

# 光与无线网络技术

杨辉 著

OPTICAL AND WIRELESS NETWORK TECHNOLOGY



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

# 光与无线网络技术

杨 辉 著



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

## 内 容 简 介

本书针对当前光与无线网络的控制低效问题,从组网架构、资源管控和安全保护等多个维度提出了解决方案。首先,本书介绍了光与无线网络发展的现状与趋势,并探讨了光与无线网络关键技术。其次,本书简单地介绍了光与无线网络的关键器件并概述了光与无线网络系统。再次,本书针对光与无线网络的组网架构问题,介绍了如何借助 SDN 技术实现低时延组网以及多云光与无线网络控制;针对灵活性问题,介绍了光与无线网络多维资源管控机理,以使网络发挥其全部应用价值;针对时间同步问题,利用增强学习方法,保障系统高精度准确运行;针对生存性问题,介绍光与无线网络生存性的关键技术及如何实现跨域/跨层等保护;针对安全性问题,引入窃听概率和最大可容忍信息泄露率,介绍了基于窃听感知的安全路由和频谱分配算法。最后,本书针对系统资源优化问题,介绍了多种面向资源分配的系统设计方案。

本书可作为高等院校通信/电子/信息科学专业师生的参考书,也适合打算进入光与无线网络领域的非相关专业读者,以及正在从事光与无线网络理论研究和实际系统设计的通信行业研发人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

光与无线网络技术 / 杨辉著. -- 北京 : 北京邮电大学出版社, 2020. 8  
ISBN 978-7-5635-6142-1

I. ①光… II. ①杨… III. ①光接入网 IV. ①TN915.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 135169 号

策划编辑: 马晓仟 责任编辑: 孙宏颖 封面设计: 七星博纳

---

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷:

开 本: 720 mm×1 000 mm 1/16

印 张: 13.25

字 数: 264 千字

版 次: 2020 年 8 月第 1 版

印 次: 2020 年 8 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-6142-1

定价: 39.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

# 前 言

光与无线网络呈现出功能融合和控制协作的发展趋势,集成网络控制将成为光与无线网络的重要指标。因此,研究多制式光与无线网络多维控制理论与优化技术成为光与无线网络未来发展的重要方向。但实现系统控制面临着多方面的挑战:如何实现光与无线网络组网架构,提升网络的适配性与交换的灵活性;如何实现多维资源优化,提升网络性能;如何突破网络生存性的限制,提升网络抗毁能力。这些挑战将成为攻克多制式光与无线网络多维控制低效这一科学难题的症结。

围绕上述科学难题,本书前3章系统地阐述了光与无线网络发展的现状与趋势、关键技术问题、国内外研究进展,光与无线网络关键器件,光与无线网络系统等。

第4章针对光与无线网络组网难的问题,利用灵活的转发器和弹性光交换机来连接RRH和BBU,在全局范围内有效优化射频、光谱和BBU处理资源,最大限度地提高了无线覆盖范围,并通过垂直整合和水平融合模型满足端到端业务的QoS要求。

第5章针对光与无线网络多维资源分配的灵活性问题,自主创新设计可重构波长频谱选择交换器,依托SDN技术的支撑,构建光与无线网络架构及控制机制,提出了面向多维资源灵活管控的路由波长频谱分配算法。

第6章针对光与无线网络同步精度较低的问题,分析了光与无线网络时间同步模型,构建了面向时间同步的光与无线网络架构,提出了基于软件定义控制器的光与无线网络架构时间同步方案,设计了基于增强学习的高精度时间同步方法实现机制。

第7章针对光与无线网络的生存性问题,研究了面向光与无线网络的跨域与跨层资源保护策略,并提出了光与无线网络架构,通过采用自主创新的带宽压缩保护算法,保证了光与无线网络的生存性,降低了网络的阻塞概率,提高了资源利用率。

第8章针对光与无线网络安全性低的问题,分析了光与无线网络中窃听攻击的特征,利用概率理论构建窃听概率分布模型,以此实现对窃听攻击的感知,

通过回避高窃听概率链路来保障保密信息业务的安全性;然后,进一步提出了一种基于多流虚级联的窃听感知安全 RSA 算法,利用多流虚级联的流切片与并行传输特性来降低保密信息被完全窃听的概率,有效地提高了网络安全性,提升了网络的资源利用效率。

