

数据通信



传输媒体

殷亚凤

yafeng@nju.edu.cn

<http://cs.nju.edu.cn/yafeng/>
Room 901, Building of CS



传输媒体



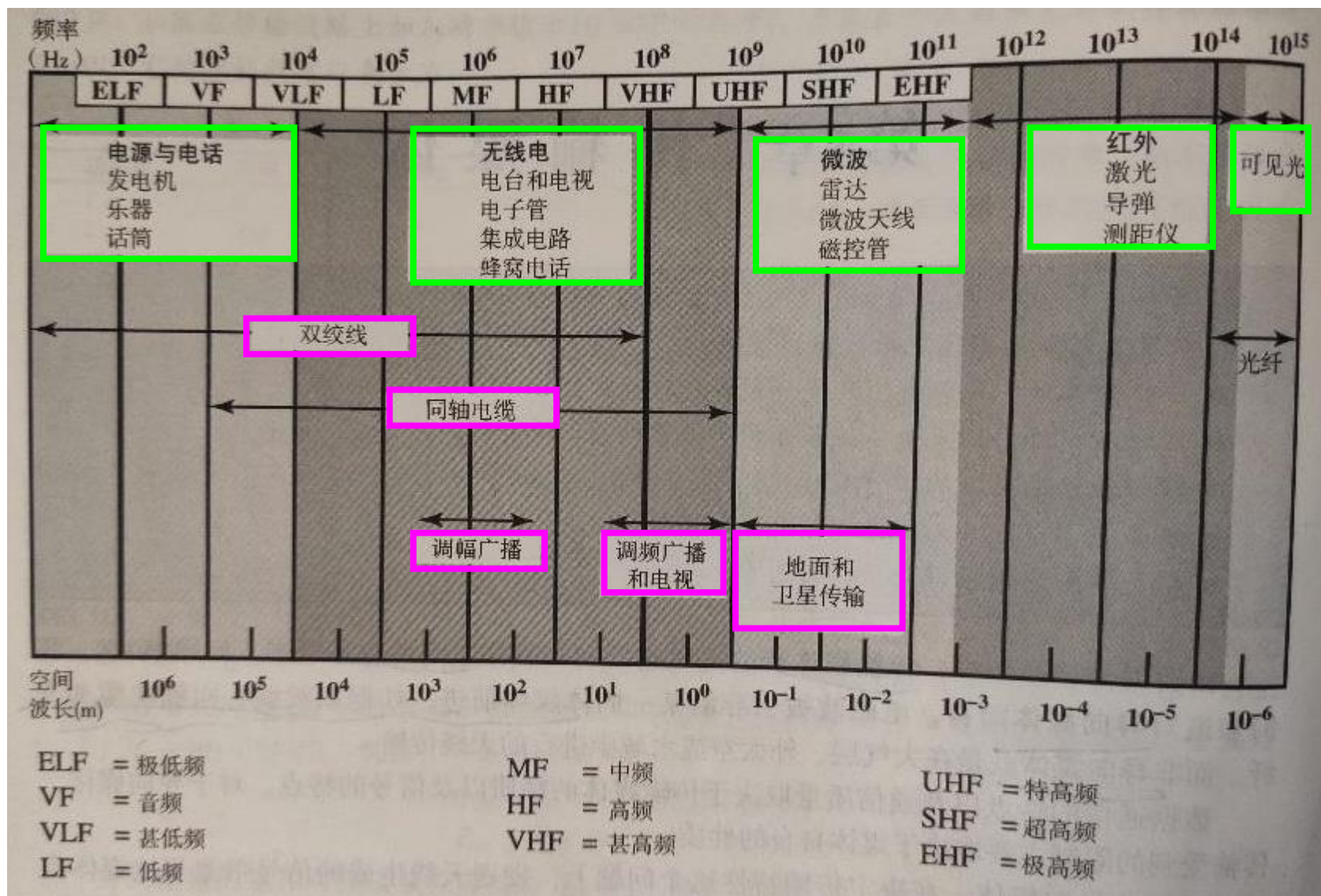
- 传输媒体是发送器和接收器之间的物理通道
- 传输媒体和信号的特点决定了通信质量
 - 导向媒体 — 媒体自身的特性
 - 非导向媒体 — 发射天线的信号特征
- 主要指标：数据率与传输距离（数据率越大越好，传输距离越远越好）

影响因素



- 决定数据率和传输距离的许多因素都与**传输媒体及信号**有关：
 - **带宽**：当其他因素保持不变时，信道带宽越宽，能够达到的数据率越高。
 - **传输损伤**：诸如衰减之类的传输损伤限制了传输的距离。
 - **干扰**：在频率重叠的区域内，相互竞争的信号之间会互相干扰，可能导致信道的失真或丢失。
 - **接收器的数量**：对于共享链路，每个连接的设备都会给这条链路带来不同程度的衰减和失真，从而限制了传输距离和/或数据率。

电磁波频谱





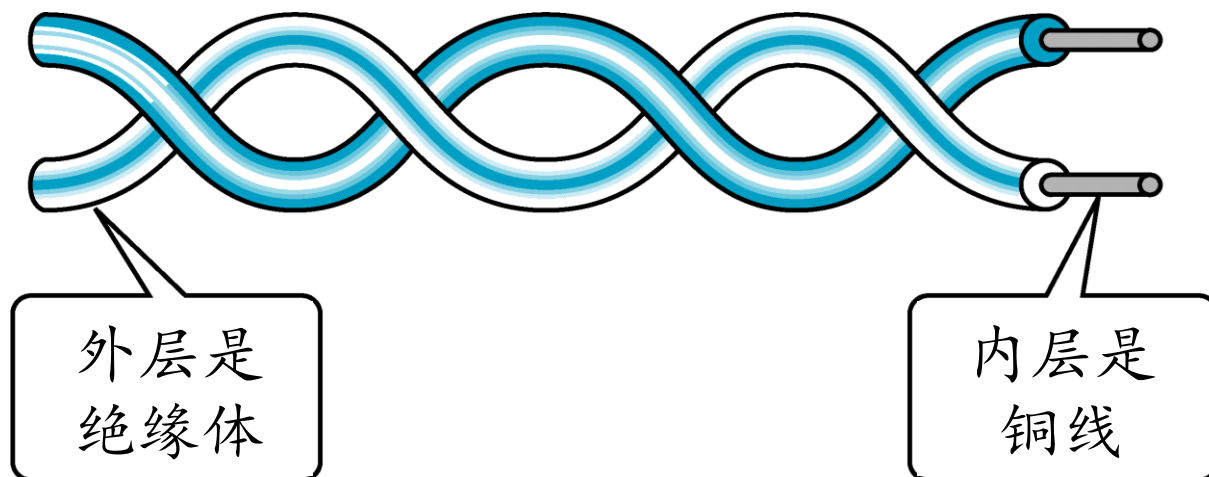
1. 导向传输媒体
2. 无线传输
3. 无线传播
4. 视距传输

导向媒体



- 导向传输媒体的传输容量，可以用数据表示，它主要取决于传输的距离，以及媒体是点对点的还是多点的。
- 数据传输常用的3种导向媒体：
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤

