

第2章 物理层

◆ 本章内容

- ❖ 信道及传输能力
- ❖ 传输介质
- ❖ 数字与模拟传输
- ❖ 编码与调制的概念
- ❖ 多路复用技术
- ❖ 物理层协议的要点

数据通信与计算机网络
面向专业：通信系
授课教师：刘剑毅

1

基本概念

◆ 物理层的术语

- ❖ 数据 (Data)：传递 (携带) 信息的实体。
- ❖ 信息 (Information)：是数据的内容或解释。
- ❖ 信号 (Signal)：数据的物理量编码 (通常为电编码)，数据以信号的形式在介质中传播。

❖ 模拟信号、数字信号

- ❖ 信道 (Channel)：传送信息的线路 (或通路)。
- ❖ 比特 (bit)：即一个二进制位。比特率为每秒传输的比特数 (即数据传送速率)。
- ❖ 码元 (Code cell)：时间轴上的一个信号编码单元。

2

1. 数据通信系统的模型

◆ 通信的三个要素：信源、信宿和信道



- 任何信道都不是完美无缺的，因此会对传输的信号产生干扰，称为“噪声”。
 - 外界：闪电、串扰、电气设备
 - 内部：介质特性（衰减、延迟—与频率有关）

3

◆ 基带/频带/宽带传输

- ❖ 基带传输：不需调制，编码后的数字脉冲信号直接在信道上传送。

❖ 例如：以太网 (局域网)

- ❖ 频带传输：数字信号调制成音频模拟信号后再传送，接收方需要解调。

❖ 例如：通过电话网络传输数据

- ❖ 宽带传输：把信号调制为几十MHZ到几百MHZ的模拟信号后再传送，接收方需要解调。

❖ 例如：闭路电视的信号传输

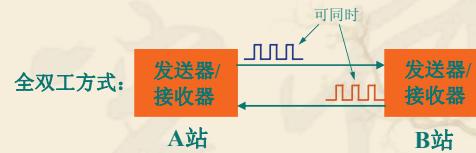
4

2. 信道的方向

◆ 单/双工通信——单/双向传输

- ❖ **单工：**数据单向传输 (例：无线电广播)
- ❖ **半双工：**数据可以双向交替传输，但不能在同一时刻双向传输 (例：对讲机)
- ❖ **全双工：**数据可以双向同时传输 (例：电话)
 - ❖ 需要具有两条物理上独立的传输线路；
 - ❖ 或者需要具有一条物理线路上的两个信道，分别用于不同方向的信号传输。

5



6

3 传码率与传信率

波特 (Baud)：码元传输的速率单位。波特率为每秒传送的码元数。

比特/秒：传信率的单位。

传码率与传信率的换算：

二进制：相等；

M进制： $R_{bit} = R_{baud} \log_2 M$

上式中：M-信号的编码级数， R_{bit} -比特率， R_{baud} -波特率

例如：当波特率为9600时

若M=2，数据传输率为9600b/s

若M=16，数据传输率为38.4kb/s

7

◆ Nyquist公式：用于无噪声理想信道

◆ 理想低通信道：

$$C = 2W \log_2 M$$

C = 数据传输率，单位b/s

W = 带宽，单位Hz

M = 信号编码级数

◆ 理想带通信道：

$$C = W \log_2 M$$

8

◆ Shannon公式：用于有噪声干扰信道

$$C = W \log_2 (1+S/N)$$

C: 传输率，单位b/s

W: 带宽，单位Hz

S/N: 信噪比

例：电话话路信道带宽W=3.1kHz，S/N=2000，则 $C = 3100 \times \log_2 (1+2000) \approx 34kb/s$ 即该信道上的最大数据传输率不会大于34kb/s。

信噪比的单位也可用分贝(dB)表示： $S/N_{dB} = 10 \log_{10} S/N$ 所以，若S/N_{dB}=30dB，则S/N=1000。

9

Nyquist公式和Shannon公式的比较

◆ $C = 2W \log_2 M$

用于理想信道

数据传输率随信号编码级数增加而增加。

◆ $C = W \log_2 (1+S/N)$

用于有噪声信道

无论信号编码级数增加到多少，此公式给出了有噪声信道可能达到的最大数据传输速率上限。

That is: 噪声的存在将使编码级数不可能无限增加。

10

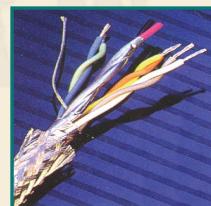
4 常用的传输介质

传输介质	传输方式	速率/工作频带	传输距离	性能	价格	应用
双绞线	宽带 基带	$\leq 1Gb/s$	模拟: 10km 数字: 500m	较好	低	模拟/数字信号传输
50Ω 同轴电缆	基带	10Mb/s	<3km	较好	较低	基带数字信号
75Ω 同轴电缆	宽带	$\leq 450MHz$	100km	较好	较低	模拟电视、数据及音频
光纤	基带	40Gb/s	20km以上	很好	较高	远距离高速数据传输
微波	宽带	4-6GHz	几百km	好	中等	远程通信
卫星	宽带	1-10GHz	18000km	很好	高	远程通信

