



现代光学工程精品译丛

 Springer

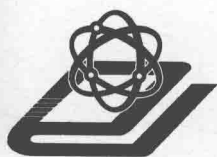
超宽带业务自由 空间光网络

Free Space Optical Networks for Ultra-Broad Band Services

【美】Stamatios V. Kartalopoulos 著
张宝富 闻传花 葛海波 等译



国防工业出版社
National Defense Industry Press



国家自然科学基金资助 (资助号: 61371121)

装备科技译著出版基金

超宽带业务自由 空间光网络

**Free Space Optical Networks for Ultra-
Broad Band Services**

[美] Stamatios V. Kartalopoulos 著

张宝富 闻传花 葛海波 等译

国防工业出版社

• 北京 •

著作权合同登记 图字：军-2015-150 号

图书在版编目 (CIP) 数据

超宽带业务自由空间光网络/(美)S.V.卡塔洛颇罗斯著;张宝富, 闻传花, 葛海波译. —北京: 国防工业出版社, 2017.6

书名原文: Free Space Optical Networks for Ultra-Broad Band Services

ISBN 978-7-118-11212-2

I. ①超… II. ①S… ②张… ③闻… ④葛… III. ①超宽带技术—研究 IV. ①TN926

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 130478 号

Free Space Optical Networks for Ultra-Broad Band Services

by Stamations V. Kartalopoulos

978-0-470-64775-2

Copyright © 2011 by Institute of Electrical and Electronics Engineers.

All rights reserved. This translation published under John Wiley & Sons license.

No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书简体中文版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权国防工业出版社独家出版。

版权所有, 侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 12 字数 210 千字

2017 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 69.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

译者序

自由空间光通信 (FSO) 是下一代的网络技术, 是代替光纤、射频、微波在大气中传输光信号的光通信技术。与光纤通信技术相比, FSO 技术在非常短的时间内可同时为多用户提供超宽带业务且不像无线电技术那样受电磁频谱限制。

FSO 是一项户外无线通信技术, 发射光信号的波长位于微米范围, 不在传统无线电的电磁频谱 (米到毫米) 范围内, 因而不须联邦通信委员会 (FCC) 或市政许可审批。FSO 激光束可以在高大建筑物的屋顶与屋顶、窗户与窗户之间快速构建一个 FSO 网络, 如采用波分复用 (WDM) 技术, 能提供超过数十吉比特每秒, 甚至上百吉比特每秒的数据速率。FSO 至少有三方面可期待的优势, 即快速部署、超高数据速率和终端机动性。

本书由全球知名光通信专家卡塔洛颇罗斯教授撰写, 采用浅显易懂、简明扼要的语言, 省去了过于详细的技术细节, 以便具有一般背景知识的读者能够理解 FSO 基本概念与原理。卡塔洛颇罗斯教授对于阅读过他以前著作的读者来说非常熟悉, 其一贯的写作风格使得本书对于想了解 FSO 全貌的读者同样是一次愉快的阅读。

全书除引言外共 9 章, 详细介绍 FSO 的器件、传输介质、网络拓扑、业务、保护、应用、工程以及安全性等。第 1 至 3 章分析影响光束传输的大气现象, 分析 FSO 链路和 WDM - FSO 链路所涉及的技术、FSO 节点设计所需的器件。第 4 至 6 章分析实际应用的 FSO 网络拓扑, 如点到点、环形网到网状网及每一种拓扑的相关问题, 分析 FSO 节点的设计复杂度、流量、故障保护及 FSO 能够支持的服务类型。第 7 至 9 章分析 FSO 与公网、无线及蜂窝技术的融合及网络的安全问题与应用。

本书由张宝富、闻传花和葛海波共同翻译完成, 第 0 至 3 章由闻传花和张宝富负责翻译, 第 4 至 9 章由张宝富和葛海波负责翻译, 全书由张宝富负责统稿。参加翻译工作的还有刘颖、汪井源、朱勇。面对书中涉及的激光技术、光纤通信技术、光网络技术及无线通信技术等大跨度的专业知识和原著作者独具特色的语言风格和叙述方法, 译者深感在短时间内翻译该书是一项难度较大的挑战, 全体人员虽尽力将时间和精力奉献在这项工作中, 但受自身专业和学术水平所限, 难免有错误和不妥之处, 恳请所有同行专家与读者斧正赐教, 欢迎发送邮件至 zhangbaofu@163.com。借此机会, 向为本书顺利出版做出贡献的所有同仁以及国防工业出版社的编辑致以诚挚的谢意。