导向媒体：双绞线



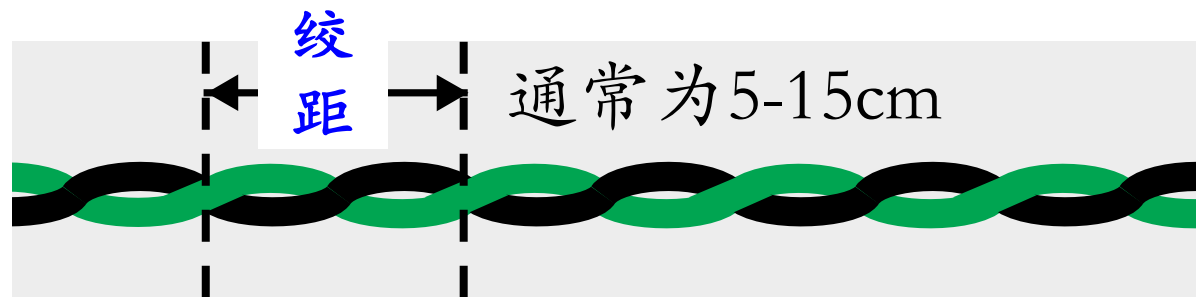
双绞线是最**廉价**使用最**广泛**的导向媒体：

- **2根**彼此绝缘的铜线，按照规则的螺线状绞合在一起；
- **一对线**作为一个通信链路使用，将许多这样的线对捆扎在一起，并用保护皮包裹成一根电缆；
- **线对绞合**是为了减轻同一个线缆内的相邻线对之间的串音干扰；
- 可以传输**模拟**信号和**数字**信号。

导向媒体：双绞线



- 分别绝缘
- 绞合
- 经常捆绑成电缆
- 在建楼时经常预先铺设在建筑物中



不论对模拟信号还是数字信号，最常用的就是双绞线：

- **模拟信号**：电话传输系统
- **数字信号**：建筑物内的局域网上支持个人计算机间的通信

双绞线：传输特性



- 模拟传输

- 每 5~6km 使用一个放大器
- 对于点到点模拟传输，带宽可达1MHz，容纳多个话音信道

- 数字传输

- 每 2~3km 使用一个转发器
- 远距离点到点传输，数据率可到几Mbps；近距离如100米双绞线可到10Gbps的数据率

- 衰减

- 随频率的增高而迅速增加
- 易受信号反射或回波损耗的影响
(变化每一对线的缠绞度，采用差分传输可以免疫低频干扰)

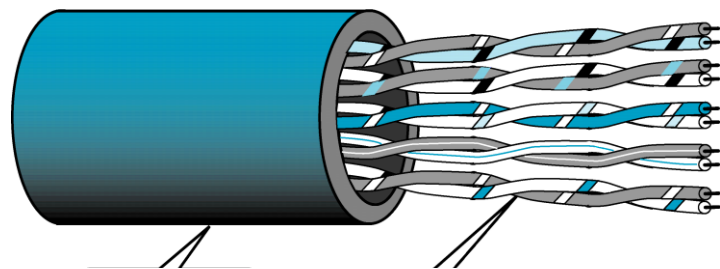
双绞线: 无屏蔽和屏蔽双绞线



- 无屏蔽双绞线

- 包含一根或多根双绞线缆，通常一起包在一个热塑套管内，**没有电磁屏蔽层**
- 常见形式是普通电话线
- **绞距**越小，支持的传输速率越高，造价越贵

- 无屏蔽双绞线在**外部电磁场的干扰**面前相当脆弱，这些干扰包括来自相邻双绞线的干扰和周围环境产生的干扰。



塑料外套

5对双绞线

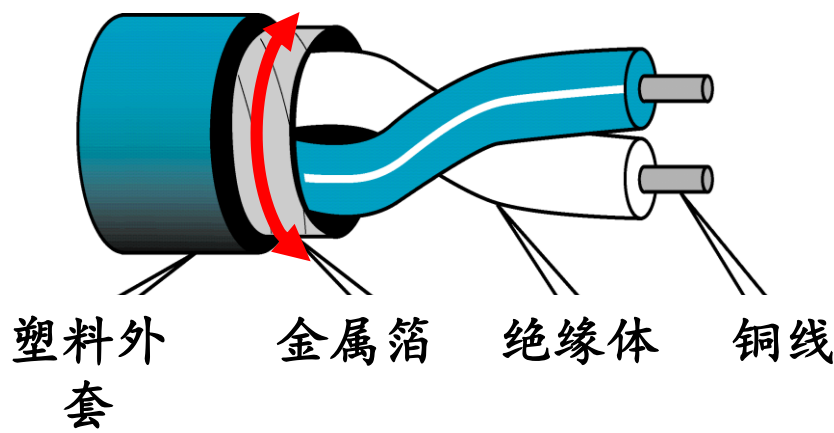


无屏蔽双绞线

双绞线：无屏蔽和屏蔽双绞线



- **屏蔽双绞线**：有3种不同的产品配置
 - **金属箔双绞线**：每一对线独立地由金属箔屏蔽
 - **屏蔽的双绞线**：套管内有一层金属箔或金属带覆盖所有线对（作为一组）
 - **完全屏蔽双绞线缆或屏蔽的/金属箔双绞线**：每一对线有独立的屏蔽，同时整组线缆还有屏蔽
- 屏蔽减少了干扰，在高数据率时有更好的表现。但它比无屏蔽双绞线价格要贵。



屏蔽双绞线

用于数据传输的双绞线分类



- 由国际标准化组织ISO和国际电子技术委员会IEC联合发布标准，指明了多种布线类别和相关的部件：
 - 类别5e/D类：描述类似1Gbps比特以太网这样的应用所需要的传输性能特性。
 - 类别6/E类：为新建筑物指定的结构化布线主流。
 - 类别6A/E_A类：针对10Gbps以太网应用。
 - 类别7/F类：使用完全屏蔽双绞线对，以支持10Gbps以太网以上的下一代应用。
 - 类别7A/F_A类：基于F类布线需要提出，将频率带宽扩展到1GHz。

用于数据传输的双绞线分类



	类别 5e/D	类别 6/E	类别 6A/E _A	类别 7/F	类别 7A/F _A
带宽	100 MHz	250 MHz	500 MHz	600 MHz	1,000 MHz
电缆类型	UTP	UTP/FTP	UTP/FTP	S/FTP	S/FTP
插入损耗 (dB)	24	21.3	20.9	20.8	20.3
近端串扰 损耗(dB)	30.1	39.9	39.9	62.9	65
衰减串扰 比(ACR)	6.1	18.6	19	42.1	44.1

UTP: 无屏蔽双绞线对;

FTP: 金属箔双绞线对;

