 地址绑定源 IP 与目标 IP,实现源 Mesh 域至目标 Mesh 域的数据包的转发路由.对应列表含有 STA 的 MAC 地址和被分配的 IP 地址信息.地址对应映射表存储有 STA 的 MAC 地址、STA 的 IP 地址、MAP 的 IP 和 MAP 的 MAC 地址信息,形成了各个节点的地址对应关系以及各 STA 的 MAC 地址与接入 MAP 的 MAC 地址的绑定关系,MPP 维护的地址映射表如图 2 所示.

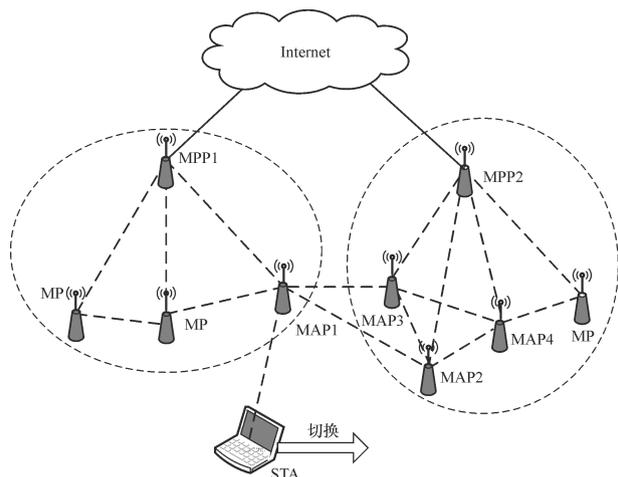


图1 无线 Mesh 网络域间切换场景

Figure 1 Scene for inter-domain handoff in Mesh network



图2 MPP 维护的地址映射表

Figure 2 Address mapping table in MPP

2 无线 Mesh 网络域间无缝切换技术

用户终端 STA 通过 2 种方式确认是否接入到新的 MAP,以切换到新的 WMN 域.一种是根据接收到的 MAP 信号强度(RSS),当前的 MAP 信号强度低于设定值时,STA 将不断扫描附近的无线信号及

其强度,从接收到的 MAP 中选择信号强度最好的 MAP 作为接入目标 MAP^[3,8]. 另一种方式是根据实际场景需求,主动选择下一个接入点 MAP,实现主动切换.

接入的目标 MAP 与原 MAP 根据接入网络拓扑有 2 种情况:在同一个 WMN 域内或在不同的 WMN

域内. 通常将前者称之为域内切换,后者称之为域间切换. 域内切换,从一个 MAP 到另一个 MAP,STA 的 IP 地址保持不变,切换与数据通信均可通过在 2 层(链路 2 层)实现. 在域间切换情况下,接入的 MAP 不存在同一个域,需要变动 IP 地址,这样就会发生 3 层(网络层)切换^[9]. Mesh 节点协议栈见图 3.

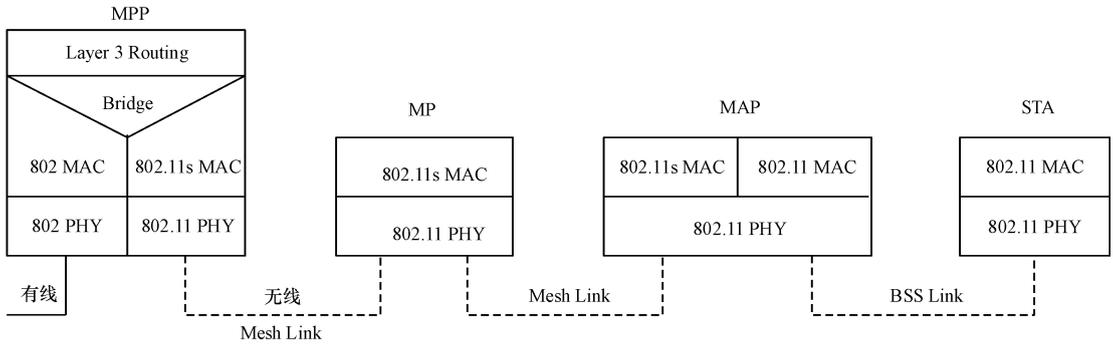


图3 Mesh 节点协议栈

Figure 3 Mesh protocol stack

以下主要聚焦于无线 Mesh 网络的域间切换问题,基于终端的 MAC 地址,构建相应的地址映射表,能够提高 STA 从一个 WMN 域切换到另一个 WMN 域的效率. 在切换过程中,通过增加源 MAP 节点的数据包缓存,以解决切换过程中数据包的丢包问题.