第 9 章针对光与无线网络资源分配不均衡的问题,聚焦于系统资源优化方案,设计了光与无线网络跨层优化算法,提出了面向虚拟异构光与无线网络的时频资源联合优化方法。面向移动核心网,设计了动态流量感知的光层资源分配方案,提出了面向节能的光与无线网络动态带宽优化机制、光与无线网络多层资源优化方案,以及面向光与无线网络业务的多维资源聚合实验演示方案等,来提升资源分配的有效性和网络的可靠性。

本书凝聚了作者多年来的科研和实践经验,得到了国家“863”计划《新型超大容量全光交换网络架构及关键技术研究》、国家“973”计划《Pbits 级可控管光网络基础研究》等科研项目的支持,同时本书也包含白巍、于奥、姚秋彦、何林宽、赵旭东、王博慧、南静文、梁永燊等人在攻读学位期间的部分研究成果,在此作者一并表示感谢。

由于作者水平有限,本书中难免有错误或者不周之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2020 年 7 月 6 日于北京

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 光与无线网络发展的现状与趋势	1
1.1.1 光纤接入网发展现状与泛在光接入网概述	1
1.1.2 光与无线网络的发展需求	3
1.1.3 光与无线网络的发展趋势	4
1.2 光与无线网络关键技术问题	5
1.2.1 时敏性	5
1.2.2 生存性	5
1.2.3 安全性	6
1.2.4 灵活性	6
1.3 国内外研究进展	7
1.3.1 国外相关研究	7
1.3.2 国际标准的进化	8
1.3.3 国内研究现状	9
1.4 本章小结	10
1.5 本章参考文献	10
第 2 章 光与无线网络关键器件	12
2.1 光与无线网络关键器件总览	12
2.2 光网络器件	12
2.2.1 光源与光发射机	12
2.2.2 光接收机	14
2.2.3 光纤	15
2.2.4 光电探测器	18

2.3 无线网络器件 .....	19
2.3.1 基站收发台 .....	19
2.3.2 基站控制器 .....	19
2.4 调制器件 .....	20
2.4.1 光调制解调器 .....	20
2.4.2 无线调制解调器 .....	22
2.5 本章小结 .....	22
2.6 本章参考文献 .....	22
<b>第3章 光与无线网络系统 .....</b>	<b>24</b>
3.1 光与无线网络系统概述 .....	24
3.2 光与无线网络系统架构 .....	25
3.2.1 光与无线网络系统架构的基本原理 .....	26
3.2.2 光与无线网络系统架构的网络模型 .....	28
3.3 光与无线网络系统的特点与优势 .....	28
3.4 光与无线网络系统的性能指标 .....	29
3.4.1 链路增益 .....	29
3.4.2 噪声指数 .....	30
3.4.3 系统带宽 .....	31
3.5 光与无线网络系统在第四代移动通信系统中的应用 .....	32
3.5.1 第四代移动通信系统概述及其关键技术 .....	32
3.5.2 第四代移动通信系统面临的问题 .....	34
3.5.3 光与无线网络系统在第四代移动通信系统中的应用概述 .....	35
3.6 本章小结 .....	36
3.7 本章参考文献 .....	36
<b>第4章 光与无线网络组网架构与控制机制 .....</b>	<b>38</b>
4.1 光与无线网络组网架构设计 .....	38
4.1.1 光与无线网络时敏性问题概述 .....	38
4.1.2 光与无线网络的混合接入汇聚光网络架构设计与链路状态分析 .....	39
4.1.3 软件定义控制器与底层可编程设备功能模块设计 .....	42
4.1.4 软件定义的协议扩展 .....	44