S/FTP: 屏蔽/金属箔双绞线对

用于数据传输的双绞线分类

- **插入损耗**：从发送系统到接收系统链路上的衰减，越小越好

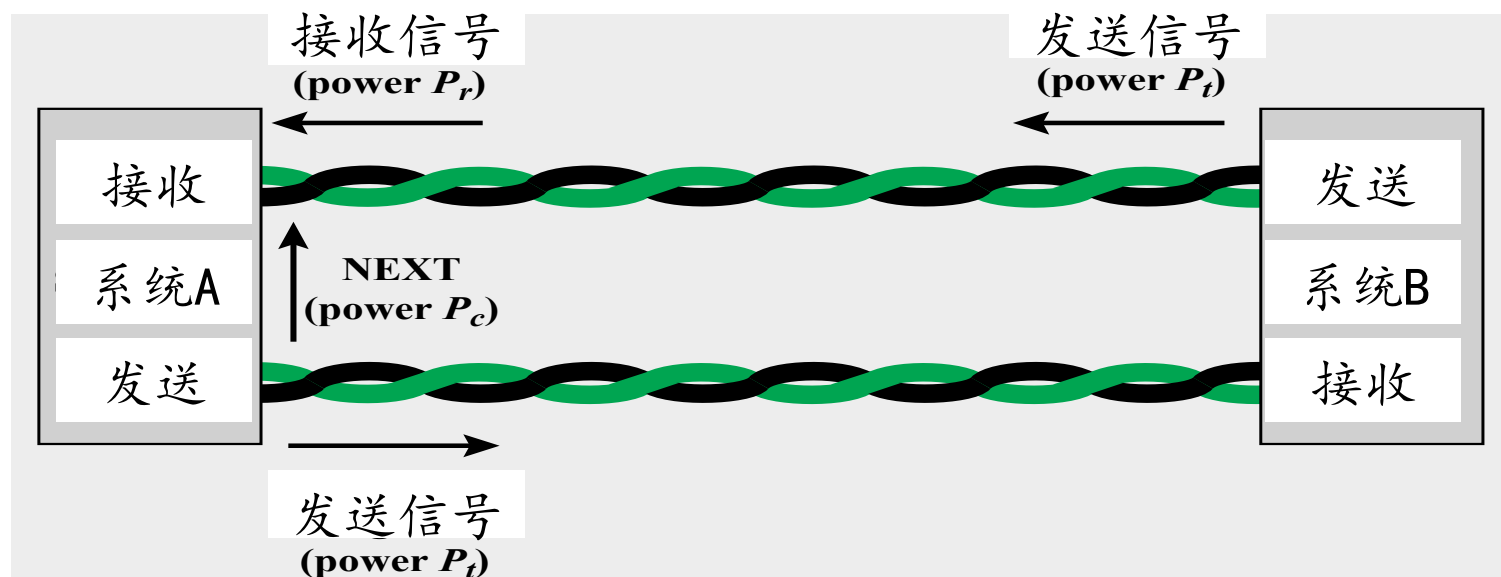
$$A_{dB} = 10 \lg \frac{P_t}{P_r}$$

- **近端串扰损耗 (NEXT)**：从一对导体到另一对导体上的信号耦合

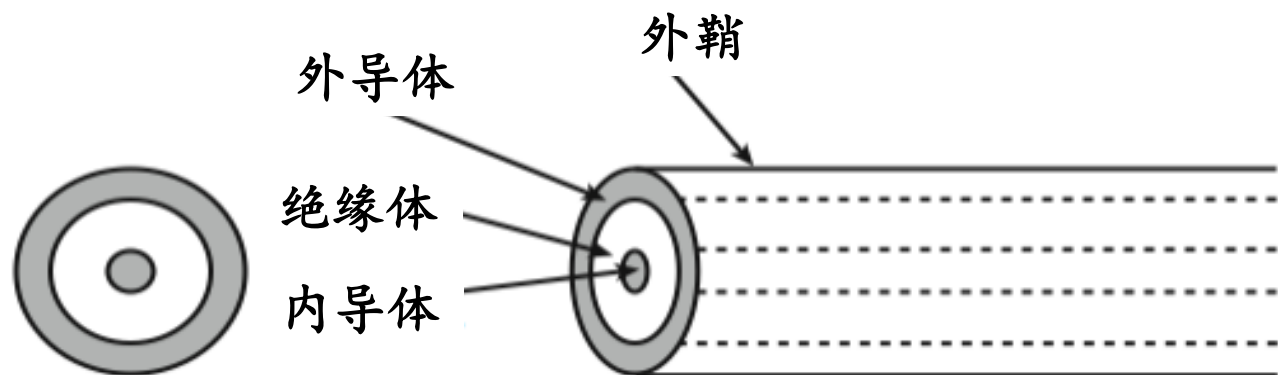
$$NEXT_{dB} = 10 \lg \frac{P_t}{P_c}$$

- **衰耗串扰比 (ACR)**：衡量接收信号强度和同一线对的串扰比值大小的度量

$$ACR_{dB} = NEXT_{dB} - A_{dB}$$



同轴电缆

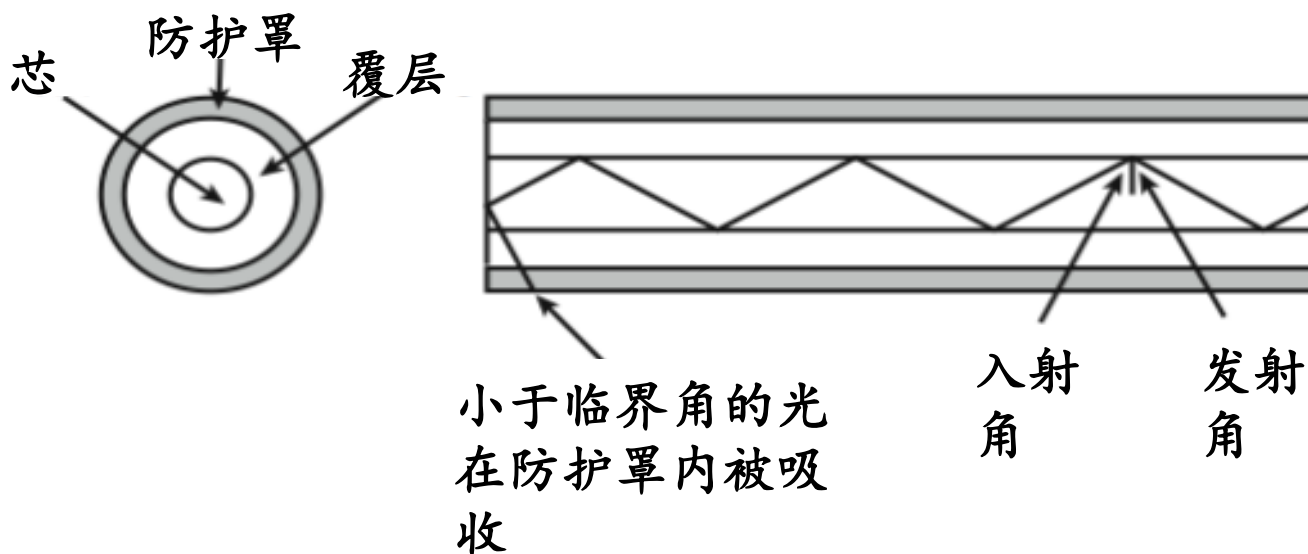


- 同轴电缆可以被用于长距离传输和更多的复用
 - 由一根空心的圆柱形外导体和一根柱形的内导线组成
 - 内导线由规则相间的绝缘环或不导电的物质固定住
 - 外导线由保护罩或屏蔽罩覆盖
 - 可用于模拟和数字信号传输
 - 电视信号，长距离电话传输，计算机系统之间的短距离连接，局域网

