

数据通信与计算机网络

（第5版）

第3章 数据传输信道





第 2 章 数据通信基础知识

教学目的

- 了解传输信道和常用的传输介质的基本特性

学习内容

- 传输信道
- 传输介质





【4-1】、【4-2】要点:

- 1. 基带调制和带通调制
- 2. 信道的极限容量: Nyquist准则、香农定理及其计算
- 3. 多模光纤与单模光纤的区别
- 4. 光纤通信中光波的波段 (带宽的计算)
- 5. ISM 频段
- 6. 视距传播的两个中继站天线之间的最大距离的计算



第 3 章：内容提纲

3.1 传输信道

3.2 传输介质

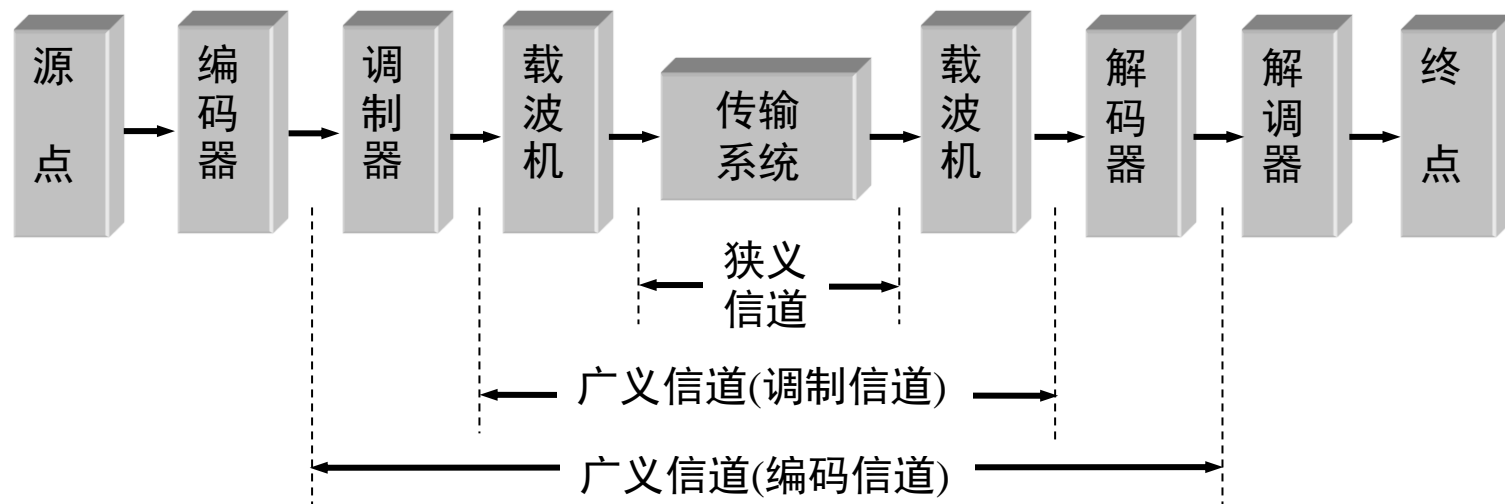


3.1 传输信道

3.1.1 信道概述

□ **广义信道** 指将传输介质和完成各种形式的变换功能的设备都包含在内的信道。根据具体的研究对象和关心的问题，可定义不同类型的广义信道。如调制信道、编码信道等。

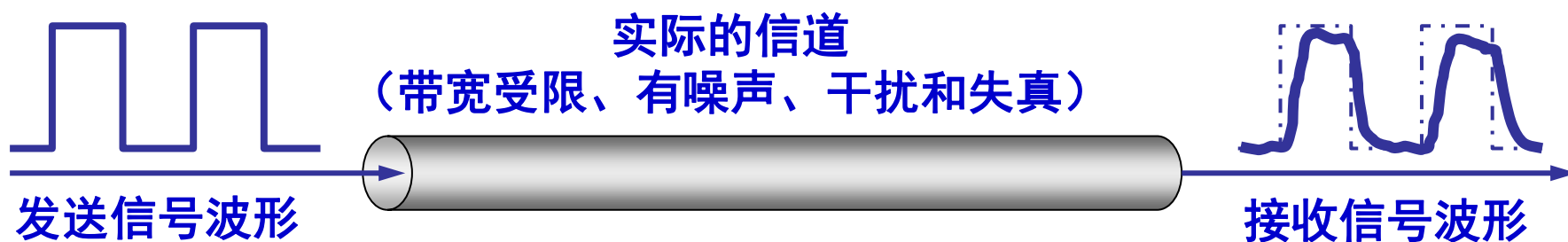
□ **狭义信道** 指能够传输信号的任何抽象或具体的通路。



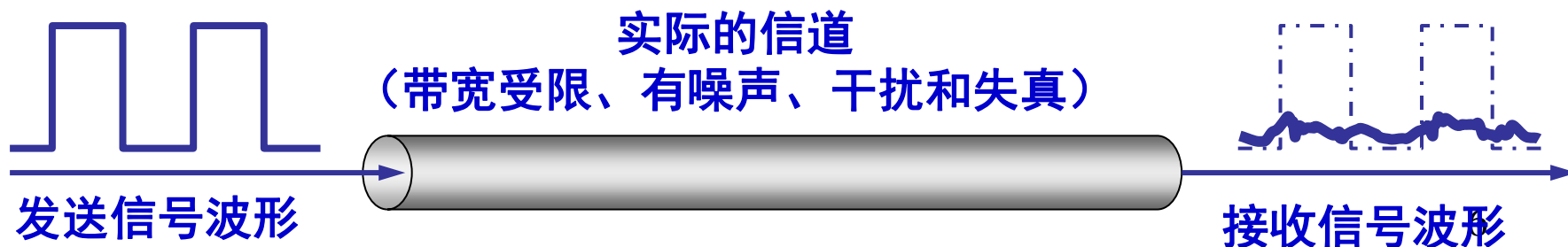
3.1.1 信道概述(续1)

- 信道功能的两面性：既为信号提供传输通路，又对信号造成损害。这种损害具体反映在信号波形的衰减和畸变上，导致通信出现差错现象。

有失真，但**可识别**



失真大，**无法识别**





3.1.1 信道概述(续2)

- 信道和电路是两个不同的概念。信道用来表示某一个方向传送信息的媒体，因此一条通信电路往往包含一条发送信道和一条接收信道。信道是电路的逻辑部件。



3.1.1 信道概述(续3)

信道的分类

1、按照信道上传输信号的类型

- **模拟信道** 允许传输波形连续变化的模拟信号的信道。其传输特性可用等效的四端网络传输函数来表示。模拟信道又可分为恒参信道和变参信道。传输质量可用失真和输出信噪比来描述。
- **数字信道** 只允许传输离散取值的数字信号的信道。传输质量可用差错率和差错序列的统计特性来描述。



3.1.1 信道概述(续4)

2、按照信道上信号传送方向与时间的关系

- ☐ 单工信道
- ☐ 半双工信道
- ☐ 全双工信道

3、按照使用信道的方法

- ☐ 专用(租用)信道
- ☐ 公用交换信道



3.1.1 信道概述(续5)

4、按照信道采用传输介质的不同

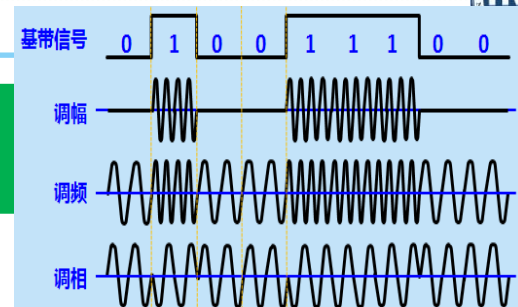
- **有线信道** 以有形的导引型传输介质(如双绞线、同轴电缆、电力线、光缆)的信道。
- **无线信道** 以无形的非导引型传输介质(如宇宙空间)的信道。
- 利用现有信道来实现数据传输，必须了解现有信道的特点，以及它对传输数据信号的影响和限制。



3.1.2 信道容量的计算

- 对于给定的信道环境，传输速率与误码率有何关系？或者说，在一定的误码率条件下，传输速率是否存在一个极限值？
- 信息论证明了这个极限值的存在，并称这个极限值为信道容量。
- **信道容量** 对于给定的信道环境，在传输差错率(即误码率)趋近于零的情况下，单位时间内可以传输的信息量或所能传输的最大速率。其单位是比特/秒(b/s)。

码元

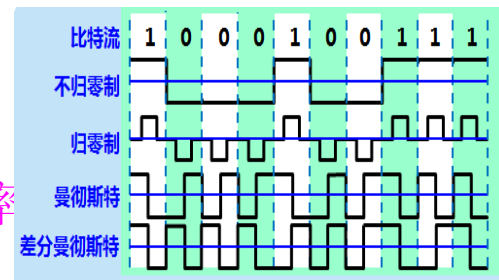


码元：在数字通信中常常用时间间隔相同的**符号**来表示一个**二进制数字**，这样的时间间隔内的信号称为**(二进制) 码元**。而这个间隔被称为码元长度。值得注意的是当码元的离散状态大于2个时（即 $M > 2$ ）时，此时码元为**M进制码元**。

码元，承载**信息**量的**基本信号单位**。

码元传输速率

码元传输速率，又称为**码元速率**、**传码率**、**信号传输速率**为每秒钟传送码元的数目（即每秒信号状态变化的次数）。为**波特率**，常用符号"**Baud**"表示，简写为"**B**"。



码元速率（信号传输速率）与比特率（信息传输速率）的区别？

1Baud=1 bit（当二进制码元时）

1Baud= $\log_2 M$ bit (当M进制码元时)



常用术语

- **信号 (signal)**: 数据的电气的或电磁的表现。



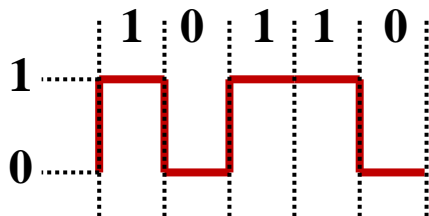
- ◆ **模拟信号 (analogous signal)**: 代表消息的参数
的取值是**连续**的。

- ◆ **数字信号 (digital signal)**: 代表消息的参数
的取值是**离散**的。



- **码元**: 在使用时间域（简称为**时域**）的波形表示
数字信号时，代表不同离散数值的基本波形。

- ◆ 使用二进制编码时，只有两种不同的码元：
0 状态，1 状态。





2.2.2 有关信道的几个基本概念

- **信道**：一般用来表示向某一个方向传送信息的媒体。

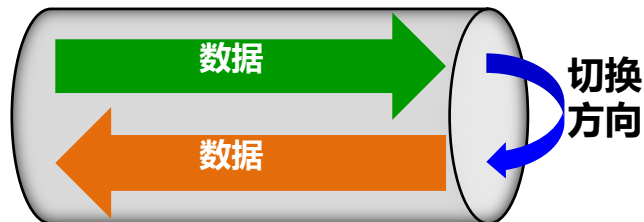
- **单向通信（单工通信）**：只能有一个方向的通信，没有反方向的交互。



- **双向交替通信（半双工通信）**：通信的双方都可以发送信息，但双方**不能同时**发送（当然也就不能同时接收）。



- **双向同时通信（全双工通信）**：通信的双方可以**同时发送和接收**信息。





2.2.2 有关信道的几个基本概念

- **基带信号**（即基本频带信号）

- ◆ 来自信源的信号。
- ◆ 包含有较多的低频成分，甚至有直流成分。

- **调制**

- ◆ **基带调制**：仅对基带信号的波形进行变换，把数字信号转换为另一种形式的数字信号。把这种过程称为**编码** (coding)。
- ◆ **带通调制**：使用载波 (carrier) 进行调制，把基带信号的频率范围搬移到较高的频段，并**转换为模拟信号**。经过载波调制后的信号称为**带通信号**（即仅在一段频率范围内能够通过信道）。

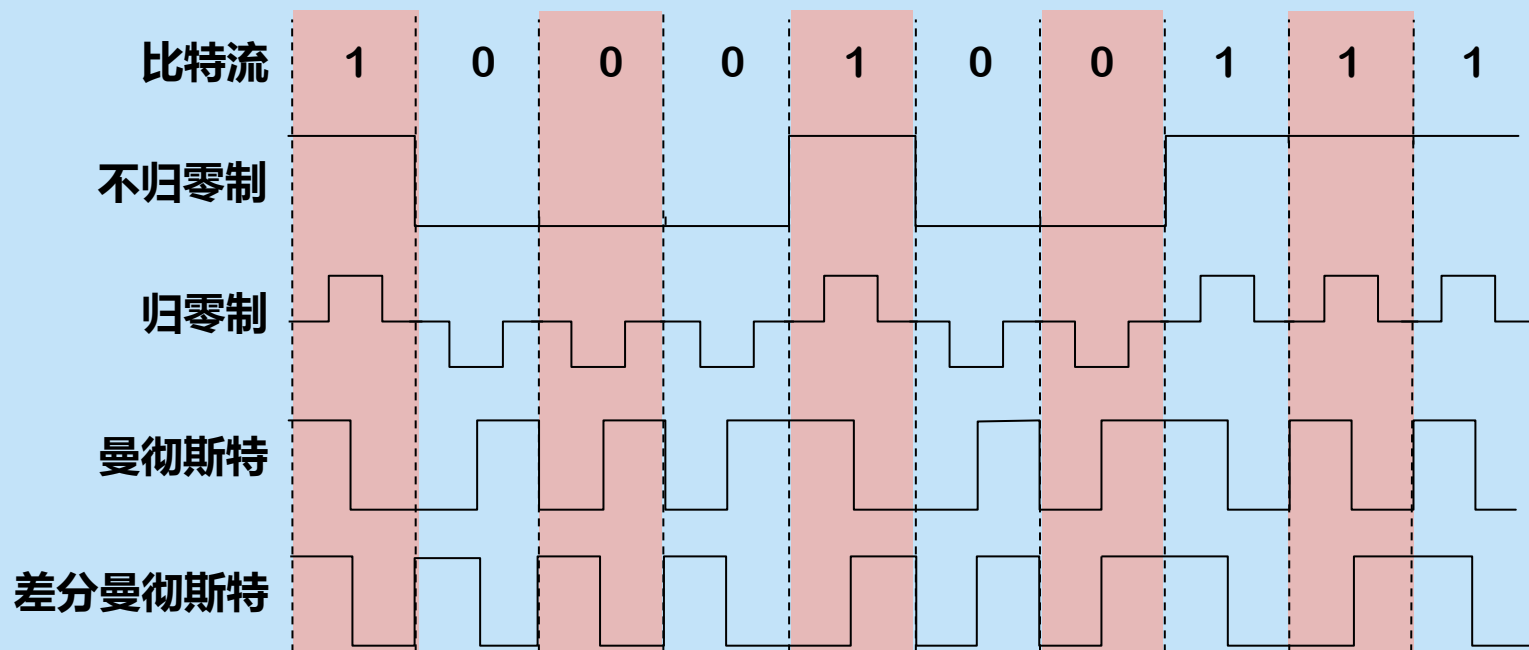


(1) 常用编码方式

- **不归零制**：正电平代表 1，负电平代表 0。
- **归零制**：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0。
- **曼彻斯特编码**：位周期中心的向上跳变代表 0，位周期中心的向下跳变代表 1。但也可反过来定义。
- **差分曼彻斯特编码**：在每一位的中心处始终都有跳变。位开始边界有跳变代表 0，而位开始边界没有跳变代表 1。



(1) 常用编码方式



数字信号常用的编码方式

- **不归零制**: 正电平代表 1, 负电平代表 0.
- **归零制**: 正脉冲代表 1, 负脉冲代表 0.
- **曼彻斯特编码**: 位周期中心的向上跳变代表 0, 位周期中心的向下跳变代表 1. 但也可反过来定义.
- **差分曼彻斯特编码**: 在每一位的中心处始终都有跳变. 位开始边界有跳变代表 0, 而位开始边界没有跳变代表 1.



