



新一代传送网关键技术和发展趋势

张成良¹, 韦乐平²

(1. 中国电信股份有限公司北京研究院 北京 100035; 2. 中国电信集团公司 北京 100032)

摘要: 首先阐述了新一代传送网的基本特征, 重点讲述了以 OTN 为代表的透明联网技术的发展趋势, 接下来讲述了 100 Gbit/s 及超 100 Gbit/s 高速 WDM 系统的发展趋势和挑战, 最后重点分析了超低损耗光纤和基于光纤的复用技术的发展情况。

关键词: 新一代传送网; OTN; 100 Gbit/s; ROADM

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.01.001

Key Technologies and Trends for New Generation Transport Network

Zhang Chengliang¹, Wei Leping²

(1. Beijing Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 100035, China;

2. China Telecom Corporation, Beijing 100032, China)

Abstract: The main characteristics of new generation transport network were presented firstly, and transparent networking technologies, in particular OTN, as an initial transparent networking technology for new generation transport networks, were also analyzed. Additionally, focusing on the development and challenges of 100 Gbit/s and beyond 100 Gbit/s WDM systems, the development of optical fiber and fiber-based multiplexing technologies were discussed.

Key words: new-generation transport network, OTN, 100 Gbit/s, ROADM

1 引言

流量增长历来是传送网技术发展的主要驱动力量。近年来以视频业务为代表的互联网业务蓬勃发展, 移动互联网业务高速增长, 云计算应用蓄势待发, 美国 Cisco VNI 预计, 未来 5 年全球 IP 流量的年增长率依然可达到 29%。就我国情况看, 按照中国电信集团公司(以下简称中国电信)的最新预测, 尽管未来 5 年干线网流量的年增长率相对会有一些回落, 但依然会高达 35%~50%。按照这样的增长趋势, 预计到 2020 年, 中国电信省际传送网最大截面的容量将超过 80 Tbit/s, 最大的节点交换容量将超过 300 Tbit/s。

面对互联网等业务的快速发展, 现有传送网的链路、

节点容量和功能均已不能满足需求, 亟需引入新的网络架构和组网技术。建设一张面向更高速率、更高可靠性、更低成本、更灵活、层次更清晰的新一代传送网是运营商的必然选择。所谓新一代传送网, 有 3 个基本特征是必备的, 即超高速传输、透明联网和超低损光纤。本文将重点围绕这 3 个基本特征对新一代传送网所涉及的关键组网技术的发展趋势进行探讨。

2 透明联网技术的发展趋势

所谓网络的透明性, 泛指网络对信号传输的比特、定时和时延透明, 即与传送的信号细节基本无关。这种网络的透明性是运营商长期追求的理想, 有利于兼容不同制



式、不同格式和不同速率的信号,维持基础设施的长期稳定性,有助于新老系统的共存,既保护已有投资,又不妨碍新技术引入,但面临未来发展不确定的复杂形势。OTN 的出现和成熟提供了初步的透明联网能力,下一步的发展则是全光联网,即真正实现光层面的透明联网,完全消除电子设备引起的节点和链路瓶颈,两者相辅相成,共同构成未来的透明光传送网络,支撑电信网的长远可持续发展。

作为透明联网第一步的 OTN 技术是一个包括光层和电层在内的完整的光网络体系结构。从 OTN 设备呈现方式上看,既可以作为独立的交叉设备使用,也可以与 WDM 系统集成在一起使用。OTN 技术的发展包括两方面:一是向容量更大的设备形态发展,包括交叉容量的增加和接口速率的提升;二是面向多业务承载平台的演进。

2.1 OTN 设备交叉容量与接口

目前商用化 OTN 设备支持的最大电交叉容量可达 6.4 TB,支持 ODU k ($k=0,1,2,3,4,\text{flex}$) 等交叉连接颗粒,下一步将开发交叉容量达 10~20 TB 的大容量 OTN 设备。从技术上看,基于现有交换技术的 OTN 设备容量的进一步提升面临技术瓶颈,如槽位数量和单槽位容量、功耗的限制等。进一步提升 OTN 设备交叉容量的思路是采用类似集群路由器的实现方案。目前主流的集群交换架构大多采用多平面多级 Clos 或者 Benes 架构,这种集群交换方案存在的主要问题是随着交换容量的增长,功耗和热处理将面临很大的挑战。另外设备内的光互联数量巨大、结构复杂,给网络维护造成很大压力。已经有报道关注采用 OBS (光突发交换) 技术来实现 PB(1 000 TB)级的大容量集群光交换系统。