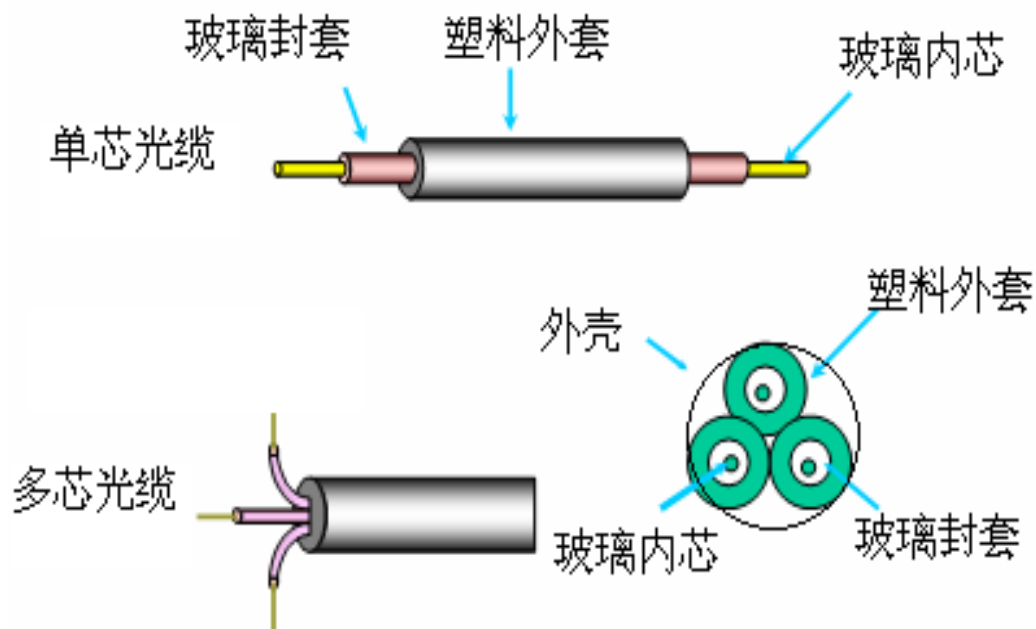
光纤



- 光纤是一种纤细、柔韧并能够传到光线的媒体。有多种玻璃和塑料可用于制造光纤。
 - 芯：由玻璃或塑料制成的细丝构成
 - 覆层：由光特性与芯不同的玻璃或塑料制成
 - 防护罩：是一层硬塑料外套，用来保护玻璃不受潮湿和其他物理损害。



光纤



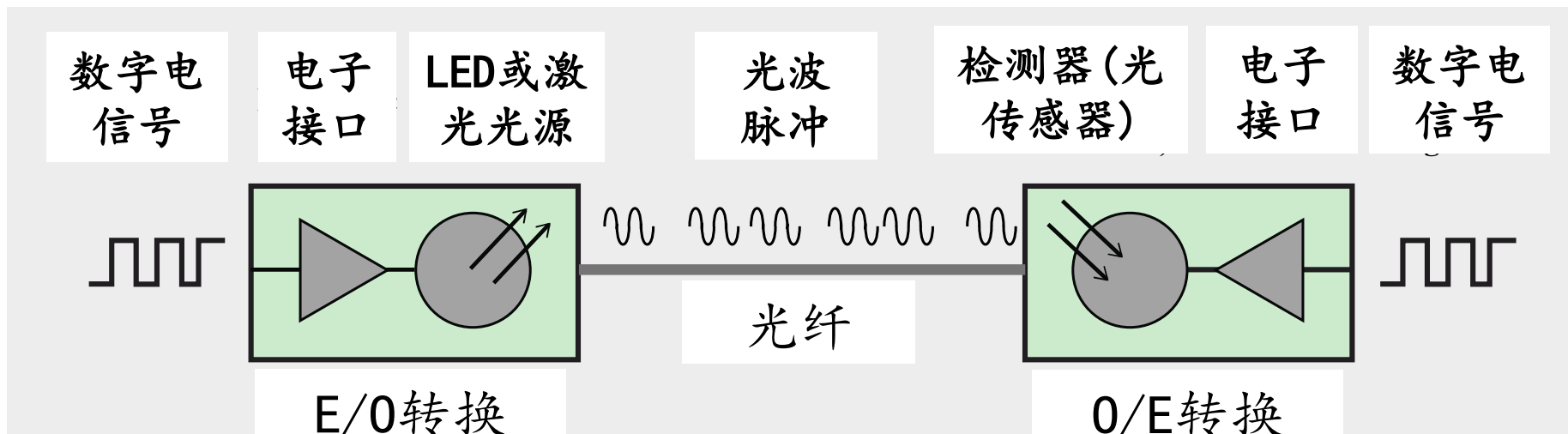
- 光缆为光纤提供保护，使之避免安装过程中的挤压以及安装后来自环境的压力：
 - 光缆内部可能仅含一根，也可能包含数百根光纤
 - 光缆的最外层是护皮，包裹着一根或一束光纤

光纤: Optical Fiber



- **容量更大:** 带宽潜能巨大, 数据率潜能巨大。能够以数百吉比特每秒的数据率传输几千米。
- **体积更小, 质量更轻:** 光纤比同轴电缆或捆扎在一起的双绞线电缆要细得多, 其更轻的质量也减少了用于支持管道的附属设施。
- **衰减更小:** 与同轴电缆和双绞线相比, 光纤的衰减大大降低, 而且在相当大的范围内保持和规定。
- **隔绝电磁场:** 不受外部电磁场的影响, 防止了信息被窃听。
- **转发器的间隔更远:** 需要使用的转发器越少, 意味着费用越低, 故障点越少。