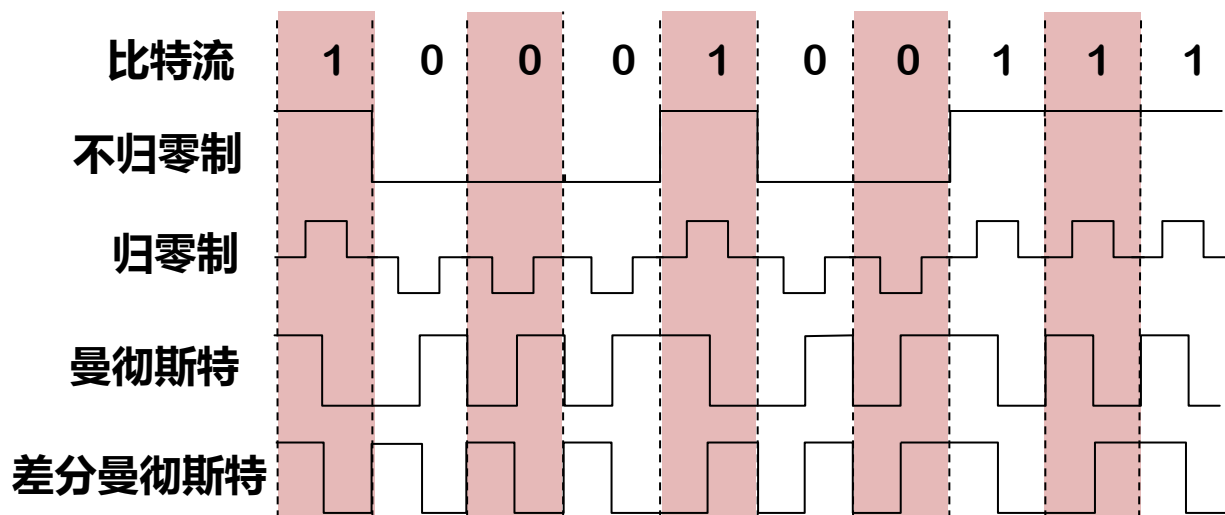
(1) 常用编码方式

- 信号频率：

- ◆ 曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码产生的信号频率比不归零制高。(编码效率低)

- 自同步能力：

- ◆ 不归零制**不能**从信号波形本身中提取信号时钟频率（这叫做没有自同步能力）。
- ◆ 曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码具有**自同步能力**。



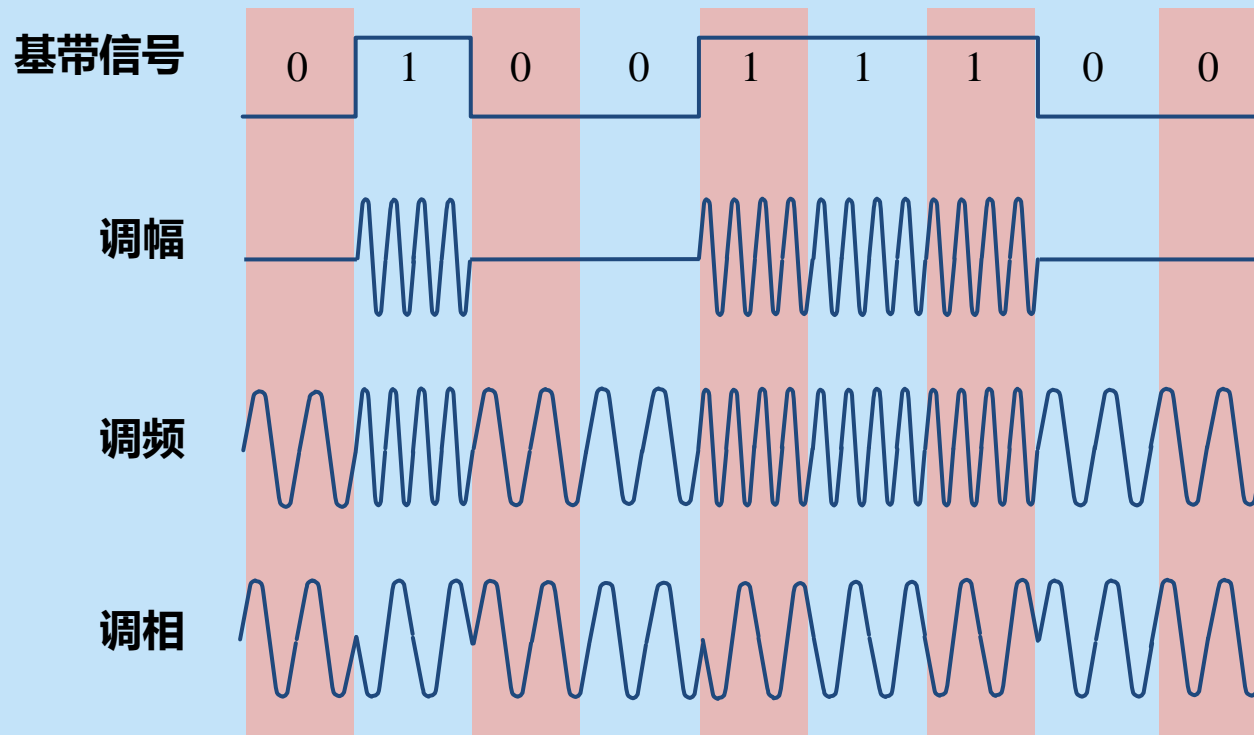


(2) 基本的带通调制方法

- 基带信号往往包含有较多的低频成分，甚至有直流成分，而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。
- 必须对基带信号进行**调制** (modulation)。
- 最基本的调制方法有以下几种：
 1. **调幅(AM)**：载波的振幅随基带数字信号而变化。
 2. **调频(FM)**：载波的频率随基带数字信号而变化。
 3. **调相(PM)**：载波的初始相位随基带数字信号而变化。



(2) 基本的带通调制方法

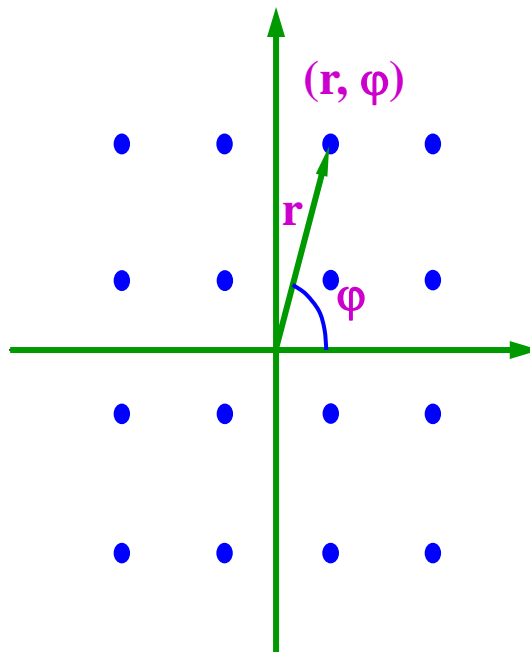


最基本的三种调制方法



正交振幅调制 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

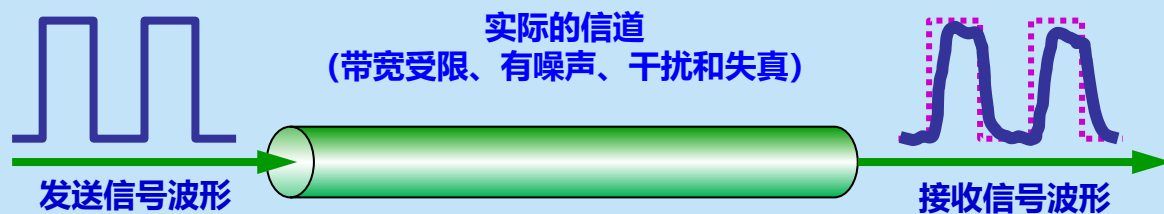
- 一种多元制的振幅相位混合调制方法，以达到更高的信息传输速率。
- 例如：
 - ◆ 可供选择的相位有 12 种，而对于每一种相位有 1 或 2 种振幅可供选择。总共有 16 种组合，即 16 个码元。
 - ◆ 由于 4 bit 编码共有 16 种不同的组合，因此这 16 个点中的每个点可对应于一种 4 bit 的编码。数据传输率可提高 4 倍。



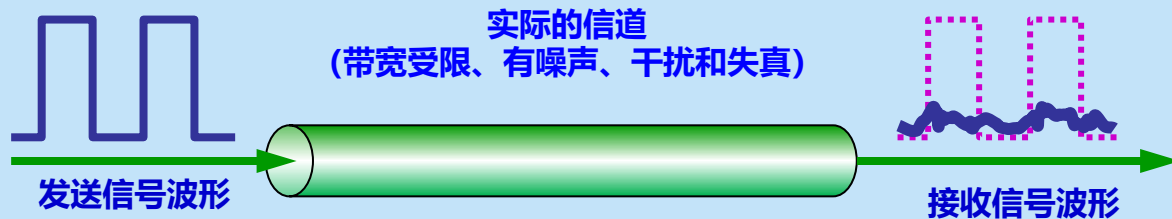


2.2.3 信道的极限容量

有失真，但可识别



失真大，无法识别



数字信号通过实际的信道



2.2.3 信道的极限容量

- 任何实际的信道都**不是理想的**，都**不可能**以任意高的速率进行传送。
- 码元传输的速率越高，或信号传输的距离越远，或噪声干扰越大，或传输媒体质量越差，在接收端的波形的**失真就越严重**。
- 限制码元在信道上的传输速率的**两个因素**：
 - ◆ 信道能够通过的频率范围。
 - ◆ 信噪比。



(1) 信道能够通过的频率范围

- 具体的信道所能通过的频率范围总是有限的。信号中的许多高频分量往往不能通过信道。
- **码间串扰**：接收端收到的信号波形**失去了**码元之间的清晰界限。

奈氏准则： 码元传输的最高速率 = $2W$ (码元/秒)

在带宽为 W (Hz) 的低通信道中，若不考虑噪声影响，则码元传输的最高速率是 $2W$ (码元/秒)。传输速率超过此上限，就会出现严重的码间串扰的问题，使接收端对码元的判决（即识别）成为**不可能**。

奈氏准则

- 1924 年，奈奎斯特 (Nyquist) 就推导出了著名的奈氏准则。他给出了在假定的理想条件下，为了避免码间串扰，码元的传输速率的上限值。

奈氏准则：在理想条件下(无噪声)，带宽为W赫兹的信道，其码元速率（波特率）最高为：**2W**（波特）

无噪声情况下信道容量计算公式：

$$C = 2W \log_2 M$$

C信道容量，W信道带宽，M是码元种类数量

奈氏准则习题

- 假定某信道带宽为3MHz，最高码元速率受奈氏准则限制。如果采用振幅调制，把码元的振幅划分为16个不同等级来传送，那么可以获得多高的数据率（bit/s）？

$$C = 2W \log_2 M$$



(2) 信噪比

- **信噪比**就是信号的平均功率和噪声的平均功率之比。常记为 S/N ，并用分贝 (dB) 作为度量单位。即：

$$\text{信噪比(dB)} = 10 \log_{10}(S/N) \text{ (dB)}$$

- 例如：当 $S/N = 10$ 时，信噪比为10dB，而当 $S/N = 1000$ 时，信噪比为30dB。

香农公式

- 1984年，香农 (Shannon) 用信息论的理论推导出了带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的**极限**、**无差错**的信息传输速率（香农公式）。
- 信道的极限信息传输速率 C 可表达为：

$$C = W \log_2(1 + S/N) \quad (\text{bit/s})$$

其中： W 为信道的带宽（以 Hz 为单位）；

S 为信道内所传信号的平均功率；

N 为信道内部的高斯噪声功率。

Chap 1 : 带宽的
两种单位：Hz、
bps 之间的关系

香农公式表明

- 信道的带宽或信道中的信噪比越大，则信息的极限传输速率就越高。
- 只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率，就一定可以找到某种办法来实现无差错的传输。
- 若信道带宽 W 或信噪比 S/N 没有上限（当然实际信道不可能是这样的），则信道的极限信息传输速率 C 也就没有上限。
- 实际信道上能够达到的信息传输速率要比香农的极限传输速率低不少。

香农公式的性质及物理意义

$$C_t = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

提高信号与噪声功率比（简称信噪比） S/N ，能增加信道容量；

当噪声功率 $N \rightarrow 0$ 时，信道容量 $C \rightarrow \infty$ ，这意味着无干扰信道容量为无限大；

增加信道**带宽**（也就是信号频带） B ，并不能无限地使**信道容量**增大。（证明见后）

香农公式的性质及物理意义

当噪声为高斯白噪声时，随着B增大，噪声功率 $N=n_0B$ （这里 n_0 为噪声单边功率谱密度）也增大，在极限情况下：

$$\begin{aligned}\lim_{B \rightarrow \infty} C_t &= \lim_{B \rightarrow \infty} B \log_2 \left(1 + \frac{S}{n_o B} \right) \\ &= \frac{S}{n_o} \lim_{B \rightarrow \infty} \frac{n_o B}{S} \log_2 \left(1 + \frac{S}{n_o B} \right) = \frac{S}{n_o} \log_2 e = 1.44 \frac{S}{n_o}\end{aligned}$$

由此可见，即使信道带宽无限增大，信道容量仍然是有限的。

香农公式的性质及物理意义

$$C_t = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

一、信道容量一定时，带宽与信噪比 S/N 之间可以彼此**互换**。（扩频、太空）

若信号功率 s 不变，信道容量 C 与带宽 w 近似成线性关系，上升速度较快；
若带宽 B 不变，信道容量 C 与信号功率 s 近似成对数关系，上升速度较缓慢。

二、信道容量 C 是信道能传输的极限信息速率，通常把实现上述速率的通信系统称为理想通信系统。

三、香农公式只证明了理想系统的“存在性”，却没有给出这种通信系统的实现方法。因此，理想系统只能作为实际系统的理论极限。

四、上述公式都在信道噪声为高斯白噪声下得到的,对于其他类型的噪声,香农公式需要修正。

香农公式例题 (1)