11

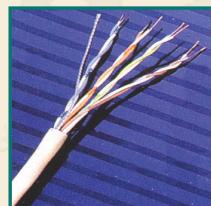
屏蔽双绞线(STP)

以铝箔屏蔽以减少干扰和串音，应用较少



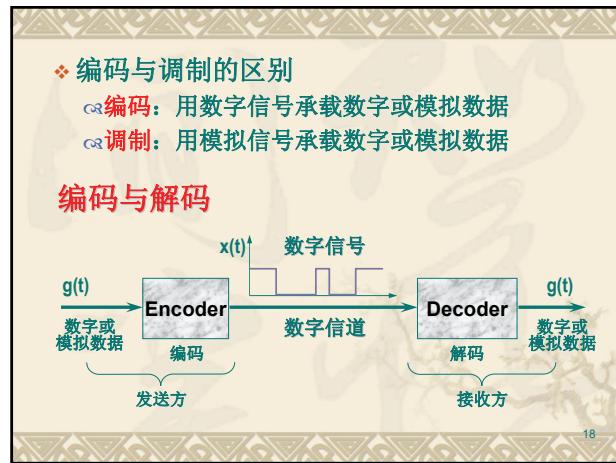
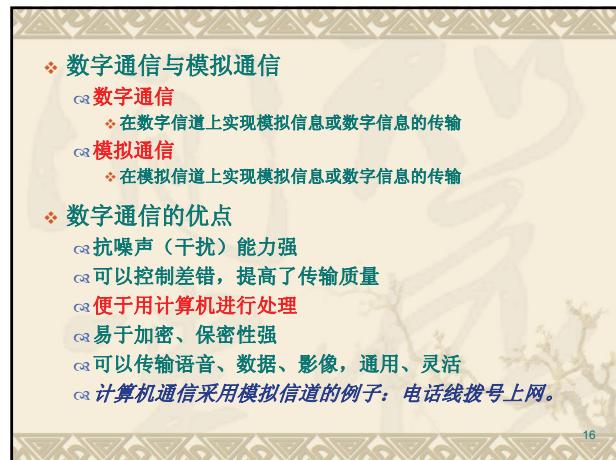
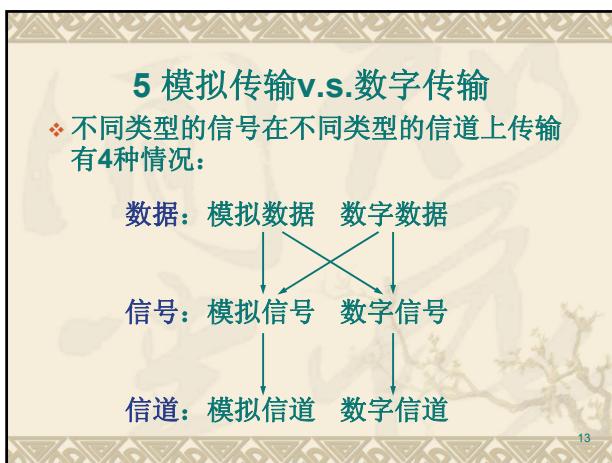
非屏蔽双绞线(UTP)

