

Cambridge Wireless Essentials Series
剑桥无线基础系列

CAMBRIDGE

无线Mesh网络基础

Essentials of Wireless Mesh Networking

[英] 史蒂夫·梅思利 著 王 萍 李颖哲 黄 飞 译

Steve Methley



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

Cambridge Wireless Essentials Series
剑桥无线基础系列

Essentials of Wireless Mesh Networking

无线 Mesh 网络基础

[英] 史蒂夫·梅思利 著
Steve Methley

王 萍 李颖哲 黄 飞 译



西安交通大学出版社
Xi'an Jiaotong University Press

This is a Simplified Chinese translation of the following title published by Cambridge University Press:Essentials of Wireless Mesh Networking ISBN 9780521876803
CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS 2009

This Simplified Chinese translation for the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

©Cambridge University Press and Xian Jiaotong University Press 2012

This Simplified Chinese translation is authorized for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) only. Unauthorised export of this Simplified Chinese translation is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of Cambridge University Press and Xian Jiaotong University Press.

陕西省版权局著作权合同登记号:25-2012-124

图书在版编目(CIP)数据

无线 Mesh 网络基础/(英)梅思利(Methley, S.)著;
王萍,李颖哲,黄飞译. —西安:西安交通大学出版社,
2012. 6

(剑桥无线基础系列)

书名原文:Essentials of Wireless Mesh Networking
ISBN 978-7-5605-4385-7

I. ①无… II. ①梅… ②王… ③李… ④黄… III.
①无线网 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 108515 号

书 名	无线 Mesh 网络基础
著 者	[英] 史蒂夫·梅思利
译 者	王 萍 李颖哲 黄 飞
出版发行	西安交通大学出版社 (西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址	http://www.xjtupress.com
电 话	(029)82668357 82667874(发行中心) (029)82668315 82669096(总编办)
传 真	(029)82669097
印 刷	西安建科印务有限责任公司

开 本	700 mm×1000 mm	1/16	印张	14	字数	168 千字
版次印次	2012 年 7 月第 1 版		2012 年 7 月第 1 次印刷			
印 数	0001~3000 册					
书 号	ISBN 978-7-5605-4385-7/TN·137					
定 价	38.00 元					

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248 (029)82665249
投稿热线:(029)82665380
读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究

译者序

随着新一代宽带移动通信网络以及无线传感网络的迅猛发展,专用无线网络应用展示出新的发展空间。无线网状网(Mesh)是一种由军方技术转化而来的新型的无线网络架构。它的核心指导思想是网络中的每个节点可以对等地发送和接收信号,当无线环境发生变化时,Mesh网络会自动地进行自我调节将数据链路性能维持至最佳。Mesh网络具有许多独特的特点,譬如:拓扑结构灵活、高扩展性、健壮稳定、快速切换、快速组网、部署方便等等,能够与传统蜂窝网络共存,实现宽带业务的跨域覆盖和互联互通,具有极为广阔的应用前景。

Steve Methley 先生作为技术专家同时又是工业界的资深顾问,在电信和数据通信领域具有二十余年的专业经验,曾作为实验室课题组长,先后在英国电信、惠普公司和东芝公司从事科研工作。《无线 Mesh 网络基础》一书表达出他对于无线 Mesh 专用网络技术、基本问题的理论合理性、现实中的各种影响因素以及适合的通信应用等发展要素的准确理解和清晰判断。本书采用与读者沟通的语言方式,传达了他在通信商业发展战略、社会经济学影响及未来规模化协作远景的思考和探索。丰富的个人阅历和精炼的逻辑分析使他的著作在理论论述和实际应用方面都极具特色。期望本书能成为无线通信网络领域的科研技术人员以及相

关专业的教师和学生的一本很好的参考书。

本书的翻译,由新一代移动通信技术研究组的同事们李朋朋、黄飞、李颖哲、勾天杭、程光军协助翻译了相关章节,共同完成了初校、统稿和审校工作,做了大量的具体工作,最后请任品毅教授、赵丽萍老师对译稿全文进行了悉心审阅。因此,本书的翻译出版是集体智慧的结晶并渗透着众人的汗水和同行专家的热忱。在此,对所有为这本书的出版提供了帮助的人们表示诚挚的感谢!