在 OTN 接口速率方面,目前 OTN 能够提供的最高接口速率是 100 Gbit/s(OTU4),ITU-T 已经开始了超 100 Gbit/s OTN 接口的研究。超 100 Gbit/s OTN 接口有两种发展思路:一种是延续原有的方式,定义一个固定速率的 OTU5/ODU5,ODU5 的速率与 IEEE 未来定义的超 100GE 接口速率相匹配,如 400GE 或 1 000GE;另外一种思路是独立于以太网接口速率,定义一种速率灵活的 OTN 架构,以便能够满足不同业务的发展需求,并充分利用新型光调制技术的优势。从 2012 年 9 月的 ITU-T SG15 全会的情况来看,业界更倾向于采用后一种思路。目前速率灵活的 OTN 接口的具体实现思路主要有两种:一种是采用类似 ODU k 的虚级联技术,将高速业务信号分散到多个 ODU/OTU/OCh 光

通路中进行传送;另一种是维持目前单个 ODU/OTU/OCh 的方式,并采用新型的多载波光调制技术(如 OFDM、Nyquist-WDM 等),通过改变子载波的数量来调整速率。无论是选择固定速率还是灵活速率,超 100 Gbit/s OTN 接口都将采用并行接口(OTL)的方式,如 $N\times 28$ Gbit/s。

2.2 基于分组增强的 OTN 技术

OTN 技术在接口、映射、复用等方面不断发展和演进,以更好地适应数据业务的承载。近来业界开始越来越多地关注 P-OTN(分组增强型 OTN,也称为 P-OTS,分组增强的光传送系统)的概念。P-OTN 将 OTN 和以太网/MPLS-TP 等诸多功能集于一身,减少了设备的种类,可以通过以太网或 MPLS-TP 实现 L2 分组交换网络,以适应运营商不同的传送网部署策略。分组增强的 OTN 技术可以用于提供大带宽的以太网虚拟专线业务,作为 MSTP 以太网专线业务的升级和演进;还可用于 IP 城域网的承载,包括 OLT 到 BRAS/SR 的连接以及 BRAS/SR 到核心路由器(CR)的连接承载,实现 GE $\rightarrow$ 10GE、10GE $\rightarrow$ 40GE/100GE 的汇聚,解决不同层次的网络设备端口不匹配和低速端口过多的问题。

从发展的角度看,P-OTN 将成为一个新的融合的传送交换平台,具备电路交换、分组交换、光交换的能力和光控制面功能。结合 SDH ADM、DWDM、ROADM、OTN、ASON/GMPLS 和电信级以太网交换等功能,初期实现可能只具备其中的部分功能,随着逐渐演进,不断融合吸收其他设备功能,从而大大减少网络设备的种类和空间,降低了网络成本,简化了维护运行流程。

2.3 OTN 应用场景和 IP 分流

OTN 设备的引入可以改变目前骨干 WDM 系统不成网的现状,使骨干光传送网真正联网,实现业务的端到端自动调度,提高光传送网的可靠性。运营商通过部署 OTN 可以提供 GE~100GE 的大带宽传输专线业务,满足 ICP、银行等政企客户对网络带宽的需求。同时,随着 100 Gbit/s 时代的来临,OTN 技术可以用于 IP 分流(IP offloading),促进 IP 网络的扁平化,减少对核心路由器容量和接口数量的需求,降低建网成本。

目前 IP 骨干网普遍采用 IP over WDM 的组网方式,分为核心、汇聚和接入 3 个层次。IP 骨干网的组网模式一般是汇聚路由器(AR)双归属到核心路由器,核心路由器完成汇聚路由器之间的业务转发和疏导。在经过核心路由器的业务流量中,有 50%以上属于穿通流量,这些穿通流量大大加重了核心路由器的负担,占据着核心路由器的宝贵