已知黑白电视图像大约由 3×10^5 个像素组成，设每个像素有10个亮度等级，他们出现的概率是相等的。要求每秒传送30帧图像，为了满意地再现图像，需要信噪比为1000倍（30dB），试求传输此电视信号所需的带宽。

解：由于每个像素有10个亮度等级，且等概率，
则每个像素包含的**信息量**为： $-\log_2(p_i)$

$$\log_2 10 = 3.32 \text{ bit}。$$

每帧有 3×10^5 个像素，每帧的信息量为：

$$3.32 \times (3 \times 10^5) = 9.96 \times 10^5 \text{ bit}$$

每秒传送30帧，故信息速率为：

$$R = 9.96 \times 10^5 \times 30 = 2.99 \times 10^7 \text{ bit/s}$$

由香农公式可知，信道信道容量必须大于或等于R，则所需信道最小的信道容量为：

$$C_{\min} = R = 2.99 \times 10^7 \text{ bit} / s$$

由题可知， $S/N = 30\text{dB} = 10^3$ ，可求出最小带宽为：

$$B_{\min} = \frac{C_{\min}}{\log_2(1 + \frac{S}{N})} = \frac{2.99 \times 10^7}{\log_2 1001} = 3.02 \times 10^6 (\text{Hz})$$

传送黑白电视图像信号所需最小带宽为3MHz。

例：已知彩电电视图像由 5×10^5 个像素组成，设每个像素有64种色彩，每种色彩有16个亮度等级，试计算：

- (1) 每秒传送100个画面所需的信道容量；
- (2) 若接收机的信噪比为30dB，求传送彩色图像所需的带宽。

解：

(1) 每像素信息量 $I = \log_2(64 \times 16) = 10 \text{ bit}$

每幅图信息量 $I = 10 \times 5 \times 10^5 = 5 \times 10^6 \text{ bit}$

信源信息速率 $r = 100 \times 5 \times 10^6 = 5 \times 10^8 \text{ bit/s}$

信道容量 $C_t \geq r = 5 \times 10^8 \text{ bit/s}$

(2) $30 \text{ dB} = 10 \lg S/N$ 故 $S/N = 1000$

由shannon 公式：

$$B = C_t / [\log_2(1+1000)] \approx 5 \times 10^7 = 50 \text{ MHz}$$

香农公式例题

- 假定要用4KHz 带宽的电话信道传送 64 kbit/s 的数据（无差错传输），试问这个信道应具有多高的信噪比（分别用比值和分贝来表示）？



提高信息的传输速率的方法

- **方法：**用编码的方法让每一个码元携带更多信息量。

例：

基带信号 $M = 101011000110111010 \dots$



1 bit/码元

将信号中的每 3 个比特编为 1 组：

101 011 000 110 111 010

$M1 = \varphi_5 \ \varphi_3 \ \varphi_0 \ \varphi_6 \ \varphi_7 \ \varphi_2$



3 bit/码元

若以同样的速率发送码元，则同样时间所传送的信息量就提高到了 3 倍。



注意：奈氏准则和香农公式的意义不同

- **奈氏准则：**激励工程人员不断探索更加先进的编码技术，使每一个码元携带更多比特的信息量。
- **香农公式：**告诫工程人员，在实际有噪声的信道上，不论采用多么复杂的编码技术，都不可能突破信息传输速率的绝对极限。



2.3

物理层下面的传输媒体

2.3.1

导引型传输媒体

2.3.2

非导引型传输媒体



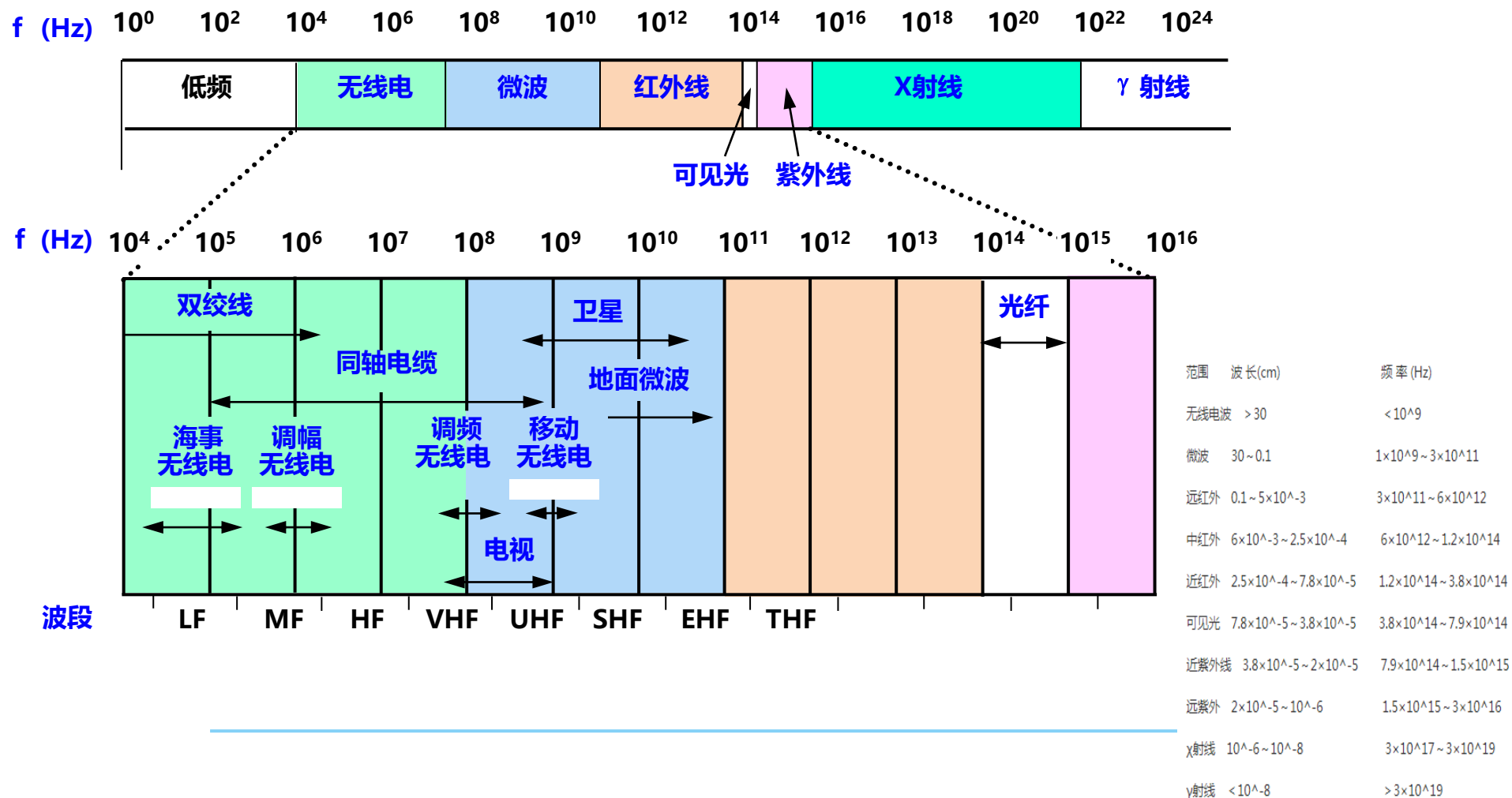
2.3 物理层下面的传输媒体

- 传输媒体是数据传输系统中在发送器和接收器之间的**物理通路**。
- 两大类：
 - ◆ **导引型传输媒体**：电磁波被导引沿着固体媒体（铜线或光纤）传播。
 - ◆ **非导引型传输媒体**：指自由空间。非导引型传输媒体中电磁波的传输常称为**无线传输**。



2.3 物理层下面的传输媒体

电信领域使用的电磁波的**频谱**:





LASER

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, 意思是“通过受激辐射光扩大”
- 激光频率范围 $3.846 \times 10^{14} \text{Hz}$ 到 $7.895 \times 10^{14} \text{Hz}$

| 段号 | 频段名称 | 频段范围 (含上限不含下限) | 波段名称 | 波长范围(含 上限不含下 限) |
|----|-----------|---------------------|------|-----------------------|
| 1 | 甚低频 (VLF) | 3~30千赫 (KHz) | 甚长波 | 100~10km |
| 2 | 低频 (LF) | 30~300千赫 (KHz) | 长波 | 10~1km |
| 3 | 中频 (MF) | 300~3000千赫 (KHz) | 中波 | 1000~100m |
| 4 | 高频 (HF) | 3~30兆赫 (MHz) | 短波 | 100~10m |
| 5 | 甚高频 (VHF) | 30~300兆赫 (MHz) | 米波 | 10~1m |
| 6 | 特高频 (UHF) | 300~3000兆赫 (MHz) | 分米波 | 100~10cm |
| 7 | 超高频 (SHF) | 3~30吉赫 (GHz) | 厘米波 | 10~1cm |
| 8 | 极高频 (EHF) | 30~300吉赫 (GHz) | 毫米波 | 10~1mm |
| 9 | 至高频 | 300~3000吉赫 (GHz) | 丝米波 | 1~0.1mm |

| 范围 | 波长(cm) | 频率(Hz) |
|------|--|--|
| 无线电波 | >30 | <10 ⁹ |
| 微波 | 30~0.1 | 1×10 ⁹ ~3×10 ¹¹ |
| 远红外 | 0.1~5×10 ⁻³ | 3×10 ¹¹ ~6×10 ¹² |
| 中红外 | 6×10 ⁻³ ~2.5×10 ⁻⁴ | 6×10 ¹² ~1.2×10 ¹⁴ |
| 近红外 | 2.5×10 ⁻⁴ ~7.8×10 ⁻⁵ | 1.2×10 ¹⁴ ~3.8×10 ¹⁴ |
| 可见光 | 7.8×10 ⁻⁵ ~3.8×10 ⁻⁵ | 3.8×10 ¹⁴ ~7.9×10 ¹⁴ |
| 近紫外线 | 3.8×10 ⁻⁵ ~2×10 ⁻⁵ | 7.9×10 ¹⁴ ~1.5×10 ¹⁵ |
| 远紫外 | 2×10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁶ | 1.5×10 ¹⁵ ~3×10 ¹⁶ |
| X射线 | 10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁸ | 3×10 ¹⁷ ~3×10 ¹⁹ |
| γ射线 | <10 ⁻⁸ | >3×10 ¹⁹ |



2.3.1 导引型传输媒体

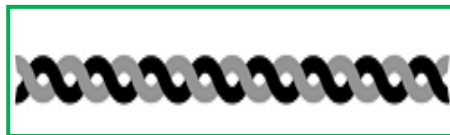
1. 双绞线

- 最古老但又最常用的传输媒体。
- 把两根互相绝缘的铜导线并排放在一起，然后用规则的方法**绞合 (twist)** 起来就构成了双绞线。
- **绞合度越高，可用的数据传输率越高。**
- 2 大类：
 - ◆ 无屏蔽双绞线 UTP。
 - ◆ 屏蔽双绞线 STP。

3 类线



5 类线



不同的绞合度的双绞线



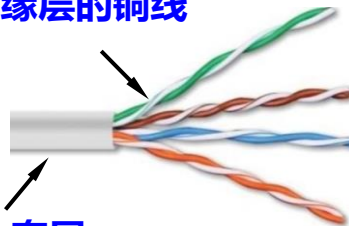
1. 双绞线

- **无屏蔽双绞线 UTP (Unshielded Twisted Pair) :**

- ◆ 无屏蔽层。
- ◆ 价格较便宜。

带绝缘层的铜线

PVC 套层



- **屏蔽双绞线 STP (Shielded Twisted Pair):**

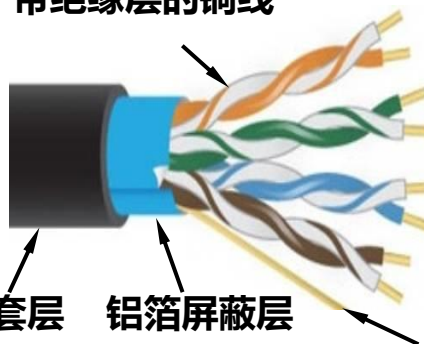
- ◆ 带屏蔽层。
- ◆ 都必须有接地线。

带绝缘层的铜线

PVC 套层

铝箔屏蔽层

接地线





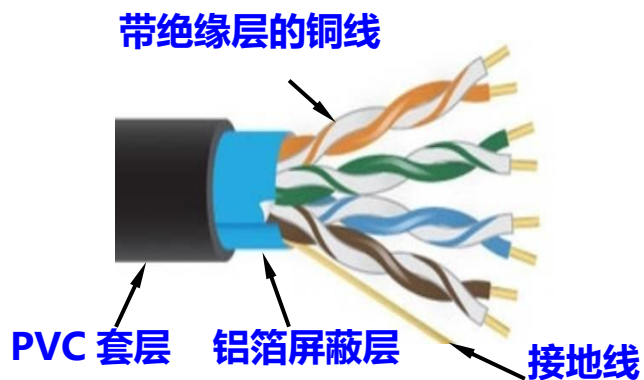
屏蔽双绞线 STP

- **x/UTP：对整条双绞线电缆进行屏蔽。**
 - ◆ **F/UTP (F= Foiled)：表明采用铝箔屏蔽层。**
 - ◆ **S/UTP (S=braid Screen)：表明采用金属编织层进行屏蔽。**
 - ◆ **SF/UTP：表明在铝箔屏蔽层外面再加上金属编织层的屏蔽。**
 - ◆ **FTP 或 U/FTP：把电缆中的每一对双绞线都加上铝箔屏蔽层。U表明对整条电缆不另增加屏蔽层**
 - ◆ **F/FTP：在 FTP 基础上对整条电缆再加上铝箔屏蔽层。**
 - ◆ **S/FTP：在 FTP 基础上对整条电缆再加上金属编织层的屏蔽。**