4.2 面向低时延的光与无线网络组网研究 .....	45
4.2.1 基于服务等级区分的业务适配方法 .....	45
4.2.2 光与无线网络低时延组网仿真系统 .....	49
4.2.3 光与无线网络低时延组网有效性验证 .....	49
4.2.4 网络规模对网络性能的影响 .....	52
4.3 云光与无线网络的多层控制与组网 .....	54
4.3.1 网络需求与控制组网分析 .....	54
4.3.2 云光与无线网络应用场景与架构设计 .....	55
4.3.3 云光与无线网络功能模块 .....	57
4.3.4 多层资源优化服务协作模式与全局评估策略 .....	58
4.3.5 云光与无线网络性能验证 .....	61
4.4 本章小结 .....	64
4.5 本章参考文献 .....	65
<b>第5章 光与无线网络多维资源调度机理 .....</b>	<b>68</b>
5.1 光与无线网络灵活性问题概述 .....	68
5.2 基于可重构波长频谱选择交换器的设计 .....	70
5.2.1 光与无线网络多维资源特征分析 .....	70
5.2.2 可重构波长频谱选择光交换器 .....	73
5.3 灵活光与无线网络架构及控制机制研究 .....	75
5.3.1 灵活光与无线网络架构 .....	75
5.3.2 实现多维资源灵活管控的控制器与交换功能架构 .....	76
5.3.3 灵活光与无线网络组网协议 .....	79
5.3.4 面向不同业务场景的多维资源分配交互流程 .....	79
5.4 路由波长频谱分配算法 .....	83
5.4.1 雾光与无线网络中路由波长频谱分配策略描述 .....	83
5.4.2 光与无线网络光波频谱不饱和度 .....	85
5.4.3 路由波长频谱分配算法概述 .....	85
5.5 多维资源灵活管控验证实验与仿真系统及其性能验证 .....	87
5.5.1 路由波长灵活交换的频谱资源调配验证实验平台 .....	87
5.5.2 路由波长灵活交换的频谱资源调配验证实验结果分析 .....	88
5.5.3 基于灵活智能云光载无线网络的仿真系统 .....	90
5.5.4 基于灵活智能云光载无线网络的 RWFA 性能验证 .....	90

5.6	本章小结	92
5.7	本章参考文献	92
<b>第6章</b>	<b>光与无线网络时间同步机制</b>	<b>96</b>
6.1	光与无线网络时间同步机制的理论分析	96
6.2	基于软件定义控制器的光与无线网络时间同步机制	97
6.2.1	面向时间同步的光与无线网络架构	97
6.2.2	基于软件定义控制器的光与无线网络架构时间同步方案	98
6.2.3	网络性能验证	100
6.3	基于增强学习的高精度时间同步方法实现机制	101
6.3.1	深度学习模型与时间同步方案	102
6.3.2	网络性能验证	103
6.4	本章小结	105
6.5	本章参考文献	106
<b>第7章</b>	<b>光与无线网络生存性保护方法</b>	<b>108</b>
7.1	光与无线网络的生存性需求分析	108
7.2	面向光与无线网络的跨层资源保护策略研究	109
7.2.1	基于跨层保护的光与无线网络架构	109
7.2.2	跨层资源保护策略	111
7.2.3	网络性能验证	114
7.3	光与无线网络中带宽压缩保护策略	117
7.3.1	网络模型和问题陈述	118
7.3.2	光与无线网络中的带宽压缩保护	119
7.3.3	带宽压缩保护算法	121
7.3.4	网络性能验证	124
7.4	本章小结	128
7.5	本章参考文献	128
<b>第8章</b>	<b>光与无线网络安全路由与分配算法</b>	<b>132</b>
8.1	光与无线网络安全性问题概述	132
8.2	动态 RSA 问题描述	134