当 STA 从一个 MPP 的覆盖范围移动到另一个 MPP 的覆盖范围时,即 MPP 发生了改变,这时需要向新 MPP 进行代理更新,STA 同时和新旧网络进行协议交互. 结合图 1 中的实体编号,切换过程中 2 个网络的信令交互过程(图 4):

阶段一:准备阶段. Step1:在确定切换目标 MAP 为 MAP2 之后,STA 首先向 MAP1 发送切换请求消息,该切换请求消息包含 MPP2 的 IP 地址和 STA 的原 IP 地址;Step2:MAP1 收到切换请求消息后转发给 MPP1 节点;Step3:MPP1 节点通过有线网络发送该切换请求消息给 MPP2 节点;Step4:MPP2 节点为 STA 分配一个新的 IP 地址;Step5:MPP2 节点将切换准备消息发给 MAP2 节点,该消息中包含有分配给 STA 的 MAC 地址和新的 IP 地址;Step6:MAP2 节点预留相应资源,并返回切换准备完成消息给 MPP2 节点;Step7:MPP2 节点返回切换响应消息给 MPP1 节点;Step8:MPP1 节点转发该切换响应消息给 MAP1 节点;Step9:MAP1 节点转发切换响应消息给 STA,同时缓存发给 STA 原 IP 地址的数据包;

阶段二:切换过程. Step10:STA 更新自己的 IP 地址,并向 MAP2 节点发起接入请求消息;Step11:MAP2 节点发送接入完成通告消息给 MPP2 节点;

Step12:MPP2 节点向 MPP1 节点发送切换完成通告消息;Step13:MPP1 节点更新自己的 STA 列表,通知通信对端 STA 新的 IP 地址以及 STA 切换后对应的 MPP2 和 MAP2 的 IP 地址,并返回一个切换完成响应消息;Step14:MPP2 节点更新自己的 STA 列表,并返回接入响应消息给 MAP2 节点;Step15:MAP2 节点转发该接入响应消息给 STA,并转发其通信对端发送来的数据包;

阶段三:资源释放. Step16:STA 收到切换响应消息后,向 MAP1 节点发送断开连接请求消息;Step17:MAP1 节点检查自己的缓存中是否还有需要发送给 STA 原 IP 地址的数据包;Step18:如果没有,则释放资源. 如果有则更新这些数据的目的地址为 STA 的新 IP 地址,并转发数据到 MPP1 节点;Step19:MPP1 节点转发该数据到 MPP2 节点;Step20:MPP2 节点转发该数据到 MAP2 节点;Step21:MAP2 节点转发这些数据包到 STA 节点;Step22:当数据包发送完毕,MAP1 节点释放资源.

在 STA 与 MPP2 域内的 MAP2 建立连接过程中,原 MPP1 域中的 MAP1 保存 STA 在通信后续的网络通信数据;STA 完成从 MPP1 域切换到 MPP2 域后,MAP2 将之前缓存的属于 STA 的通信数据通过 MPP1 转到 MPP2,MAP2 将通过地址映射表,找到 STA 的接入目标 MAP2,并将数据包发送到 STA 当前连接的 MAP2 上,再由 MAP2 将该数据包发送给 STA. 由此一方面可以解决数据包丢失的问题,另外也可进一步提高无线 Mesh 网络的切换与接入效率.