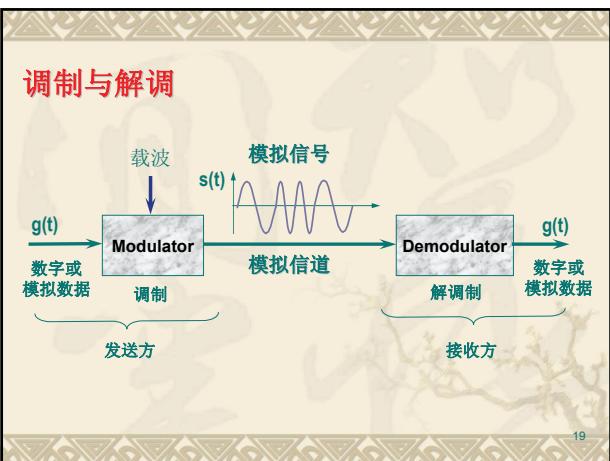
双绞线外无任何屏蔽层，应用广泛



常用的双绞线：3类（16Mb/s）和5类（155Mb/s）两种

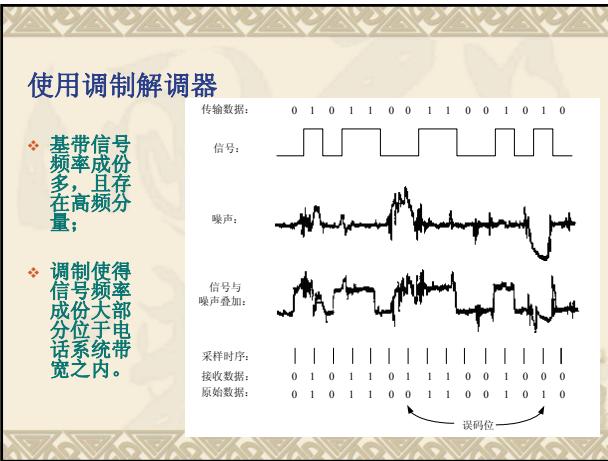
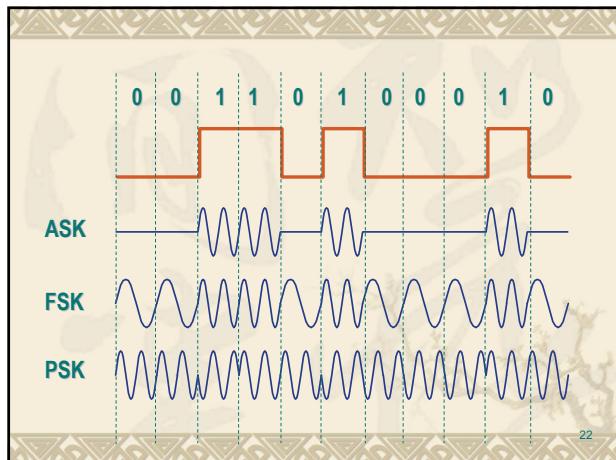
12

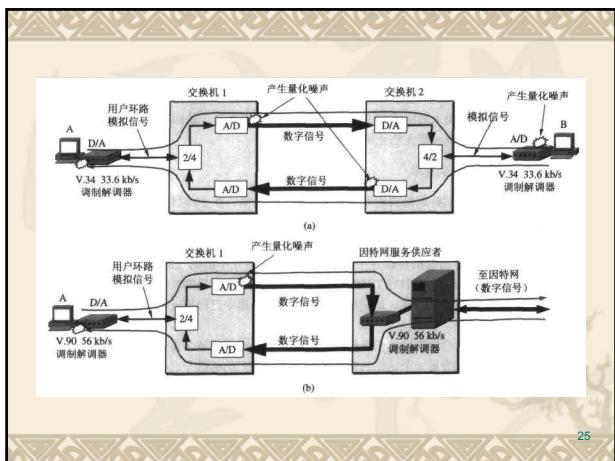




5.1 数字数据的数字信号编码

- ❖ 使数字数据能在数字信道上传输
 - ❖ 常见的有两类: **不归零码和曼彻斯特编码**
 - ❖ 不归零码 (**NRZ, Non-Return to Zero**)
 - ❖ 二进制数字0、1分别用两种电平来表示;
 - ❖ 曼彻斯特编码 (**Manchester Coding**)
 - ❖ 用电压的变化表示0和1。
- 20



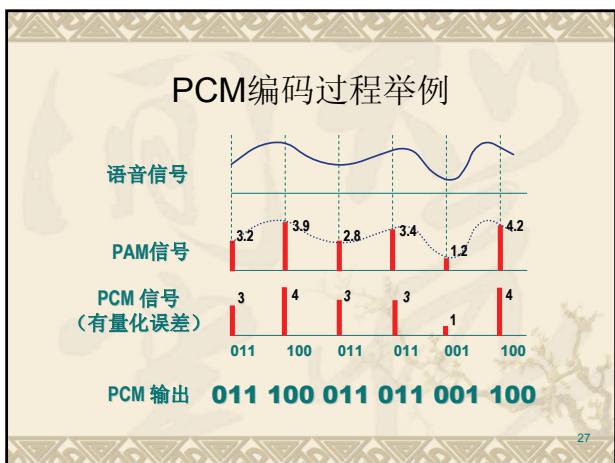


25

5.3 模拟数据的数字信号编码

- ❖ 使模拟数据能在数字信道上传输
- ❖ 要转换的模拟数据主要是电话语音信号
- ❖ 模拟数据要在数字线路上传输，必须将其转换成数字信号。三个步骤：
 - ❖ 采样：按一定间隔对语音信号进行采样
 - ❖ 量化：把每个样本舍入到最接近的量化级别上
 - ❖ 编码：对每个舍入后的样本进行编码
- ❖ 编码后的信号称为**PCM信号**（脉码调制, Pulse Coded Modulation）。