译者

2017 年 1 月

自有人类历史以来，就有传递消息的需求。不仅如此，人类也一直非常重视将消息从某地 A 安全可靠地传到另一地点 B 的传递速度。很早，人们就认识到传递信息最快的并不是跑得最快的马或人，而是光。因此，一些古老的国家，如希腊，在山顶建立起了灯塔网络，通过点燃火把，信息在灯塔之间进行传递，经过编码的消息以光速向前传输。今天，因其在特洛伊时代的通信应用，这个网络被称为“阿伽门农的链路”。

技术的进步可以制造激光器。这种微小的半导体器件能产生非常窄的可见光束（光谱位于 $400 \sim 700\text{nm}$ ）和不可见光束（光谱位于 $800 \sim 900\text{nm}/1280 \sim 1620\text{nm}$ ）。简单的激光指示器仅仅是激光器众多应用之一。激光器最为重要的应用之一是光通信网络。

光纤通信网络具有空前的信息流量，释放了技术人员和通信服务提供商的想象力和创造力。今天，在几十年前被认为是科幻小说的多重（Multi-play）和 3 维（3-D）电信服务已经成为现实。同样，今天的电信服务在 10 年后也将被认为是陈旧的，许多看似科幻的服务都将成为现实。

光纤骨干网提供的巨大信息流量使得接入网成为一个瓶颈，这就是所谓的“最后 1 英里”（1 英里 = 1.609344km ）问题。接入网的传输速度无法与骨干网相适应，它没有使用光纤，而是使用了传输模拟信号，但并不适合高速数据传输的铜缆。这个瓶颈早在 20 世纪 80 年代就被预见，大量的研究和原理样机证明，只要条件合适，已有铜缆构成的模拟环路可以用于传输高速数据信号。AT&T 贝尔实验室的科学家开展了此项研究，当时我很荣幸参与了这项活动的核心工作，取得的成果就是综合业务数字网（ISDN）和数字用户环路（DSL）技术。当时，人们试图借这项技术解决“最后 1 英里”瓶颈。

在过去的 20 年里，互联网变得越来越流行，新的更强大的数据系统（路由器）连上了光纤，并创造了数据网络层。此外，新的协议也设计出来，以便吉比特每秒的数据传输。并且，新一代蜂窝无线协议打破了电话的界限，通过电磁波提供数据和图像服务。因而，数据传输速率增加，用户流量需求增加，各种类型的服务也变得更复杂。结果，为了满足各种类型服务的需要，接入网需要更高的数据速率，而这只有光通信技术能够提供。现在，为了解决这个问题，无论是家庭应用还是企业应用，光纤到房屋（FTTP）和无源光网络（PON）被寄予厚望。

因此，提供高速数据传输的光解决方案主要依靠光纤。但是，对于有些应用来说，光纤并不是一个合适的解决方案，如在没有光纤的地方，或者特殊的地形

不适合光纤铺设，或者短期内需要高速数据传输但是投资光纤并不划算的场合。在这种情况下，有两种解决方案：射频（RF）直接链路，在较短距离上可提供几兆比特每秒的数据；或者 RF 卫星链路，在较长距离上可提供几兆比特每秒的数据，不过需通过卫星转发。但是，RF 方案取决于可允许使用的频谱，而频谱资源正越来越多地被新的无线业务所占用。

一个不同的解决方案是自由空间光通信（FSO）技术，也被称为无线光通信，或户外光通信。FSO 借助现有的技术、器件（激光器、检测器和光学器件）和协议（以太网、同步网络/同步数字体系（SONET/SDH）和异步转移模式（ATM）），可以很迅速地在几千米的距离内建立吉比特每秒数据的直视光传输链路，通过链路级联还可以将距离扩展到十几千米。这样，FSO 技术能够迅速地将高速数据传输到住宅和企业。

