

文章编号: 2095-2163(2020)07-0147-04

中图分类号: TN928

文献标志码: A

# 波分复用系统

唐鑫鑫, 陆安江, 贾明俊, 卢学敏

(贵州大学 大数据与信息工程学院, 贵阳 550025)

**摘要:** 自第二次工业革命以来, 光纤通信发展迅速, 为了解决传统使用单一波长的传输方式带来的传输损耗, 波分复用系统通信方式就此出世, 充分利用了光纤的潜在带宽, 大幅提高光纤通信系统的传输容量。波分复用技术以光载波作为载波基础, 高效地使用来自低损耗区域的巨大带宽资源, 每个光信道对传输的格式都没有要求, 未来波分复用系统的应用实践会更加成熟完整。

**关键词:** 光纤通信; 波分复用技术; 光载波

## Wavelength division multiplexing system

TANG Xinxin, LU Anjiang, JIA Mingjun, LU Xuemin

(College of Big Data and Information Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025)

**[Abstract]** Since the second industrial revolution, optical fiber communication has developed rapidly. In order to solve the transmission loss caused by the traditional single-wavelength transmission mode. Wavelength Division Multiplexing system communication mode came into being. It makes full use of the potential bandwidth of optical fiber and greatly improves the transmission capacity of optical carrier as carrier base, and its main feature is the efficient use of huge bandwidth resources from low-loss regions. Secondly, each optical channel has no requirement for transmission format. In some sense, it is a sign that the optical communication era has entered a new stage that the application practice of Wavelength Division Multiplexing system is more mature and complete.

**[Key words]** Optical fiber communication; Wave Division Multiplexing technology; Optical carrier

## 0 引言

从上世纪末以来, 人类社会进入了一个断层似的信息爆炸时代, 这刺激了全球通信业务的疯涨, 导致的后果就是“光纤耗尽”。最初为了解决这一难题, 采用传统的 TDM(时分复用)方式去扩容, 但是随着有线电视综合业务的开展, 对网络带宽需求的日益增长, 各类选择性服务的实施、网络升级改造经济费用的考虑等等, 已经不能支撑现代电信网对容量的需求。波分复用系统(Wavelength Division Multiplexing System)能充分利用光纤巨大带宽资源、同步传输不同信号; 节约线路资源、IP 传输通道以及高度的组网灵活性、经济性和可靠性等特点和优势, 在 CATV 传输系统中崭露头角, 表现出广阔的应用前景, 甚至将影响 CATV 网络的发展格局。

## 1 波分复用系统工作原理

将光载波视作载波基础的同时在同个光纤内传递大量的波长长度不一样的光载波信号的技术就是波分复用技术<sup>[1]</sup>。单根光纤一次传输信息的容量

增加一倍就是 WDM 技术与其他技术之间的最大差异, 这归因于它的波长波可以独立自主地去率领数据、语音以及图像信号。

如图 1 所示, 在发送端,  $n$  个光发射机各自在  $n$  个不一样的波长处劳动任命, 适宜的间隙将这  $n$  个波长的紧密相连打断了, 将它们称为  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 。这  $n$  个光波为了扮演载波的角色, 各自要经过信号调制之后去捎带信息。波分复用器(也称为组合器)将上述波长不同的光载波信号归并耦合去单模光纤里<sup>[2]</sup>。在接收端方面, 解复用器(也被称为分离器)分解由发送端输送的光载波信号, 再将它们发配到各自相应的接收器处接受检测。

## 2 波分复用系统的基本组成

鉴于波分复用系统的工作原理, 波分复用系统若是还原出原始信号, 激光器站需要长短不一的波长, 尤其是在工作的时候; 需要同时把每路光信号都放大的放大器, 波分复用系统传递信息的远近将达到一个新的间隔长度范畴。图 2 表示一个单向传输的波分复用系统。

**作者简介:** 唐鑫鑫(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: python 实际应用研究; 陆安江(1978-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 优化设计通信与信息系统。