译稿是基于译者参与新一代移动通信技术研发以及专用通信系统产业化工作的相关技术背景。由于译审者水平有限,加之时间仓促,译文中难免有不妥之处,敬请读者不吝指正。

译 者

2012年6月

于中科院上海微系统与信息技术研究所

前 言

无线 Mesh 网络(即网状网)是业界讨论的热点话题,虽然它在某些方面仍处于起步阶段,但已经证明在有些领域有广阔的发展前景。Mesh 网络最初应用在军事领域,后来转移到民用,目前作为局域网(LANs)和广域网(MANs)的组成部分正在世界各地广泛部署。然而,这些部署虽然具有一定的‘领先’优势,但目前尚不清楚 Mesh 网络最突出的应用将是什么,特别是当市场逐步从初期走向成熟。

一些人对于 Mesh 网络持有非常大的期望。在本书中,我们将探讨人们对 Mesh 网络的这些期望,以及 Mesh 网实际能够提供的性能和服务,并探讨 Mesh 网走向成功的一些挑战和发展方向。本书中我们试图将数学分析降低到最低限度,即使包含一些公式,也是从实用的角度来考虑,因此不需要彻底理解这些公式。

本书对无线 Mesh 网络的这些特点进行分析和探讨,特别介绍了无线 Mesh 网络对外部网络的访问,例如因特网,并对无线 Mesh 网络和多跳网络进行技术评估,突出其优点,指出其缺点,为无线 Mesh 网络的成功应用提供清晰、简明的思路和方法。最后对无线 Mesh 网络的一些实际应用进行性能评估。这些应用包括无线城市、社区网络以及车辆自组织网(VANETS)等。无线传感器网络(WSNs)是无

线 Mesh 网络另一个很重要的应用,在相应章节对这些应用将面临的挑战进行阐述。

我们的结论是:虽然 Mesh 网所能提供的一些性能和服务被夸大,但是只要应用在合适的场合中,Mesh 网络仍然是最好的方法。

致 谢

作者很高兴能在此感谢过去和现在的同事,我们对于许多活力和有趣的技术进行了讨论。特别感谢两位前任同事, Malcolm Crisp 和 James Newman, 在我们仔细考虑第 4 章中的问题时,进行了愉快的研讨。我很荣幸能够与许多专家交流,其中包括扩大我对网络问题(尤其是传感器)认知的 Saleem Bhatti。还有其他的专家包括在调制方案上提出许多有用意见的 Peter Massam,深切思念的 Peter Ramsdale, Frank Rowsell, Chris Davis, Nee Joo Teh, Stuart Walker, Ahmad Atefi 以及最重要的为本书手稿提出许多有价值建议的丛书编辑 William Webb。最后,我还要感谢多年前我在 BTRL 的第一份工作时给我许多鼓励的 Peter Cochrane。

另外,感谢由始至终支持我的妻子和我的两个儿子,是他们给了我无限的能量,让我不断地充满灵感。

目 录

译者序

前言

致谢

第 1 章 Mesh 网概述和专有术语	(1)
1.1 什么是 Mesh 网?	(2)
1.2 未来网络中 Mesh 网的地位	(5)
1.3 Mesh 网如何工作?	(7)
1.3.1 Mesh 的形式	(7)
1.3.2 网络采用规划方式还是自组织方式?	(8)
1.3.3 自组织纯粹 Mesh 网络的特点	(8)
1.3.4 接入 Mesh 网的特点	(9)
1.3.5 Mesh 与多跳对比	(10)
1.4 Mesh 网中关键议题和本书结构	(11)
第 2 章 Mesh 网有吸引力的特性与应用	(14)
2.1 Mesh 应用示例	(15)
2.1.1 蜂窝或 WLAN 热点区域多跳	(15)
2.1.2 社区网络	(16)
2.1.3 家庭、办公室或大学室内网络	(17)
2.1.4 微基站回程	(18)
2.1.5 车辆自组织网络(VANETs)	(19)
2.1.6 无线传感器网络	(19)
2.2 覆盖范围特性	(20)
2.2.1 开阔的乡村传播环境	(22)