严格地说，FSO 这一专业术语是指在大气层（即这里所指的自由空间）之上进行的光通信。实际上，美国航空航天局（NASA）最初发展这项技术是为了调制激光光束，在太空中实现卫星之间的光互联，我很荣幸在贝尔实验室参加了这项工作。不过，通过激光将通信站连接起来的想法也吸引该项技术从陆上军事应用向民用转移。但是在这种情况下，地球的大气层，特别是多变的对流层对于激光光束影响颇多，如大气衰减等，因此用“户外光通信”能更好描述 FSO，然而，根据惯例在本书还是采用一般意义上的 FSO 这一专业术语。

但是什么是 FSO？设想一下你拥有一个激光指示器，并且瞄准一个光检测器所在的位置，光检测器感应到激光指示器的光并产生稳定的电信号输出。这就是一个激光链路，只不过缺少信息。现在，设想你按照莫尔斯（Morse）码或美国信息交换标准代码（ASCII）码的规则将激光器打开或关断，实现对光束的调制。这时光检测器会产生和调制信号相符的电信号输出。现在，这条链路就承载了信息。再继续往下想，光束以数百万次每秒或数亿次每秒速度被快速调制。如果光束承载的脉冲有足够能量，光检测器就会产生电脉冲信号输出，那么你就以兆比特每秒或吉比特每秒数据速率，建立了一个令人印象深刻的 FSO 通信链路。更进一步假设，你拥有多个激光指示器，每一个指示器的光束颜色不同且独立承载信息，所有这些光束都被复用成一束光进行传输。在接收端，这束光被解复用至各个独立的光检测器。你正在构建的就是下一代波分复用 FSO（WDM - FSO）链路。

建造 FSO 链路有多容易呢？显然，为了说明它的工作原理，上述例子简化了 FSO 技术。实际上，FSO 系统在成为商用之前还有很多问题需要解决。例如，如果激光器和光检测器之间有几千米远时，怎样才能使得甚至比 1cm^2 还小的光束能够高精度地对准目标检测器呢？相反地，如果激光光束稍微发散，经过几千米传输后光束将有几米宽，那么有多少能量能够被微小的光检测器接收呢？接收到的光能量是否足够产生电脉冲输出呢？为了建立一个可靠的商用级 FSO 链路，还有很多问题要解决。

此外，如果 FSO 与无线技术和协议融合，如全球微波互联接入（WiMAX）、WiFi 或蜂窝技术，它也能提供移动服务。因此，FSO 至少有三方面可期待的特性：快速部署、超高数据速率以及终端机动性。

本书分析 FSO 链路和 WDM - FSO 链路所涉及的技术；分析影响光束传输的大气现象，实际应用的 FSO 网络拓扑，如点到点、环形网到网状网及每一种拓扑的相关问题；分析 FSO 节点的设计复杂度、流量、故障保护及 FSO 能够支持的服务类型；分析 FSO 技术及网络安全问题。

本书分析 FSO 技术的优缺点、FSO 节点设计所需的器件、FSO 保护策略和网络可靠性；为了服务的可移植、无线自组织（ad-hoc）网络和端用户的可移动，还将分析 FSO 与无线及蜂窝技术的融合。

FSO 技术仍在发展，因而希望本书能点燃读者的兴趣，激发想象，引出问题，将 FSO 技术提升至更智能的下一代网络。祝阅读愉快！

Stamatios V. Kartalopoulos

致 谢

感谢我的妻子安尼塔 (Anita)、儿子比尔 (Bill) 和女儿斯塔芬妮 (Stephonie)，感谢他们长期的支持、对我的耐心和鼓励。感谢本书的出版社和编辑提供的合作、投入的热情和策划管理。感谢匿名的评阅人有益的指点和建设性的批评。同时感谢为本书付出辛勤工作的人们。

关于作者

作者是 Stamatios V. Kartalopoulos 博士，美国俄克拉何马州塔尔萨大学威廉姆斯讲座教授，研究方向包括 FSO、PON 和 FTTH 光通信网络、光网络安全、量子密钥分发和量子网络等。

作者曾在贝尔实验室工作，负责组建、领导和管理 SONET/SDH、WDM、ATM 及接入系统研发团队，因此获总经理奖。

作者拥有 19 项通信网络专利，出版 9 部专著，发表 200 多篇学术论文，《网络安全》一书获 2009 年度杰出学术荣誉选择奖，2005 年发表的《PON 网络》一文获 2005—2010 年期间高引用论文。

