

光通信中的光电子器件讲座

第五讲 现代光纤通信中的波分复用技术*

忻向军^{1, †} 余重秀¹ 张茹² 杨晓强³ 辛雨¹
吴强¹ 刘建平¹ 王天竹¹ 郑文潇¹

(1 北京邮电大学电子工程学院 北京 100876) (2 北京邮电大学理学院 北京 100876)
(3 瞬联软件科技有限公司 北京 100080)

摘要 波分复用技术在现代光纤通信中发展十分迅速,已展现出巨大的生命力和光明的发展前景.中国的骨干网和一些局域网已开始采用波分复用技术,国内一些厂商也正在开发这项技术.文章详细介绍了波分复用技术的发展背景、原理、组成形式、实现方案及其国内外发展情况.

关键词 频分复用 时分复用 波分复用

WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING IN MODERN OPTICAL FIBER TELECOMMUNICATIONS

XIN Xiang-Jun^{1, †} YU Chong-Xiu¹ ZHANG Ru² YANG Xiao-Qiang³ XIN Yu¹ WU Qiang¹
LIU Jian-Ping¹ WANG Tian-Zhu¹ ZHENG Wen-Xiao¹

(1 School of Electronics Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)
(2 School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)
(3 Shunlian Software Science and Technology Ltd., Beijing 100080, China)

Abstract Wavelength division multiplexing(WDM)has developed quickly in modern optical fiber communications. It exhibits tremendous vitality and has bright prospects. WDM has been put into use in backbone networks and various local area networks in China, and is being developed by certain domestic companies too. We present the background, principle, structure, realitation and development of WDM both at home and abroad.

Key words frequency division multiplexing, time division multiplexing, wavelength division multiplexing

1 概述

以光波载送信息,在光纤中进行信息传输,这就形成了光纤通信方式.光纤通信的发展是以1960年美国T.H.Maiman发明的激光器和1966年英籍华人高琨等提出、1970年美国康宁玻璃公司首先研制成功的低损耗石英光纤为物质基础的.在这之后,光纤通信技术开始迅速发展.20世纪90年代中期以前推出的光纤通信系统主要是以电域的时分复用为基础的单信道系统,借助于这样的系统,将速率每五年提高了9倍.90年代中期以后,波分复用技术开始迅速发展,特别是基于掺铒光纤放大器(EDFA)的波分复用技术.采用该技术,朗讯(Lucent)率先推出一根光纤中同时传送8路、每路速率为 2.5Gb/s ($8 \times 2.5\text{Gb/s}$)的波分复用系统,Ciena推出了16路、每路速率为 2.5Gb/s ($16 \times 2.5\text{Gb/s}$)的波分复用系统,试验室目前已达 Tb/s 速率.世界上各大设备生产厂商和运营公司都对这一技术的商用化表现出极大的兴

趣.波分复用技术在全球范围内有了较广泛的应用.近年来波分复用技术发展迅速的主要原因在于(1)客观需要.IP业务在全球范围突飞猛进的发展,给传统电信业务带来了巨大的冲击,建设高速大容量的宽带综合业务网已成为现代信息技术发展的必然趋势.波分复用技术的实用化,使光纤的传输容量极大提高,为高速大容量的宽带综合业务的传输提供了有效途径.(2)光电器件的迅速发展,特别是掺铒光纤放大器(EDFA)的成熟和商用化,使波分复用技术成为可能.(3)利用时分复用方式提高速度已日益接近硅和砷化镓技术的极限,时分复用已没有太多的潜力可挖,并且传输设备的价格也很高.(4)已敷设光纤的固有特性限制了高速时分复用系统的传输.提高复用速率,波分复用技术是目前能够商用化

* 2001-04-02收到初稿,2001-10-16修回

† 通讯联系人, E-mail: xinxiangjun@sina.com

最简单的光复用技术.波分复用技术就是在这种情况下开始迅速崛起.

2 波分复用技术

2.1 波分复用技术原理

波分复用(WDM)是指在一根光纤上同时传输多波长光信号的一项技术.其基本原理是在发送端将不同波长的光信号组合(复用)起来,并耦合到光纤线路上的同一根光纤中进行传输,在接收端又将组合波长的光信号分开(解复用),并作进一步处理,恢复出原信号后送入不同的终端.从本质上讲,波分复用同频分复用的含义是相同的,只不过频分复用是在电域,而波分复用是在光域.由于在光的频域上信号频率差别比较大,人们更喜欢采用波长来定义频率上的差别,因而这样的复用方法称为波分复用,以区别于电域上的频分复用.

波分复用技术的突出优点是能在一根光纤上同时传输不同波长的几个甚至几百个光载波信号,不仅能充分利用光纤的带宽资源,增加系统的传输容量,而且还能提高系统的经济效益.