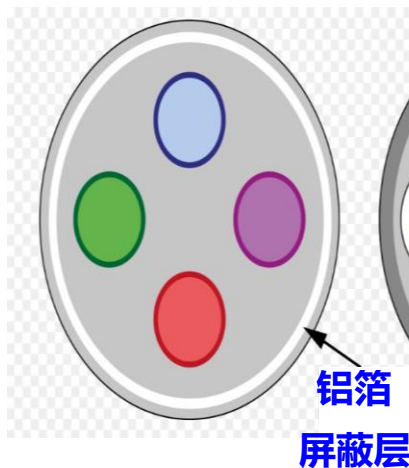


屏蔽双绞线 STP

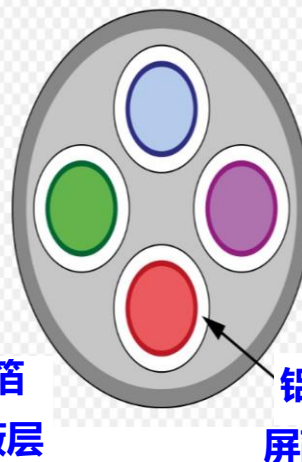
F/UTP



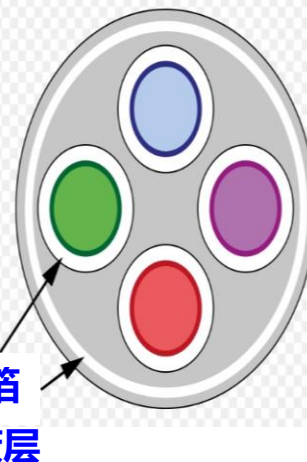
F/UTP



U/FTP



F/FTP



在抗干扰能力上，U/FTP 比 F/UTP 好，而 F/FTP 则是最好的。



双绞线标准 EIA/TIA-568

常用绞合线的类别、带宽和典型应用

| 绞合线类别 | 带宽 | 线缆特点 | 典型应用 |
|---------|----------|--------------------|-------------------------------------|
| 3 | 16 MHz | 2 对 4 芯双绞线 | 模拟电话; 传统以太网 (10 Mbit/s) |
| 5 | 100 MHz | 与 3 类相比增加了绞合度 | 传输速率 100 Mbit/s (距离 100 m) |
| 5E(超5类) | 125 MHz | 与 5 类相比衰减更小 | 传输速率 1 Gbit/s (距离 100 m) |
| 6 | 250 MHz | 改善了串扰等性能, 可使用屏蔽双绞线 | 传输速率 10 Gbit/s (距离 35 ~ 55 m) |
| 6A | 500 MHz | 改善了串扰等性能, 可使用屏蔽双绞线 | 传输速率 10 Gbit/s (距离 100 m) |
| 7 | 600 MHz | 必须使用屏蔽双绞线 | 传输速率超过 10 Gbit/s, 距离 100 m |
| 8 | 2000 MHz | 必须使用屏蔽双绞线 | 传输速率 25 Gbit/s 或 40 Gbit/s, 距离 30 m |



双绞线标准 EIA/TIA-568

常用绞合线的类别、带宽和典型应用

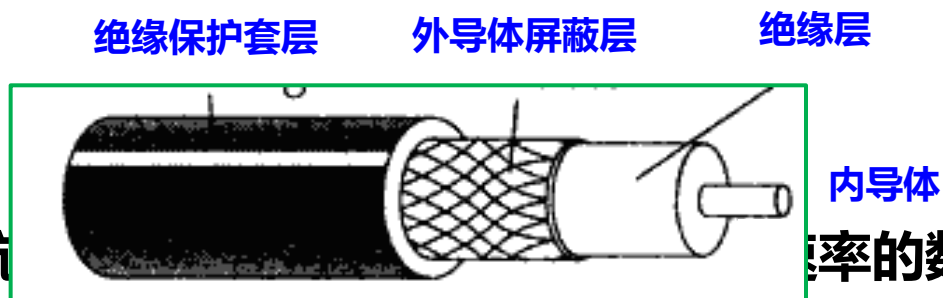
| 绞合线类别 | 带宽 | 线缆特点 | 典型应用 |
|---------|----------|--------------------|-------------------------------------|
| 3 | 16 MHz | 2 对 4 芯双绞线 | 模拟电话; 传统以太网 (10 Mbit/s) |
| 5 | 100 MHz | 4 对 8 芯双绞线 | 传输速率 100 Mbit/s (距离 100 m) |
| 5E(超5类) | 100 MHz | 4 对 8 芯双绞线 | 传输速率 100 Mbit/s (距离 100 m) |
| 6 | 250 MHz | 改善了串扰等性能, 可使用屏蔽双绞线 | 传输速率 10 Gbit/s (距离 35 ~ 55 m) |
| 6A | 500 MHz | 改善了串扰等性能, 可使用屏蔽双绞线 | 传输速率 10 Gbit/s (距离 100 m) |
| 7 | 600 MHz | 必须使用屏蔽双绞线 | 传输速率超过 10 Gbit/s, 距离 100 m |
| 8 | 2000 MHz | 必须使用屏蔽双绞线 | 传输速率 25 Gbit/s 或 40 Gbit/s, 距离 30 m |

- 无论是哪种类别的双绞线, 衰减都随频率的升高而增大。
- 双绞线的最高速率还与数字信号的编码方法有很大的关系。



2. 同轴电缆

- 由内导体铜质芯线（单股实心线或多股绞合线）、绝缘层、网状编织的外导体屏蔽层（也可以是单股的）以及保护塑料外层所组成。



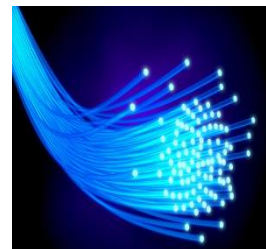
- 具有很好的抗

率的数据。

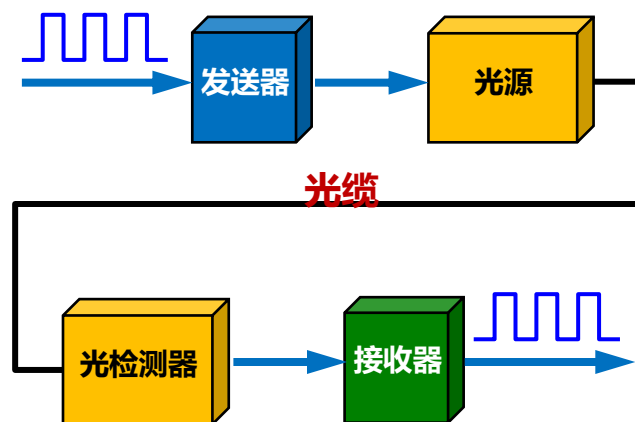


3. 光缆

- 光纤是光纤通信的传输媒体。通过传递光脉冲来进行通信。
- 其传输带宽远远大于目前其他各种传输媒体的带宽。



- **发送端：**要有**光源**，在电脉冲的作用下能产生出光脉冲。
 - ◆ 光源：发光二极管，半导体激光器等。
- **接收端：**要有**光检测器**，利用光电二极管做成，在检测到光脉冲时还原出电脉冲。



基本的光纤通信系统

高带宽

● 光缆

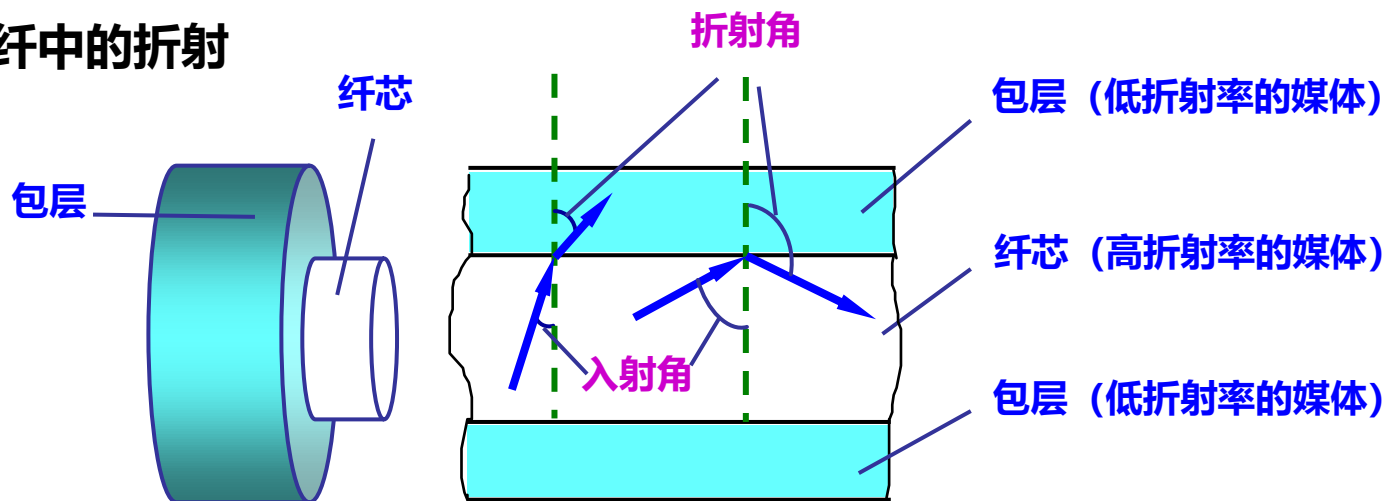
- 光纤是光纤通信的传输媒体。
- 由于可见光的频率非常高，约为 10^{14} Hz 的量级，因此一个光纤通信系统的传输带宽远远大于目前其他各种传输媒体的带宽。

| 范围 | 波长(cm) | 频率(Hz) |
|------|--|--|
| 无线电波 | > 30 | $< 10^9$ |
| 微波 | $30 \sim 0.1$ | $1 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{11}$ |
| 远红外 | $0.1 \sim 5 \times 10^{-3}$ | $3 \times 10^{11} \sim 6 \times 10^{12}$ |
| 中红外 | $6 \times 10^{-3} \sim 2.5 \times 10^{-4}$ | $6 \times 10^{12} \sim 1.2 \times 10^{14}$ |
| 近红外 | $2.5 \times 10^{-4} \sim 7.8 \times 10^{-5}$ | $1.2 \times 10^{14} \sim 3.8 \times 10^{14}$ |
| 可见光 | $7.8 \times 10^{-5} \sim 3.8 \times 10^{-5}$ | $3.8 \times 10^{14} \sim 7.9 \times 10^{14}$ |
| 近紫外线 | $3.8 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-5}$ | $7.9 \times 10^{14} \sim 1.5 \times 10^{15}$ |
| 远紫外 | $2 \times 10^{-5} \sim 10^{-6}$ | $1.5 \times 10^{15} \sim 3 \times 10^{16}$ |
| X射线 | $10^{-6} \sim 10^{-8}$ | $3 \times 10^{17} \sim 3 \times 10^{19}$ |
| γ射线 | $< 10^{-8}$ | $> 3 \times 10^{19}$ |



光波在纤芯中的传播

光线在光纤中的折射



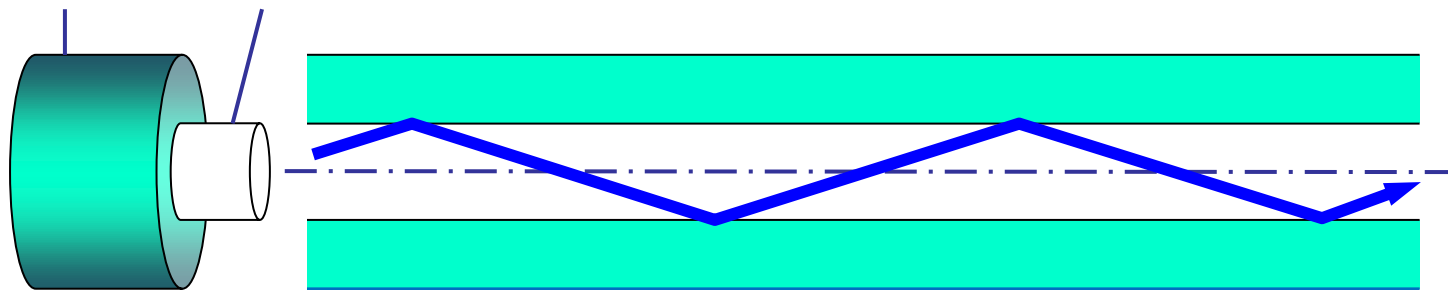
光纤通常由非常透明的石英玻璃拉成细丝，主要由**纤芯**和**包层**构成双层通信圆柱体。当光线从高折射率的媒体射向低折射率的媒体时，其折射角将大于入射角。如果入射角足够大，就会出现**全反射**，光也就沿着光纤传输下去。



光波在纤芯中的传播

低折射率
(包层) 高折射率
(纤芯)

光波在纤芯中的传播



光线在纤芯中传输的方式是不断地**全反射**



多模光纤与单模光纤

- **多模光纤**

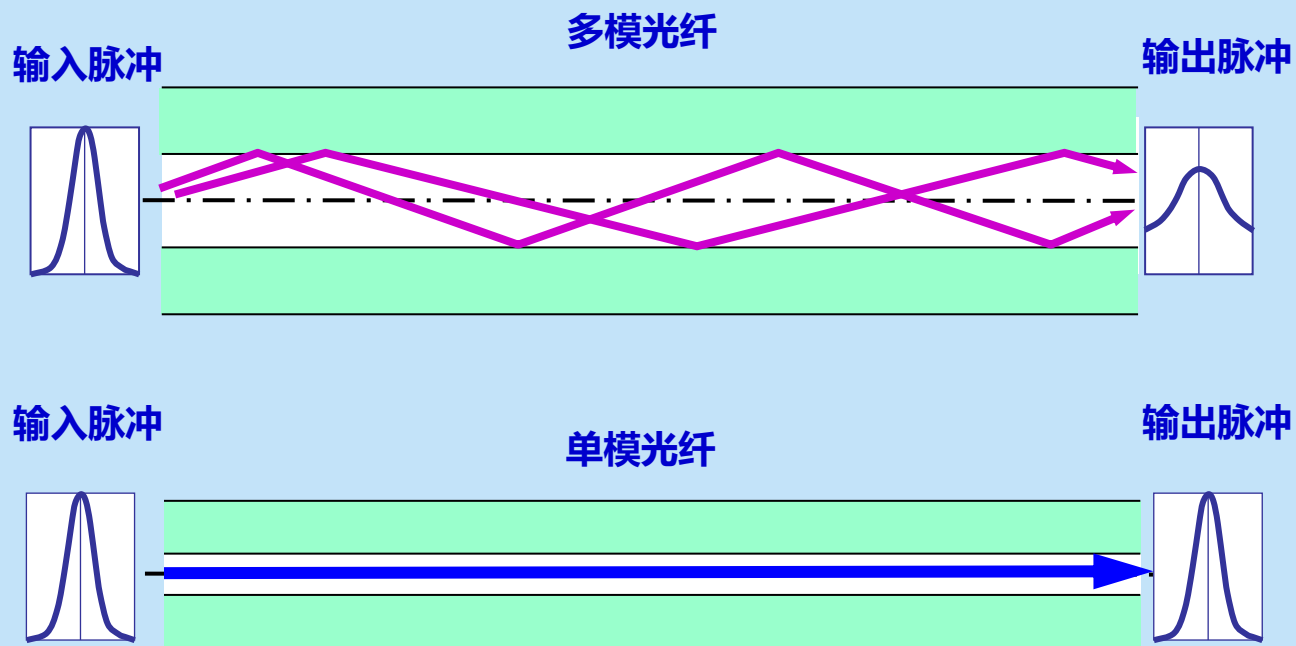
- ◆ 可以存在**多条**不同角度入射的**光线**在一条光纤中传输。
- ◆ 光脉冲在多模光纤中传输时会逐渐展宽，造成失真，只适合于近距离传输。