转发资源。基于上述原因,业界提出了 IP 分流的概念。IP 分流指针对 IP 网络中核心路由器存在的“穿通流量”,利用 OTN 所具有的低速业务汇聚、调度和端口汇聚能力,在业务量达到一定门限的路由器之间建立传输层直达链路,从而节约核心路由器的接口数量,降低对其容量的要求和网络成本,如图 1 所示。

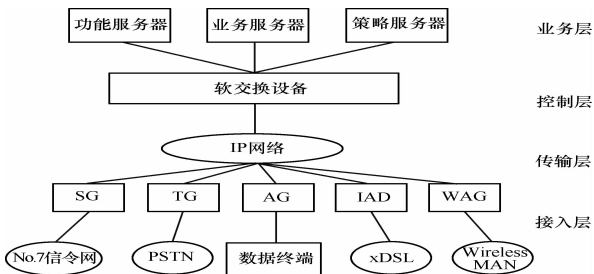


图 1 IP 分流示意

运营商目前实施的 IP 骨干网的扁平化可以看作“波长级 IP 分流”,基于 OTN 的 IP 分流与 IP 网络扁平化的主要差异见表 1。

表 1 基于 OTN 的 IP 分流与 IP 网络扁平化的区别

	IP 网络扁平化	IP 分流
电路带宽颗粒	波长级	子波长级 (ODU _k , $k=0,1,2,3,flex$)
端口汇聚(子接口)	不支持	支持
路由器不同接口类型匹配	不支持	支持

随着 100 Gbit/s WDM 的大规模部署和 IP 网络结构的扁平化,IP 骨干网中不同区域的汇聚与核心节点之间的流量分布存在很大的不一致性,需要传送网具有提供多颗粒 (10 Gbit/s/40 Gbit/s/100 Gbit/s) 业务承载的能力。基于 OTN 的 IP 分流可以匹配路由器互联带宽需求与 WDM 传输系统速率的不一致,适应不同段落 IP 链路带宽需求的差异性,促进 IP 网络的扁平化。将高速通道化接口和 OTN 的端到端灵活调度能力结合在一起,可以快速响应 IP 网的突发业务需求,实现带宽的灵活调整,解决网络带宽升级时低速接口的浪费问题。根据初步分析,通过 IP 与 OTN 联合组网,核心路由器的转接流量可以减少 30% 左右,不仅减少了对昂贵路由器端口的需要,降低了网络成本,而且改进了网络性能。

2.4 全光联网技术

互联网流量的持续高速增长,特别是 P2P 流量和视频流量的快速增长,对网络容量和组网灵活性提出了很高的要求,再加上光器件技术的不断进步和成本的不断下降,

可以动态实现任意波长上下路的灵活组网设备——可重构的光分插复用器 (ROADM) 开始受到业界的关注,并在北美地区率先得到应用。ROADM 的主要优点如下。

- 消除电设备导致的带宽瓶颈。目前,传送网的节点和链路容量的增长速度均无法赶上互联网业务量的增长速度,而纯光的 ROADM 可以保证网络容量的持续扩展性。
- 实现对客户层信号的透明性。由于网络中取消了光—电—光再生设备,可以全透明地支持任意速率、格式或协议的客户层信号,对于当前面临的未来发展不确定的复杂形势,这种透明性有利于维持基础设施的长期稳定性。
- 简化并加快了高速电路的指配和业务供给速度。由于 ROADM 减少了光电转换环节,可以远程实现任意波长灵活、动态的上下路,从而减少了电路配置时间,加速了业务供给速度,降低了人工操作的失误概率,有利于网络运行工作向集约化方向演进。
- 降低了建网费用和运营维护成本。由于简化了网络层次和结构,减少了网元和昂贵、耗电的电/光转换设备,简化了网络管理和规划,从而不仅降低了全网建网费用,而且也大幅度减少了网络维护运行、扩容升级、地产和电源成本。
- 节省网络能耗。利用波长的去碎片化,可以有效地使用光通道提高光纤利用率,降低能耗达 50%。

从技术角度看,ROADM 的实现技术有很多,第三代基于多端口波长选择开关 (WSS) 技术已经成为主流趋势,其插入损耗低、体积小、成本低,且真正实现了网络波长可重构,具有较高的组网灵活性和经济性,应用日益广泛。美国 Verizon 公司的应用效果表明,网络可以减少 70% 的光—电—光再生设备,从而使得设备投资减少 50%,空间/租金减少 60%,电费降低 50%。