2.2.2	障碍物密集的市区环境	(23)
2.2.3	混合环境的扩展	(24)
2.3	总结	(25)
参考文献		(25)
第3章 Mesh 技术基础		(26)
3.1	概述	(26)
3.2	物理层	(27)
3.2.1	物理 Mesh 与逻辑 Mesh	(28)
3.2.2	Intra-Mesh 和 extra-Mesh 网络流量	(29)
3.3	媒体接入控制	(33)
3.3.1	用于固定的和计划应用的 MACs	(34)
3.3.2	移动和自组织应用中的 MACs	(34)
3.4	路由	(35)
3.4.1	每个节点都是路由器	(35)
3.4.2	每个节点都是中继	(36)
3.4.3	主动和被动路由	(36)
3.5	传输层和应用层	(37)
3.5.1	弹性和非弹性应用	(38)
3.6	总结	(38)
第4章 Mesh 网容量、扩展性以及效率:假设检验		(40)
4.1	假设 1: Mesh 网络中用户自身能够产生容量?	(41)
4.1.1	从问题的答案开始	(42)
4.1.2	容量和扩展性-思想实验(a thought experiment)	(42)
4.1.3	质疑“自身产生容量”模型	(45)
4.1.4	纯粹 Mesh 网容量限制分析	(47)
4.1.5	容量有限的潜在原因——从数学角度分析	(51)
4.1.6	容量有限的潜在原因——从物理机制角度分析	(52)
4.1.7	对自身产生容量这种说法的进一步分析	(58)

4.1.8 混合 Mesh 网容量、例子与结论	(62)
4.1.9 接入 Mesh 网络容量、例子以及结论	(65)
4.2 关于容量的结论	(66)
4.3 假设 2:Mesh 网络的频谱效率更高?	(68)
4.3.1 频谱效率	(68)
4.3.2 纯 Mesh 网和蜂窝网效率比较	(71)
4.3.3 多跳效率	(73)
4.3.4 实际 Mesh 网络的议题	(77)
4.4 结论:针对全向天线	(78)
4.5 假设 3:定向天线有利于 Mesh 网吗?	(79)
4.5.1 天线控制	(80)
4.5.2 性能和可制造性	(81)
4.6 结论:关于定向天线	(84)
4.7 假设 4:Mesh 网络能够提高频谱利用率吗?	(85)
4.7.1 频谱的‘热点频段’	(85)
4.8 关于利用率的结论	(86)
4.9 假设检验的总结	(87)
参考文献	(87)
第 5 章 干扰对 Mesh 网的影响	(89)
5.1 干扰类型	(90)
5.2 干扰对物理层和 MAC 层的影响	(92)
5.2.1 物理层	(93)
5.2.2 媒体接入控制	(102)
5.2.3 结论	(106)
5.3 Mesh 网络专有路由和传输方法	(107)
5.3.1 路由	(108)
5.3.2 传输协议	(113)
5.4 网络共存方法	(115)
5.4.1 基于知识库的方法	(116)
5.4.2 地域频谱规划	(118)

5.5 干扰影响和共存问题的总结	(118)
参考文献	(119)
第 6 章 Mesh 业务和业务质量	(120)
6.1 业务质量及等级需求	(120)
6.2 业务质量驱动器	(122)
6.2.1 Mesh 能否开展新服务?	(123)
6.2.2 Mesh 能支持怎样的移动性能?	(124)
6.3 增加网络基础设施改善服务质量	(129)
6.3.1 Mesh 能否保障服务质量?	(129)
6.3.2 QoS 对用户行为的依赖性	(131)
6.3.3 受控的 QoS	(132)
6.4 服务质量总结	(133)
参考文献	(134)
第 7 章 Mesh 网络潜在缺陷的避免	(136)
7.1 容量	(137)
7.2 基础结构	(137)
7.3 效率	(137)
7.4 中继疲劳	(138)
7.5 初期部署	(138)
7.6 提升能力	(139)
7.7 用户行为的可靠性	(139)
7.8 ad hoc 和 QoS	(140)
7.9 安全和信任	(140)
7.10 商业经济意义	(141)
7.11 Mesh 网络不衰的吸引力	(142)
参考文献	(142)
第 8 章 适合 Mesh 网的通信应用	(143)
8.1 用户侧 Mesh 网的应用	(143)
8.1.1 蜂窝界理论	(144)