- **单模光纤**

- ◆ 其直径减小到只有一个光的波长（几个微米），可使光线一直向前传播，而**不会产生多次反射**。
- ◆ 制造成本较高，但衰耗较小。
- ◆ 光源要使用昂贵的半导体激光器，不能使用较便宜的发光二极管。



多模光纤与单模光纤



$$f = 3.52941 \times 10^{14}$$

$$2.30769 \times 10^{14}$$

$$1.93548 \times 10^{14}$$

- 常用的三个波段的中心分别位于 **850 nm, 1300 nm 和 1550 nm**。
- 所有这三个波段都具有 **25000~30000 GHz** 的带宽，可见光纤的通信容量非常大。

单模石英光纤(G.652C)传输带宽，可以从1260nm到1675nm，共有415nm宽度。一般把这415nm宽度划分成O、E、S、C、L、U六个波段，具体划分方法如下：

初始(O)波段 1260nm-1360nm

扩展(E)波段 1360nm-1460nm

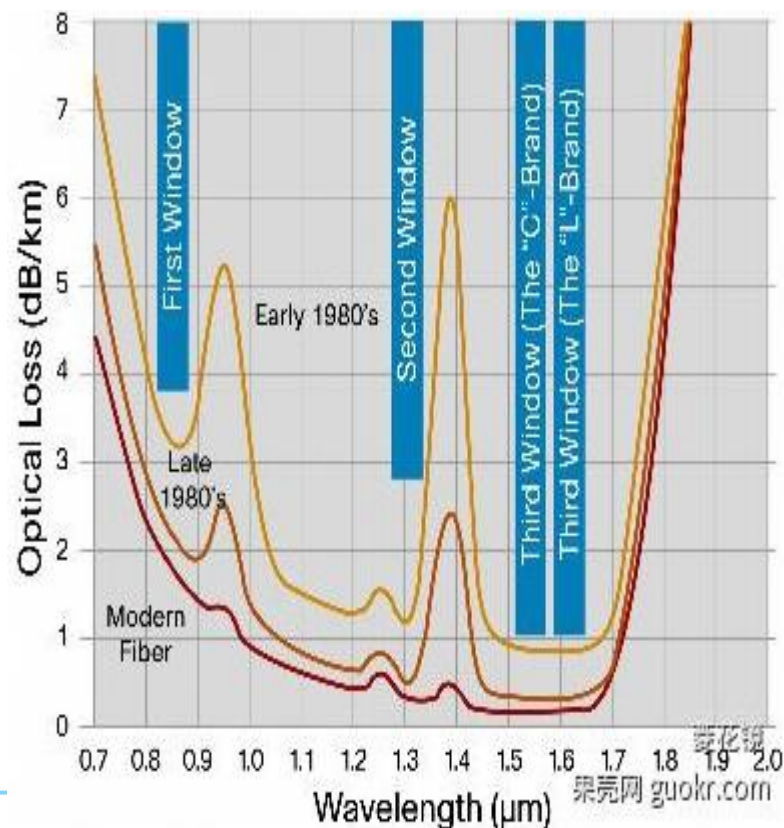
短(S)波段 1460nm-1530nm

常规(C)波段 **1530nm-1565nm**

长(L)波段 **1565nm-1625nm**

超常(U)波段 1625nm-1675nm

当前光纤通信大都运用在C与L波段，而且仅使用其中的一小部分



目前光纤通信提高最大传输量的方法主要有两种：一种是**提高传输码速**，如：155Mb/s, 622Mb/s, 2.5Gb/s, 10Gb/s, 40Gb/s, 160Gb/s；另一个是波分复用。所谓**波分复用**，是将光纤的各个传输波段，按照一定的间隔，如：1.6nm(200GHz)、0.8nm(100GHz)、0.4nm(50GHz)等，分隔成很多较小的频带，这就叫波分，然后把每个频带的中心频率作为载波，用它来承载各个不同码速的光通路。在一根光纤中同时传输多个波长的光通路，这就叫复用。

如果以0.8nm(100GHz)间隔来分割415nm的带宽，可以波分出518个小频带。以每个小频带传输码速为40Gb/s计算，一根光纤中可以同时传输 $518 \times 40\text{Gbt/s} = 20720\text{Gbt/s}$ 。

光子晶体光纤。这种光纤的传输带宽可以从850nm到1675nm，共有825nm宽度。如果按上述**0.8nm(100GHz)**间隔来分割825nm带宽，能够波分出1031个小频带。

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta \nu}{\nu}$$

$$c = \lambda \cdot \nu$$

$$\Delta \lambda = \Delta \nu \cdot \frac{\lambda^2}{c}$$

$$\lambda = 1550\text{nm} \quad \Delta \nu = 100\text{GHz} \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$$

$$\Rightarrow \Delta \lambda \approx 0.8\text{nm}$$

或：

已知 $\lambda_H = 1558.98\text{nm}$, $\lambda_L = 1559.79\text{nm}$,

即： $\lambda_L - \lambda_H = 0.8\text{nm}$

$$f_H - f_L = c(1/\lambda_H - 1/\lambda_L)$$

$$= 3.0 \cdot 10^8 \cdot (1/1558.98\text{nm} - 1/1559.79\text{nm})$$

$$= 9.99 \cdot 10^{10} \text{Hz} = 100\text{GHz}$$

ITU-T(国际电信联盟电信标准部)定义了两套DWDM的波长使用原则，

第一个是40波系统，从 $f_1 \sim f_{40}$ 分别是192.10THz, 192.20THz, 192.30THz, 196.00THz, 频率从低到高，每个波道间隔0.1THz，也就是100GHz

第二个是80波系统，从 $f_1 \sim f_{80}$ 分别是196.05THz, 196.00THz, 195.95THz, 192.10THz, 频率从高到低，每个波道间隔0.05THz，也就是50GHz

当 $f_1 = 192.10\text{THz}$ 时, $\lambda_1 = c/f_1 = 299792458\text{m/s} / 192.10\text{THz} = 1560.61\text{nm}$

当 $f_2 = 192.20\text{THz}$ 时, $\lambda_2 = c/f_2 = 299792458\text{m/s} / 192.20\text{THz} = 1559.79\text{nm}$

当 $f_3 = 192.30\text{THz}$ 时, $\lambda_3 = c/f_3 = 299792458\text{m/s} / 192.30\text{THz} = 1558.98\text{nm}$

当 $f_4 = 192.40\text{THz}$ 时, $\lambda_4 = c/f_4 = 299792458\text{m/s} / 192.40\text{THz} = 1558.17\text{nm}$

.

以此类推

$\lambda_1 - \lambda_2 = 1560.61\text{nm} - 1559.79\text{nm} = 0.82\text{nm}$

$\lambda_2 - \lambda_3 = 1559.79\text{nm} - 1558.98\text{nm} = 0.81\text{nm}$

$\lambda_3 - \lambda_4 = 1558.98\text{nm} - 1558.17\text{nm} = 0.81\text{nm}$

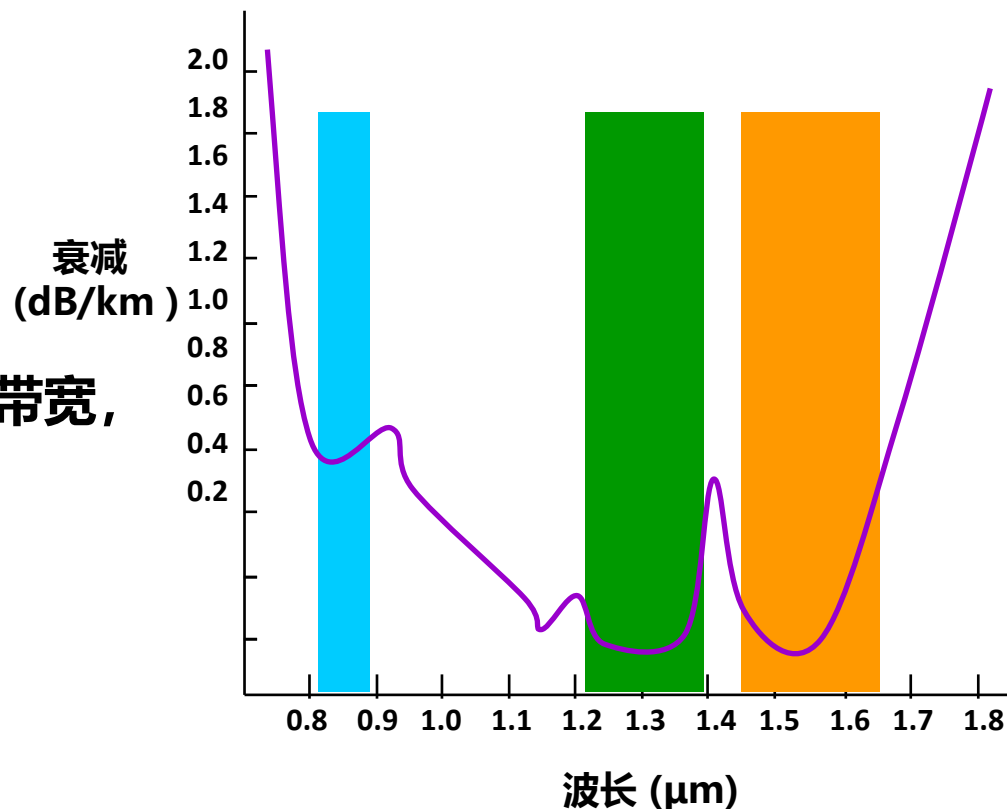
划重点





光纤通信中使用的光波的波段

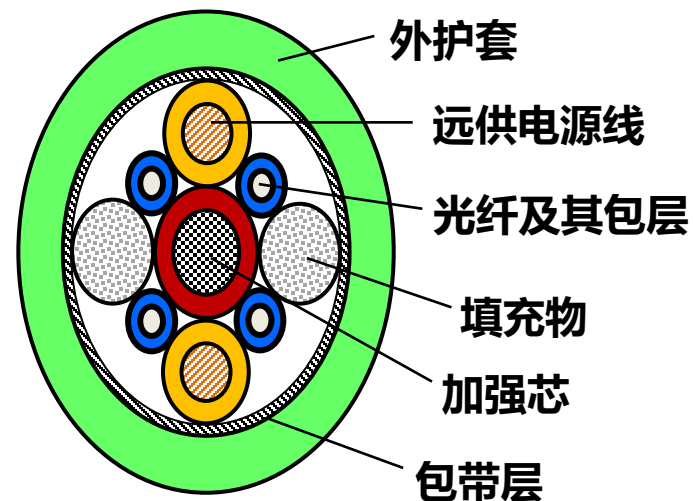
- 常用的三个波段的中心：
 - ◆ 850 nm,
 - ◆ 1300 nm,
 - ◆ 1550 nm。
- 所有这三个波段都具有 25000~30000 GHz 的带宽，通信容量非常大。





光缆

- 必须将光纤做成很结实的光缆。
 - ◆ 数十至数百根光纤，
 - ◆ 加强芯和填充物，
 - ◆ 必要时还可放入远供电源线，
 - ◆ 最后加上包带层和外护套。
- 使抗拉强度达到几公斤，完全可以满足工程施工的强度要求。





光纤优点

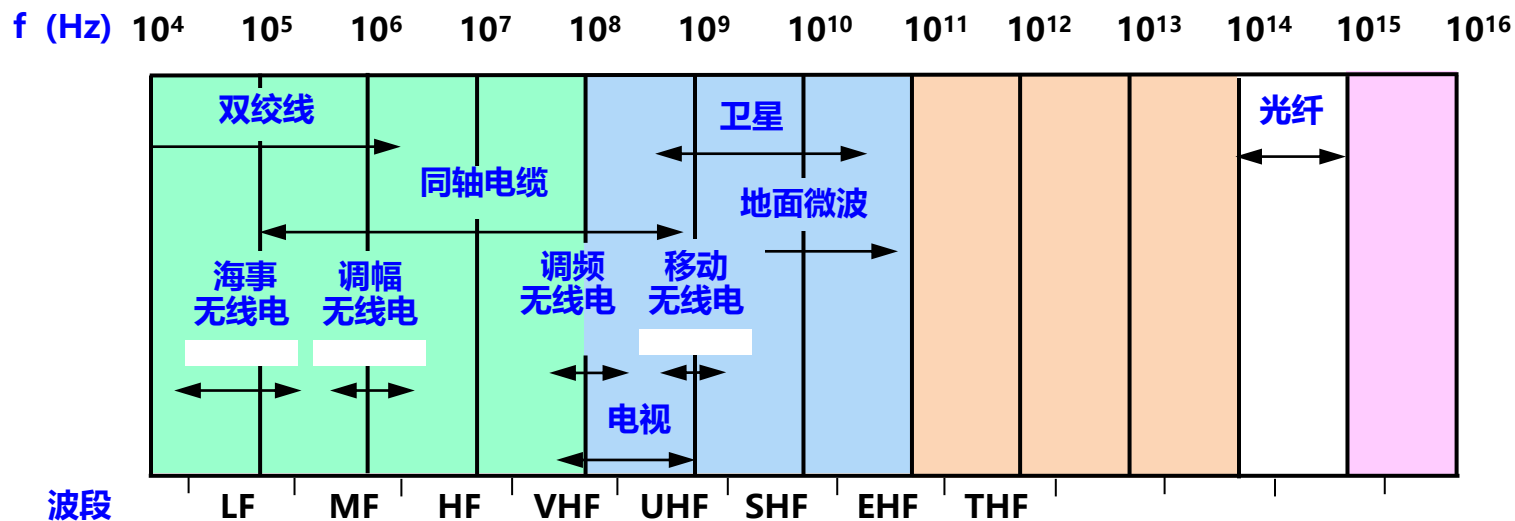
- (1) 通信容量非常大
- (2) 传输损耗小，中继距离长，对远距离传输特别经济。
- (3) 抗雷电和电磁干扰性能好。
- (4) 无串音干扰，保密性好，不易被窃听或截取数据。
- (5) 体积小，重量轻。

现在已经非常广泛地应用在计算机网络、电信网络和有线电视网络的主干网络中。



2.3.2 非导引型传输媒体

- 利用无线电波在自由空间的传播可较快地实现多种通信，因此将自由空间称为“非导引型传输媒体”。
- 无线传输所使用的频段很广：LF ~ THF (30 kHz ~ 3000 GHz)