ROADM 发展的长远方向是实现 5 个“无”,即无色(与波长无关)、无方向(与传输方向无关)、无冲突、无光滤波器和无格栅,真正达到透明灵活组网的目标,目前成本还太高,还需要更多更有效的技术创新,同时还需要仔细考虑具体网络的特点、对维护管理体制的适应性以及与其他竞争性新技术的比较,这样才有可能获得最有效、合理的应用,这方面还需要有横向和纵向层面的深入分析。

从应用上看,由于骨干网地理范围大,全光传输距离受限,再生是 ROADM 组网中必须考虑的问题。全光再生



技术在可预见的将来还难以成熟,因此“先下路进行 OEO 再生,然后上路”是 ROADM 完成业务再生的唯一选择。在组网策略上,结合 OTN 电交叉和 ROADM 光交叉能力的光电混合交叉设备是解决 ROADM 组网再生问题的最佳方案;OTN 电交叉还可以提供子波长业务汇聚、调度、保护等能力,进一步提高骨干传送网的业务提供能力。

3 超高速 WDM 技术的发展趋势

3.1 单波 100 Gbit/s WDM 系统

单波 100 Gbit/s WDM 是当前超高速 WDM 技术的最大热门,经过多年的研究和积累,目前 100 Gbit/s WDM 传输技术已经具备了规模商用的部署条件。不同于当年 40 Gbit/s WDM 传输技术从出现到商用近 10 年的漫长历史,100 Gbit/s WDM 传输技术的发展速度要快很多。其中,100 Gbit/s WDM 传输技术标准的统一是重要因素。2009 年 7 月,OIF 发布了题为“100 Gbit/s Ultra Long Haul DWDM Framework Document(100 Gbit/s 超长距密集波分复用框架文件)”的白皮书,提议业界采用双极化正交相移键控(DP-QPSK)调制技术和相干接收技术作为骨干超长距 100 Gbit/s DWDM 传输系统的技术路线。业界主流厂商的 100 Gbit/s WDM 传输设备无一例外,均采用了 OIF 建议的相干接收+DP-QPSK 调制技术方案,如图 2 所示。

100 Gbit/s WDM 传输系统的另一项关键技术是前向纠错(FEC)。100 Gbit/s 时代的 FEC 技术相比 40 Gbit/s 时

代又有新的进展:首先,传统硬判决(HD)FEC 技术纠错能力进一步提高,在保持 7%左右 FEC 编码冗余不变的前提下,纠错容限从 40 Gbit/s 时代的 2×10^{-3} 提高到 4×10^{-3} 左右;其次,出现了软判决(SD)FEC 技术,SD FEC 技术的基本原理是在“判决”和“纠错”两个环节间建立某种形式的反馈机制,从而进一步提高纠错能力,100 Gbit/s SD FEC 的编码冗余一般都在 15%以上,目前商用 100 Gbit/s WDM 设备的 SD FEC 纠错容限为 $1.5 \times 10^{-2} \sim 2 \times 10^{-2}$,相对于 HD FEC,净编码增益(NCG)提高大约 1.5 dB。

3.2 400 Gbit/s 及以上速率 WDM 系统

目前超 100 Gbit/s WDM 传输技术的研究热点集中在 400 Gbit/s 和 1 Tbit/s (1 000 Gbit/s) 两种速率上,这与 IEEE 定义的下一代以太网速率密切相关。超 100 Gbit/s WDM 传输技术有几个共同的特点。

- 继承了 100 Gbit/s 时代开始采用的偏振复用和相干接收技术:偏振复用有利于降低信号波特率,相干接收有利于改善接收性能,实现 PMD 和色度色散补偿。
- 更复杂的调制技术:受限于材料性能和芯片工艺,光电器件的实际处理速率的增长速度无法跟上单波速率的增长速度,超 100 Gbit/s 需要采用诸如 16QAM、32QAM、OFDM 等更复杂的调制技术,从而可以用较低的波特率实现所需的比特率。
- 灵活的波道间隔:无论是 10 Gbit/s、40 Gbit/s 还是 100 Gbit/s,DWDM 系统的波道间隔要求始终是 50 GHz,但在超 100 Gbit/s 时代,将需要更灵活的波道间隔,在提高频谱效率和确保无电中继传输距离之间需要取得一定的平衡。
- 更突出的非线性受限问题:由于采用相干接收技术,色度色散和 PMD 不再成为超高速 WDM 系统的限制因素,但随着调制复杂度和频谱效率的提高,非线性效应在超 100 Gbit/s WDM 系统中的影响越来越严重,带来对 WDM 系统的功率控制以及对光纤损耗性能要求的提高。