收稿日期: 2020-04-08

哈尔滨工业大学主办 ● 系统开发与应用

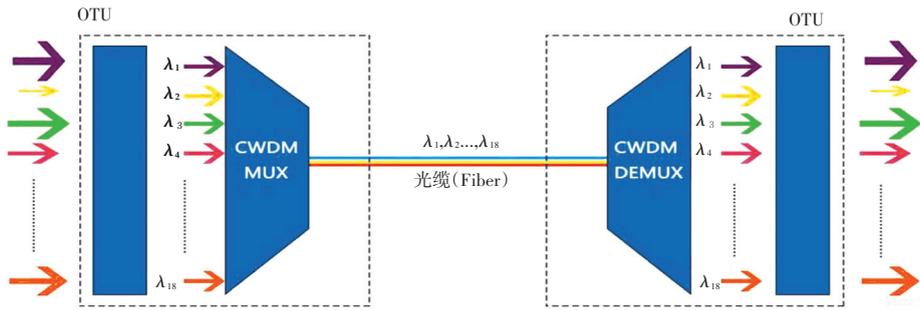


图 1 波分复用系统原理框图

Fig. 1 Block diagram of WDM working principle

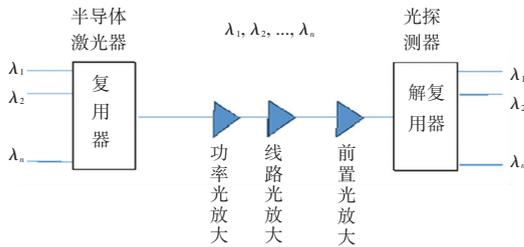


图 2 一个单向传输的波分复用系统

Fig. 2 A Wavelength Division Multiplexing system for one-way transmission

光监控部分与网络管理也属于一个完整的波分复用系统的组成局部。一个没有残缺的波分复用系

统如图 3。

波分复用系统由两个要素组成,首先是双纤单向传输,其次是单纤双向传输<sup>[3]</sup>。单个光纤传输的方位一致,另外一条光纤执行被命名为双纤单向传输的相反方向传输。因为两根光纤各自实现两个不同方向的传输,所以同个波长能在两个方向同时被利用。设单条光纤达成来自多个方位上的信号输送,且这两个不同方向上的传输信号必须配置不同波长的传输叫做单纤双向传输。由于在设计系统时,还要考虑光反射以及串扰问题,只有在纤芯数量不够的情形下,才会采用单向双向传输。

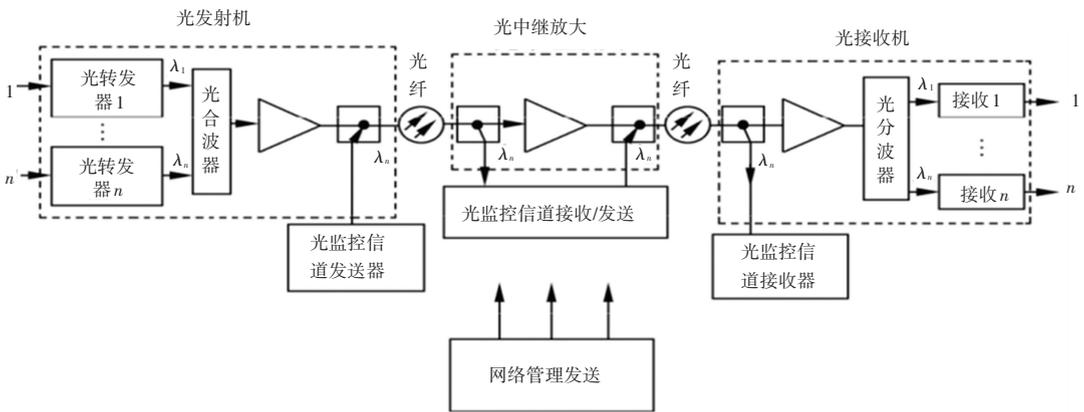


图 3 波分复用系统组成框图

Fig. 3 Block diagram of Wavelength Division Multiplexing system

### 3 波分复用系统中的关键器件

#### 3.1 波分复用系统的光源

排除普通光纤通信的一般通用要求以外,波分复用系统对激光器还有一些格外的要求:①有波长调协特性和低线宽;②尽可能高的边膜抑制比;③激光器频率低;④激光器单纵膜工作;⑤波长与传出的功率不能随意变化;⑥相对强度噪声小;⑦低功耗。

在波分复用系统中,为它量身打造的光源可以随着需求调动到任意的波长位置,但实际上通过温度调节只能做到微调。若这种小幅度改动不能达到

LD 的运行波长位置时,波分复用系统就不会使用这个激光器。要使其能谐调,谐调两边的距离,在 1550nm 那个波长上都能被运用,上述可谐调激光器就是想要的光源。现在,达到宽的谐调范围有如下二种办法:

- (1)分段式 DRB LD;
- (2)集成腔激光器。

#### 3.2 波分复用系统的接收机

波分复用系统中的接收器与单信道系统的接收器相同,实现了光电转换、滤波以及放大等功能。光

电转换是最关键的环节。波分复用系统末端配备有解复用器,任何一个信道都被该解复用器分离,为了不停止光电转换,被发送到接收器的光电二极管。波分复用系统对接收器的规范条件:

