

# 无线网状网技术与应用

卢菲恬,肖明波,杨光松

(厦门大学 福建 厦门 361005)

**摘要:**无线网状网(WMNs)由网状路由器节点和客户机节点组成,其中的网状路由器节点组成了无线网状网的网络骨干,其移动性很小。他们一起为无线网状网和其他常规无线网络的客户机节点提供网络的无线接入。WMNs技术结合了中心式控制的蜂窝网与分布式控制的无线自组织网的优点,可有效克服这两种技术的缺陷并显著提高无线网络的性能,已经成为下一代无线通信网络的研究热点之一。WMNs可为无线个域网、局域网、校园网、城域网的一系列应用提供高速无线宽带接入服务。虽然目前WMNs技术发展很快,但其协议栈各层仍存在许多有待研究的课题。首先简要介绍了无线网状网的结构与特点;随后重点分析了其主要的几个应用领域;最后探讨了WMNs各协议层的研究现状与关键技术,并分析了该技术存在的问题及未来的研究方向。

**关键词:**无线网状网;无线自组织网(Ad Hoc);网络结构与特点;应用场合;协议层

中图分类号:TN915.02

文献标识码:B

文章编号:1004-373X(2006)06-070-04

## Techniques and Applications in Wireless Mesh Networks

LU Feitian, XIAO Mingbo, YANG Guangsong

(Xiamen University, Xiamen, 361005, China)

**Abstract:** Wireless Mesh Networks(WMN) consist of mesh routers and mesh clients, where mesh routers have minimal mobility and form the backbone of WMNs. They provide network access for both mesh and conventional clients. WMNs are anticipated to resolve the limitations and to significantly improve the performance of wireless Ad Hoc networks and mobile cellular networks. They are undergoing rapid progress and inspiring numerous deployments. WMNs will deliver wireless broadband services access for a large variety of applications in personal, local, campus, and metropolitan areas. Despite recent advances in WMNs, many research challenges remain in all protocol layers. This paper presents a detailed study on recent advances and application scenarios in WMNs, followed by discussing the system architectures and characteristics briefly. Finally, recent research and advanced techniques of each protocol layer are described, and some open issues are analyzed.

**Keywords:** wireless mesh networks; wireless Ad Hoc networks; network structure and characteristics; application scenarios; protocol layer

伴随着无线用户对于高速宽带接入的需求,无线网状网(WMNs)技术应运而生<sup>[1]</sup>。他既能提供相对稳定的网络骨干(网状路由器)结构,又允许其客户机节点以灵活的Ad Hoc自组织的方式进行组网。该技术应用前景广泛,在某些特定场合有其独到的技术优势。

## 1 无线网状网的结构及特点

### 1.1 网络结构

WMNs的节点有2种类型:路由器或客户机,其中组成网络骨干的路由器移动性很小,他们提供网状网与其他网络(如Internet、蜂窝网、IEEE802、传感网)连接的网关和路桥功能(如图1所示);客户机可以是静止或移动的,客户机间可自己组网或与网状网的路由器共同组网。