目前最流行的单波 400 Gbit/s 调制方案是双载波 PM-16QAM,如图 3 所示。400 Gbit/s 信号首先分为 2 个光子载波传送,信号速率降低一半至 200 Gbit/s,再通过偏振复用进一步降低至 100 Gbit/s,最后通过 16QAM 调制降低为 1/4,因此实际码元速率仅为 25 Gbit/s。400 Gbit/s 双载波 PM-16QAM 的实际波特率与目前 100 Gbit/s PM-QPSK

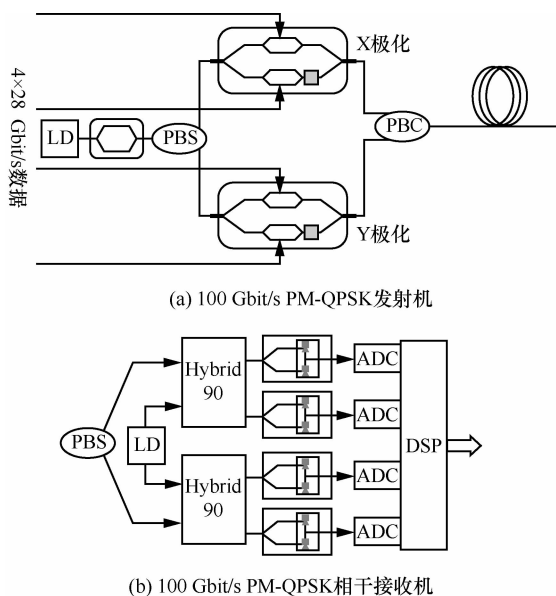


图2 100 Gbit/s PM-QPSK 的发射机和接收机示意

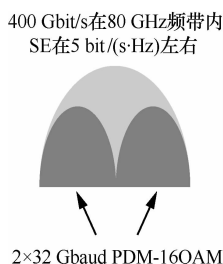


图3 采用双载波 PM-16QAM 的 400 Gbit/s WDM 方案

一致,支持重用核心芯片(即阿朗、Ciena、华为等厂商下一代 100 Gbit/s 宣称支持 100 Gbit/s /200 Gbit/s /400 Gbit/s 等多种速率的原因)。一般情况下,两个子载波的波道间隔为 50 GHz,因此通过 100 GHz 频带传送 400 Gbit/s 信号,频谱效率为 4 Gbit/(s·Hz)。若采用灵活格栅技术,每个子载波的带宽可望控制在 $25 \times 1.5 = 37.5$ GHz 左右,可以实现在 75 GHz 频带内传送 400 Gbit/s 信号,频谱效率提高到 5.3 bit/(s·Hz)。

单波 1 Tbit/s 光纤传输技术面临的技术难度更高,业界寻求通过超级通路(super channel)方案来解决频谱效率与传输距离之间的平衡问题。超级通路技术的基本原理是在一个通道中包含若干个子载波,共同传输一路高速信号,每个子载波的速率可以降低,从而降低了实现难度。目前比较热门的两种技术是正交频分复用(OFDM)技术和奈奎斯特 WDM (Nyquist-WDM)技术。

正交频分复用技术的原理是将数据通过大量频域内正交的子载波来传送信号,简而言之是“频域正交,时域压缩”,如图 4 (a) 所示。OFDM 信号的产生可以是电域

(eOFDM)的,也可以是光域(O-OFDM)的,eOFDM 可以实现更高的频谱效率,但芯片实现难度大;O-OFDM 的实现相对简单,但性能相对较差。基于 OFDM 还可以延伸出单载频频分复用(SCFDM)方式,峰均比较小,可望改进非线性容限。