- (1)接收器的工作范围必须要被多路复用波长覆盖;
- (2)接收器灵敏度最好满足最高要求;
- (3)调谐时间。

波分复用系统有关于接收机的其他特性、要求与其余光线系统没有太大区别。

### 3.3 波分复用系统的光放大器

在波分复用系统中,如果一个及以上输入功率通道不一样,甚至进入中间段,则剩下的信道增益以及传送出的功率将发生跳跃。EDFA 泵浦功率,在其余的通道上再次发配,结果就是线路阻塞。所以波分复用系统的 EDFA 一定要有增益锁定功能,在用作放大器时要注意下面两点:

(1)增益的平坦性。增益平坦度是一个独特的条件,只针对 EDFA。只有放大器的增益处于缓和环境时,每个信道上的增益误差才都在能通过的限度内。而不会由于光纤的非线性效应以及不同信噪比导致接收器罢工等系列连环效应,致使整个系统处于异常状态。

早期采用预均衡方式来攻克这个缺点,在 EDFA 放大以后,为了确保每个信道的信噪比接近接收器,信道之间的功率差异减小。还有一种较为实用的方法,将一个通过认真仔细制作的滤波器搁置到 EDFA 板块,放大器的增益不平缓能通过它的通带特性去补偿,以此成就放大器平坦增益的功能。波分复用系统用 EDFA 的技术参数见表 1。

表 1 波分复用系统用 EDFA 的技术参数

Tab. 1 EDFA technical parameters for Wavelength Division Multiplexing system

性能参数/型号	OAC-16F2100C×	OAC-16F2200C×
信号波长	1530~1562 nm	1530~1562 nm
总输入信号功率	-24~-5 dBm	-14~-5 dBm
总输出信号功率	0~16 dBm	0~16 dBm
信号增益	10~26 dB	10~26 dB
增益平坦度	±0.6 dB (21.5~25.5 dBm)	±0.6 dB (11.5~15.5 dBm)
噪声指数	5.5 dB	6 dB
尺寸/mm	107×79×17	107×79×17
工作温度	0℃~70℃	0℃~70℃

波分复用系统中,因为在某些信道突然发生故障而掉路,或是在网络节点运行上/下路,引发 EDFA 的输入功率的大小突然发生变化,而引发增益的暂时状态变化,其他信道会随着他的增益发生非正向的变化,依旧保留在光纤链路上的信道功率发生功率瞬间转移到它们各自的接收器。为了不让放大器中每个通道的输出功率被其余通道的上、下路干扰,一定要掌握放大器增益。自动增益操控模式,自动功率操控模式以及自动电流操控模式都是 EDFA 在波分复用系统工作中经常用到的形式<sup>[4]</sup>

(3) ASE 噪声。当 EDFA 级联时,前一级的应用服务单元噪声被放大为信号,传递到下一级 EDFA 的真实信号,ASE 噪声就会慢慢的叠加,系统信噪比变得更差。所以,要求 EDFA 的噪声指数在波分复用系统中可控。

### 3.4 波分复用系统中的波分复用器/解复用器

#### 3.4.1 波分复用器/解复用器的特性和描述

在波分复用系统中,波分复用器和解复用器是或不可缺的设备。它们的性能对 WDM 系统有着最直面的影响。根据波长之间的距离来划分,波分复用器/解复用器分为窄带波分复用器/解复用器、宽带波分复用器/解复用器和密基波分复用器/解复用器<sup>[5]</sup>。光波分复用器和解复用器性能参数:

(1)插入损耗。插入损耗指将某些器件或者某一支路加进电路中,产生的能量或获得额外损耗,定义为非有源器件的输入/输出端口间的光功率比 (dB),式(1):

$$\alpha = -10(\lg p_1 - \lg p_0). \quad (1)$$

(2)串扰。信号线相互间的耦合、互感以及互容引发的线上的噪声,这个噪声影响该信道传输质量,通常称之为串扰<sup>[6]</sup>。

(3)回波损耗。从非有源器件的输入端返回的光功率与输入光功率之比 (dB) 定义为回波损耗<sup>[7]</sup>,其定义为式(2):

$$RL = -10r(\lg p_r - \lg p_i). \quad (2)$$

(4)反射系数。反射系数指在 WDM 装置的给出端的反射光功率  $P_r$  与入射光功率  $P_i$  之比 (dB),式(3):

$$R = -10(\lg p_r - \lg p_i). \quad (3)$$

(5)工作波长范围。在工作波长局限内,WDM 设备装置能够依据指定的性能标准运行。

(6)信道宽度。信道宽度指在一个单位时间里,信道关于信息传输的最大的数据传输速率。

(7)偏振相关损耗。 (下转第 154 页)

(2)功率暂态与自动增益控制。生活中使用的