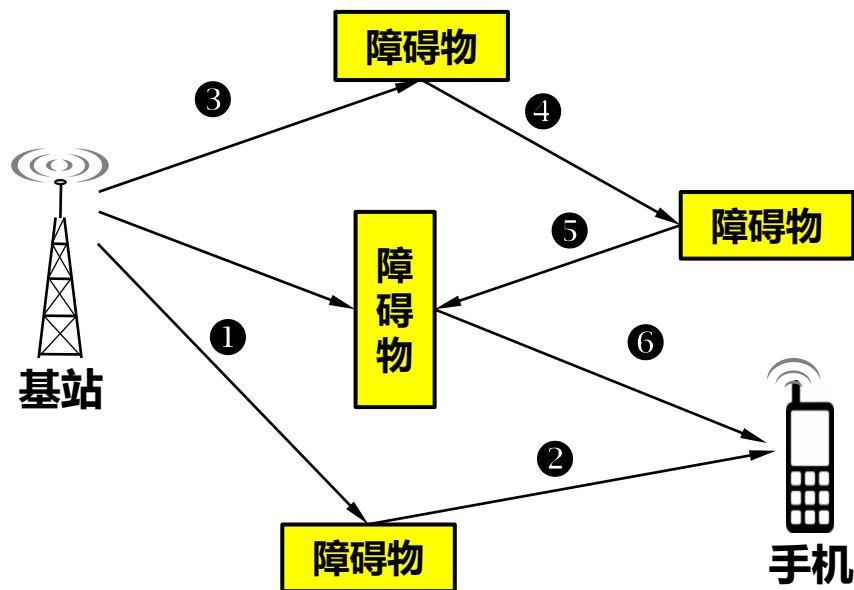
无线电微波通信

- 占有特殊重要的地位。
- 微波频率范围：
 - ◆ 300 MHz~300 GHz (波长1 m ~ 1 mm) 。
 - ◆ 主要使用：2 ~ 40 GHz。
- 在空间主要是**直线**传播。
 - ◆ 地球表面：传播距离受到限制，一般只有 50 km左右。
 - ◆ 100 m 高的天线塔：传播距离可增大到 100 km。



多径效应

- 基站发出的信号可以经过多个障碍物的数次反射，从多条路径、按不同时间等到达接收方。多条路径的信号叠加后一般都会产生很大的失真，这就是所谓的**多径效应**。



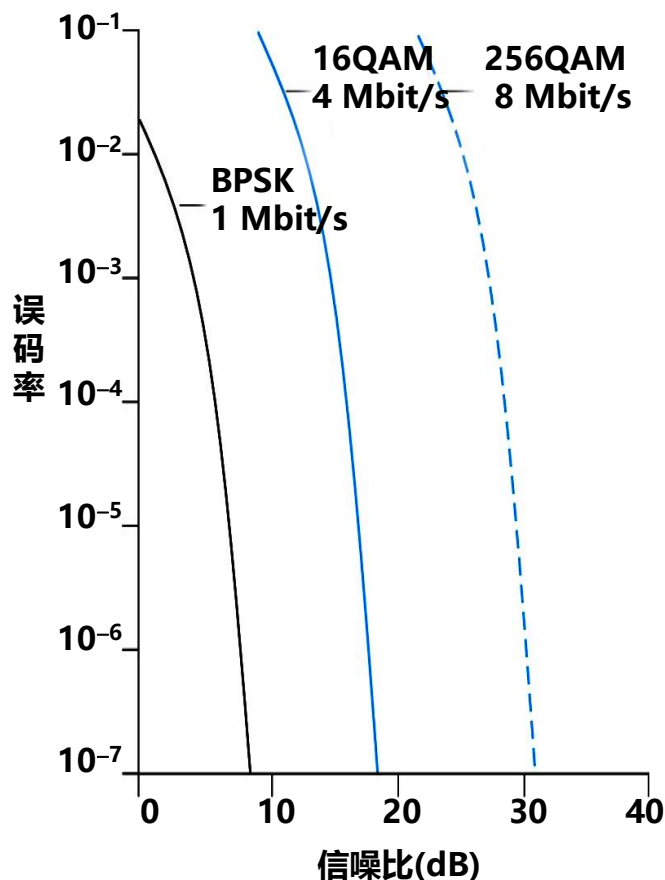
信号从

①→② 和 ③→④→⑤→⑥
两条路径到达手机。



误码率（即比特错误率）不能大于可容许的范围

- 对于给定的调制方式和数据率，信噪比越大，误码率就越低。
- 对于同样的信噪比，具有更高数据率的调制技术的误码率也更高。
- 如果用户在进行通信时不断改变自己的地理位置，就会引起无线信道特性的改变，因而信噪比和误码率都会发生变化。

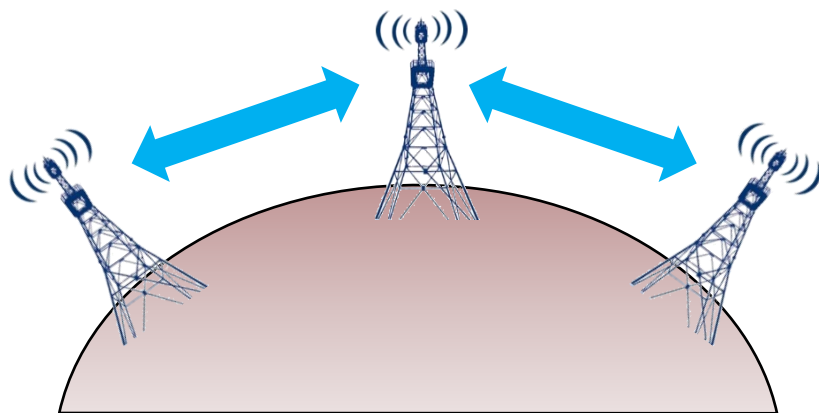


理想无线信道的误码率与信噪比、调制方式、数据率的关系

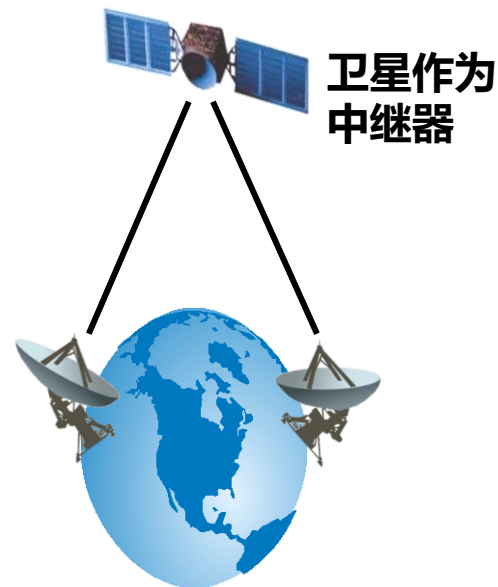


远距离微波通信：微波接力

- **微波接力：**中继站把前一站送来的信号**放大后再发送**到下一站。



100 m 高的天线塔可使传播距离
增大到 100 公里



同步地球卫星通信覆盖区的跨度
达 18000 多公里



远距离微波通信：微波接力

● 主要特点：

- ◆ (1) 微波波段频率很高，频段范围很宽，其通信信道的容量很大。
- ◆ (2) 工业干扰和天电干扰对微波通信的危害小，微波传输质量较高。
- ◆ (3) 与相同容量和长度的电缆载波通信比较，微波接力通信建设投资少，见效快，易于实施。

● 主要缺点：

- ◆ (1) 相邻站之间必须直视（常称为视距 LOS (Line Of Sight)），不能有障碍物，存在多径效应。
- ◆ (2) 有时会受到恶劣气候的影响。
- ◆ (3) 与电缆通信系统比较，微波通信的隐蔽性和保密性较差。
- ◆ (4) 对大量中继站的使用和维护要耗费较多的人力和物力。



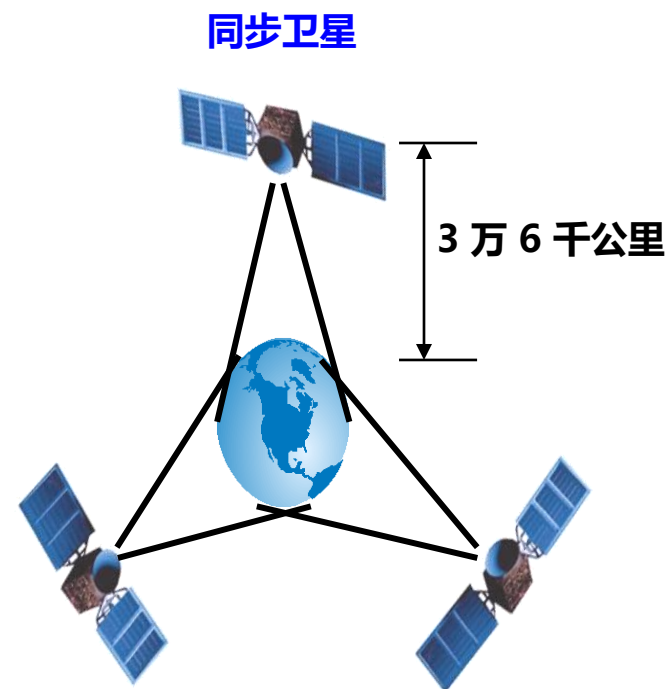
卫星通信

通信容量大，通信距离远，通信比较稳定，通信费用与通信距离无关。

但**传播时延**较大：在 250~300 ms 之间。

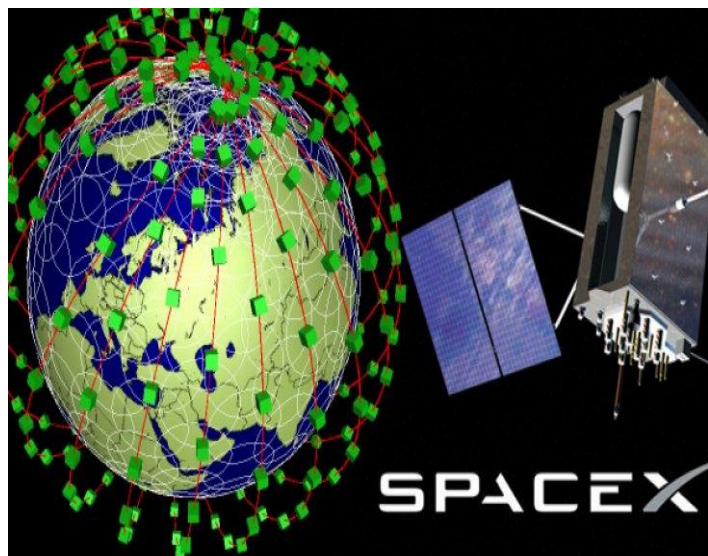
请注意：“卫星信道的**传播时延**较大”并不等于“用卫星信道**传送数据的时延**较大”。