Nyquist-WDM 技术的基本原理与 OFDM 正好相反,发送端将单个子载波信号通过数字滤波或者光学滤波方式在频域内整形为近似矩形,在频域内的多个子载波可以无间隔地并行传输,进而提高频谱效率。简而言之是“频域压缩,时域正交”,如图 4 (b) 所示。采用光学滤波的 Nyquist-WDM 系统实现难度较低,技术难点是对光域压缩损耗的补偿。

综上所述,400 Gbit/s WDM 传输技术路线相对清晰,双载波 PM-16QAM 可以部分重用目前 100 Gbit/s PM-QPSK 调制技术的核心技术和关键芯片,有可能成为第一代单波 400 Gbit/s 调制技术。1 Tbit/s WDM 传输技术路线尚不明确,业界倾向于采用超级通路技术,OFDM 和 Nyquist-WDM 是目前最热门的两类候选技术方案。前者收发端需要复杂的 DSP 处理,非线性容限较差;后者无 FET 操作,发送端 DSP 处理相对较简单,非线性容限也较高,两者各有特点,目前还没有肯定的结论,或许实施某种程度的融合,实现优势互补也是一条较好的出路。

4 新型光纤技术的发展趋势

随着 20 世纪 90 年代初建设的“八纵八横”干线光缆逐渐进入 20 年的设计寿命期,我国即将进入新一轮光纤

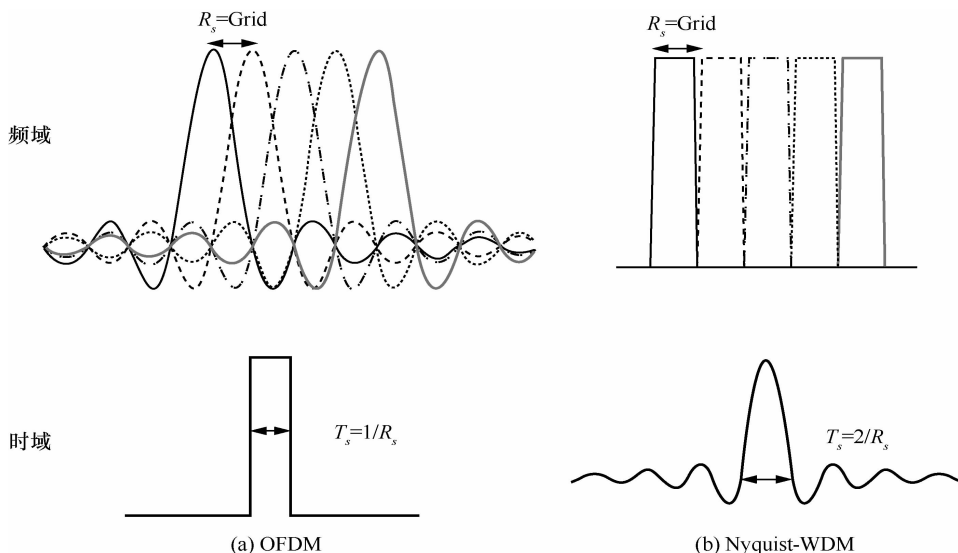


图4 OFDM 和 Nyquist-WDM 原理示意



光缆建设期。光缆属于信息基础设施的基础,要考虑至少20年的技术发展和容量需求,因此需要有更远的前瞻性考虑。目前网络部署的骨干光缆光纤类型主要包括 G.652 和 G.655,其中 G.652 光纤由于有较大的有效面积以及合适的色散系数,具备一定的性能优势,特别是在相干 100 Gbit/s WDM 系统中,色度色散和 PMD 不再成为限制因素,非线性效应的影响更加突出,G.652 光纤的性能优势也更加明显。

超 100 Gbit/s 等超高速 WDM 传输系统对非线性效应越来越敏感,入纤功率的控制将越来越严格,因此光纤段落损耗对系统传输距离的影响变得越来越重要。在此背景下,降低光纤损耗系数重新成为光纤技术发展的主要趋势。目前低损耗光纤技术在 G.652 光纤中主要有两种技术。

