

语音、图像光纤传输及波分复用（WDM）

[实验目的]

1. 了解光纤模拟通信和数字通信的工作原理；
2. 了解光纤波分复用技术(WDM)的工作原理；

[实验原理]

(1) 光源的调制

将电信号转变为光信号的方式通常有两种：直接调制和间接调制。直接调制方法适用于半导体光源，它将要传送的信息转变为电流信号注入光源，获得相应的光信号输出，是一种光强度调制(IM)。间接调制是利用晶体的电光、磁光和声光效应等性质对光辐射进行调制，可以采用铌酸锂调制器(L-M)、电吸收调制器(EA-M)和干涉型调制器(MZ-M)实现。对强度调制直接检测(IM/DD)光波系统，并非一定要采用外调制方案，但在高速长距离光波系统中，采用间接调制有利于提高系统性能。

直接调制技术具有简单、经济和容易实现等优点，由于光源的输出光功率基本上与注入电流成正比，因此调制电流变化转换为光频调制是一种线性调制。按调制信号的形式，光调制可分为模拟信号调制和数字信号调制两种。

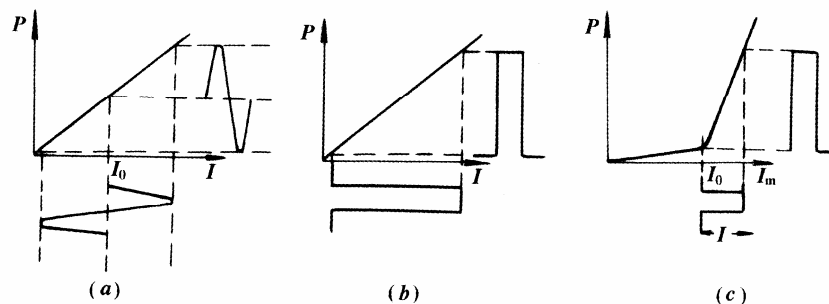


图 1：半导体光源的直接调制原理

(a) LED 模拟调制 (b) LED 数字调制 (c) LD 数字调制

模拟信号调制是直接用连续的模拟信号(如话音和视频信号)对光源进行调制，如图 1(a)所示，连续的模拟信号电流叠加在直流偏置电流上。适当选择直流偏置电流的大小，可以减小光信号的非线性失真。数字信号调制主要指 PCM 编码调制，先将连续变化的模拟信号通过取样、量化和编码，转换成一组二进制脉冲代码，用矩形脉冲的 1 码、0 码来表示信号，如图 1(b)和(c)所示。

(2) 光纤通信系统中的波分复用技术

① WDM 的概念

光波分复用 (Wavelength Division Multiplexing, WDM) 技术是在一根光纤中同时传输多个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起来(复用), 并耦合到光缆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, 因此将此技术称为光波长分割复用, 简称光波分复用技术。

光纤的带宽很宽。如图 2 所示, 在光纤的两个低损耗传输窗口: 波长为 $1.31\mu\text{m}$ ($1.25\sim 1.31\mu\text{m}$) 的窗口, 相应的带宽 ($|\Delta f| = \left| -\Delta\lambda c / \lambda^2 \right|$, λ 和 $\Delta\lambda$ 分别为中心波长和相应的波段带宽, c 为真空中的光速) 为 17700GHz ; 波长为 $1.55\mu\text{m}$ ($1.50\sim 1.60\mu\text{m}$) 的窗口, 相应的带宽为 12500GHz 。两个窗口合在一起, 总带宽超过 30THz 。如果信道频率间隔为 10GHz , 在理想情况下, 一根光纤可以容纳 3000 个信道。