保密性相对较差。造价较高。

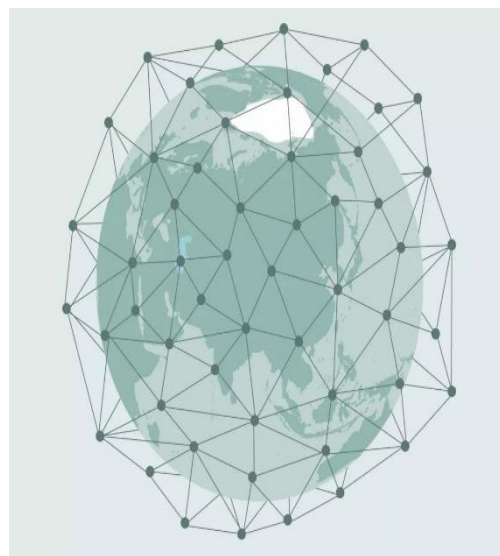




卫星通信



SpaceX 在 2015 年 1 月提出了
“星链” (Starlink) 计划



鸿雁卫星星座通信系统

低轨道卫星通信系统（卫星高度在 2000 公里以下）已开始使用。目前，大功率、大容量、低轨道宽带卫星已开始在空间部署，并构成了空间高速链路。

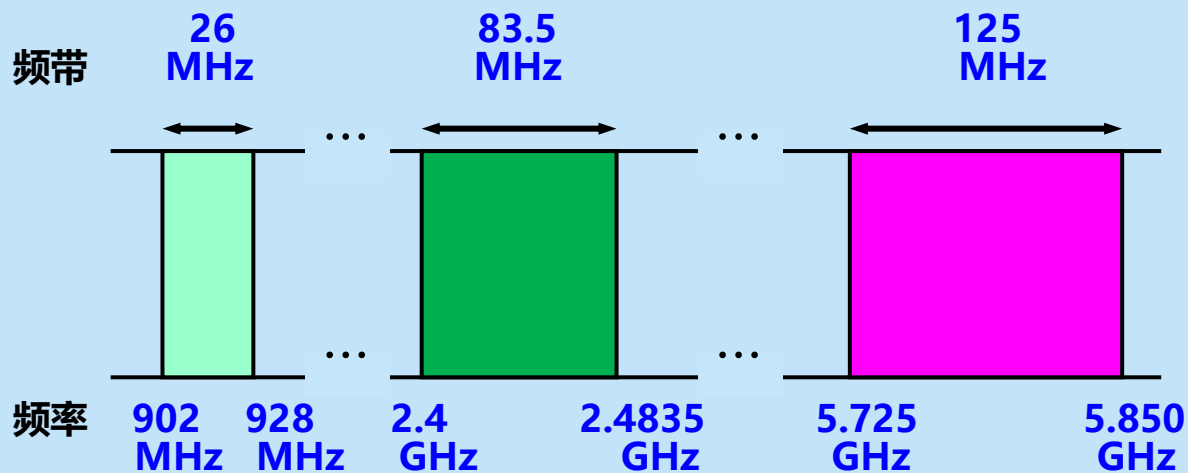


无线局域网使用的 ISM 频段

无线局域网：使用无线信道的计算机局域网。

无线电频段：通常必须得到无线电频谱管理机构的许可证。

ISM 频段：可以自由使用。





第 2 章：内容提纲

3.1 传输信道

👉 3.2 传输介质



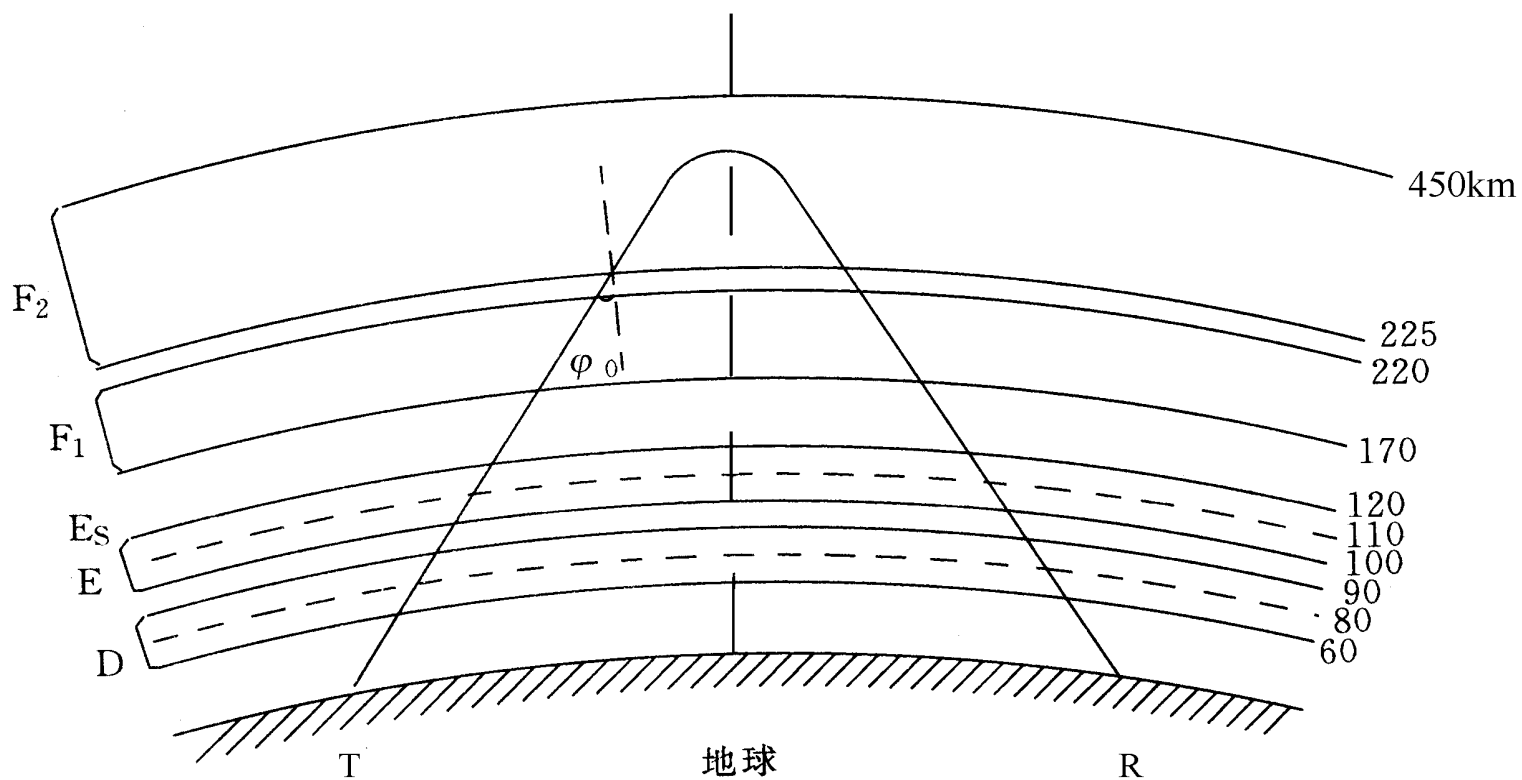
3.2.2 非导引型传输介质(续1)

1、短波传输

- 短波是指以波长为100m~10m(或频率为3~30MHz)的电磁波。实用短波是1.5~30MHz。短波(频率为2MHz以下)既可沿地球表面以地波形式传播(数百千米),而主要是以天波的形式靠大气层中的电离层反射传播(达几千千米~上万千米)。
- 电离层是离地面高度60~450km,受太阳紫外线和X射线作用而存在的由离子、自由电子和中性分子、原子组成的一个区域。
- 据实测,电离层由环绕地球处于不同高度的四个导电层组成: D、E、F₁和F₂。对短波传输起主要作用的是F层,且选用夜间工作频率低于白天的工作频率。

3.2.2 非导引型传输介质(续2)

电离层的构成



3.2.2 非导引型传输介质(续3)

- 短波通信的主要指标是通信质量和可通率。通信质量可用信噪比和差错率来表示。模拟通信用信噪比，而数字通信则用差错率。可通率(又称线路利用率)指通信线路接收端的信噪比高于可接受的最低信噪比的时间百分比。
- 如何正确选择短波通信频率？在一定的电离层条件下，存在一个最高可用频率MUF(指实际通信中能被电离层反射回地面的电波最高频率)。

$$MUF = \begin{cases} f_n = \sqrt{80.8 N_{e\max}} & (=0) \\ f_n \sec \varphi_0 & (\neq 0) \end{cases} \quad (2-24)$$

临界频率

入射角

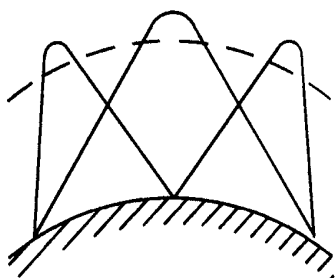


3.2.2 非导引型传输介质(续4)

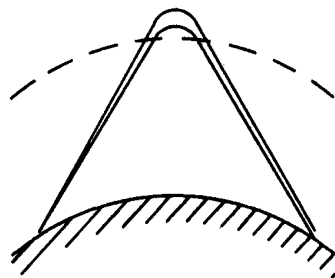
- MUF是电波返回地面或刚穿出电离层的临界值。考虑电离层结构的变化和保证长期稳定接收，实际选用的短波最佳工作频率是 $FOT=(85\%)MUF$ 。此时可通率达90%。
- **多径传播** 短波电波通过若干条路径或者不同的传播模式由发信点到达收信点的长度不同，而引起由发信点到达收信点的时间不同的现象。
- **多径时散** 指不同路径的时延差。它与路径长度、工作频率、昼夜、季节等因素有关。

3.2.2 非导引型传输介质(续5)

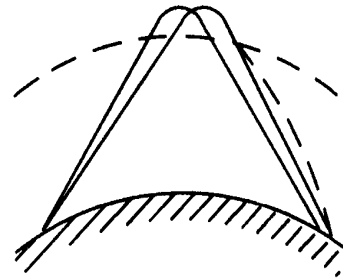
引起多径时散的几种主要因素



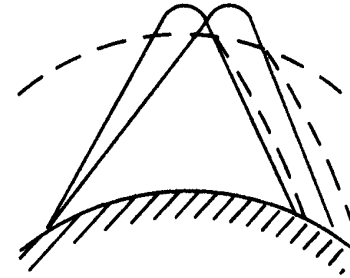
(a) 一次反射和二次反射



(b) 反射区的高度不同



(c) 寻常波与非寻常波



(d) 漫射现象

□ 多径时散对数据通信的影响主要体现在码间干扰上。为了保证传输质量，往往采用限制数据传输速率的措施。



3.2.2 非导引型传输介质(续6)

- **衰落** 指在短波传输过程中，收信电平出现忽高忽低随机变化的现象。衰落按其持续时间的长短分为**快衰落**(信号起伏持续时间仅几分之一秒)与**慢衰落**(持续时间可达一小时或更长)。
- 衰落的成因有三种：①**干涉衰落**，由多径传播所引起；②**吸收衰落**，由D、E层的吸收损耗所引起；③**极化衰落**，由电离层反射电波引起信号相位起伏不定所引起。



3.2.2 非导引型传输介质(续7)

- 除自由空间传播损耗外，还有电离层吸收损耗、地面反射损耗和系统额外损耗等附加损耗。吸收损耗主要在D、E层，通常吸收损耗为6~25dB。地面反射损耗与地面状况、电波入射角和工作频率有关，工程计算常取一次地面反射，损耗为20dB。系统额外损耗是指一些尚未被人们完全认识和难以计算的损耗，常用统计方法得到。如中纬度地区系统额外损耗可取15~18dB。



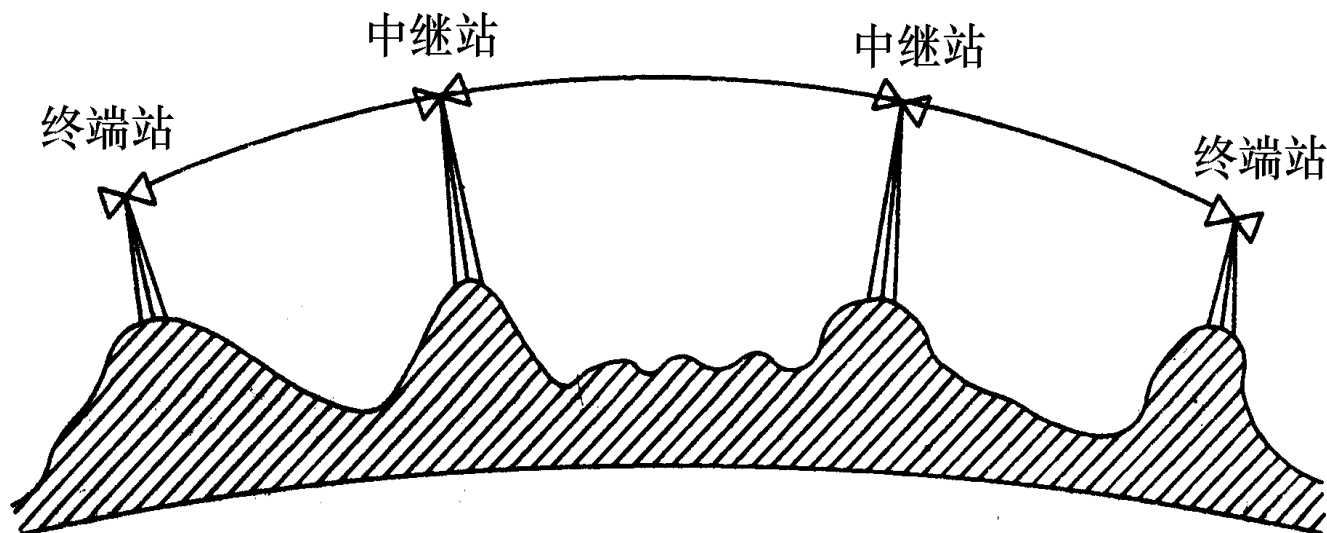
3.2.2 非导引型传输介质(续8)

短波通信的主要缺点是可靠性低、通信质量差。但通信距离远、所需发射功率低、设备费用适中，具有抗毁性强的中继系统(指电离层)和较高的机动性，因而在军事通信和移动通信中有着重要的实用价值。

3.2.2 非导引型传输介质(续9)

2、地面微波

□ **微波** 指在对流层的视距范围内，以波长为 $1\text{m} \sim 1\text{mm}$ (或频率为 $300\text{MHz} \sim 300\text{GHz}$)的电磁波进行信息传输的一种通信方式。





3.2.2 非导引型传输介质(续10)

- 地面微波传输采用多路复用的工作方式，且工作于射频的微波频段(常用1~40GHz)。因受地形和天线高度的限制，两通信站之间的距离一般在40~60km。远距离通信则采用中继方式。因此，多路复用、射频工作中继接力是地面微波传输的三个最基本的工作特点。
- 视距传播的两个中继站天线之间的最大距离为

$$d = 3.57(\sqrt{kh_1} + \sqrt{kh_2}) \quad (\text{km}) \quad (3-9)$$

k 是折射引起的调整系数，经验值为4/3



3.2.2 非导引型传输介质(续11)

自然环境对微波通信的影响

- (1) 地形对电波传播的影响
- (2) 大气对电波传播的影响
- (3) 传播损耗和电波衰落



3.2.2 非导引型传输介质(续12)

地形对电波传播的影响

- 地形对微波传播带来的影响主要表现在电波的反射、绕射和地面散射等方面。
- 反射的影响是指光滑地面或水面可将天线发射的部分信号能量反射到接收天线处，对主波信号产生干涉。
- 绕射的影响是指地面障碍物（山峰、森林、建筑物等）可能阻挡一部分电波射线，使收信点的接收电平降低。
- 地面散射通常呈乱反射状，这对主波信号影响较小，可以忽略不计。



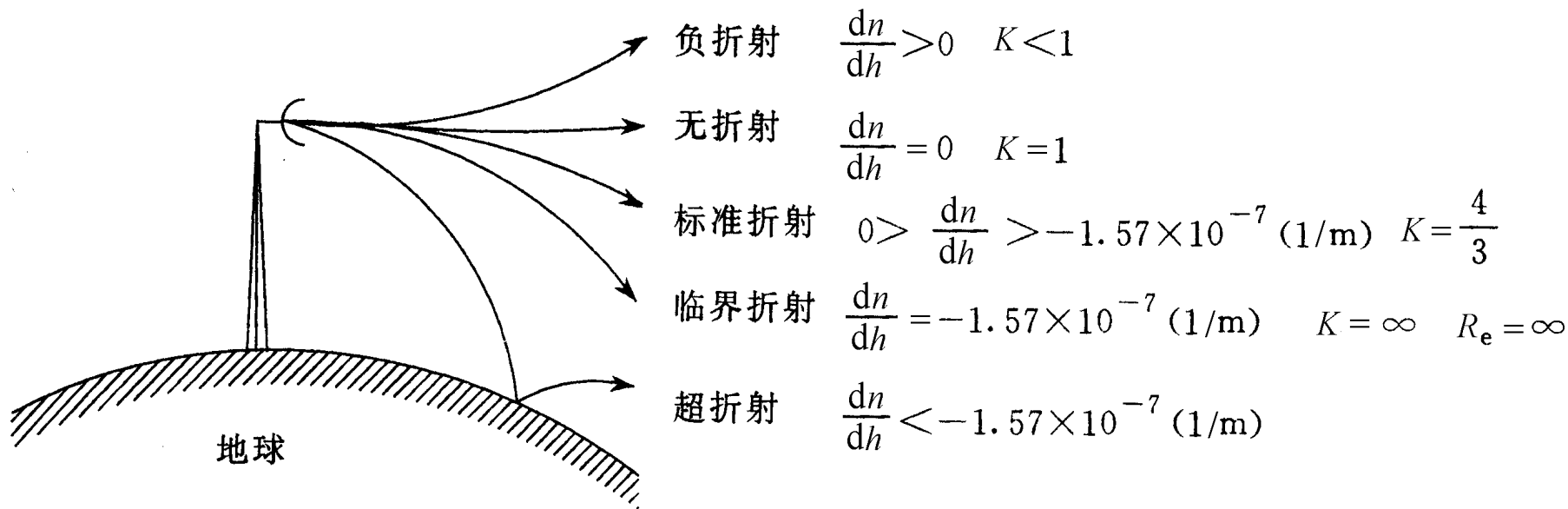
3.2.2 非导引型传输介质(续13)

大气对电波传播的影响

- 对流层是指地面以上大约10km范围内的低空大气层。对流层对电波传播的影响，主要表现在气体分子对电波的共振吸收、雨雾中水滴对电波的散射损耗，以及对流层结构的不均匀性使电波产生折射、反射、散射等现象，其中尤以大气折射的影响最为显著。

3.2.2 非导引型传输介质(续14)

不同大气折射的电波传播轨迹





3.2.2 非导引型传输介质(续15)

传播损耗和电波衰落

- 地面微波在对流层传播，因受到对流、平流、湍流及雨、雾、雪等因素的影响，再加上少量的地面反射波，收信点的场强会产生随机性的起伏变化，这种现象称为衰落。
- 引起衰落的原因是多方面的，但其主要原因还在于气象条件的变化和地面效应的影响。其中包括
 - ① 吸收衰耗。因为任何物质的分子都是由具有固有谐振频率的带电粒子组成的。



3.2.2 非导引型传输介质(续16)