2.2 波分复用技术的主要特点

波分复用技术的主要特点体现在以下方面:

(1) 光纤的巨大带宽资源得以充分利用

波分复用技术充分利用了光纤的巨大带宽资源(低损耗波段),使一根光纤的传输容量比单波长传输容量增加几倍至几十倍,从而增加光纤的传输容量,降低成本,具有很大的应用价值和经济价值.

(2) 同时传送多种不同类型的信号

由于波分复用技术中使用的各波长相互独立,因而可以传输特性完全不同的信号,完成各种电信业务的综合和分离,包括数字信号和模拟信号,以及准同步数字信号(PDH)信号和同步数字信号(SDH)信号,实现多媒体信号的混合传输.

(3) 实现单根光纤双向传输

波分复用的形式有两种,其中一种是采用单纤实现双向传输,相对于双单向传输可节省一条线路的投资.

(4) 降低器件的超高速要求

随着传输速率的不断提高,许多光电器件的响应速率已明显不足,使用波分复用技术可降低对一些器件的速率性能要求,同时又可实现大容量传输.

(5) 高度的组网灵活性、经济性和可靠性

利用波分复用技术选路,实现网络交换和恢复,从而实现未来透明、灵活、经济且具有高度生存性的光网络.

(6) 理想的扩容手段

在网络扩充和发展中,波分复用技术是理想的扩容手段,也是引入宽带新业务(例如有线电视、宽带综合业务等)的方便手段,增加一个附加波长即可引入任意想要的新业务或新容量.

2.3 波分复用技术的基本形式

波分复用技术的基本形式主要有两种,即双纤单向传输和单纤双向传输.双纤单向传输的部分示意图如图1,图中只给出了一个方向的原理图,另一个方向的原理图除传输方向相反外,其他元器件、结构相同,这里从略.在发送端将载有各种信息的、具有不同波长的已调制信号 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ 通过复用器组合在一起,并在同一根光纤中单向传输.由于各信号是通过不同波长携带的,所以彼此之间不会混淆.在接收端通过解复用器将不同光波长的信号分开,完成多路光信号的传输.反方向通过另一根光纤传输.在单纤双向传输系统中,光通道在一根光纤上向两个不同方向传输,所用波长彼此分开.

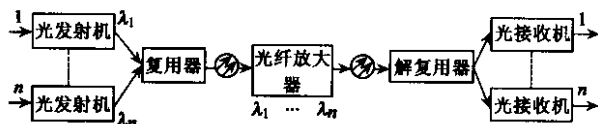


图1 双纤单向传输波分复用系统一个方向原理图

2.4 波分复用技术的实现方案

典型的WDM系统的实现方案如图2所示.主要由五部分组成:光发射模块、光放大模块、光接收模块、光监控信道和网络管理系统等.光发射模块由激光器(LD)、调制器(Mod)、复用器(multiplexer)、前置放大器(FA)组成,其中光发射模块的输入信号来自终端设备(如SDH端机),输出信号必须满足国际通信联盟-通信标准(ITU-T)的标准.光放大模块的任务是补偿发射模块输出的信号在传输过程中的损耗.其中LA是线路信号放大器.光放大模块中的LA可分为三种形式:集总式、分布式和混合式.集总式对光信号进行集中放大,光纤线路只对信号起传输作用,这种光放大模块中的LA,典型的如EDFA(掺铒光纤放大器);分布式LA对信号进行分布放大,放大介质就是传输光纤本身,这种放大器典型的

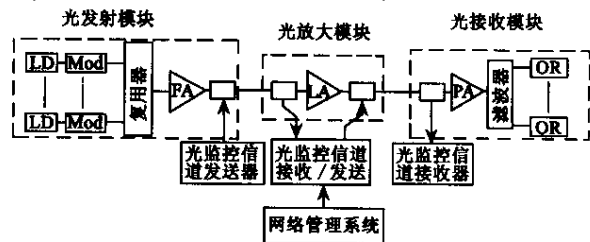


图2 波分复用技术的实现方案

如 FRA(光纤拉曼放大器);混合式放大器是集总式与分布式于一体的放大器.采用 EDFA 的集总式放大器的主要优点是技术成熟,不足之处在于带宽有限,通带位置不能调节等.分布式放大器的主要优点是:OSNR(光信噪比)较高,有害非线性因素影响小,当采用 FRA 时,还具有通带位置灵活可变等优点,不足之处是技术尚不成熟,对系统的长久效应尚待进一步研究.光接收模块由后置放大器(PA)、滤波器(filter)、光接收器(OR)组成.光接收模块完成的功能是从主信道光信号中分出特定波长的光信道,其中的 PA 是为了提高接收信号的信噪比,滤波器用来进行波长选择.光监控信道的主要功能是监控系统内各信道的传输情况.网络管理系统实现对 WDM 系统的管理,包括配置管理、故障管理、性能管理、安全管理等.