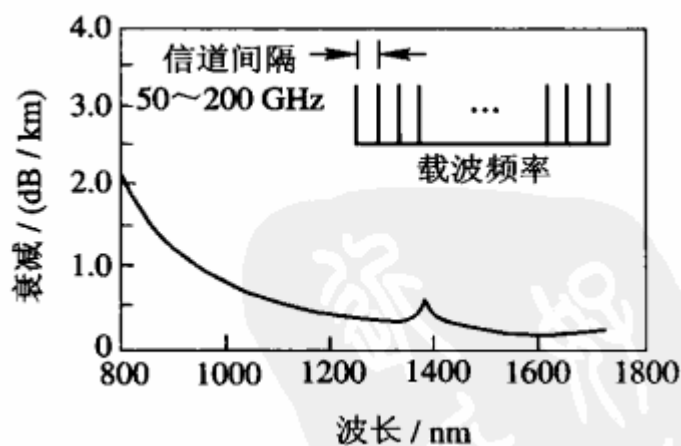


图 2 中心波长在 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 硅光纤低损耗传输窗口

(插图表示 $1.55\mu\text{m}$ 传输窗口的多信道复用)

由于目前一些光器件与技术还不十分成熟, 因此要实现光信道十分密集的光频分复用 (OFDM) 还十分困难。在这种情况下, 人们把在同一窗口中信道间隔较小的波分复用称为密集波分复用 (DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing)。目前该系统是在 1550nm 波段内, 同时用 8 、 16 或更多个波长在一对光纤上 (也可采用单光纤) 构成的光通信系统, 其中各个波长之间的频率间隔为 200GHz 、 100GHz 或 50GHz , 约对应于波长间隔 1.6nm 、 0.8nm 或 0.4nm 。WDM、DWDM 和 OFDM 在本质上没有多大区别。以往技术人员习惯采用 WDM 和 DWDM 来区分是 $1310 / 1550\text{nm}$ 简单复用还是在 1550nm 波段内密集复用, 但目前在电信界应用时, 都采用 DWDM 技术。由于 $1310 / 1550\text{nm}$ 的复

用超出了 EDFA 的增益范围，只在一些专门场合应用，所以经常用 WDM 这个更广义的名称来代替 DWDM。

WDM 技术对网络升级、发展宽带业务(如 CATV、HDTV 和 IP over WDM 等)、充分挖掘光纤带宽潜力、实现超高速光纤通信等具有十分重要的意义，尤其是 WDM 加上 EDFA 更是对现代信息网络具有强大的吸引力。目前，“掺铒光纤放大器(EDFA)+密集波分复用(WDM)+非零色散光纤(NZDSF，即 G.655 光纤)+光子集成(PIC)”正成为国际上长途高速光纤通信系统的主要技术方向。

如果一个区域内所有的光纤传输链路都升级为 WDM 传输，我们就可以在这些 WDM 链路的交叉(结点)处设置以波长为单位对光信号进行交叉连接的光交叉连接设备(OXC)，或进行光上下路的光分插复用器(OADM)，则在原来由光纤链路组成的物理层上面就会形成一个新的光层。在这个光层中，相邻光纤链路中的波长信道可以连接起来，形成一个跨越多个 OXC 和 OADM 的光通路，完成端到端的信息传送，并且这种光通路可以根据需要灵活、动态地建立和释放，这就是目前引人注目的、新一代的 WDM 光网络。

② WDM 系统的基本形式

光波分复用器和解复用器是 WDM 技术中的关键部件，将不同波长的信号组合在一起经一根光纤输出的器件称为复用器(也叫合波器)。反之，将同一传输光纤送来的多波长信号分解为各个波长分别输出的器件称为解复用器(也叫分波器)。从原理上讲，这种器件是互易的(双向可逆)，即只要将解复用器的输出端和输入端反过来使用，就是复用器。因此复用器和解复用器是相同的(除非有特殊的要求)。