传输特性

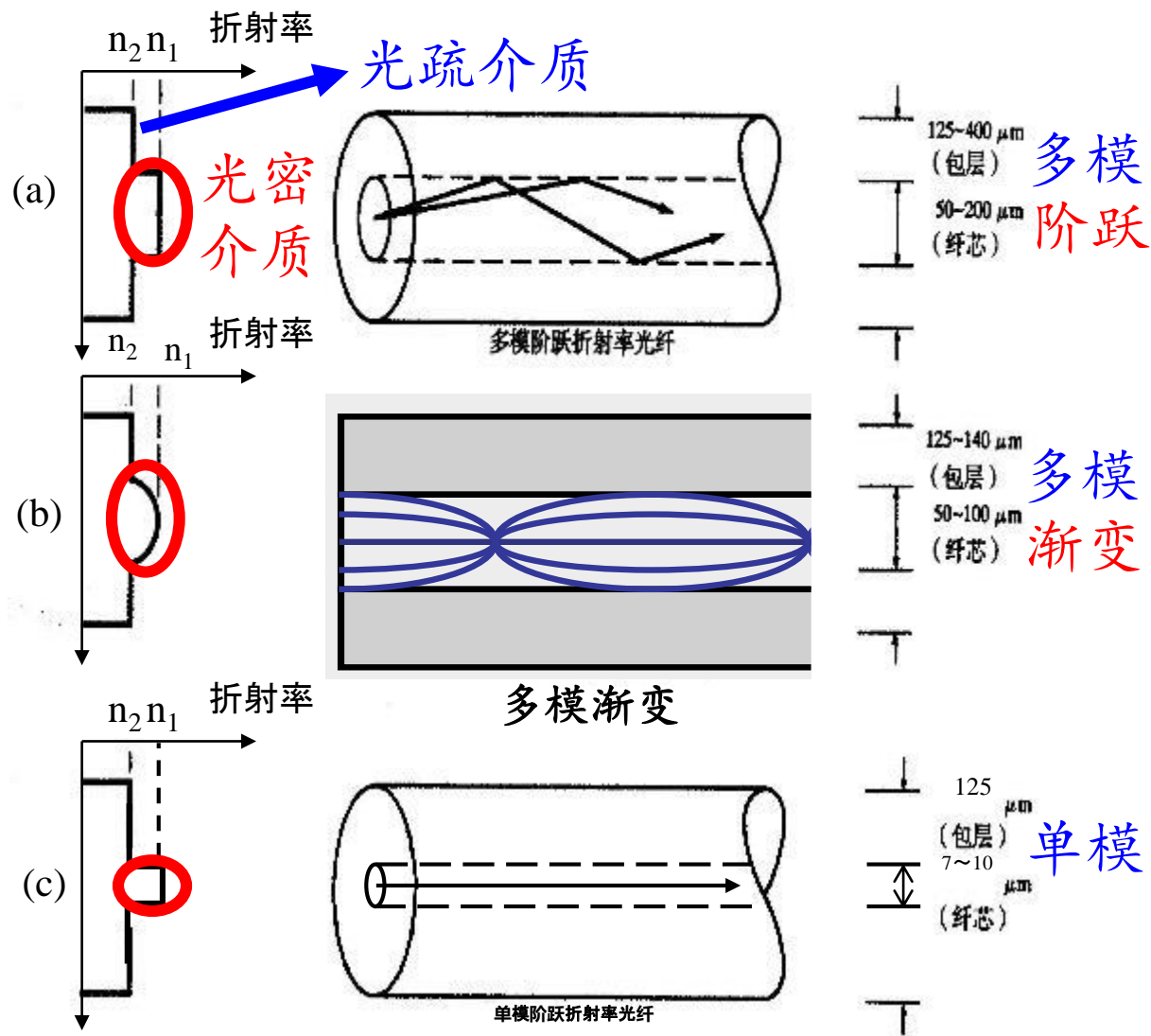


光纤通信

- **发送器**以数字信号为输入，电信号通过电子接口被送入LED或激光光源；
- **光源**根据输入的电信号对数字数据进行编码，产生一系列光脉冲；
- **接收器**包括一个光传感器，用于检测传入的电信号，并将其转回数字电信号。

传输特性

- 按折射率分类
 - 阶跃型
 - 渐变型
- 按模式分类
 - 多模光纤
 - 单模光纤



光纤结构示意图

传输特性



- 光纤可利用的带宽相当可观，4个传输窗口的带宽分别为33THz，12THz，4THz，7THz

表4.3 光纤应用的有效频率

(在真空中)波长范围 (nm)	频率范围 (THz)	波段标记	光纤类型	应用
820 ~ 900	366 ~ 333		多模	局域网
1280 ~ 1350	234 ~ 222	S	单模	多种
1528 ~ 1561	196 ~ 192	C	单模	WDM
1561 ~ 1620	192 ~ 185	L	单模	WDM

WDM = wavelength division multiplexing (波分复用, 见第8章)

传输媒体



1. 导向传输媒体
2. 无线传输
3. 无线传播
4. 视距传输

无线传输



30MHz~1GHz

- 射频区域
- 适用于全向通信

1GHz~40GHz

- 微波频率
- 高方向性波束
- 适用于点对点传输
- 也用于卫星通信

$3 \times 10^{11} \sim 2 \times 10^{14}$ Hz

- 红外线
- 在特定区域支持点对点，点对多点应用

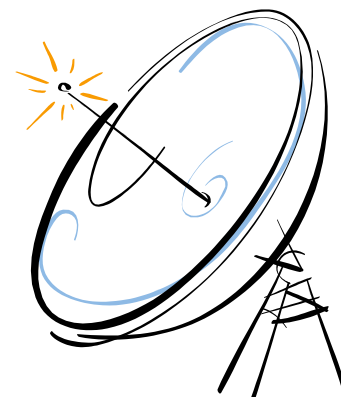
天线



- 天线

- 发射电磁能量和收集电磁能量的电导体或电导体系统
- 来自发送器的无线电频率的电能量被天线转换成电磁能量，并由天线发射到周围环境中；
- 接收信号时，碰撞天线的电磁能量被转换成无线电频率的电能量，并输送到接收器。

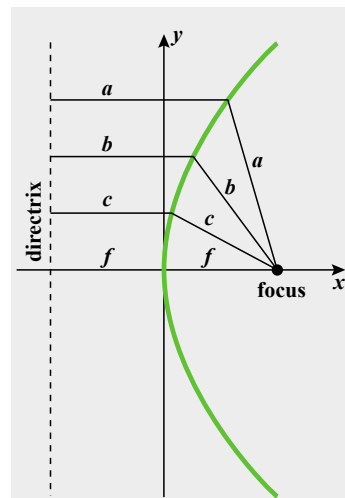
- 双向通信中，同一个天线可用于发送和接收(同频)



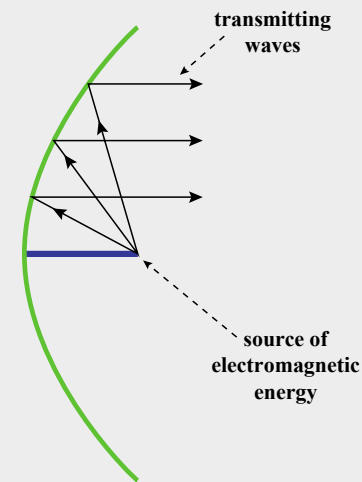
天线



- 天线向所有方向发射能量，但通常能量在各个方向上分布不均匀，通常用发射曲线来表达：
 - 各向同性天线/全向天线：以天线为中心的圆，是一种理想化的天线（它是空间中的一个点，均等地向所有方向发射能量）
 - 抛物面反射天线：是一种重要的天线类型，那些到定直线的距离等于到定点的距离的点形成的抛物线，抛物线绕轴线旋转形成抛物面