26



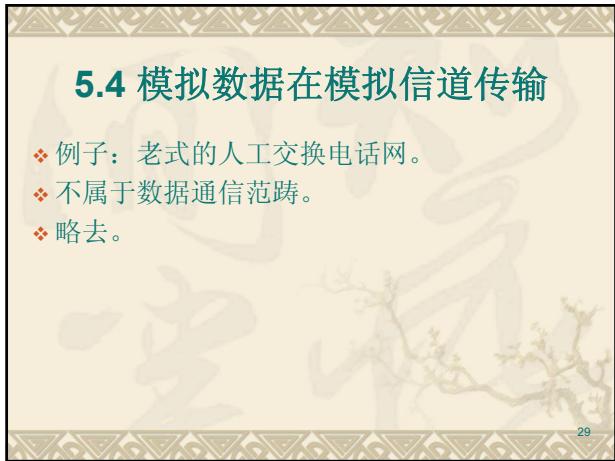
27

❖ 语音信号的数字化

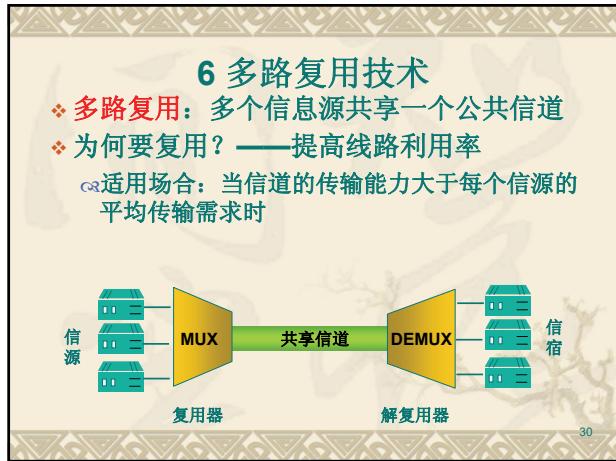
- ❖ 语音带宽 $f < 4\text{kHz}$
- ❖ 采样时钟频率： 8kHz (>2 倍语音最大频率)
- ❖ 样本量化级数：256级 (8bit/每样本)
- ❖ 数据率： $8000\text{次/s} \times 8\text{bit} = 64\text{kb/s}$
- ❖ 每路PCM信号的速率 = 64kb/s



28



29



30

◆ 复用的基本思想:

把公共共享信道用某种方法划分成多个子信道，每个子信道传输一路数据。

◆ 常见的复用方式

频分复用 FDM (Frequency Division Multiplexing)

按频率划分不同的信道，如CATV系统

波分复用 WDM (Wave Division Multiplexing)

按波长划分不同的信道，用于光纤传输

时分复用 TDM (Time Division Multiplexing)

按时间划分不同的信道，目前应用最广泛

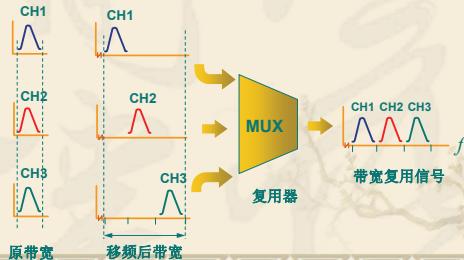
码分复用 CDM (Code Division Multiplexing)

按地址码划分不同的信道，N-CDMA, cdma2000

31

◆ 频分复用 FDM

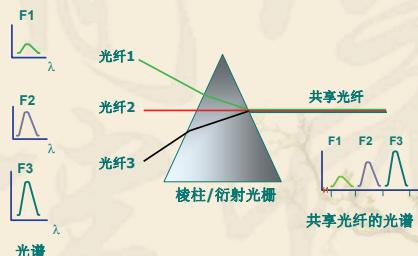
原理：整个传输频带被划分为若干个频率通道，每路信号占用一个频率通道进行传输。频率通道之间留有防护频带以防相互干扰。