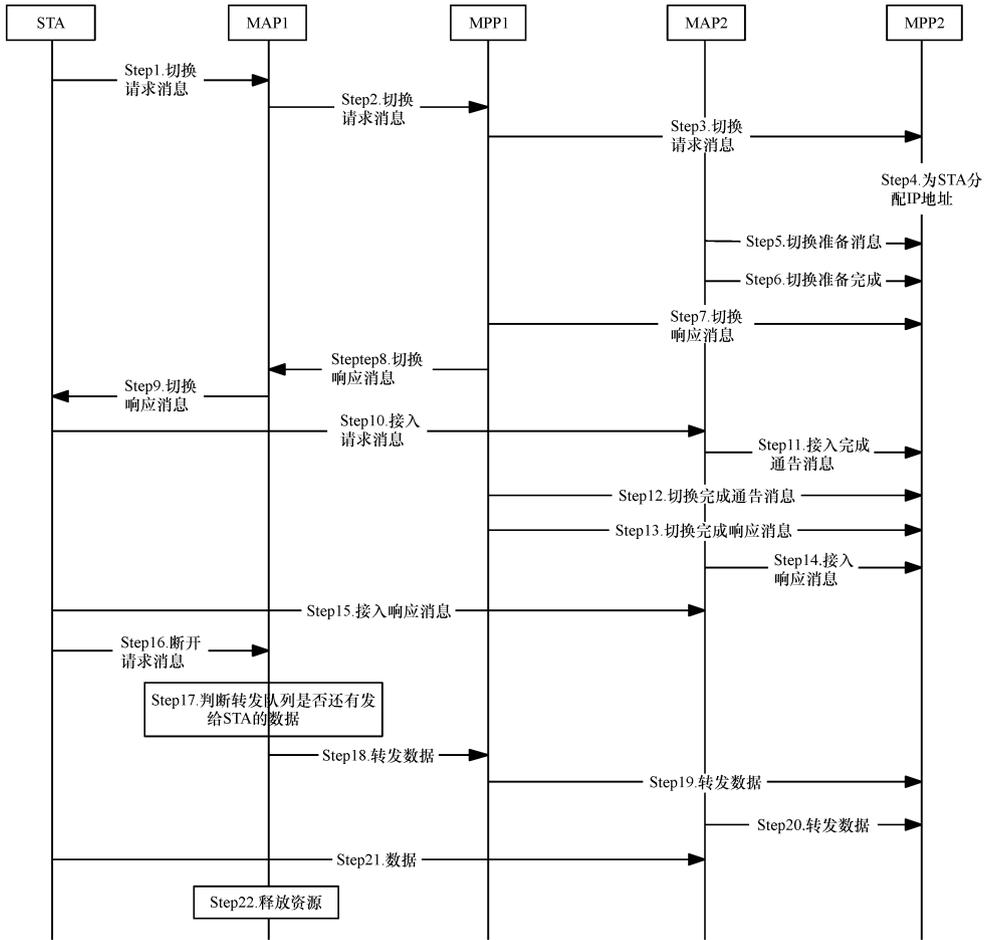


图 4 无线 Mesh 网络域间切换时序图

Figure 4 Sequence diagram of inter-domain handoff in wireless Mesh network

综上所述,在 STA 将要从 MPP1 切换到 MPP2 之前,MPP2 已经为 STA 分配了一个 IP 地址,以及为 STA 指定了 MPP2 域内的供 STA 接入的 MAP2;当 STA 进入到 MPP2 域中时,STA 既可以选择接入 MPP2 指定的 MAP2,能够保证 STA 可靠地完成从一个 MPP 域到另一个 MPP 域的无缝切换,且适用于类 WLAN 的网络环境。

3 实验验证

为验证上面的切换机制,以 Mesh 路由器设备 MSR2000 为基础,修改其数据包的处理机制,组建以下网络实验环境来验证终端的实际切换效果.主要基于 Layer3(3 层)的切换为基础,网络拓扑图如图 5 所示。

MAP1、MAP2 处于不同 Mesh 子网中,构建 2 个不同的 Mesh 子网:Mesh1 域和 Mesh2 域,2 个子网设置不同的频道.测试切换过程如下:

(1) 设置 MPP1 的 IP 分别为 172.0.0.10、10.0.10.1,网口与交换机相连,无线与 MAP1 相连;

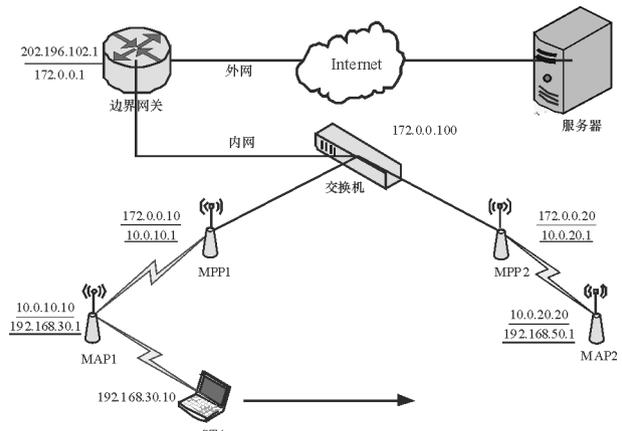


图 5 网络实验拓扑图

Figure 5 Experimental topology for inter-domain handoff in Mesh
MAP1 的 IP 分别设置为 10.0.10.10、192.168.30.1, 10.0.10.10 的 IP 连接 MPP1,保证网络相连, 192.168.30.1 的 IP 即为无线网络方面,保证 STA 可以成功关联到 Mesh 网络上。