### 1.2 主要特点

**无线多跳** 通过降低无线节点的发射功率,实现了节

点间的多跳传输,既可有效降低节点能耗,又降低了节点间的干扰,提高了无线信道的空间复用度,从而提高了网络的容量。

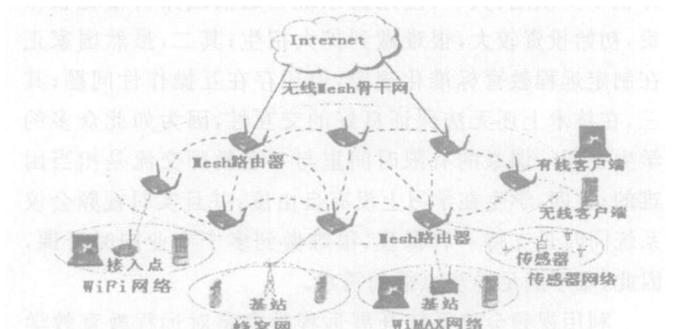


图1 WMNs网络结构图

**自组织、自修复能力** 无线网状网组网方式灵活、易于配置、可自我修复、节点呈网状分布,网络扩展性很强,可实现多点到多点的无线通信。

**移动性** 取决于节点的类型, 要求路由节点移动性最小, 客户机节点可灵活移动。

**接入方式** 灵活多样, 可分别与 Internet、蜂窝网、传感网等共同组网。

**能耗方式** 通常对路由节点的耗能没有严格的限制, 而对客户机节点通常要求执行功率有效的协议。

**兼容性与互操作性** 与现存的无线网络兼容良好, 互操作性强。

## 2 无线网状网的应用场合

无线网状网的研究与发展的动机是为了解决其他无线网络所无法直接提供解决方案的特定的应用场合, 主要应用领域<sup>[3]</sup>包括:

### (1) 宽带家用网

目前的宽带家庭网是在 IEEE 802. 11 WLANs 上实现的, 其主要的缺陷是存在某些服务覆盖不到的通信盲区, 而用于解决该方法往往过于昂贵且不太方便(比如接入点 AP 间用网线进行连接等), 不适合家庭的实际应用需求。WMNs 可以提供纯无线的解决方案, 如通过增加网状路由器、改变路由器的位置或调整路由器的发射功率来覆盖通信盲区。

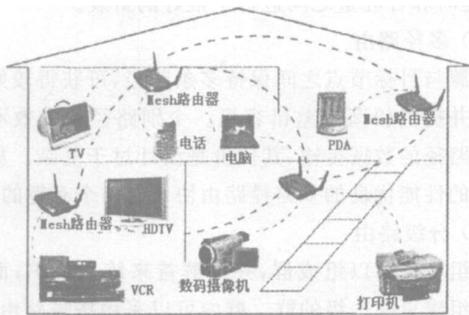


图 2 宽带家用 WMNs 网

### (2) 社区网

目前社区网通常是采用有线电缆或 DSL(数字用户环路)连接到 Internet 上, 并用一个无线路由器来提供无线用户终端的连接。这种方式存在以下弊病:

- ① 社区内的信息共享必须全部通过 Internet, 从而大大降低了网络资源的利用率;
- ② 房屋间某些区域无法得到网络服务的覆盖;
- ③ 多个用户之间昂贵的网络带宽资源无法共享, 导致网络开销较大。

WMNs 通过灵活的网状路由器连接(如图 3 所示), 提供了以上问题的一种解决方案。

### (3) 商用网

目前 802. 11 标准的无线网络广泛商用, 然而这些无线网络就像无线孤岛一样, 只能寻求通过有线以太网方式进行连接。如果把这些无线路由器改用图 4 所示的网状