(a) Parabola



(b) Cross-section of parabolic antenna showing reflective property

天线增益



- **天线增益**：该天线在**特定方向上**的输出功率与由完美的全向天线在任意方向上产生的功率之比。

$$G_{dB} = 10 \lg(P_2/P_1)$$

G的天线增益， P_1 、 P_2 是定向、参考天线的发射功率

例4.3 假设某定向天线与参考天线相比有6 dB的增益，并且发射功率为700 W。若要让参考天线在指定方向上提供相同的信号功率，则它的发射功率应为多少？解答过程如下。

$$6 = 10 \lg(P_2/700)$$

$$P_2/700 = 10^{0.6} = 3.98$$

$$P_2 = 2786 \text{ W}$$

有效面积

- 有效面积：天线的有效面积与天线的物理大小和形状有关，天线增益和有效面积的关系为

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

G 的天线增益， A_e 是有效面积， f 是载波频率， c 是光速， λ 是载波波长。 $G_{\text{dB}} = 10 \lg G$

- 理想化各向同性天线的功率增益为1，有效面积为 $\lambda^2 / 4\pi$ 。如果抛物面天线的面积为 A ，则有效面积为 $0.56A$ ，功率增益为 $7A / \lambda^2$ 。

例4.4 有一个抛物天线的直径为2 m，工作频率为12 GHz，那么它的有效面积和天线增益各为多少？我们知道面积 $A = \pi r^2 = \pi$ （其中 r 为半径），有效面积为 $A_e = 0.56 \pi$ 。波长为 $\lambda = c/f = (3 \times 10^8) / (12 \times 10^9) = 0.025 \text{ m}$ 。那么

$$G = (7A) / \lambda^2 = (7 \times \pi) / (0.025)^2 = 35186$$

$$G_{\text{dB}} = 10 \lg 35186 = 45.46 \text{ dB}$$

地面微波



- 微波天线：最常见的类型是抛物面“蝶状”天线
 - 视距传输
 - 长途传输需要使用一组微波中继站



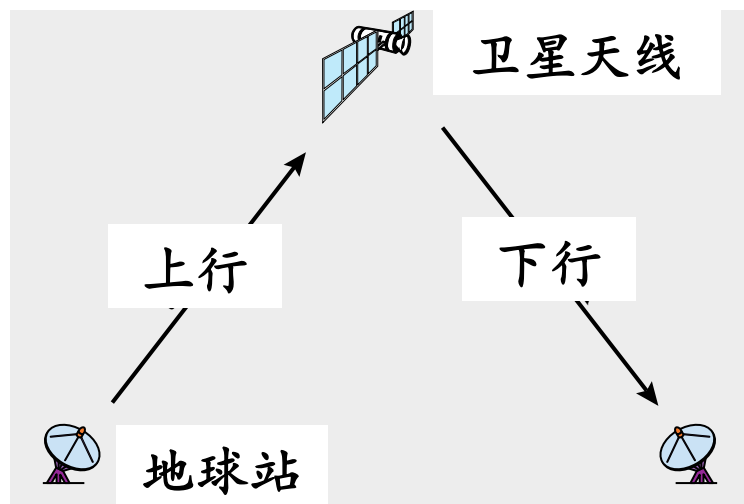
- 微波传输的主要损耗来自于衰减

$$L = 10\lg\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \text{ dB}$$

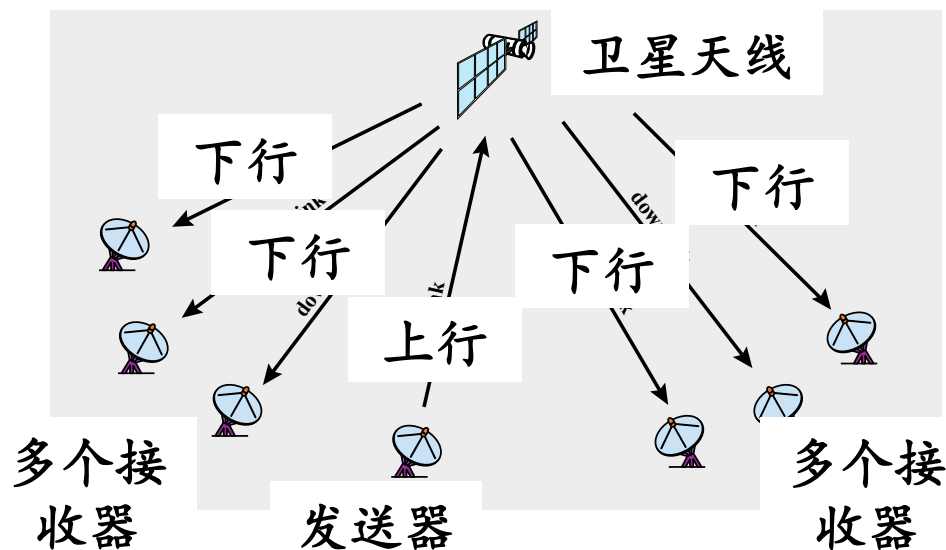
- 微波的损耗以距离的平方值变化

卫星微波

- 卫星微波：一个通信卫星就是一个微波接力站，用于将两个或多个被称为地球站或基地台站的基地微波传送器/接收器连接起来。



(a) 点对点链路



(b) 广播链路

传输媒体

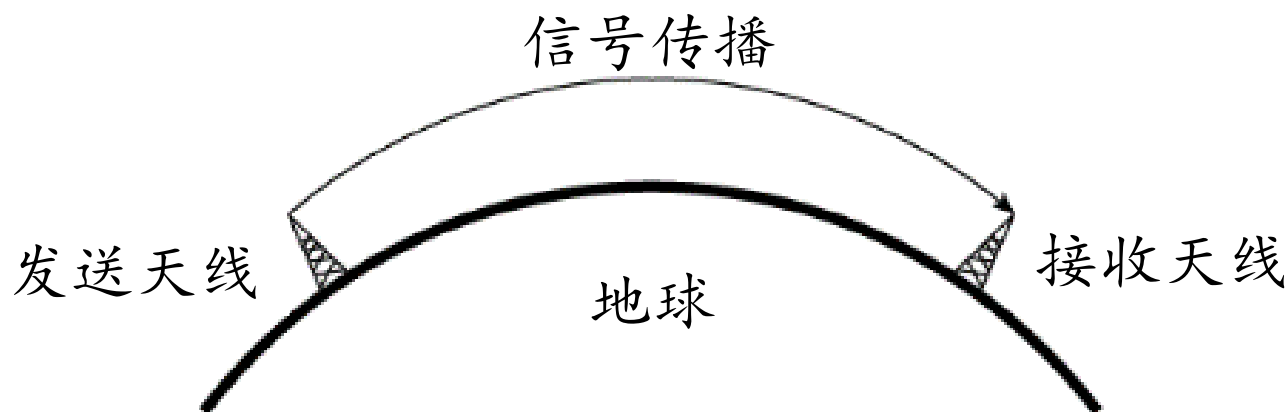


1. 导向传输媒体
2. 无线传输
- 3. 无线传播**
4. 视距传输

无线传播



- 从天线发射出去的信号沿以下3条路径之一传播：
地波、天波或视距
- **地波传播**：或多或少总沿着地球表面轮廓传播，并且能到达相当远的地方，超出视平线之外。
 - 频率小于**2MHz**可以到到这个效果
 - 例子：**调幅无线电广播**