32

◆ 波分复用——光的频分复用

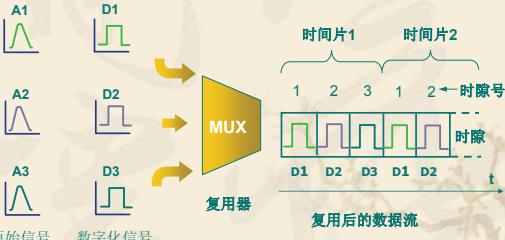
原理：整个波长频带被划分为若干个波长范围，每路信号占用一个波长范围来进行传输。



33

◆ 时分复用 TDM

原理：把时间分割成小的时间片，每个时间片分为若干个时隙，每路数据占用一个时隙进行传输。在通信网络中应用广泛。



34

由于每路数据总是使用每个时间片的固定时隙，所以这种时分复用也称为同步时分复用。

一个时间片内传输的多路数据称为帧。

时分复用的典型例子：PCM信号的传输

把多个话路的PCM语音数据用TDM的方法装成帧（帧中还包括了帧同步信息和信令信息）

每帧在一个时间片内发送

每个时隙承载一路PCM信号

35

时分复用的例子

T-标准（北美、日本）

E-标准（欧洲、中国、南美）

E1（一次群）标准

每125us为一个时间片，每时间片分为32个通道（时隙）。每个时隙可容纳8bit。

通道0用于同步，通道16用于信令，其他30个通道用于传输30个PCM话音数据。

E1速率 = $(32 \times 8\text{bit}) / 125\text{us} = 2.048 \text{ Mb/s}$

对E1进一步复用，还可构成E2到E5等高次群。

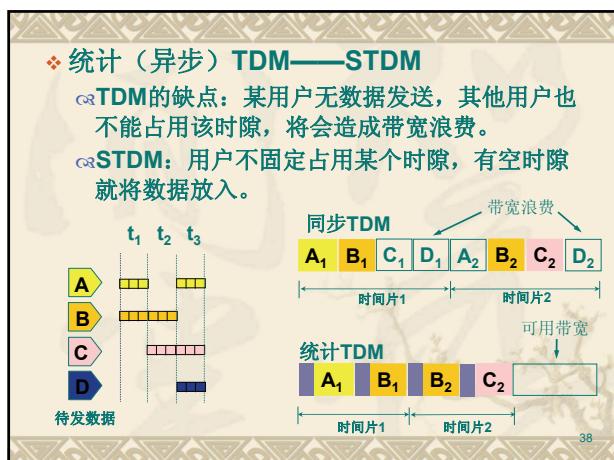
E5可承载7680个话路，数据率约为565Mb/s。

新的TDM标准是同步光网络（SONET）和ITU-T的同步数字系列（SDH）。常用的线路速率为（近似值）155Mb/s, 622Mb/s, 2.5Gb/s和10Gb/s。

36



37



38



39



40



41



42

RS-232-C

- ❖ 外形为25针或9针的D型连接器（机械）
- ❖ 通信速率（b/s）：
 - ❖ 100、300、600、1200、2400、4800、9600、19.2K、33.6K、56K
- ❖ 信号电平：（电气）
 - ❖ 逻辑“1”：-3V~-15V
 - ❖ 逻辑“0”：+3V~+15V
- ❖ 引脚定义：（功能）



43

计算机通信中常用的 RS-232C 信号

9针连接器 端子号	25针连接器 端子号	名称	方向	功能
3	2	TXD	输出	发送数据(transmit data)
2	3	RXD	输入	接收数据(receive data)
7	4	RTS	输出	请求发送(request to send)
8	5	CTS	输入	允许发送(clear to send)
6	6	DSR	输入	数据设备准备好(data set ready)
5	7	GND		信号地(signal ground)
1	8	DCD	输入	载波检测(carrier detect)
4	20	DTR	输出	数据终端准备好(data term ready)
9	22	RI	输入	振铃指示(ring indicator)

44

- ❖ 接收信号的时序：（规程）
 - ❖ H: Host (DTE), M: Modem (DCE)
- ❖ 设备握手
 - ❖ DTR: H→M (保持, 表示H已可以工作)
 - ❖ DSR: H←M (保持, 表示M已可以工作)
- ❖ 监视载波信号
 - ❖ DCD: H←M←载波 (表示数据链已建立)
- ❖ 接收数据
 - ❖ RD: H←M←数据调制信号
- ❖ 断开连接
 - ❖ DCD消失、H撤除DTR、M撤除DSR

45

本章要点小结

- ❖ 数字通信系统的模型
- ❖ 信道（数字/模拟信号，数字模拟信道，信道方向，最大传输能力）
- ❖ 模拟传输与数字传输（数字编码，调制，PCM，Modem）
- ❖ 多路复用（FDM, TDM, WDM, CDM）
- ❖ 物理层协议的组成及范例

46