作者是美国电子电气工程师协会（IEEE）及朗讯科技杰出讲师，为全球的大学、NASA、会议及企业作过演讲，多次在国际学术会议上做主题演讲、担任执行委员、主持分会、组织论坛。

作者担任 IEEE 会士（Fellow）、IEEE 通信与信息安全技术委员会（CIS TC）发起人与前主席、IEEE Press 主编、IEEE 通信杂志与光通信地区编委等职务。

目 录

第0章 引言

0.1 概述	1
0.2 光纤网络与最后/最初1英里瓶颈	2
0.3 另一种接入技术	3
0.4 FSO 工作波长	5
0.5 发射机与接收机通道	6
0.6 大气层	7
参考文献	8

第1章 非导引介质中的光波传播

1.1 绪论	9
1.2 光束特性	9
1.2.1 波长	9
1.2.2 光束剖面 and 模式	10
1.2.3 光束发散角	11
1.2.4 瑞利长度	13
1.2.5 近场和远场分布	14
1.2.6 峰值波长	15
1.2.7 相干度	15
1.2.8 光度量术语	15
1.2.9 辐射度量术语	17
1.2.10 光束功率和强度	17
1.2.11 分贝单位	17
1.2.12 激光安全性	19
1.2.13 激光器分类	20
1.3 大气层	23
1.4 大气效应对光信号的影响	24
1.4.1 空气折射率	25

1.4.2	大气电场	26
1.4.3	大气潮汐	26
1.4.4	定义	26
1.4.5	吸收和衰减	27
1.4.6	雾	29
1.4.7	烟雾	30
1.4.8	雨	31
1.4.9	雪	31
1.4.10	太阳干扰	31
1.4.11	散射	32
1.4.12	闪烁	35
1.4.13	风和光束漂移	36
1.5	大气光传输编码	36
1.6	激光雷达	37
	参考文献	38

第2章 FSO 收发机设计

2.1	绪论	43
2.2	光源	43
2.2.1	激光器按工作距离分类	43
2.2.2	激光源参数	44
2.2.3	发光二极管	44
2.2.4	激光器	46
2.3	调制器	51
2.3.1	幅度调制	52
2.4	光检测器和接收机	53
2.4.1	截止波长	54
2.4.2	光检测器参数	55
2.4.3	PIN 光电二极管	56
2.4.4	APD 光电二极管	56
2.4.5	光检测器的品质因数	57
2.4.6	硅和 InGaAs 光检测器	58
2.5	光放大	59
2.5.1	光放大器特性	59
2.5.2	半导体光放大器	60
2.5.3	光纤放大器	61
2.5.4	掺铒光纤放大器	62

2.6 光信噪比	64
2.6.1 信号质量	64
2.6.2 信号质量监测方法	65
2.7 捕获、对准及跟踪	66
2.7.1 捕获	66
2.7.2 对准	67
2.7.3 跟踪	68
2.7.4 角反射器	69
2.8 自适应光学和有源光学	70
2.8.1 自适应光学和有源光学的方法	71
2.8.2 参考星	72
2.9 激光安全性	72
2.10 节点箱及底座	73
参考文献	75

第3章 点到点 FSO 系统

3.1 绪论	77
3.2 简单的 PtP 设计	78
3.2.1 简单的 PtP 收发机设计	79
3.2.2 风对 LoS 的影响	80
3.2.3 简单的 PtP 功率预算	80
3.2.4 大气损耗模型	82
3.3 带转发器的 PtP 链路	83
3.3.1 带分插的 PtP 收发机设计	84
3.3.2 带分插节点的 PtP 的功率预算	84
3.4 FSO 和 RF 的混合	85
3.5 点到多点 FSO	86
3.6 点到移动的 FSO	87
参考文献	88

第4章 环形自由空间光通信系统

4.1 绪论	89
4.2 环形网络拓扑和业务保护	90
4.3 带有分插功能的环形网络节点	91
4.4 级联/相交环	93
4.5 具有网络连通性的环网	93
参考文献	94

