

物理层

术语

消息：如话音、文字、图像、视频等

数据：运送消息的实体。有意义的符号序列。

信号：数据的电气或电磁表现

模拟信号：消息的参数取值是连续的。

数字信号：消息的参数取值是离散的。

码元：在一个固定的时间间隔（称码元周期或码元宽度）内，在信道上传送的一个基本波形，代表一个或多个二进制位。信号的基本单位，物理层面传输的波形。

比特：信息的基本单位，表示一个0或1。

承载关系：一个码元可以承载一个或多个比特的信息，取决于码元所采用的“状态”数量：

- 使用二进制编码时，只有两种码元：0和1（两种状态）；一个码元承载一位比特
- 使用四进制编码时，有四种码元；每个码元比特数： $\log_2(4)=2$ bit/符号

正交振幅调制 QAM

16QAM

- 相位有 12 种，
- 每一种相位有 1 或 2 种振幅
- 总共 16 种组合，即 16 个码元
- 每个点可对应一种 4 bit 的编码

信道容量定理

码元传输速率越高，或信号传输距离越远，或噪声干扰越大，或传输媒体质量越差，在信道输出端的波形失真就越严重。

限制码元在信道传输速率的因素：

- 信道能够通过的频率范围（带宽）
- 信噪比

奈氏准则：

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。

采样定理：任意一个信号通过一个带宽为 H 的低通滤波器后，只要每秒 $2H$ 次采样，过滤之后的信号就可以完全重构出来。

香农公式：

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

$$C = H * \log_2(1 + S/N) \text{ b/s}$$

- H 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
- 信噪比的单位为分贝 (dB) ,
- 其内涵是 $10\log(S/N)$ 。即若 $S/N=10$, 则为 10dB ; 若 $S/N=100$, 则为 20dB 。

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。

通信媒体及特点

导引型传输媒体

1. 双绞线

屏蔽双绞线STP

- 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

- 应用: 总线局域网 (以太网)

3. 光纤

- 光纤是光通信的传输媒体
- 多模光纤
 - 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
 - 直径减小到只有一个光的波长 (几个微米), 光线一直向前传播, 不会产生多次反射。
 - 制造成本较高, 但衰耗较小; 光源使用昂贵的半导体激光器, 不能使用便宜发光二极管。
- 优点:
 - 带宽大, 构建高速网络
 - 传输损耗小, 中继器少, 远距离传输
 - 抗雷电和电磁干扰性能好
 - 无串音干扰, 保密性好
 - 不宜腐蚀 (不生锈), 适应恶劣环境
 - 体积小, 重量轻

非导引型传输媒体

无线电波在自由空间的传播实现多种通信

优缺点:

- 无需物理连接
- 适用于长距离或不便布线的场合
- 易受干扰
- 反射, 为障碍物所阻隔

1. 无线电微波通信
2. 低频波通信
3. 高频波传输
4. 微波通信
5. 红外线和毫米波
 - 短距离通信
 - 方向性、便宜、易于制造
 - 不能穿透固体
 - 桌面应用领域
6. 光波
7. 通讯卫星 同步卫星

微波通信总结：

- 主要特点：
 - 微波波段频率很高，频段范围很宽，其通信信道的容量很大。
 - 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。
 - 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：
 - 相邻站之间必须直视，
 - 不能有障碍物，存在多径效应。
 - 有时会受到恶劣气候的影响。
 - 与电缆通信系统比较，微波通信的隐蔽性和保密性较差。
 - 对大量中继站的使用和维护要耗费较多的人力和物力。

无线通信问题：多途衰减

- 无线电波因反射或折射，造成微波沿多种反射或折射路径按不同时间到达接收端，也称多径效应。
- 与直接到达的微波可能具有不同的相位，从而抵消或削弱信号。

解决方法：跳频扩展 (Hedy Lamarr)

- 发送方每秒几百次从一种频率跳到另一种频率。
 - 反射或折射信号到达接收方时，接收方已经变换了频率，不会干扰。
 - 不易被检测、窃听、干扰。

信道复用

频分复用FDM

- 将整个带宽分为多份，用户在分配到一定的频带后，在通信过程中自始至终都占用这个频带
- 所有用户在同样的时间占用不同的带宽（即频带）资源。
- 注意：“带宽”是频率带宽而不是数据的发送速率
- 频分多址接入FDMA

- N 个用户各使用一个频带，或让更多的用户轮流使用这 N 个频带

波分复用WDM

光的频分复用。使用一根光纤来同时传输多个光载波信号。

时分复用TDM

- 时间划分为一段段等长时分复用帧（TDM帧）
- 每一个时分复用的用户在每一个 TDM 帧中占用固定序号的时隙
- 每一个用户所占用的时隙是周期性地出现（其周期是TDM帧的长度）
- 所有用户在不同的时间占用同样的频带宽度
- 时分多址接入 TDMA：
- N 个用户各使用一个时隙，或让更多的用户轮流使用这 N 个时隙。

时分复用问题：

- 信道利用率不高
 - 当用户暂时无数据发送时，分配给该用户的时隙只能处于空闲状态。

统计时分复用 STDM

- STDM 帧不是固定分配时隙，而是按需动态地分配时隙，提高线路的利用率。

码分复用CDM

- 每一个用户可以在同样的时间使用同样的频带进行通信。
- 各用户使用经过特殊挑选的不同码型，因此不会造成干扰。
- 发送的信号有很强的抗干扰能力，其频谱类似于白噪声，不易被发现。
- 码分多址 CDMA
 - 码分复用 信道为多个不同地址的用户所共享

频分和时分综合运用

- GSM—FDMA/TDMA
 - 将频宽划分为多个子频带，每个频带划分为多个时隙
 - 每个时隙为一个用户提供服务

空分复用

4G和5G：时分、频分、码分、空分

- 波束成形