

# 现代光通信测试技术不发展动态

谢毅

信息产业部通信计量中心北京花园北路 52 号

## 一、引言

光波也是一种电磁波,其波长在微米量级,频率为 $10^{14}$ 量级。其频率比常用的微波高 $10^4-10^5$ 量级,因此理论上的通信容量也是微波通信的 $10^4-10^5$ 倍。实际上,在 19 世纪末就有人尝试用光信号传送语音,但是,由于当时的光源相干性很差;光波在大气中传播受气候影响严重,很难获得长距离的稳定通信,这是光通信领域的两大难题。真正实现光通信得益于 20 世纪爱因斯因斯坦、肖洛和唐斯的“光受激辐射理论”、1960 年梅曼发明第一台激光器、1966 年理论上证明了“光导纤维长距离传输光波的可能性”、1970 年拉制成功低损耗通信用光纤。从此,光通信所面临的两大难题都解决了,也就迎来了光通信发展的高峰期。1980 年代,光通信开始大规模应用,在通信历史上引起了划时代的变化。

光纤具有低损耗(0.2-0.3dB/公里)、通信容量大(50THz/每芯光纤)、抗干扰能力强、保密性好以及原材料丰富的特点。这些特点使大容量、长距离跨洋通信成为现实。目前超长距离系统的最好水平是 Corvis 公司在芝加哥到西雅图 3200 公里  $160 \times 2.5$ Gb/s 的实验系统、Alcate 公司 4000 公里  $40 \times 10$ Gb/s 的实验系统等。单芯光纤的最高通信容量的实验室水平已达 7.04Tb/s( $176 \times 40$ Gb/s、50km)(Siemens)。上述这些系统都是采用密集波分复用(DWDM)和光纤放大器(EDFA)技术的成果。没有 1990 年发明的掺铒光纤放大器,就没有今天的 DWDM 系统,也就不可能充分利用光纤巨大的通信带宽。仅靠时分复用技术(TDM)提高通信容量受限于电子器件的瓶颈效应,很难使单芯光纤的通信容量提高到 10Gb/s 以上。

改革开放以后,我国的通信事业得到了突飞猛进的发展。我国的通信网规模已跃升为世界第二位,照目前的发展速度,在未来 2-3 年内我国的通信网络规模就可能超过美国,成为世界第一大网。改革开放初期的 1979 年,全国的电话装机容量才 203 万部,到

2000 年 9 月 20 日我国的电话实装机总量已达 2 亿,其中固定电话 1.35 亿部,移动电话 6500 万。随着以 IP 为代表的业务数据的爆炸性增长,未来几年我国仍然是通信建设和发展的高峰期,预计未来 5 年 IP 用户的年增长率将达 54%,接近摩尔定律,省际干线光缆网络建设增长幅度达 200%,远高于摩尔定律。技术的发展也促进了行业的融合,目前的通信运营、通信制造业、有线电视运营、计算机软硬件制造业、计算机网络运营和各种媒体制造业最终将形成一个全新的行业——信息工业。

通信网络和设备的技术进步和发展离不开通信测试领域的技术进步,它也使传统意义上测试和计量的概念发生了变化。在模拟通信时代,可观测量一般都有确定的量值,人们在研究新的测试方法时都需要去研究测量量值的准确度问题。随着数字通信和数据通信的发展,现代通信领域的测量越来越多地是通信软件范畴的测试,这是一个全新的测试领域,它已经不存在什么准确度的问题,仅仅是一个对错与否的问题。通信协议的一致性测试就属于这个范围。同时应运而生了大量的、各种各样的通信协议测试仪表,这是目前通信测试领域测试的第一个显著特点。第二个显著特点是得益于计算机技术特别是微机技术的迅速发展,它大大提高测试的智能化和自动化程度,同时它使许多原本需要硬件实现的测试功能可以用软件形式替代,一些原本需要人工进行的计算、记录、存储等功能用软件的方式实现。另外,也使一些原来硬件实现的显示、控制等功能虚拟化、个性化,大大提高了测试的效率。这个特点类似于“软件无线电”的思想,即尽可能地利用计算机和软件实现其内部和外部功能。