8.2.1	窃听概率与最大可容忍信息泄露率 .....	134
8.2.2	网络模型与问题描述 .....	135
8.3	窃听感知路由与分配算法 .....	136
8.4	基于多流级联的窃听感知安全 RSA 算法 .....	138
8.4.1	基于多流级联的安全策略 .....	138
8.4.2	路径频谱优化度 .....	140
8.4.3	多流路由与分配算法 .....	141
8.5	光与无线网络中安全 RSA 算法仿真系统与性能验证 .....	144
8.5.1	仿真条件设置 .....	144
8.5.2	最大子业务流数限制的影响 .....	145
8.5.3	保护带宽占用子载波数的影响 .....	147
8.5.4	最大可容忍差分时延的影响 .....	148
8.6	本章小结 .....	150
8.7	本章参考文献 .....	150
<b>第 9 章</b>	<b>光与无线网络资源优化机理 .....</b>	<b>153</b>
9.1	光与无线网络跨层优化算法 .....	153
9.1.1	网络模型 .....	153
9.1.2	全局评估因子 .....	154
9.1.3	全局评估策略 .....	155
9.1.4	网络性能验证 .....	156
9.2	异构光与无线网络的虚拟化时频资源联合优化 .....	159
9.2.1	软件定义的虚拟异构光与无线网络架构 .....	160
9.2.2	基于虚拟异构光与无线网络架构的资源分配方案 .....	162
9.2.3	网络性能验证 .....	163
9.3	基于软件定义的移动光承载网动态流量光层资源分配 .....	164
9.3.1	移动光承载网络架构 .....	164
9.3.2	流量的动态资源分配 .....	165
9.3.3	网络性能验证 .....	167
9.4	面向节能的接入网动态带宽优化机制研究 .....	168
9.4.1	接入网络架构 .....	168
9.4.2	多模混合动态带宽分配方案 .....	170

9.4.3	光与无线网络下的多模混合动态带宽分配方案 .....	173
9.4.4	网络性能验证 .....	174
9.5	基于网络功能虚拟化的光与无线网络多层资源优化方案 .....	177
9.5.1	软件定义的多层资源优化架构 .....	177
9.5.2	全局评估策略 .....	181
9.5.3	网络性能验证 .....	184
9.6	面向业务提供的与无线网络多维资源聚合方法 .....	188
9.6.1	软件定义的多维资源聚合架构 .....	189
9.6.2	基于辅助图的资源集成提供方案 .....	190
9.6.3	网络性能验证 .....	195
9.7	本章小结 .....	197
9.8	本章参考文献 .....	197

# 第1章 绪 论

## 1.1 光与无线网络发展的现状与趋势

随着科技的发展和进步,建设信息化社会就成了现代社会的发展趋势。网络信息通信对人们的日常生活有着极为重要的影响,计算机的应用和普及使网络与生活变得密不可分<sup>[1]</sup>。随着网络信息技术的不断更新和完善,对于传输设备的要求就有所提高。光纤接入网技术是通信网络发展的重要因素,影响着整个互联网通信的发展。

### 1.1.1 光纤接入网发展现状与泛在光接入网概述

光纤接入网指的是以光纤作为传输介质,通过接入网络进行数据信息传输的网络。光纤接入网与业务节点之间通过光线路终端进行连接,与用户之间通过光纤网络单元进行连接。光纤接入网主要包括光线路终端、局端设备、光网络单元、远端设备等部分,它们利用相应的传输设备进行连接。在接入网当中,系列传送实体能够将信令协议在用户网络接口、业务节点接口之间进行相应的转换。同时,利用接入设备的组网能力,能够对多种不同的网络拓扑进行构成。由于接入设备具备远程集中监控、本地维护等功能,可以更好地维护光纤接入网的安全。

光纤接入网主要包括总线形结构、环形结构、星形结构等多种网络拓扑结构。其中,总线形结构的母线为光纤,在用户终端与总线之间,利用耦合器进行连接,这种网络拓扑结构具有干扰小、节点增减容易、线路成本低、主干光纤共享等优点。环形结构用一条光纤链路支持所有节点,链路首尾相连成闭环结构,这种类型的网络拓扑结构具有良好的网络自愈性,对于小故障,能够在短时间内自行恢复。星形结构是在一个中央节点星形耦合器中进行用户终端的信息交换的网络拓扑结构,这种网络拓扑结构具有升级扩容便利、业务适应性良好等优点。