第5章 网状自由空间光通信系统

5.1 绪论	95
5.2 网状拓扑的 FSO 节点	96
5.2.1 Mesh-FSO 拓扑的相关参数	96
5.2.2 Mesh-FSO 的节点设计	99
5.2.3 Mesh-FSO 的网络保护	99
5.2.4 Mesh-FSO 的可扩展性	100
5.3 Mesh-FSO 与 RF 的混合	101
5.4 FSO-光纤混合网	102
参考文献	103

第6章 波分复用网状自由空间光通信

6.1 绪论	104
6.2 光的属性	104
6.3 光学介质	105
6.3.1 均匀和非均匀介质	105
6.3.2 各向同性和各向异性	106
6.3.3 光在透明绝缘电介质中的传输	106
6.4 光与介质的相互作用	107
6.4.1 反射和折射——Snell 定律	107
6.4.2 光与介质的偏振	108
6.5 介质的双折射	111
6.6 DWDM 和 CWDM 光信道	112
6.6.1 DWDM 波长间隔	112
6.6.2 CWDM 波长间隔	112
6.7 波分复用 FSO 链路	113
6.8 波分复用网状 FSO 网络	113
6.8.1 网状网设计	113
6.8.2 链路对准	114
6.8.3 网状网优化	114
6.9 网状网 FSO 的业务保护	116
6.9.1 链路性能恶化	116
6.9.2 链路硬故障	117
6.9.3 多节点失效	117
6.10 WDM 网状 FSO 与 EM 无线网	117
参考文献	118

第7章 网状自由空间光通信与公网的综合

7.1 绪论	120
7.2 以太网协议	121
7.2.1 1Gb 以太网	123
7.2.2 10Gb 以太网	126
7.3 TCP/IP 协议	127
7.3.1 传输控制协议	128
7.3.2 用户数据报协议	128
7.3.3 实时传输协议	129
7.3.4 互联网协议	130
7.4 ATM 协议	130
7.5 无线协议	134
7.5.1 WiFi	135
7.5.2 WiMAX	135
7.5.3 WiFi 和 WiMAX 的比较	137
7.5.4 LTE	137
7.5.5 LTE 和 WiMAX 的比较	138
7.6 下一代 SONET/SDH 协议	139
7.6.1 传统的 SONET/SDH	139
7.6.2 SONET 的帧结构	140
7.6.3 虚支路及支路单元	141
7.6.4 STS-N 帧	143
7.7 下一代 SONET/SDH 网络	145
7.7.1 下一代环形网络	145
7.7.2 下一代网状网络	146
7.8 下一代协议	149
7.8.1 NG-S 中的级联	150
7.9 GMPLS 协议	151
7.9.1 MPLS	151
7.9.2 GMPLS	152
7.10 GFP 协议	153
7.10.1 GFP 的报头、差错控制和同步	154
7.10.2 GFP 帧结构	155
7.10.3 GFP-F 和 GFP-T 模式	156
7.11 LCAS 协议	157
7.12 LAPS 协议	158

7.13 基于 SONET/SDH 的任何协议	159
7.13.1 例 1: 基于 NG-S 的 LAPS 中的 IP	159
7.13.2 例 2: 基于 WDM 的 NG-S 中基于 LAPS 的任意净负荷	160
参考文献	161

第8章 FSO 网络安全

8.1 绪论	163
8.2 加密	164
8.3 安全级别	165
8.4 安全层	166
8.4.1 信息层安全	167
8.4.2 MAC/网络层的安全	167
8.4.3 链路层安全	167
8.4.4 FSO-WLAN 安全	168
8.5 FSO 固有的安全特性	169
8.5.1 FSO 光束泄漏	169
8.5.2 波束窃听	170
8.5.3 FSO 电缆窃听	170
8.6 结论	170
参考文献	170

第9章 自由空间光通信的特殊应用

9.1 绪论	172
9.2 高速公路辅助通信的 FSO 网络	172
9.3 灾区的 FSO 网状网	173
9.4 可见光通信	174
9.5 总结	175
参考文献	176