8.1.2	蜂窝多跳或 WLAN 热点扩展	(146)
8.1.3	社区网络	(148)
8.1.4	家庭或办公室的室内网络	(148)
8.1.5	用户侧 Mesh 网总结	(149)
8.2	网络侧或回程网的应用	(149)
8.2.1	微基站回程	(150)
8.3	联合用户和网络侧的 Mesh 网应用	(150)
8.3.1	车辆自组织网	(150)
8.4	时间进程	(151)
	参考文献	(152)
第 9 章	成功的 Mesh 网实现	(153)
9.1	无线城市	(153)
9.2	社区互联网	(156)
9.3	车辆自组织网(VANET)应用	(158)
9.4	总结	(161)
	参考文献	(161)
第 10 章	Mesh 网络形式的无线传感器网(WSN)	(163)
10.1	引言	(164)
10.2	WSN 传感器	(165)
10.3	WSN 电源	(166)
10.3.1	能源清除/获取	(166)
10.4	无线传感器技术及应用	(167)
10.4.1	传感器接口和校准	(167)
10.5	RFID,Mesh 网和传感器网络的不同	(169)
10.5.1	RFID	(169)
10.5.2	Mesh 网络	(170)
10.5.3	无线传感器网络	(171)
10.5.4	Mesh 网络和传感器网络的比较	(171)
10.6	802.15.x,ZigBee 和 6LoWPAN 的区别	(172)
10.6.1	IEEE 802.15.4 and ZigBee	(173)

10.6.2	6LoWPAN	(176)
10.6.3	总结	(177)
10.7	WSN 分类建议:结构化和平等性	(177)
10.8	传感器网络系统架构	(178)
10.8.1	无线传感器网系统要求	(178)
10.8.2	经典基于 IP 地址的路由和传输——回顾 ...	(179)
10.9	非结构化网络	(182)
10.9.1	无线传感器网实现途径——数据汇聚路由	(184)
10.9.2	无线传感器网实现途径——地理信息路由	(185)
10.9.3	无线传感器网实现途径——其他路由机制	(186)
10.10	结构化的 WSN	(187)
10.10.1	WSN 方法——层次化	(187)
10.10.2	结构化与非结构化的对比	(188)
10.10.3	所有节点平等和不平等	(191)
10.11	外部路由和传输选择	(193)
10.12	WSN 总结	(194)
	参考文献	(195)
	缩略语	(196)
	部分定义	(200)
	附录:移动模型	(202)
	关于作者	(206)
	Mesh 网络潜在问题描述	(207)

第 1 章 Mesh 网概述和专有术语

现在互联网已经成为日常生活的一部分,我们在线上完成许多常见应用,如网上银行、网络购物以及购买礼品或电影票等。此外,我们娱乐的很大一部分也来自于互联网:娱乐和社交网络是增长最快的两个领域,并已经开始从网络观看高品质视频(例如 YouTube),以及参与网络社交(例如 MySpace 和 Facebook),这些已经非常流行,特别是在年轻一代的消费者之间。如果我们希望继续在网络上获得更多的服务,则对带宽的需求将会增加。而在将来,我们不仅继续下载资料,我们可能也希望产生大量的内容,并上传到互联网。但这还不是全部,我们对互联网的利用和质量的需求也将会进一步增加。

随着蜂窝电话提供越来越多的服务,因此因特网能提供的无线接入会带来极大便利。然而,建立一个新的网络或者升级现有网络来实现这种应用,将意味安装或更换大量的基础设施。那么,是否存在一种方法既能改善因特网无线接入,同时对新的基础设施建设要求也很少呢?无线 Mesh 网络就是一种众所周知的解决方法。

本章首先从整体上介绍 Mesh 网络,然后着眼于 Mesh 网如何融入到更大的电信基础设施,接着阐述 Mesh 网络的基本特性,并对它进行分类。本章最后汇集了 Mesh 网络的关键问题,并将这些问题串联起来,从而形成本书的整体架构,包括我们期望 Mesh 网络具有优势的四个假设,而这些假设是从大量 Mesh 网络研究文献中选取出来。检验这些假设会对科学研究提供一个有用的依据,并将贯穿到整本书之中。

1.1 什么是 Mesh 网?