(2) MAP1 建立缓存,同时建立与维护 STA 的 MAC 与 IP 的对应列表,MPP1 加入切换原语与路由。

(3) 同 Mesh1 域相同,设置 MPP2 的 IP 分别为

172.0.0.20、10.0.20.1,网口与交换机相连,无线与MAP2相连;MAP2的IP分别设置为10.0.20.20、192.168.50.1,10.0.20.20的IP连接MPP2,保证网络相连,192.168.50.1的IP即为无线网络方面,保证STA可以成功关联到Mesh网络上。

(4)2个Mesh网用一堵室内(砖墙)40m隔开,并依据场强(RSSI)进行切换,使STA靠近MAP1,通过MAP1接入无线网络。

(5)从STA ping 交换机100个报文,同时向MAP2方向以步行的速度移动STA,使STA通过MAP2接入无线网络。

(6)记录下发生切换时的丢包率。

(7)重复第5步骤,来回验证测试10次。

基于UDP协议的PING包本身也存在丢包的情况,但本方案忽略该协议执行情况,以实测数据为准,结果见表1。

表1 实际测试数据结果

Table 1 Results of real data test

切换次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
数据包/个	100	100	99	100	99	99	99	100	99	98	99.3
丢包率/%	0	1	1	2	1	1	1	0	1	2	0.7

来回10次的实验结果显示,数据的丢包率在0.7%以内,而WLAN的AP切换(漫游)平均丢包率通常在3%左右,这一数据远远低于该标准。

终端STA在从MAP1切换到MAP2过程中,通过缓存机制,将正在切换中的数据保存在源MAP,切换完成后,根据新的IP地址,结合地址映射表,将数据重新发送到目标MAP,通过MAP将数据转发到STA,不存在数据包丢包现象,而且网络连接稳定,基本可以做到STA的无缝切换。

4 结论

本文提出的无线Mesh网络域间切换方法实现无线宽带的不同WMN网络域之间的无缝快速切换。通过建立终端MAC地址与IP地址的映射,取得源域与目标域的关联关系,提高了终端在不同WMN域间切换的效率;通过增加源MAP的数据包缓存,有效减少了切换过程的丢包率。另外,该思想也可应用在WLAN的无线快速无缝切换领域,解决WLAN的快速切换问题。

参考文献:

- [1] LAN/MAN Standards Committee IEEE P802.11s D5.0-2010, IEEE draft standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements-part11;Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer(PHY) specifications amendment 10;mesh networking[S].
- [2] Navda V, Kashyap A, Das S. Design and evaluation of iMesh: An infrastructure-mode wireless mesh network [C]//Proceeding of the 6th IEEE international symposium on a world of wireless mobile and multimedia net-

works. Taormina, Italy, 2005: 164-170.

- [3] 谢丽华,杨寿保,胡云,等.异构无线Mesh网络层次化平滑切换方案[J].计算机工程,2010,36(4):82-84. Xie L H, Yang S B, Hu Y, et al. Hierarchical smooth handoff scheme for heterogeneous wireless mesh network [J]. Computer Engineering, 2010,36(4):82-84.
- [4] Capone A, Cesana M, Napoli S, et al. MobiMESH: A complete solution for wireless mesh networking [C] // Proceeding of IEEE international conference on Mobile Ad hoc and sensor systems. Pisa, Italy, 2007:1-3.
- [5] Amir Y, Danilov C, Hilsdale M, et al. Fast handoff for seamless wireless mesh networks [C] // Proceeding of the 4th international conference on Mobile systems, applications and services. Uppsala, Sweden, 2006:83-95.
- [6] 陈康先,杨峰.基于IPv6的无线Mesh网络切换技术研究[J].移动通信,2014,38(2):37-42. Chen K X, Yang F. Research on the switching technology of IPv6 wireless mesh network [J]. Mobile Communications, 2014,38(2):37-42.
- [7] 袁琦凯,张奇支,基于瞬间绑定的PMIPv6协议的域间切换方案[J].华南师范大学学报:自然科学版,2012,44(2):58-62. Yuan Q K, Zhang Q Z. An inter-domain handover scheme based on transient binding for proxy mobile IPv6 [J]. Journal of South China Normal University: Natural Science Edition, 2012,44(2):58-62.
- [8] 方旭明,戚彩霞,向征. IEEE802系列无线网络网状组网与移动切换技术综述[J].计算机应用,2006,26(8):1756-1761. Fang X M, Qi C X, Xiang Z. Overview on wireless mesh networking and mobile transition techniques in IEEE 802 series [J]. Journal of Computer Applications, 2006,26(8):1756-1761.
- [9] CBWIPS/Z 006-2012,无线局域网网状网技术规范[S].