通信领域的软件测试大多是通信协议的一致性测试,它是基于有限状态机理论。所谓一致性测试就是检验协议的实现与相应协议标准的符合程度,它只关心协议呈现的外部功能。通常的做法是,根据通信协

议规范,利用抽象测试集的生成方法产生一组测试用例,按照实际需要确定测试策略,在一定的测试环境中对待测实现(Implementation Under Test)实施测试,它将测试以下内容:

- 协议实现的能力和行为,
- 协议与标准的一致性,
- 协议实现能力与实现者陈述的一致性。

目前,通信协议测试仪的种类繁多,例如,7号信令测试仪、IP协议测试仪、V5接口协议测试仪等等。它们是通信产品质量检验、通信工程建设、通信网络运行维护和保证各种各样通信业务正常工作必不可少的工具。

技术的进步正像人类社会发展一样也是螺旋型的,光通信发展到今天,特别是 DWDM 技术的出现,似乎又使通信回到模拟通信时代。光通信领域和数字通信、数据通信领域略有不同,它依然还存在许多模拟参数需要准确测量,这是光通信测试领域的一个显著特点。

## 二、光通信领域测试概述

光通信领域分为如下 5 个部分:

- 光纤光缆性能测试
- 光器件测试
- 光通信设备测试
- 光通信系统测试

光纤光缆是光信号传输的媒质,它是光通信的基础。在这个领域国际电联(ITU)制定了一系列标准,它们有 G. 650、G. 651、G. 652、G. 653、G. 655 等。除 G. 650 是有关测试方法以外,其它标准都是按光纤种类分类的产品标准。在这些标准中规范了该种光纤及其组成光缆的具体性能指标。光纤的特性参数分几何特性参数(纤芯直径、包层直径、纤芯不圆度、包层不圆度、同心度误差等)、光学特性参数(折射率分布、最大数值孔径、模场直径、截止波长等)、传输特性(衰减、带宽、群速度色散、偏振模色散等)。除此之外,对于高速、多信道、长距离光通信系统,规范中未给出的光纤非线性也是光通信需要考虑的重要指标。此外,光缆分为机械性能测试、环境性能测试、工程测试等。光纤

和光缆的测试仪表大多建立在光学和电子学原理之上的,因此系统复杂,设备昂贵。

光器件的种类繁多,它大体分为有源器件和无源器件两类。有源器件主要有光源(激光器、LED等)、光接收器件、光纤放大器等。无源器件有光连接器、光耦合器、光合波器、光分波器等。所依据的标准有 G. 957、G. 661、G. 663、G. 691、G. 692 等。

光通信实际上是给各种通信业务提供了一个大容量的传送平台,同时在这个平台上利用 DWDM、SDH、路由器等技术可以组建四通八达的通信基础网络,而构成这个网络中的各个网元就是光通信设备。由于网络设备的多样性和复杂性,其标准也是大量的。光通信设备测试分为如下三类:

- 光接口参数测试(工作波长、平均发送功率、通信间隔、光谱特性、消光比、接收灵敏度、光发送信号眼图等);
- 电接口参数测试(比特率及容差、接口标准码型、信号功率电平、接口过压保护、抖动和漂移特性等);
- 设备实现功能的测试:它是按照标准和生产厂家陈述的功能进行测试,它包括单元功能和复合功能。例如,OAM&P(操作、管理、维护和指配)功能、保护功能等。

光通信系统的测试是指系统网元已按设计要求在实际网络或模拟实验网连接构成系统的测试,它包括设备之间互连互通的测试、设备与网络之间的互通测试、网管功能实现的测试、业务互通测试等。系统在实际或模拟网络进行试验时不可避免地会存在传输损伤,这些传输损伤是否影响整个系统的正常工作是衡量系统质量的依据,此时系统的误码性能、抖动性能、漂移性能(SDH特有)是测试系统质量的重要指标,其中误码率尤其重要,也是最常用的测试指标。

## 三、当前光通信领域的几个测试热点

### 1. 光纤的色散和 PMD 测试

光通信系统在工作于 622Mb/s 速率以下时一般不需要考虑色散问题。但是随着系统的扩容,速率越来越高,光纤色散和 PMD 的问题就突显出来。2.5Gb/s 以上系统为了进行色散补偿,必须准确地知道光纤的