传统的网络依靠馈线电缆进行传输,在当前网络高速发展以及人们对于网络

需求提高的形势下,馈线电缆的缺点逐渐显现出来。馈线电缆的传输频带较窄,经过长期使用后容易发生老化和磨损,维修和保养难度较大,信息传输速度较慢,难以满足当前互联网通信的实际需要。在这种情况下,光纤接入网的出现极大地改善了网络传输技术。光纤接入网是应用光纤进行网络传输的通信系统,不需要繁多的线路和复杂的程序进行传输,只需要一两条光纤线路,就能将信息直接传输给用户,简单便捷。光纤接入网能够满足用户对于网络的要求。光纤与传统馈线铜质电缆相比,频带更宽,信息传输速度更快;不易发生损耗,便于修复和维护;网络信号更好,信息传输速度更快,抗电磁干扰能力更强。另外,光纤接入网的传输可以根据通信网络的发展进行改进,提高其性能,以适应当前网络发展的要求,只是当前光纤的造价较高,没能进行广泛的应用,这在一定程度上阻碍了网络的普及与推广。

目前,国内市场接入网产品层次还处于网元管理层,即维护单一的接入网产品设备。由于接入网的份额仅占本地网的一小部分,所以高层网管仍然采用交换机原有的网管系统,接入网网管成为交换机本地网管的一部分。在这种状态下,如何将接入网网管纳入本地网是一个急需解决的问题。

从接入网的发展来看,接入网产品引入了多生产厂家的竞争机制,以及国家对接入网产品的积极扶持态度,使接入网的前景普遍被看好,随着接入网本身的技术不断完善,特点越来越突出,优势也日益深入人心,接入网在未来几年将仍然是市场的主流产品,规模会进一步扩大。当接入网规模扩大到一定程度时,现有接入网的网管模式将会被打破,与本地网网管并列的接入网网管将逐步兴起,接入网网管与交换机本地网管的关系会进一步理顺。因此,接入网网管的管理目标主要是对综合业务进行管理。从网络管理角度看,接入网是最复杂的和最难管理的网络系统之一,它还存在许多问题。

#### (1) 如何综合管理接入网中的各种技术

接入网是迄今为止各种技术综合最多的一种网络。例如,仅就其中的传送技术来说,就综合了 xDSL、SDH、PON、ATM、DLC、HFC 和各种无线接入传送技术等。就目前的技术水平,对采用一种传送技术的网络(如 SDH)进行综合管理,存在一定技术难度,对接入网这样一个多层次、多范围的网络进行综合管理,困难程度非常大。

#### (2) 如何处理接入网中用户的敏感性

接入网是用户敏感性最强的网络。接入网直接面向用户,因此用户感觉到的业务质量方面的问题,都是通过接入网感觉到的。其他网络发生问题,用户不一定能直接感觉到,但一旦接入网发生问题,用户肯定会感觉到,甚至其他业务网的问题有时也会通过故障传播使接入网用户感觉到。由于网管系统的作用之一是为保证业务质量提供支持,所以对用户敏感性强的接入网进行网络管理比对一般网络

进行网络管理要困难得多。

### (3) 如何处理与其他网管的关系

接入网是与其他业务网关系最密切的网络。接入网是本地电信网的一部分,与本地网的其他部分的关系非常密切。一般的业务网网管可以先独立建设,以后再考虑与其他网管的综合问题。但接入网网管系统的建设必须从一开始就考虑与本地电信网中其他部分网管系统的综合问题,不解决与其他网管的综合问题,接入网网管就不能开始运行。

### (4) 如何适应接入网的快速发展

接入网是变化最快的网络之一。由于接入网本身还在不断发展,一些可用于接入网的新技术还将不断出现,而且很难预料将会出现什么样的新技术。因此,对接入网的认识、使用和建设方法都存在一个变化过程。建设这样一个还在不断发生变化的网络的管理系统,并保证该网管系统的可持续建设,对网管系统规范的要求很高。

### (5) 如何体现接入网网管的高适应性

接入网是一个适应性要求最高的网络之一,对各方面适应性的要求比其他网络都要高,比如容量范围、接入带宽范围、地理覆盖范围、接入业务种类、电源和环境的要求等,这些在其他业务网中不存在的问题,在接入网中都成了问题。这些问题不仅对接入网的适应性提出了很高的要求,也对接入网的网管规范提出了很高的要求。以上这些问题都需要在接入网网管未来的发展中加以解决。