路由器进行连接, 不仅可以免去有线网络布线的不便, 还能大大增强无线网络的健壮性与网络资源的利用率。

### (4) 城域网

WMNs 节点的传输速率远大于任何蜂窝网的节点, 且无需依赖有线骨干网, 这些都是 WMNs 用于组建城域网的优势所在(如图 5 所示)。

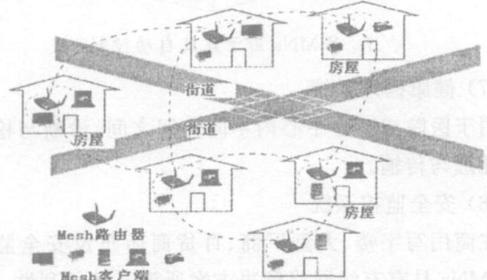


图 3 社区 WMNs 网

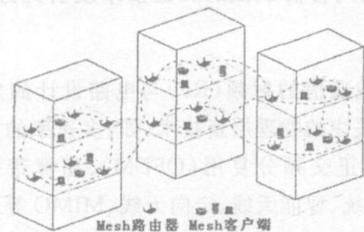


图 4 商用 WMNs 网

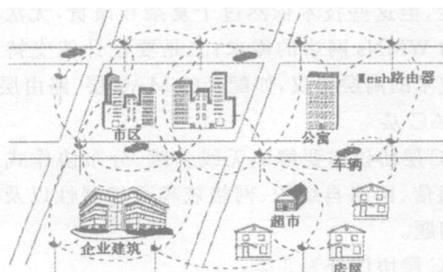


图 5 WMNs 组建城域网

### (5) 运输系统

WMNs 易于扩展, 适合提供车、船等运输工具中的无线接入(图 6)。

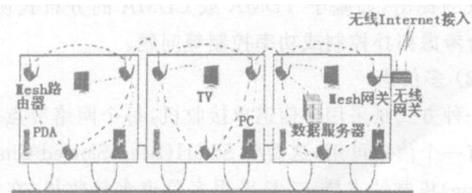


图 6 WMNs 用于运输系统

### (6) 建筑自动控制

WMNs 可以提供建筑物中对温度、亮度、电梯、空调等的监测与控制的无线解决方案, 以替代传统的有线方式

(图7)。

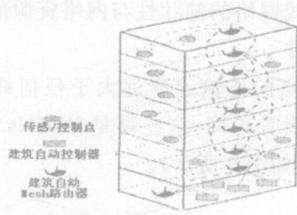


图7 WMNs用于建筑自动控制

### (7) 健康医疗系统

用于医院或医疗中心内不同房间之间, 诊断与检测数据的处理与传输。

### (8) 安全监控系统

在商用写字楼、大型厂商、百货商店布设安全监控系统, WMNs 具有有线网络解决方案所没有的便利性。

## 3 无线网状网各协议栈的关键技术及研究方向

### 3.1 物理层

随着无线通信的射频(RF)与电路设计的发展, 出现了许多值得关注的物理层新技术, 如: 多速率的支持、自适应差错修复、正交频分复用(OFDM)、超宽带(UWB)技术、多天线系统、智能天线、定向天线、MIMO等。

物理层还有以下课题有待研究: 一是要进一步改进传输速率和物理层的性能, 虽然采用UWB和OFDM技术能大大提高传输速率, 采用多天线系统技术可以获得更好的网络性能, 但这些技术依然过于复杂和昂贵, 无法满足大量商用的WMNs网络的需求; 二是要设计能支持这些物理层新技术的高层协议, 如配套的MAC层、路由层协议。

### 3.2 MAC层

MAC层协议需要解决无线多跳、分布协作式多点到多点的通信、网络自组织、网络规模可扩展性以及节点移动性等问题。

MAC层协议分为3类:

#### (1) 单信道

一是对现有的MAC层协议的改进, 如改进型CSMA/CA协议; 二是结合物理层先进技术进行跨层设计与优化, 如基于定向天线设计的MAC层协议; 三是新MAC层协议的提出, 如基于TDMA或CDMA的分布式协议, 可结合考虑拓扑控制或功率控制等问题。

#### (2) 多信道

一种方式是采用多信道单接收机, 每个网络节点一次只能有一个信道可用, 这需要SSCH(Seed Slotted Channel Hopping)机制的支持; 二是采用多信道多接收机, 在一台无线设备中包含多个并行的RF芯片和基带处理模块以同时支持多个信道, 但如何为这种物理层平台设计有效的MAC层协议依然是个开发性课题; 三是采用多台无线设备, 每个无线设备都独立拥有自己的物理层和MAC层。

(3) MAC层尚需解决隐终端、无线网卡切换机制的公平性及分组重新调度等问题。该层有待研究的课题包括: 如何改进现有的CSMA/CA机制以实现WMNs的可扩展性问题(scalability); 保证不同的无线网络间无缝连接的WMNs路由器桥接技术; 多个无线设备的多信道MAC层协议的研究; 提供QoS支持的宽带多媒体通信以及MAC层协议的软件和硬件实现。