WDM 系统的基本构成主要有以下两种形式：

a. 双纤单向传输。

单向 WDM 传输是指所有波长信道同时在一根光纤上沿同一方向传输。如图 3 所示，在发送端将载有各种信息的、具有不同载波波长的已调光信号 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 通过光复用器组合在一起，并在一根光纤中单向传输。由于各信号是通过不同波长的光载波携带的，因而彼此之间不会混淆。在接收端通过光解复用器将不同波长的信号分开，完成多路光信号的传输任务。反方向通过另一根光纤传输的原理与此相同。

b. 单纤双向传输。

双向 WDM 传输是指光通路在一根光纤上同时向两个不同的方向传输。如图

4 所示，所用波长相互分开，以实现双向全双工的通信。

双向 WDM 系统在设计和应用时必须要考虑几个关键的系统因素，如为了抑制多通道干扰(MPI)，必须注意到光反射的影响、双向通路之间的隔离、串扰的类型和数值、两个方向传输的功率电平值和相互间的依赖性、光监控信道(OSC)传输和自动功率关断等问题，同时要使用双向光纤放大器。所以双向 WDM 系统的开发和应用相对来说要求较高，但与单向 WDM 系统相比，双向 WDM 系统可以减少使用光纤和线路放大器的数量。

另外，通过在中间设置光分插复用器(OADM)或光交叉连接器(OXC)，可使各波长光信号进行合流与分流，实现波长的上下路(add / drop)和路由选择，这样就可以根据光纤通信线路和光网的业务量分布情况，合理安排插入和分出信号。

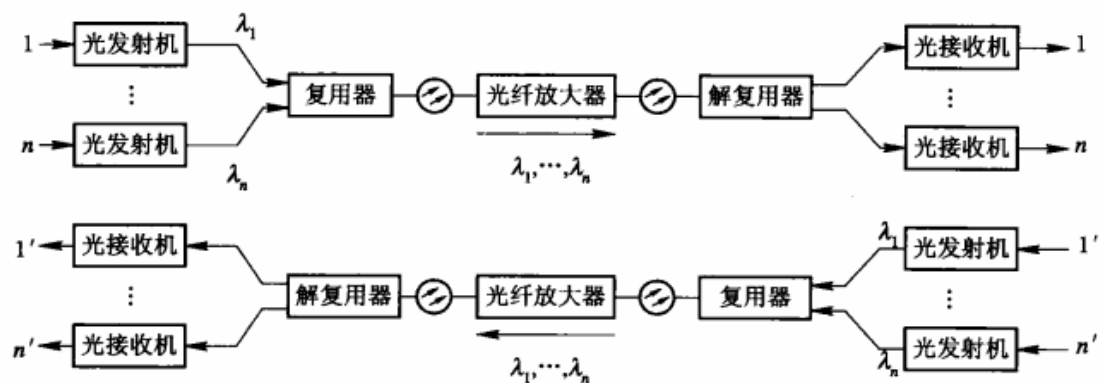


图 3 双纤单向 WDM 传输

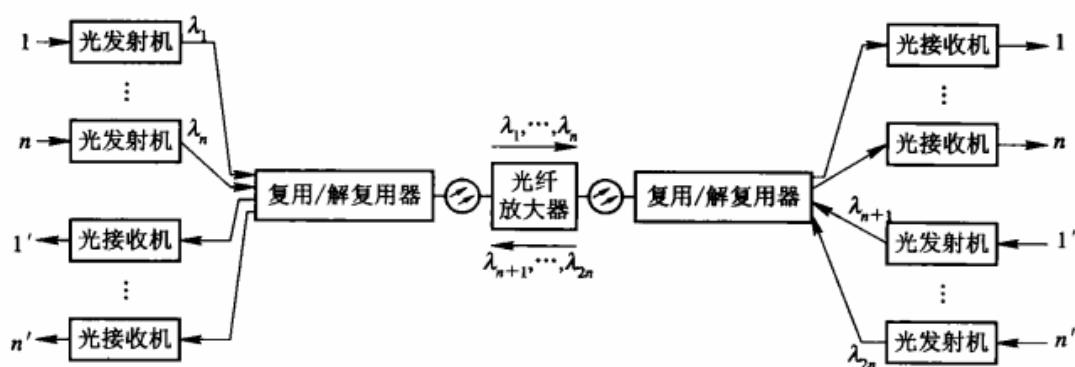


图 4 单纤双向 WDM 传输

[实验装置]