## 1.1.2 光与无线网络的发展需求

随着商业和家庭对于网络应用需求的增加,网络中的流量爆发式地增长。新的应用趋势(比如高清电视、视频点播、网络电话和高速互联网)的出现,对于目前的网络提出了很大的挑战。未来的接入网主要面临的问题是集成的数据传输和服务质量保障。在未来的几年中,同轴电缆将会全面被光纤取代。基于光纤的接入网正在一步一步地走向最终用户,包括光纤到楼、光纤到户等。用户对于网络通信服务的需求将会是高可靠性和数据的快速访问。

随着用户对带宽需求的日益增加,传统的接入方式已经无法满足用户的需求。光无线混合宽带接入网络结合了光接入和无线接入各自的优势,能够经济有效地为用户提供满足其 QoS(Quality of Service)要求的宽带接入服务<sup>[2]</sup>。目前针对光与无线网络的研究还处于起步阶段,仍有不少问题有待进一步研究,简短归纳如下。

① 基于多约束条件的网络部署问题:光与无线网络和单纯的光网络或无线网络都有所不同,其网络部署问题应考虑更多的约束条件,例如 ONU(光网络单元)/

网关节点的安装环境、用户的不同要求、链路容量限制、信号质量和干扰等都是值得考虑的问题。另外,还应该考虑两个网络因采用不同技术所导致的一些问题,例如采用动态带宽分配(DBA)策略对无线网络路由性能的影响。

② 节能问题:在不影响节点间正常数据传输以及不降低网络吞吐量的前提下,通过在 MAC 层进行能量控制以减少能量消耗,将成为混合网络 MAC 协议研究中一个重要的方面。

③ 多信道接入问题:通过将控制信道和传输数据信道分开,改进控制报文的交互序列和体制,来解决前端无线网络暴露终端和隐藏终端的问题。若后端 PON 采用波分复用技术扩容,会导致 ONU 支持的波长信道数不尽相同,这也将影响到前端的信道接入。

④ 公平性问题:目前无线网络协议无法保证每个用户节点都平等分享系统资源,离 ONU/网关节点近的用户通信质量好、速度快,而离 ONU/网关节点远的用户受到极不公平的待遇。因此需要针对混合网络的特点设计出能够保证系统资源公平使用的协议。

⑤ 安全性问题:混合网络后端下行方向采用广播方式,ONU 可能“偷听”到发给其他 ONU 的信息。此外,无线前端更容易遭到窃听,攻击入侵者不需要与网络有物理连接,只需要使相关设备处于信息覆盖区域之内,就可“偷听”,因此,有待探讨适合混合网络的安全机制。

⑥ QoS 保证:随着用户大规模接入网络,各种宽带业务快速增多,网络上承载的业务量也越来越大,当用户对网络资源的需求超过网络实际的供给能力时,网络服务质量将不能得到有效保证。

⑦ 生存性问题:网络技术的不断发展使得更多业务集中到更少的网络设备上,一旦其发生故障,会影响更多用户的通信。随着网络规模的增大,各个 ONU 之间的距离也会增大。当与用户邻近的 ONU 损毁时,用户尝试和其他 ONU 建立通信。在网络覆盖范围太大的情况下,用户很可能找不到到达其他可用 ONU 的路径,此时如何保证 OLT(光线路终端)能与这些用户正常通信也是一个关键的问题。

### 1.1.3 光与无线网络的发展趋势

目前的光纤接入系统主要使用无源光网络技术。商业无源光网络解决方案基于时分多址,比如吉比特无源光网络和以太网无源光网络<sup>[3]</sup>。在 2011 年设备的集中采购中,中国三大电信运营商中国移动、中国电信和中国联通的集采规模分别为 800 万线、1 600 万线和 2 500 万线,其中中国联通的集采为历年规模之最,规模达

到亿元人民币。同时,几大运营商也已经开始对下一代技术进行规划布局,将投入商用技术的测试也正在进行中。除此之外,对于下一代光纤接入技术的研究(包括波分复用、正交频分复用、超密集波分复用、光码分复用等)也在广泛开展。最近提出的解决方案希望能够简化可扩展接入网的研发和部署,并且使这种接入网能够支持正在使用的服务以及下一代多媒体内容更加丰富的网络应用。对于每一个用户来说,使用这些服务所产生的网络需求会达到每秒几吉比特。对于带宽需求的增加可以通过光纤接入得到解决,但是未来的接入网还要提供给用户灵活性和移动性,这需要通过无线网络获得。