引言

0.1 概述

光通信是一项技术，能以“光的速度”通过光学透明介质，在每秒钟内传递前所未有的信息量。在一种简易通信形式中，光用作信息传递的工具已有千年历史，最早的书面证据参考特洛伊时期（公元前 1200 年）悲剧作家埃斯库罗斯的舞台剧《阿伽门农》：

……于是我正在等待信号火炬，
那火焰。
传来了特洛伊的消息，
其沦陷的消息……

如今，这种光通信链路被称为“阿伽门农链路”，它们采用了类似的工作方法并且通过在网络的每个节点使用随时间变化的密码增加了安全性，所谓的网络节点实际上是设置在山岗或高山顶上的光塔。一种加密方法是军事科学家艾尼阿斯（公元前 4 世纪）基于“漏桶”或“漏壶”原理发明的，每个节点根据漏瓷罐的水位改变密钥。另一种加密方法是在每个节点，使用几个火炬对光信号编码，其中一种编码方式，首先由 Cleoxenos 和 Demokleitos 发明，后来由波利比奥斯（公元前 203 年—公元前 120 年）完善^[1]。如今，这种编码方式被称为波利比奥斯方格。

同样，当需要在一片水域，如陆地到船或船到船，建立光通信链路时，编码信息的传递可借助太阳光或火炬和磨亮的盾牌。在古希腊盾牌由青铜制成，大部分都打磨得光亮。

以上所述的古代光通信技术是借助于光在大气中传递。当今，为了能在大气层，尤其是对流层中进行通信，人们使用了激光器、探测器和其他光学与电学器件，其中激光器产生光束窄、颜色单一的光，探测器探测激光器发出的光。为了与另一种采用了类似或相同的器件，但光在光纤中传输的光通信技术区别，人们称其为自由空间光通信（FSO）技术^[2,3]。

0.2 光纤网络与最后/最初 1 英里瓶颈

今天,微电子和电光器件的不断进步已将昨日的科学幻想变成今日的现实。就介质中数据传输的速度而言,尽管光速没有引起数据量的改变,但是每比特的时间单位变化导致了信息量的惊人变化,这可从数字 1 后面跟了许多 0 看出,从 1 000 000 变到 1 000 000 000,即对应兆比特每秒到吉比特每秒。换个角度看,传输 1Gb/s 的数据意味着 1s 内传输 1Gb 文件,或等价于 1s 传输 24 部典型大英百科全书的所有内容。这种巨大的进步得益于激光器、超快调制器、超灵敏的探测器、全光放大器、光开关、超快电子器件、超纯净光纤等的进步,满足了纤维(光纤)预期的性能和成本要求。结果,大约 20 年时间,光纤通信已经成为骨干网络唯一可选择的技术(纤维或光纤已经 100% 取代了铜或铜线)。然而,在接入网络中,如果考虑初期投资和维护与收益的关系,不能持相同的论断,结果是骨干网络传输的潜在数据量是能够到达全部用户数据量的几倍,这就产生了所谓的最后/最初 1 英里瓶颈。

仅几年的时间,互联网呈现出爆炸式发展,新的业务已由互联网提供。传统的电信网支持新的集成业务,无线数据技术、移动和半移动技术也已引入新的业务,这些进一步加剧了“瓶颈”。

为了克服瓶颈,传输更多的信息到终端用户,人们做了两方面的努力。一是基于现有铜线环路的数字用户环路(DSL),另一个是基于现代光通信网络的 FTTP^[4,5]。

(1) DSL 是一项近 20 年来开发的数字传输技术,利用环路上的铜双绞线(TP),从中心办公室(CO)向端用户传输数据,根据传输距离的远近可传输的数据速率达几兆比特每秒。

(2) FTTP 是一项光传输技术,利用单模光纤(SMF)连接 CO 和与之相邻的光线路终端(OLT),再利用 SMF 或多模光纤(MMF)连接到房屋(住所)处的光网络终端(ONT)。FTTP 可以利用有源或无源光器件构建网络,如果采用无源光器件构成网络,就被称为无源光网络(PON)。FTTP 的数据传输速率和距离都优于 DSL,能够满足目前用户对现有业务和未来用户对高数据速率或超宽带(UBB)新业务的需求。这些新业务是高清双向互动视频、超高速数据(快速以太网的互动视频、话音和数据)以及传统的话音、音频(音乐)业务。