在考察 Mesh 网络之前,最好回顾一下蜂窝网和无线局域网(WLAN)如何工作,然后突出 Mesh 网络特有的相同点和差异点。

蜂窝网络,正如其名字,无线覆盖由许多蜂窝(小区)组成,每个小区在中心附近有一个基站,基站在整个覆盖范围(例如直径几公里)内发射无线电信号,用户设备是一个在复杂性和能力方面比基站更小的手持单元。当小区边缘信号下降时,邻近小区能够提供更好的信号质量。在这种方式下,更多小区通过蜂窝的形式覆盖更大的区域。很显然,它的优势是可以保证连续覆盖。这是一个重大的优势,但也有一些缺点:它必须对新的网络进行规划,并且还需要在整个覆盖范围内同时部署所有的小区,但这意味着网络运营商需要一个更大的前期成本。

尽管作出了极大的努力,仍然不能覆盖一些盲点区域,用户的无线电信号可能被一些障碍物遮盖。虽然通过增加额外的小型基站可以解决这个问题,但这无疑会增加网络基础的成本,从而影响运营商的商业模式。在实际部署中采取了妥协的方法,其中包括典型网络的覆盖率接近 100%,但不能保证所有用户在所有时间都能获得所需服务。

确保良好覆盖的首要方法是选择在多种地形上都具有很好传播特性以及良好穿透特性的一个载波频率,这将最大化覆盖范围和容量,并最小化小区数量。

全球蜂窝系统的频带都集中在传播特性很好的那部分频谱,这一点不是巧合。这些频谱已受到高度重视,并在大多数国家中已经分配。值得一提的是蜂窝系统主要用于语音通信,而语音通信在本质上具有突发性,它们的频谱不是非常适合现代多媒体通信,其中涉及较长时间内传输时延敏感的数据,例如观看视频。因此,蜂窝系统的未来发展旨在支持更好的多媒体应用。

让我们看看无线局域网的情况。一个无线局域网,顾名思

义,主要是局部区域覆盖,其目的通常是覆盖工作场所或家里。通常,无线局域网的一个设计目标是覆盖接入点周围半径 100 米左右的区域,接入点之间通过有线网络连接。接入点与基站的概念是相似的,但覆盖的范围有很大区别。一个直接的好处就是所需的频谱类型可以不同,特别指出,无线局域网的传播特性不需要那么好,即使采用更高的频率也足以覆盖较小的范围,导致无线局域网通常工作在比蜂窝系统更高的频率上。在这里,频谱需求不是特别迫切。事实上,许多无线局域网操作频谱是豁免牌照,这意味着系统成本较低。但这是一把双刃剑,无线局域网没有蜂窝系统那样的专用频谱,这导致无线局域网的设计需要容忍干扰,它增加设备和系统运作效率方面的成本。在极端情况下,如果发生拥塞,效率可能下降到零,这是任何豁免牌照系统无法避免的。

至少有两个原因,无线局域网在实现上比蜂窝网更简单:(1)无线局域网通常没有小区之间的切换;(2)无线局域网仅仅在用户之间提供数据链路,而利用其它协议(例如 IP 和 TCP)来建立路由和提供数据传输的可靠性。值得一提的是无线局域网的主要目的在于传输数据,而不是语音。然而,设计约束的假设仍然是传输突发数据,这与目前实际不相符。这意味着,虽然无线局域网具有传输大量数据的能力,但它们通常不能很好地应对目前不断增长的多媒体通信。换句话说,无线局域网的设计主要是获取峰值速率,并假设峰值速率持续时间不会很长。因此,如何更好地支持多媒体应用将是无线局域网系统未来发展方向,类似蜂窝系统的发展蓝图。

最后谈到 Mesh 网络,我们再次可以从它的名字推断出它的首要工作,我们身边随处可见以这种或者那种形式存在的 Mesh,例如图 1.1 的蜘蛛网或者市区的网状街道。想象一下,每一个交叉点都存在一个节点。这些例子的共同点在于两方面:

1. 这里没有主节点;
2. 它有可能通过跨越一定数量的中间节点到达其它任何节点。