### 3.3 网络层

由于WMNs与无线Ad Hoc网特点相似, 所以许多为Ad Hoc开发的路由协议(如DSR, AODV等)被直接移植过来用于WMNs。一个好的WMNs路由协议应能满足对于网络性能指标(如最小跳数、RTT等)、差错容忍程度、负载均衡、可扩展性及对路由器与客户端的自适应的支持。目前可用于WMNs的路由协议有:

#### (1) 采用不同的路由性能指标

如针对链路质量选择路由的LQSR协议就采用3种路由指标(期待传输度量ETX、每跳RTT、每跳分组对)分别实现。更好的性能指标度量仍有待研究开发。

#### (2) 适用于多无线设备(multi-radio)

用于该类路由的新性能指标——加权累积期望传送时间(WCETT)被提出, 他综合考虑了链路质量和最小跳数, 在延时和吞吐量之间进行了很好的折衷。

#### (3) 多径路由

在源与目标节点之间保持多条路径, 可获得较好的负载均衡并提供较高的差错容忍。个别路径的失效不会影响其他路径的数据传输, 其代价是设计过于复杂。如何设计有效的性能优良的多路径路由协议是一个有趣的课题。

#### (4) 分级路由

一组节点可以组成群, 并由群首来统一维护; 而群首还可以组建更高级的群。群内可以采用按需路由, 群间则采用主动式路由。当节点密度较大时, 分级路由可获得较好性能, 但是维护分级所需的复杂性需要考虑, 而且群首节点可能成为整个网络的瓶颈。

#### (5) 基于地理位置的路由

通过使用节点地理位置信息来转发分组。早期的基于地理位置的路由协议实际上是一种单路径的贪婪路由机制。局部泛洪并保持路由的及时更新有助于保证网络的发送率, 但是这些方式将增加网络的开销。

可扩展性是路由层中最关键的问题, 分级机制由于其复杂性且难于管理, 只能部分地解决这个问题。此外, 如何将多个性能指标整合到一个路由协议中以提升网络整体性能、多播路由协议的研究、路由层与MAC层之间的跨层设计问题等也需要进一步研究加以解决。

### 3.4 传输层

虽然传输层协议在有线网络中获得了巨大的成功, 但目前为止并没有出现专用于WMNs的传输层协议。传输

层涉及的研究领域包括:

#### (1) 可靠的数据传输

由于 WMNs 和无线 Ad Hoc 网有许多相似的特性, 因此许多用于 Ad Hoc 网的传输层协议可经过修改后直接移植到 WMNs 上。一些研究者正在致力于开发新的传输层协议, 以克服 TCP 协议中固有的缺陷。传统的 TCP 用于 Ad Hoc 网络时造成性能下降的一个主要原因是未能正确区分拥塞与非拥塞的损失。链路失效也是 TCP 恶化的一个原因。

#### (2) 支持实时传输

需要修改 UDP 以适合 WMNs 对实时传输的需求, 该领域的研究还很少, 是一个全新的研究课题。

此外, 如何有效地实现传输层与其他各层之间的跨层优化也是一个非常值得研究的课题。

### 3.5 应用层

应用层的一个重要阶段是找到能充分发挥 WMNs 优势的应用领域。按照 WMNs 的功能, 可以把应用分为以下几类: Internet 接入(如 E-mail, 搜索引擎、在线购物、视频点播等)、分布式信息存储与共享、多种无线网络间的信息交换。应用层的开放性课题包括: 使现有的 Internet 应用能在 WMNs 网络结构下工作; 研究适于 WMNs 的分布式信息共享的应用层协议; 发掘能充分发挥 WMNs 网络优点的特有应用。