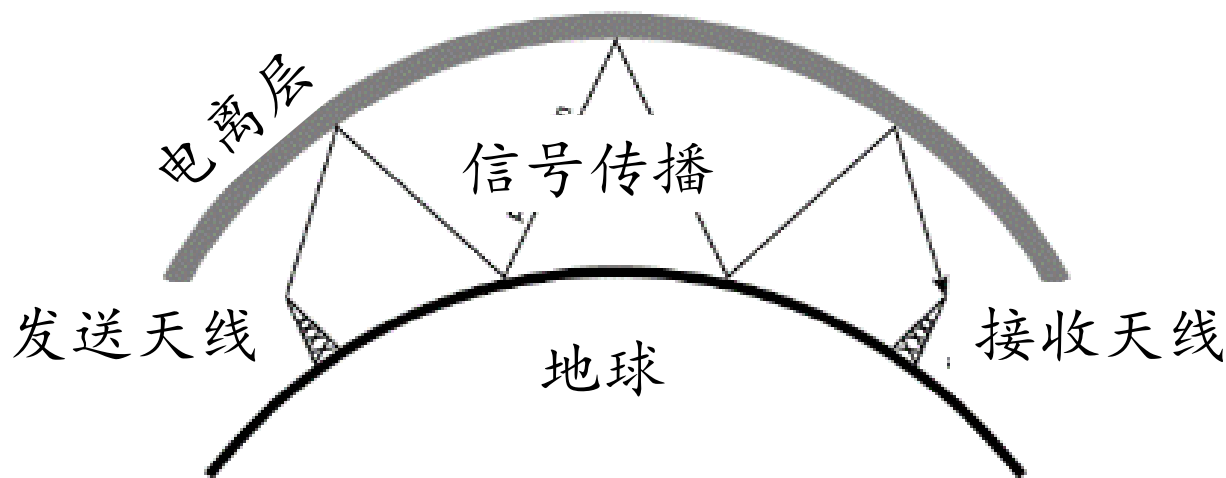


(a) 地波传播 (2MHz以下)

无线传播



- **天波传播**：从基地天线发射出去的信号被上空大气层（电离层）反射回地球。看起来是反射，实际上是折射。
 - 在距离发送器几千米以外的地方也能收到信号
 - 例子：业余无线电和国际电台广播（如BBC、美国之音）

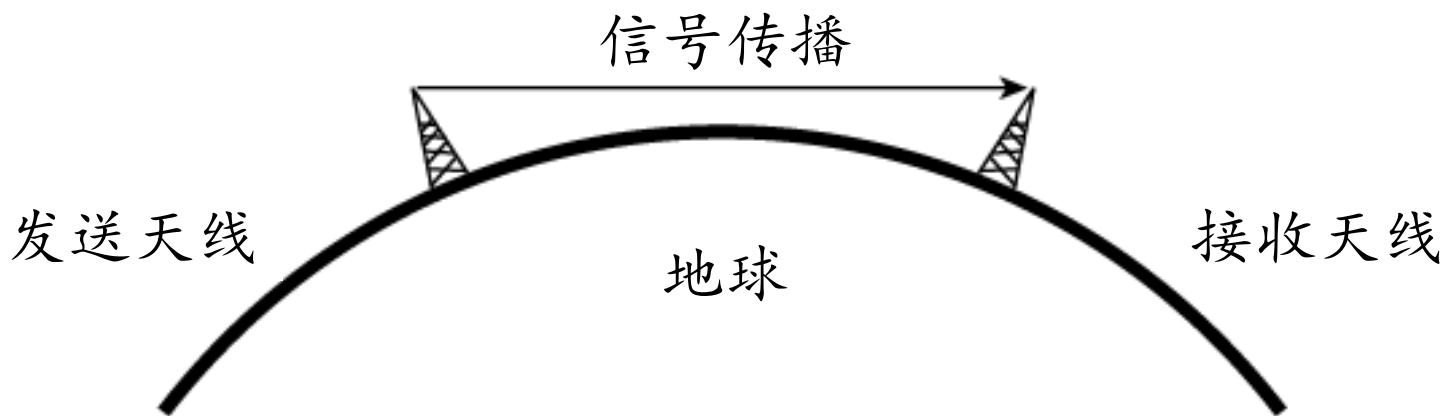


(b) 天波传播 (2MHz到30MHz)

无线传播



- **视距传播**：信号在地球站和位于地球站上空且在其视平线以内的卫星之间传送。
 - 高于30MHz的频段地波和天波传播模式都无法工作，只有视距通信可行；
 - 发送天线和接收天线必须在双方的**有效**视距之内



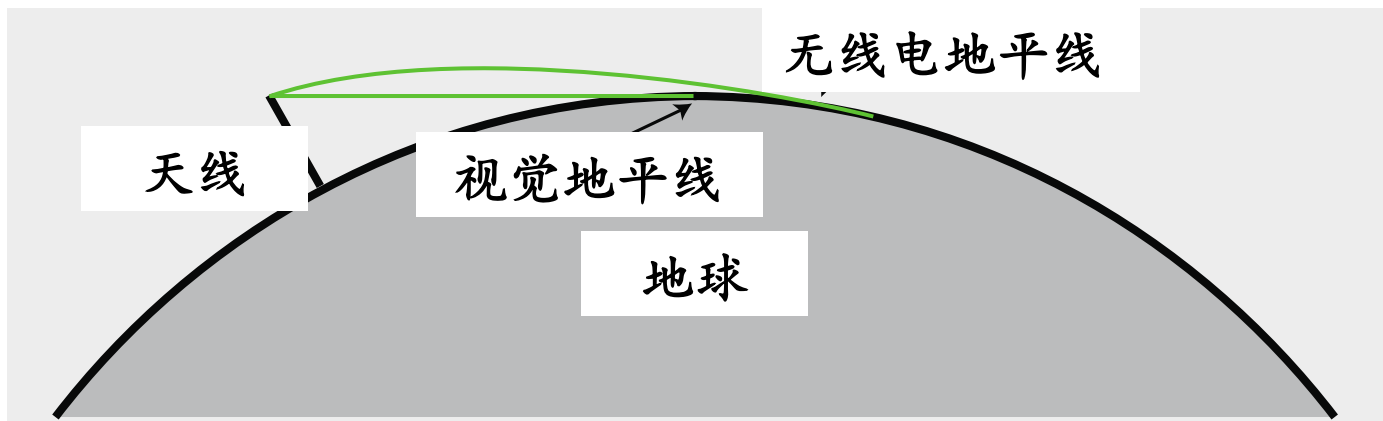
(c) 视距传播 (30MHz 以上)