- 采用常规 G.652 光纤工艺(芯区掺锗),通过改善预制棒纯度和拉丝过程的洁净度,减少非本征损耗,达到降低损耗的目的。这种技术通常称为低损耗(low loss, LL)光纤技术,厂商 G.652 LL 光纤的损耗系数是 0.18~0.185 dB/km(常规 G.652 光纤的损耗系数要求为 0.20 dB/km),价格比常规光纤稍贵,按照光缆价格计算,则几乎可以忽略。
- 采用新型工艺的超低损耗(ultra low loss, ULL)光纤,该技术借鉴海缆纯硅芯光纤工艺,芯区采用纯二氧化硅,最大限度地降低本征损耗,包层通过重度掺氟降低折射率,达到所需的折射率分布。由于工艺复杂,目前只有康宁公司推出了 G.652 ULL 光纤商用产品,损耗系数大约是 0.17 dB/km,价格大约是常规光纤的 3 倍,但若与节省的昂贵的高速转

发器相比,则在不少超高速应用场景下是值得的。

根据 ITU-T 规定的光纤可用光谱宽度和香农极限理论,单模光纤的理论容量极限大约是 400 Tbit/s(假设频谱效率是 10 bit/(s·Hz)),进一步考虑到光纤放大器的可用带宽仅为光纤可用光谱宽度的 1/4,单模光纤的实际可用容量极限大约是 100 Tbit/s。图 5 显示,近 10 年来,由于缺乏像 20 世纪的 WDM 和光纤放大器那样的突破性技术,光通信技术的容量增长速度已经回落到每年 20%左右,最新实验室结果已经非常接近实际可用的容量极限。按照这一发展速度,系统容量将在 2020 年左右达到香农极限。然而,从业务需求方看,最近 10 年全球互联网的流量按照每 7 年翻 10 倍的发展规律增长,即每年的流量需求在 40%左右,远快于系统容量的增长速度。按照上述发展速度,预计在 2020 年前后,实际互联网流量需求将超越单纤系统容量的香农极限,出现容量危机。

要突破单纤系统容量的香农极限,主要靠空分复用(SDM)和模分复用(MDM)两个方向,具体介绍如下。

- 模分复用:通过在同一光纤内同时传输若干个正交模式的方式达到模式复用扩容的目的。这种方式的关键是模式数量要严格控制在,还需要保证损耗系数等传输性能、控制模间色散、降低 MIMO 算法复杂度。此类光纤通常称为少模光纤(few mode fiber, FMF)。
- 空分复用:通过将多个纤芯集成在同一光纤包层,使得同一根光纤可以同时支持多个芯区,不同的芯区可以传输不同信号,从而实现空间复用,称为多芯光纤(multi-core fiber, MCF)。这种方式的关键是纤芯间距离要严格控制,防止芯间干扰和损耗增加。

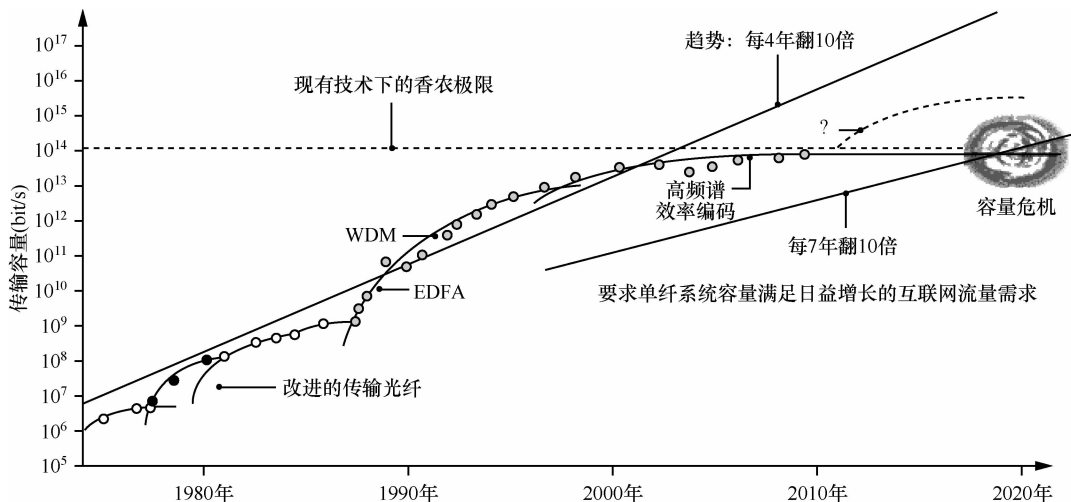


图 5 单模光纤传输容量发展历史及预测

上述两种技术可以结合在一起,进一步提升容量,称为少模多芯光纤(few-mode multi-core fiber),为光纤通信的容量突破提供了重要的技术途径,但真正要实现商业化,还有很长的路要走,特别是必须要实现多个独立并行传输系统的集成,否则仅仅靠减少光缆的体积和成本并不具备实际的经济意义。