② 雨雾引起的散射衰减。雨雾中的水滴表面对电波的散射会引起散射衰减。这种衰减随波长的缩短，雨雾量的增大而增加。

③ K型衰落。这是多径传播引起的干涉型衰落。其衰落深度随时间而变化。K型衰落除地面效应外，大气中有时会出现大气折射率的突变层，从而使电波产生反射或散射，造成电波的多径传播。还有地面上空的温度受昼夜、季节等影响也会周期性地构成大气逆变层，出现超折射现象，此时也极易发生电波的多径传播。



3.2.2 非导引型传输介质(续17)

④ 湍流引起的散射衰落。对流层中往往有一些具有不同温度、湿度和压强的空气团(低空气团的大小一般在60m以下)作无规则地漩涡运动,这就是大气湍流。当电波穿过这些气团时,因使其中的水分子受到激励引起电波向四周散射,形成了散射衰落。这种衰落持续时间较短,一般不会中断通信。

□ 为了对付上述衰落现象对微波通信带来的影响,除了提高发射功率、增加天线高度及选择有利地形等措施外,采用分集接收技术和抗衰落天线也是克服多径衰落的最有效的方法。



3.2.2 非导引型传输介质(续18)

微波通信的优缺点

- 优点：①频带宽、容量大。②受外界干扰小，可靠性和稳定性好。③易制成高增益、方向性强的天线，通信效果较好。④点-点通信，具有较大的灵活性。⑤投资省、见效快。
- 缺点：①中继站选点较复杂，对施工、维护带来不便。②易受自然环境的影响。③属于暴露式通信，易被截获窃听，通信保密性差。



3.2.2 非导引型传输介质(续19)

3、卫星微波

- 卫星通信是在地面微波中继通信和空间技术基础上发展起来的一种新的通信方式。因采用的是微波波段，俗称卫星微波。目前卫星微波在多种通信领域得到了广泛的应用。
- 卫星通信的两种方式：即发式通信和存储式通信。
- 如何选择卫星通信的工作频段？
 - ① 电波应能穿越电离层，尽可能减少传播损耗和外加噪声；
 - ② 应有较宽的频带，以便增大通信容量；
 - ③ 尽量避免与其他通信业务间的干扰；
 - ④ 充分利用和发挥现代通信与电子技术。



3.2.2 非导引型传输介质(续20)

□ 卫星通信的工作频段

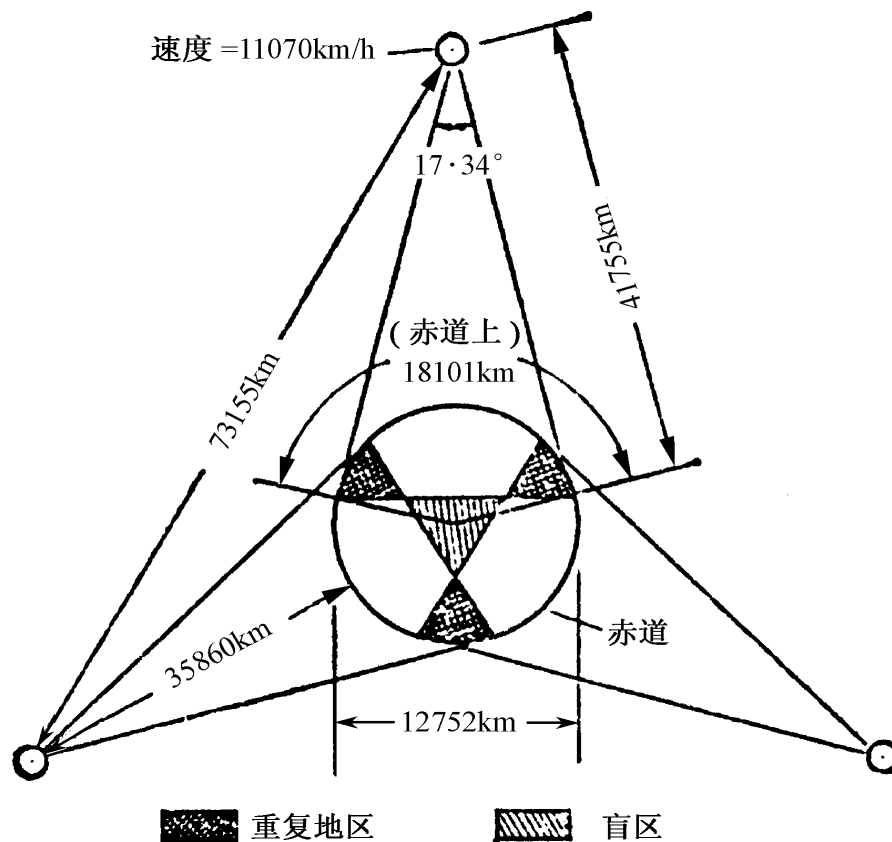
应选择在电波能穿越电离层的特高频或微波频段，它的最佳频段范围为1GHz~10GHz。ITU-T为卫星用户分配的工作频段见表3-3。

□ 卫星通信的特点

- ① 传播时延长，从一个地球站经卫星到另一个地球站的电波传播传播时间约需240~280ms(可取270ms)。
- ② 传播损耗大，达200dB左右。
- ③ 受大气层的影响大。
- ④ 覆盖面积广。

3.2.2 非导引型传输介质(续21)

对地静止的球同步地球卫星的配置





3.2.2 非导引型传输介质(续22)

4、散射传输

- **散射通信**是指利用大气层中传输媒体的不均匀性对无线电波的散射作用进行的超视距通信。
- **特点：**可在被高山、湖泊等障碍物阻隔数百千米的用户之间实现超视距通信，适合于军事应用。
- **散射通信**包括对流层散射通信、电离层散射通信和流星余迹散射通信。

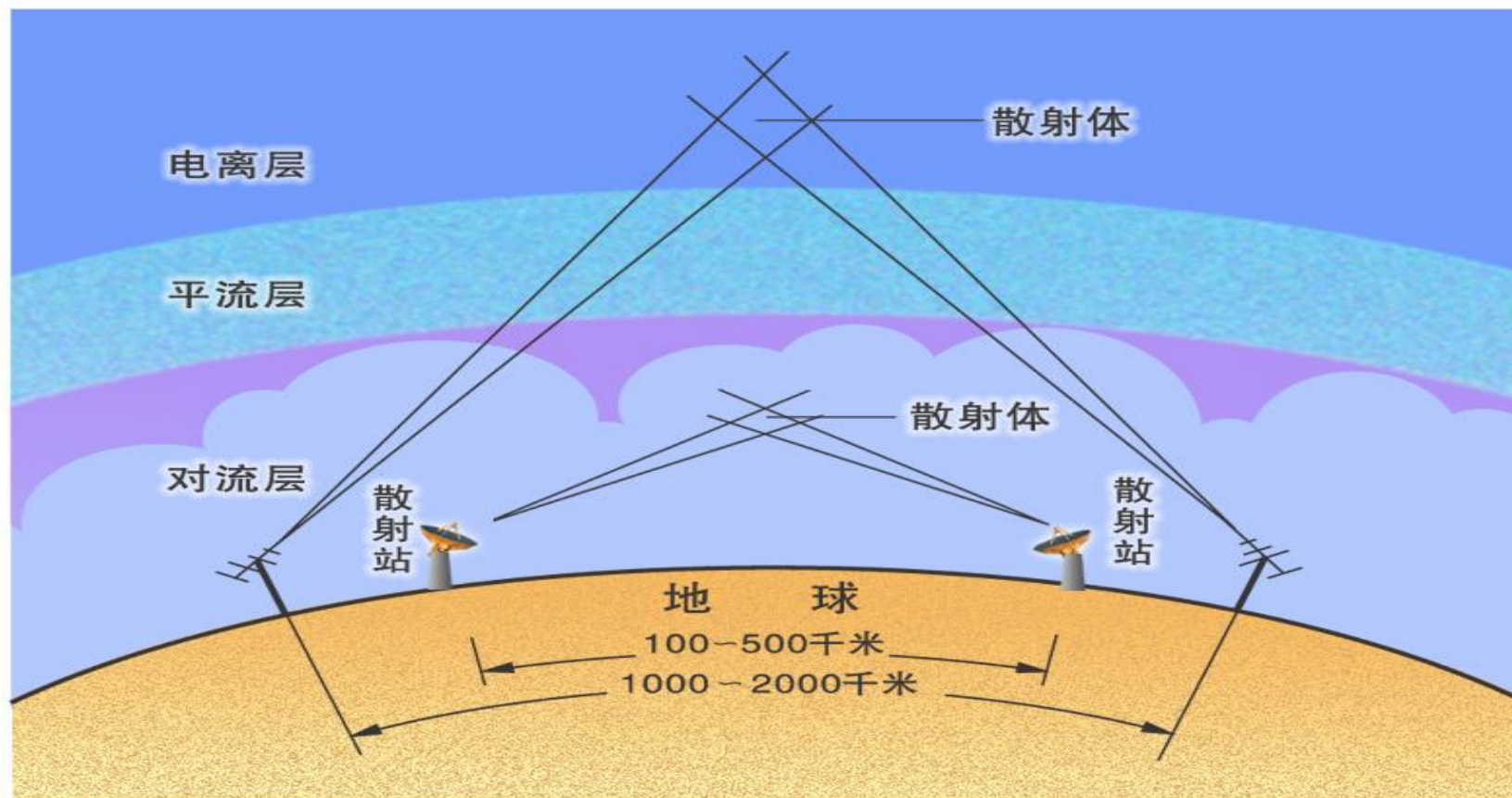


3.2.2 非导引型传输介质(续23)

对流层散射通信

- 对流层是指从地球表面至高度为18km的气体最稠密的大气空间。
- 对流层的高度与纬度有关，在中纬度地区约为10~12km。
- 对流层中存在着大量作随机运动的不均匀介质——空气涡流、云团等，它们的温度、湿度和压强等与周围空气不同，因而对电波的折射率也不同。
- 对流层散射通信就是利用对流层大气结构的不均匀性来实现的超视距无线电通信。

3.2.2 非导引型传输介质(续24)



- 对流层内的散射体是空气涡流和云团，而电离层内的散射体是流星余迹。



3.2.2 非导引型传输介质(续25)

- 对流层散射信道存在电波多径传播现象。由多径传播引起的衰落是快衰落。除快衰落之外，由于气象条件的有规律变化（昼夜、季节变化）和随机变化（如气流运动、大气风的影响等），会造成接收信号电平中值（或均方根值）存在较长的慢起伏，这是慢衰落。

对流层散射通信的特点

- ① 单跳通信距离较远，通常为100～500km。
- ② 通信容量大，比地面微波小，而比卫星微波大。
- ③ 抗干扰、抗截获能力强。
- ④ 通信保密好。



3.2.2 非导引型传输介质(续26)

对流层散射通信的特点(续)

- ⑤ 抗核爆能力强。
- ⑥ “越障”能力强，机动性好。
- ⑦ 抗毁能力强。

对流层散射通信存在的主要问题：传输损耗大和较深的快衰落。

对流层散射通信是军事通信中战略通信网和战术通信网中的主要传输手段，



3.2.2 非导引型传输介质(续27)

5、光波传输

- 紫外线、可见光和红外线都属于光波的范畴。光波的波长在 $3 \times 10^2 \sim 60 \times 10^4 \mu\text{m}$ ，频率在 $3 \times 10^{12} \sim 5 \times 10^{16} \text{Hz}$ ，其电磁频谱的分布情况见图2-13。
- 光波通信目前有三种分类：①按照光源特性的不同，分为激光通信和非激光通信。②按照传输媒体的不同，分为大气激光通信和光纤通信。③按照传输波段的不同，光波通信分为可见光通信、红外线(光)通信和紫外线(光)通信。



3.2.2 非导引型传输介质(续28)

- 大气激光通信可传输语音、文字、数据、图像等信息。它具有抗干扰性好、设备轻便、保密性强、机动性等优点，但使用时收、发天线相互对准较为困难，通信距离限于视距(XXm)范围，易受气候影响，尤其在恶劣气候条件下会造成通信中断。不同波长的激光在大气中有不同的衰减，必须合理地选择工作波长。
- 红外线和紫外线被广泛用于短距离通信。它具有方向性、便宜和易于制造的优点。但不能穿透固体物质是红外应用上的一个特点。红外和紫外辐射都存在工作窗口(如 $1\sim 3\mu m$ 、 $3\sim 5\mu m$ 和 $8\sim 14\mu m$)，只有选择此窗口波段才能使大气吸收最小。



【4-1】 【4-2】 要点:

- **1. 基带调制和带通调制**
- **2. 信道的极限容量: Nyquist准则、香农定理及其计算**
- **3. 多模光纤与单模光纤的区别**
- **4. 光纤通信中光波的波段 (带宽的计算)**
- **5. ISM 频段**
- **6. 视距传播的两个中继站天线之间的最大距离的计算**

作业【4】：

- **作业4： P66：**
- **【3-3】 假定要用3kHz带宽的电话信道传送64kb/s的数据(无差错传输)，试问这个信道应具有多大的信噪比(分别用比值和分贝来表示)?这个结果说明了什么问题?**
- **【3-4】 假定信道带宽为3100Hz，最大数据信号速率为35kb/s。若想使最大数据信号速率增加60%，问信噪比S/N应增大到多少倍? 如果在刚才计算出的基础上将信噪比S/N再增大到10倍，再试问最大信息速率能否再增加20%?**

作业4:

- 【3-5】 设在某信道上实现传真传输。每幅图片约有 2.55×10^6 个像素，每个像素有12个等概率出现的亮度等级。设信道输出信噪比 S/N 为30dB。试求：
(1) 若传送一幅图片需时1min，则此时的信道带宽应为多少？
(2) 若在带宽为3.4kHz的信道上传送此幅图片，那么传送一幅图片所需的时间是多少？
- 【1-14】 假设波长等于 $1\mu\text{m}$ ，试问在 $0.1\mu\text{m}$ 的频段中可以有多大的带宽？
- 【3-6】 若在一条光纤上传送若干幅计算机屏幕图像。屏幕的分辨率为 2560×1600 像素，每个像素24位。每秒钟产生60幅屏幕图像，**已知信噪比为30dB**。试问光纤需有多少带宽？如在 $1.30\mu\text{m}$ 波段需要多少微米的波长（**范围**）？
- 【3-8】 设一种双绞电缆的衰减为0.65dB/km，若允许在该电缆上衰减为20dB，试问使用这种电缆的链路工作距离是多少？欲使这种电缆工作距离增加到100Km，试问其衰减应减少到何种程度？

作业4:

- 【3-12】 如果发送端的发送天线高度为100m，接收端暂时未竖立天线，试问这两个天线之间的最大视距传播距离是多大？若将接收端接收天线高度设为10m，如仍保持发收天线之间的距离，那么发送天线的高度应为多少？由此可得出什么结论？
- 【3-15】 假设卫星离地面高度为36000km，信号以光速传播，卫星转发需时53us。试问：信号从地球站往卫星又从卫星返回所需要的时间。



谢谢大家

Any Question?