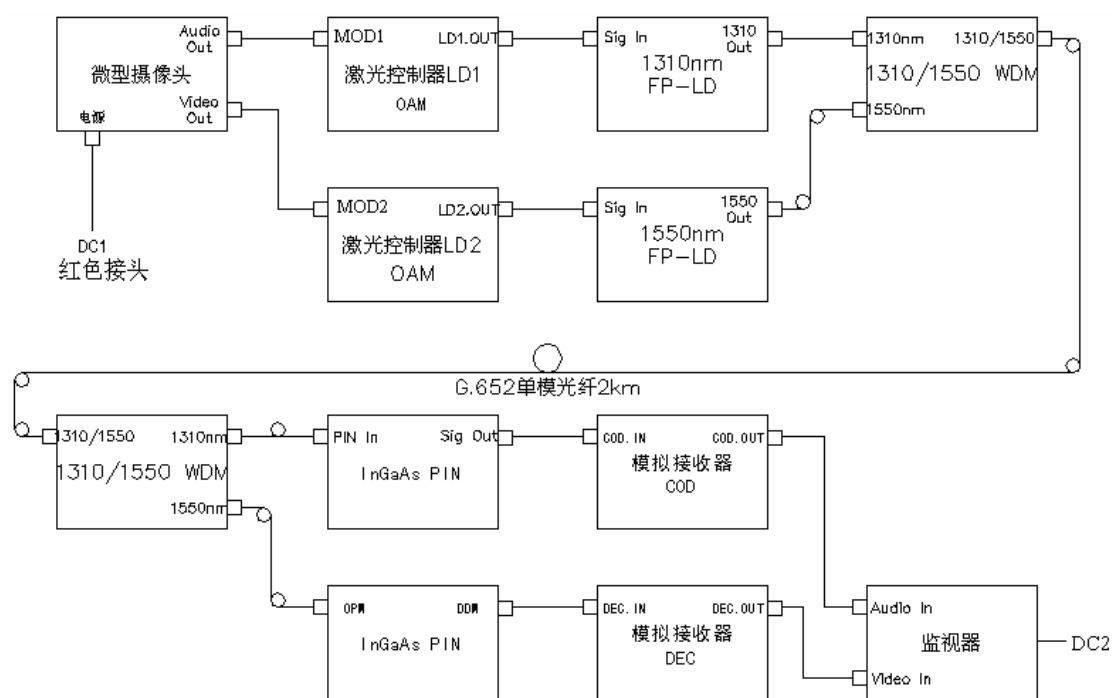


图 5 光纤通信及波分复用实验装置示意图

[实验内容]

- 按图 5 所示结构进行实验系统连接，设置 LD1、LD2 工作模式(MOD)为模拟调制模式(OAM)；按动液晶面板下方“ESA”键，随后在液晶面板右侧“ESAMOD”模块中将模拟接收机工作模式置于模拟接收模式 (ARX)，检查无误后打开系统电源。

★注意：“摄像头”和“监视器”中白色接口为语音信号接口，黄色接口为视频信号接口。

- 使用 1550nm 传输视频信号，使用 1310nm 传输语音信号，进行单模光纤波分复用技术实验。
 - 旋转主机面板圆形旋钮在 0mA~300mA 之间调节 LD2 偏置电流(I_c)，使得监视器图像有最小失真。
 - 旋转主机面板圆形旋钮在 0mA~300mA 之间调节 LD1 偏置电流(I_c)，使得监视器声音输出有最小失真。

最终在监视器中可以观察到无失真的拍摄图像、听到清晰的声音。

★注意：LD1 和 LD2 的调节电流不得超过 300mA!!

- 旋转主机面板圆形旋钮分别将 LD1、LD2 的驱动电流缓慢降置 0mA，关闭主机电源。

[思考题]

如何使用两套设备在一根单模光纤中进行双向可视电话传输？请画出系统光路。

[注意事项]

1. 系统上电后禁止将光纤连接器对准人眼，以免灼伤。
2. 光纤连接器陶瓷插芯表面光洁度要求极高，除专用清洁布外禁止用手触摸或接触硬物。空置的光纤连接器端子必须插上护套。
3. 所有光纤均不可过于弯曲，除特殊测试外其曲率半径应大于 30mm。