## 4 WMNs 的标准化与商业化

公开无线技术的标准有利于制造业的规模化经营, 从而降低产品成本并确保不同厂家产品间的兼容性。基于这样的考虑, IEEE 工作组<sup>[3]</sup>致力于定义用于 WMNs 技术的工业标准。这些标准的不同之处在于他们所针对的网络环境不同: IEEE802.16a 主要针对无线城域网(WMANs)以提供中长距离的宽带无线接入; IEEE802.15 系列主要针对无限个域网(PANs)以提供短距离的无线连接; IEEE802.11s 主要针对的是无线局域网(WLANs); IEEE802.20 关注的是移动宽带无线接入问题。

伴随着 WMNs 技术标准化的逐步深入, 相关商业产品<sup>[4]</sup>也相继问世。美国 Microsoft 研究实验室(MSR)在一个称为网状连接层(the mesh connectivity layer, MCL)的软件模块上实现了 Ad Hoc 路由和链路质量的测量<sup>[5]</sup>; Intel 公司网络结构实验室用微传感器组建测试平台<sup>[6]</sup>, 研究 WMNs 网络性能的改善; Nortel 公司的 WMNs 无线 AP 可同时工作在 2.4 GHz 和 5 GHz 频段, 并配备有智能天线<sup>[7]</sup>; MeshNetworks 公司(现已为 Motorola 公司收购)

研发了基于积分多址接入(QDMA)的相关硬件及软件系统<sup>[8]</sup>, 可支持 WMNs 终端在移动情况下的无线接入; Nokia 公司提出的将无线路由器安装在屋顶(RoofTop Wireless Routers)上的 WMNs 解决方案得到了不少运营商的青睐<sup>[9]</sup>。

## 5 结 语

WMNs 为用户提供了一种随时随地无线宽带接入 Internet 的可行方案, 并支持多种无线网络之间的融合。WMNs 可以基于现有的无线通信技术进行组网, 虽然已经有一些公司研发出相关的产品并尝试应用于不同的场合; 然而, 实地测试与实验表明, 现有的 WMNs 网络性能与预期目标还存在差异, 许多问题尚待解决, 如可扩展性、节点的自我组织与配置、安全性、网络融合等问题<sup>[9]</sup>。这些问题通过对单个协议层的改进是无法完全解决的, 因此考虑通过协议栈间的跨层设计以达到网络性能整体的优化是一个有效的途径。

WMNs 是属于下一代无线宽带网络接入的先进技术, 随着各种技术的进步和市场需求的刺激, 将得到更加广泛的应用。

### 参 考 文 献

- [1] Ian F Akyildiz, Xudong Wang. Wireless Mesh Networks: a Survey [J]. Computer Networks Journal (Elsevier), March 2005.
- [2] Bruno R Conti M, Gregori E. Mesh Networks; Commodity Multihop Ad Hoc Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(3): 123-131.
- [3] The IEEE Working Group: <http://www/oee802.org/>.
- [4] Mesh Networking Forum, Building the Business Case for Implementation of Wireless Mesh Networks [C]. Mesh Networking Forum 2004, San Francisco, CA, October, 2004.
- [5] Microsoft Mesh Networks. <http://research.microsoft.com/mesh/>.
- [6] Intel Exploratory Research, Heterogeneous Sensor Networks. <http://www.intel.com/research/exploratory/heterogeneous.htm>.
- [7] Nortel Mesh Networks. <http://www.nortelnetworks.com/solutions/wrlsmesh/index.html>.
- [8] MeshNetworks Inc. QDMA technology. [http://www.meshnetworks.com/pages/technology/qdma\\_overview.htm](http://www.meshnetworks.com/pages/technology/qdma_overview.htm).
- [9] Nokia RoofTop. <http://www.nokia.com/>.

作者简介 卢菲恬 男, 1978 年出生, 硕士研究生。主要研究方向有无线传感器网络、无线 Ad Hoc 网络、无线网状网。

肖明波 男, 1971 年出生, 教授, IEEE 会员, 美国 Purdue 大学电机与计算机工程系博士学位。主要研究方向为无线网络, 在 IEEE 发表多篇论文。

杨光松 男, 1968 年出生, 博士研究生。主要研究方向为 WLAN, MANET, 无线网络抗干扰技术。