5 结束语

骨干传送网正处在向新一代传送网演进的重要阶段,随着互联网业务的飞速发展,超 100 Gbit/s WDM 链路传输系统的应用和发展已经成为满足业务需求的必然选择。传送节点正成为网络发展的瓶颈,一方面,交换节点需要越来越大的处理容量,另一方面,基础网络越来越需要具有透明性,能够灵活适应各种新老系统、不同制式、不同速率的信号。OTN 具有这种初步的透明联网能力,也是现阶段解决端到端业务调度和保护问题的重要手段。下一步发展则

是全光透明联网,在骨干网上引入 ROADM 等光交换技术已进入考虑的日程。超低损耗光纤的发展使光电再生距离大大延长,特别在确保 100 Gbit/s 和超 100 Gbit/s 速率的长途传输距离方面具有重要的意义。简言之,人们期待已久的超高速、超低损、透明光网络时代已经出现在地平线上。

【作者简介】 张成良,男,中国电信股份有限公司北京研究院副总工程师,宽带与互联网创新中心主任,国务院政府特殊津贴获得者,中国通信标准化协会传送网与接入网技术工作委员会副主席,中国电信集团科技委常委委员等,曾被信息产业部授予“信息产业科技创新先进工作者”荣誉称号,中国科协第八次代表大会代表,累计在国内外发表论文 60 多篇。韦乐平,男,工业和信息化部通信科学技术委员会常务副主任,中国电信集团公司科学技术委员会主任,主要研究方向为传送网、接入网、承载网、三网融合和网络发展战略,已获得国家科技进步二等奖 3 项,发表 100 余篇论文和 9 本著作。

(收稿日期:2012-11-25)



·简讯·

2012 年 11 月通信业主要指标完成情况(一)

指标名称	单位	本年本月止累计达到	比上年同期累计(±%)	本月
电信营业收入	亿元	10 963.9	11.9	997.3
其中:电信主营业务收入	亿元	9 833.7	9.2	896.5
电信固定资产投资完成额	亿元	2 839.9	6.9	376.9
本地网内区间电话通话量	万次	3 670 065.2	-18.0	316 350.5
本地网内区内电话通话量	万次	23 308 325.7	-17.4	1 898 820.3
本地网内拨号上网通话量	万次	99 555.0	-56.9	5 445.1
固定长途电话通话时长合计	万分钟	6 453 047.8	-18.4	557 469.5
国内长途电话通话时长	万分钟	6 301 136.8	-18.6	543 857.3
国际电话通话时长	万分钟	92 699.2	-3.4	8 510.2
港澳台电话通话时长	万分钟	59 211.8	-11.6	5 101.9
移动电话通话时长合计(含本地)	万分钟	252 106 673.7	12.8	23 261 629.2
移动电话国内长途通话时长	万分钟	58 047 744.2	26.2	5 425 833.8
移动电话国际电话通话时长	万分钟	111 417.8	25.0	10 603.4
移动电话港澳台电话通话时长	万分钟	92 356.3	7.4	8 405.2
IP 电话通话时长合计	万分钟	5 963 167.2	-24.6	480 632.6
IP 电话国内长途通话时长	万分钟	5 882 427.6	-24.7	472 763.7
IP 电话国际电话通话时长	万分钟	53 470.5	-8.1	5 471.3
IP 电话港澳台电话通话时长	万分钟	27 269.1	-23.1	2 397.7
移动短信业务量	万条	81 872 588.3	2.3	7 028 344.5

注:(1)收入增长率按可比口径计算。

(2)固定长途电话通话时长和移动电话通话时长均包含相应的 IP 电话通话时长。

(3)通话时长各项指标均为去话通话时长。

(来源:工业和信息化部运行监测协调局)