光学视距和无线电视距



- 光学视距：光波的直线传播
- 无线电视距：有效视距，无线电波传播时会沿着地表曲线弯曲
- 在中间没有障碍物的情况下，光学视距为 $d = 3.57\sqrt{h}$
- 考虑到折射引起的调整系数，到地平线的无线电视距为 $d = 3.57\sqrt{Kh}$ ，其中K取经验者4/3
- 因此视距传播的两个天线之间的最大距离如下，其中h1和h2分别是两个天线的高度

$$d = 3.57\sqrt{Kh_1} + 3.57\sqrt{Kh_2}$$



传输媒体



1. 导向传输媒体
2. 无线传输
3. 无线传播
4. 视距传输

视距传播损伤



- **自由空间损耗**：即使没有其他衰减或损伤的来源，发送的信号在经过一段距离后还是会衰减，因为信号扩散的面积越来越大。
- **大气吸收**：这种衰减主要来自水蒸气和氧气
- **多径**：信号被障碍物反射，导致接收到该信号的多份副本，且这些副本的时延各不相同
- **折射**：当无线电波经大气层传播时会产生折射（或弯曲）现象，这是因为随着海拔高度上升，信号速度加快，导致无线电波向下弯曲

自由空间损耗



- **自由空间损耗**：表示成**发射**功率 P_t 与天线**接收**到的功率 P_r 的比值。对于理想化的全向天线，自由空间损耗为：

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \frac{(4\pi f d)^2}{c^2}$$

其中， P_t 是发送天线的信号功率， P_r 是接收天线的信号功率， λ 是载波波长， d 是天线间的传播距离， c 是光速。

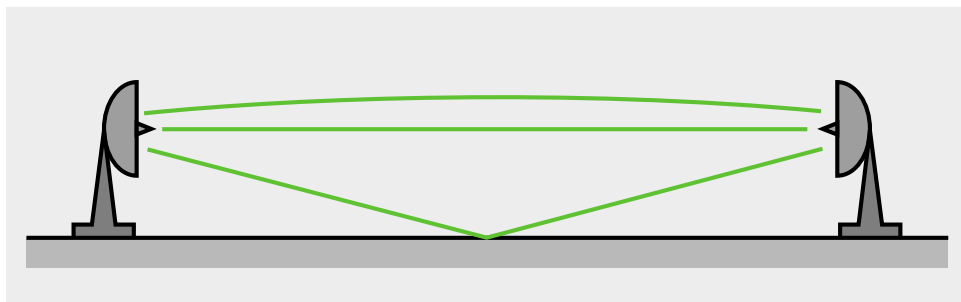
- **考虑天线增益**：

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi)^2 (d)^2}{G_r G_t \lambda^2} = \frac{(\lambda d)^2}{A_r A_t} = \frac{(cd)^2}{f^2 A_r A_t}$$

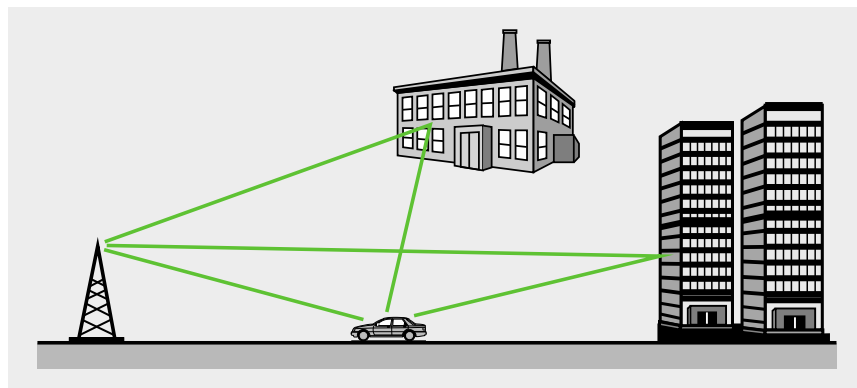
其中， G_t 是发送天线的增益， G_r 是接收天线的增益， A_t 是发送天线的有效面积， A_r 是接收天线的有效面积。

多径干扰举例

- 多径：信号被障碍物反射，导致接收到该信号的多份副本，且这些副本的时延各不相同



(a) 微波视距通信



(b) 移动无线通信

课程习题（作业）

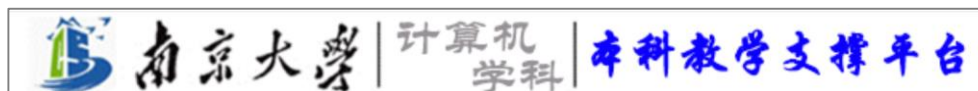


课本（截止日期：习题课前/4月21日晚23:55）：

4.1； 4.2； 4.14； 4.15； 4.17

提交方式：<http://cslabcms.nju.edu.cn>（本科教学支撑平台）

▼ 第4周 03月22日-03月28日
主题
数据通信作业-第4章



提交截止时间

2021年04月21日 星期三 23:55

- 命名：学号+姓名+第*章。
- 若提交遇到问题请及时发邮件或在下一次上课时反馈。

课程习题（作业）



习题

- 4.1 假设数据被存储在容量为8.54 GB的单面双层DVD中，每张DVD的质量为15 g。假设一列从伦敦开往巴黎的欧洲之星列车上装载了 10^4 kg的这种DVD。行程总长度为640 km，列车运行时间为2小时15分钟。这个系统的数据传输速率是多少比特每秒。
- 4.2 已知某电话线具有20 dB的损耗。测得输入信号功率为0.5 W，同时测得输出噪声功率为4.5 μ W。利用这些数值计算以分贝为单位的输出信噪比。

课程习题（作业）



4.14 假设发送器产生的功率为50 W。

- 请写出以dBm 和dBW 为单位的发送功率。
- 如果将发送器的功率应用到单位增益天线，且载波为900 MHz，那么在自由空间距离为100 m 的地方接收到的功率为多少dBm？
- 如果其他条件不变，距离变为10 km，那么接收到的功率又是多少dBm？
- 现在假设接收天线的增益为2，重复(c)。

4.15 某微波发送器的输出功率为0.1 W，频率为2 GHz。假设这个发送器用于某微波通信系统中，在这个系统中发送天线和接收天线都是抛物面反射天线，直径为1.2 m。

- 两个天线的增益分别是多少dB？
- 考虑到天线增益，发送信号的有效发射功率是多少？
- 如果接收天线的位置在距发送天线24 km处，且通过自由空间传输，那么在接收天线周围的有效信号功率是多少dBm？

4.16 4.3 节中曾提到，如果没有中间障碍物，则视觉上的视距可表示为 $d=3.57\sqrt{h}$ ，其中 d 是天线和地平线之间的距离（km）， h 是天线高度（m）。利用已知地球半径为6370 km，推导该公式。提示：假设天线垂直于地球表面，并且注意到从天线顶端到地平线之间形成的直线就是在球平面处的地球表面切线。在图上画出天线、视线以及地球半径会有助于你更直观地解决这个问题。

4.17 已知某电视台需要向80 km以外的观众发送信号，判断其天线高度。

4.18 假设一可见光以与水平面成 30° 角的入射角从大气进入水中。该光线在水中的角度是多少？注意：在地球表面标准大气条件下，一般折射率为1.0003。而水的典型折射率为 $4/3$ 。

总结



问题？

殷亚凤

yafeng@nju.edu.cn

<http://cs.nju.edu.cn/yafeng/>

Room 901, Building of CS