3 国内外 WDM 波分复用技术发展状况、存在的问题及前景展望

在 WDM 波分复用技术的研究方面,世界上一些发达国家都是以关键技术(如光源的波长稳定性、信道的串扰、光纤色散效应及光放大器的可调增益、增益平坦等)和设备、部件、器件、以及材料的研制开发为突破口,通过现场试验来完成实用化和商用化进程.近几年来,世界各国正在计划开发的全光网主要集中在美国、欧洲和日本.

美国国防部预研局(DARPA)资助的光网项目有 IBM 公司开发研究的“星形全光分组交换城域网”,以 Bellcore 为主开发的“光网技术合作计划”项目,以 Lucent 等公司为主开发的“全光通信网”、多波长网络、国家透明光网络等等.由 DARPA 牵头,以政府研究开发项目的形式,通过大学、国家实验室、电信设备生产商和电信业务提供商的联合协作,先后进行了多个 WDM 光通信网项目的研究与开发,如 MONET,NTON,WEST 等.在欧洲,著名的是 RACE 计划中的全光网络项目和先进通信技术和业务计划资助的五个新的光联网计划:泛欧光子传送重叠网、泛欧光网络、城域网、波长捷变传送接入网和社会光纤骨干网等.其中 RACE 计划中的光网络采用波长选路法和分区重用方式实现 20 个大城市间的全光互联,最大直径 3000km,采用 4 个粗间隔波长和 4 个细波分通路,已实现两个节点间的全光现场互联论证实验.日本主要是一些大的公司和实验室在从事这方面的工作,如 NTT,NEC 和富士通公司等.在系统方面,目前已商用的产品有 $4 \times 2.5\text{Gbit/s}$, $8 \times 2.5\text{Gbit/s}$, $16 \times 2.5\text{Gbit/s}$, $40 \times 2.5\text{Gbit/s}$, $32 \times 10\text{Gbit/s}$

s , $40 \times 10\text{Gbit/s}$,在实验室内已实现了 $105 \times 10\text{Gbit/s}$ 的 WDM 系统,传输距离达 8186km,总带宽为 31.2nm,信道间隔为 37.5GHz.

我国的波分复用光通信网研究也取得了很大的进展.信息产业部已经引进了有关的传输试验,国内自行研制的波分复用传输系统也已开始提供运行,如深圳华为技术有限公司的 $32 \times 10\text{Gbit/s}$ 波分复用系统以及武汉邮电科学研究所的 $32 \times 2.5\text{Gbit/s}$ 波分复用系统等.在国家 863 计划和国家自然科学基金支持下,国内多所高等学校和研究机构均已开展了对波分复用光纤通信网的研究工作,并已开展了联网试验.新一代的中国网通骨干网(CNCnet)、中国高速信息示范网(CAINONET)和中国高速互连试验网(NSF)也正在积极进行研究、开发与建设.

WDM 波分复用技术已被认为是通信网向宽带、大容量发展的首选方案.WDM 波分复用技术的应用已开始铺开,无论是陆地、海底光缆线路,还是已建的光缆线路和新建的光缆线路,都在采用 WDM 波分复用技术进行扩容和提速,WDM 的发展前景是不容置疑的.当然 WDM 还有许多技术问题需要更为完善的解决方案.比如,光源的波长稳定问题,光信道间的串扰问题,光纤色散效应对传输的影响问题以及光纤的非线性效应问题.而 WDM 技术正是伴随着这些问题的进一步解决而不断向前发展.

4 总结

本文详细介绍了 WDM 波分复用技术的原理、特点、组成形式、实现方案及国内外发展情况.波分复用技术是当前最引人注目的高速传输技术,国内外许多著名的科研机构、高等学府都在进行这方面的科研工作,新兴科研成果时有报道,WDM 波分复用技术的应用前景一片光明.

参考文献

- [1] 顾婉仪等.全光通信网.北京邮电大学出版社,1999.12:32 [Gu W Y et al. All Optical Net. The Press of Beijing University of Posts and Telecommunications, 1999. 12: 32 (in Chinese)]
- [2] 纪越峰.光波分复用系统.北京邮电大学出版社,1999.1:14 [Ji Y F. Wavelength Division Multiplexed System. The Press of Beijing University of Posts and Telecommunications, 1999. 1: 14 (in Chinese)]
- [3] 张成良.电信技术,1999.5 [Zhang C L. Telecom Technology, 1999. 5 (in Chinese)]
- [4] Mysore S, Villa R, Beveridge G. Digest of the LEOS Summer Topical Meetings, 2000, IV: 23
- [5] Haxell I, Robinson N, Akhtar A et al. Optical Fiber Communication Conference, 2000, A: 290
- [6] Afferton T S. LEOS'99, 1992, 2: 399