色散系数,否则系统将无法正常工作,长途及跨洋通信系统尤为重要。

我们目前所讲的单模光纤实际上并不是工作于单一模式,它的基模是两个椭圆偏振模式,当系统工作于10Gb/s时,由于两个模式的时延差将导致信号脉冲的展宽及畸变,使系统产生误码,严重时将使系统无法正常工作。目前技术还未有实用的方法抵消其影响,只能将其控制在系统能忍耐的范围内。因此,对PMD的测试也是很重要的。

## 2. 光纤非线性测试

光纤放大器广泛应用之后,随着光设备入纤功率的提高、单纤中光信道的增加(DWDM)及中继距离的加长,光纤的非线性问题也显现出来。光纤的非线性主要有自相位调制效应、交叉相位调制效应、四波混频效应、受激布里渊效应和受激喇曼效应等。其中一些效应将使信号脉冲展宽、波形畸变、信号之间串扰,使系统技术指标恶化。合理的使用某些非线性效应,又可以研制出新型的光器件,例如,利用受激喇曼效应可制成宽带光纤放大器等。因此,我们也需要测量光纤非线性参数。

## 3. 光通信系统网管功能和信息模型的测试

随着网络的规模及复杂性越来越大,各种业务的数量急剧增加,网络的运行、管理和维护(OAM)的成本越来越高。降低成本的根本出路是使网络管理标准化、简单化和自动化。这种标准化的网管系统意味着接口的标准化、体系结构的标准化,使各种设备方便地和网管系统相连。网管应具有以下功能:性能管理、故障及维护管理、配置管理、帐目管理和安全管理等。网管系统的测试也属于软件测试的范畴,它包括实现功能测试、信息模型测试、标准接口协议测试等。

## 4. 宽带光接入网测试

接入网是国家骨干通信网的“最后一公里”,为了方便地把图像、数据、语音等业务综合地传送到用户,宽带接入网的建设是当前的重点。目前宽带接入的方式有光纤、无线、同轴电缆和xDSL等方式,其中以光纤接入为主。光纤接入又分有源方式接入和无源方式(PON)接入,即利用SDH或PDH为传输通道和无源

光网络方式,目前的宽带光接入主要是基于分组交换方式(ATM)的接入。

光接入网测试包括光接口参数、电接口参数、传输性能测试、接口协议测试、网管协议测试、各种业务试验等。其中业务试验中的视频信号测试应引起重视。

## 四、当前应该引起重视的几个问题

### 1. 涉及到环境保护、人身健康的测试

现阶段我们对通信产品的测试主要还是属于型号核准范畴的测试,而目前欧美等西方国家从政府角度更重视产品对环境和人身安全与健康的影响,这主要表现在产品的电磁兼容(EMC)性能和安全性能。例如,欧盟在上世纪80年代末和90年代初期就颁布有“EMC指令”和“低电压指令”等强制性文件。产品的电磁兼容性能好坏除了影响环境和人身健康之外,也影响产品自身和网络的工作状态,这就是我们通常所讲的干扰和抗干扰问题。

我国对通信产品的电磁兼容性测试刚刚起步。原邮电部投巨资在通信计量中心建成具有当今国际先进水平的EMC测试实验室,它包括一个“10米法”的半电波暗室、一个“3米法”的全电波暗室和全套先进的测试设备,其测试频段从9kHz—40GHz。信息产业部也已发文从2001年开始对手机及无线通信设备、通信电源、无绳电话开始进行EMC入网检测。但是,我国在通信产品EMC标准化、安全性能标准化、EMC和安全性能检测方面仍然任重而道远。

### 2. 系统的可靠性研究及测试

可靠性是指系统在规定时间和条件下完成规定工作的能力。目前通信设备入网认证时要求给出的可靠性指标主要是平均无故障时间MTBF,它是由元件或部件平均失效率用现成公式计算出来的。这种计算方法的可信度令人表示怀疑。产品的可靠性应该由可靠性试验来确定。可靠性问题属于系统工程学科,我们应该加强这方面的理论和实验研究,找到科学的方法去计算和实验验证产品的可靠性,这是一个有关产品质量重要问题,可是通信产品可靠性研究和试验目前尚不为人所重视。