IEEE 802.16 标准规定的 WiMAX 网络可以工作在固定或者移动的情况下,使用点到多点或者网状拓扑。最新的 802.16m 标准可以通过高级的空中接口提供 100 Mbit/s 的移动传输速率和 1 Gbit/s 的固定传输速率,目的是在第四代移动通信系统上满足 ITU-R 的 IMT-Advanced 要求<sup>[4]</sup>。

网络融合是未来网络的一个发展趋势。固网和无线网的融合,特别是光与无线的融合可以实现集中且高效的移动服务,从而提供现有网络不能实现的网络性能。

## 1.2 光与无线网络关键技术问题

### 1.2.1 时敏性

对于实时通信而言,端到端的传输延迟具有难以协商的时间界限,因此网络中的所有设备都需要具有共同的时间参考,需要彼此同步时钟。这不仅适用于诸如工业控制器和制造机器人之类的通信流的终端设备,对于网络组件也是如此,例如以太网交换机。只有通过同步时钟,所有网络设备才能够一致操作,并在所需的时间点执行所需的操作。

### 1.2.2 生存性

网络生存性是指在网络发生故障后能尽快利用网络中空闲资源为受影响的业务重新选路,使业务继续进行,以减少因故障而造成的社会影响和经济上的损失,使网络维护一个可以接受的业务水平的能力,以及网络发生故障时,仍可继续提供服务的能力。

### 1.2.3 安全性

网络安全是指网络系统的硬件、软件及系统中的数据受到保护,不因偶然的或者恶意的原因而遭受到破坏、更改、泄露,系统连续可靠正常地运行,网络服务不中断。

网络安全性的主要特性包括保密性、完整性、可用性、可控性、可审查性。保密性是指信息不泄露给非授权用户、实体或过程,或供其利用的特性。完整性是数据未经授权不能进行改变的特性,即信息在存储或传输过程中保持不被修改、不被破坏和丢失的特性。可用性是可被授权实体访问并按需求使用的特性,即当需要时能否存取所需的信息。例如,网络环境下拒绝服务、破坏网络和有关系统的正常运行等都属于对可用性的攻击。可控性是对信息的传播及内容具有控制能力的特性。可审查性是指出现安全问题时提供依据与手段的特性。

从网络运行和管理者的角度说,希望对本地网络信息的访问、读写等操作受到保护和控制,避免出现“陷门”、病毒、非法存取、拒绝服务和网络资源非法占用与非法控制等威胁,制止和防御网络黑客的攻击。对安全保密部门来说,他们希望对非法的、有害的或涉及国家机密的信息进行过滤和防堵,避免机要信息泄露,对社会产生危害,对国家造成巨大损失。

随着计算机技术的迅速发展,在计算机上处理的业务也由基于单机的数学运算、文件处理,基于简单连接的内部网络的内部业务处理、办公自动化等,发展到基于复杂的内部网(Intranet)、企业外部网(Extranet)、全球互联网(Internet)的企业级计算机处理系统和世界范围内的信息共享和业务处理。

在系统处理能力提高的同时,系统的连接能力也在不断提高。但在连接能力、信息流通能力提高的同时,基于网络连接的安全问题也日益突出,整体的网络安全主要表现在以下几个方面:网络物理安全、网络拓扑结构安全、网络系统安全、应用系统安全和网络管理安全等。

### 1.2.4 灵活性

如果网络没有跟上时代的步伐,应用程序的灵活性则毫无意义。与时俱进意味着消除复杂性、简化操作,并拥抱自动化来提供动态和响应的基础设施。目前数据中心的环境在不断变化,更加注重资源管理。基础设施的灵活性必须匹配业务的灵活性,这就需要底层基础设施可以响应其负责的应用程序。

网络灵活性意味着基于新的业务需求改变网络的能力,而没有大量复杂的、手动的、容易出错的、劳动密集型的工作。在为完全自动化的灵活网络制订长期计划