

第二章 物理层

2.2 基本通信理论（重点）

2.2.1 数据通信的基本概念

基本概念

- 规程 = 物理层协议

通信系统

- 源系统
 - 信源：发送端
 - 发送器
- 传输系统
 - 信道：通信线路
- 目的系统
 - 接收器
 - 信宿：接收端

术语解释

- 消息：语言、文字、图像...
- 数据：运送消息的实体
- 信号：数据的电气或电磁的表现
- 电信号分类
 - 模拟信号：联系变化的电压或电流波形
 - 数字信号：一系列表示：'0'和'1'的电脉冲
- 码元：不同离散值的基本波形
- 模拟的：连续变化的
- 数字的：取指是离散数值
- 调制：数模转换的过程
- 解调：模数转换过程

2.2.2 信道 概念

信息交互方式

- 单向通信 / 单工通信
- 双向交替通信 / 半双工通信
- 双向同时通信 / 全双工通信

数字调制技术

- 调制：发送端 基带信号 → 适合传输的音频信号

- 解调：接收端 音频信号 → 基带信号
- 基带信号: 未调制 **数字信号**
 - 将数字信号 **1** 或 **0** 直接用两种不同的电压来表示，然后送到线路上去传输。

调制解调器的作用

- 调制器：
 - 把要发送的数字信号转换为频率范围在300~3400 Hz 之间的模拟信号，以便在电话用户线上传送。
 - 波形变换器
- 解调器：
 - 把电话用户线上传送来的模拟信号转换为数字信号。
 - 波形识别器

› 为什么需要数字信号调制？

› 因为基带信号仅适合短距离的数据传输。在计算机的远程通信中，不能直接传输原始的电脉冲信号。

› 所以，需要Modem，在发送端将基带信号转换成适合传输的音频信号；并在接收端再将音频信号转换为基带信号。

调制分类

- 基带调制 / 编码：波形变化 => **基带信号**
- 带通调制：低频 → 高频 => **模拟信号**，即 **带通信号**

几种最基本的调制方法

- 调制方法
 - 选取一个适合在线路上传输的正弦波作为载波，让载波的某些特性随基带信号变化而变化

- 最基本的二元制调制方法（详见ppt）
 - 振幅键控
 - 频移键控
 - 相位键控

振幅键控

- 载波的**振幅**随基带数字信号而变化
- 0：无振幅，1：有振幅
- 实现简单，抗干扰性差

频移键控

- 载波的**频率**随基带数字信号而变化
- 0：频率f1, 1：频率f2
- 抗干扰性好，占用带宽较大

相位键控

- 载波的**初始相位**随基带数字信号而变化
- 0: 相位0; 1: 相位180
- 可以用初始相位 / 相位变化表示 0 和 1 值。

相移键控

- 载波的相位（绝对值或变化）来表示数据

脉冲编码调制PCM

- 模拟信号 → 数字信号
- 采样 → 量化 → 编码

常用编码方式

- 不归零制：1 正 0 负
 - 连续传输，不易区分0和1
- 归零制：1 正 0 负 都归零
 - 连续传输，可以区分0和1
- 曼彻斯特编码：中心 1 下跳 0 上跳
- 差分曼彻斯特编码：边界跳变 0 无跳变 1

- > 如果码元传输速率= 10Mbps
- > 由于一位bit,同时传输+3V和-3V的码元。
- > 那么波特传输速率 = 20M Baud

2.2.3 信道的极限容量

1. 信道通过频率范围

- 码间串扰：收到波形 失去 码元之间清晰界限

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)。
- 超过上限，会出现码间串扰，接收端无法判断码元。

2. 信噪比

- 信噪比：信号的平均功率 和 噪声的平均功率 之比 S/N
- 信噪比(dB) = $10 \log_{10}(S/N)$

香农公式

- 信道的极限信息传输速率
 - $C = \text{带宽} W * \log_2 (1 + \text{信噪比 } S/N) \text{ (bit/s)}$
 - 表示信道传输数字信号的能力，是信道所能支持的**数字速率的上限**。
- 结论：信道的带宽 或 信道中的信噪比越大，信息的极限传输速率越高
- 意义：
 - 香农公式指出了**信息传输速率的上限**
 - 只要信息传输速率**低于**信道的极限信息传输速率，就一定存在某一种办法来**实现无差错的传输**。

信道容量

- 信道容量 = 信道的极限信息数据传输速率

无噪声信道

- 信道容量：带宽H 码元状态数N
 - $S = (\text{波特率 } B = 2 * \text{带宽 } H) * \log_2 N \text{ (bps)}$
- **无噪声**信道的容量是**无限的**。

有噪声信道：

- 信道容量：带宽H

- $C = \text{带宽}W * \log_2 (1 + \text{信噪比 } S/N) \text{ (bit/s)}$
- **有噪声信道不能无限延长**

3. 误码率

- 传输出错的码元数占传输总码元数的比例。
- 衡量数据通信系统在正常工作情况下**传输可靠性的指标**。
- 误码率 $P_e = \text{传输总的码元数 } N_e / \text{传输出错的码元数 } N$
- 应用：决定传输的数据单元大小。

2.3 传输媒体/介质/媒介

分类

- 导引型传输媒体：固体媒体传播
- 非导引型传输媒体：无限传输

2.3.1 导向性传输媒体

1. 双绞线

- 导线**越粗**，通信**越远**，价格**越贵**
- 分类
 - 屏蔽双绞线 STP Shielded Twisted Pair：价格低
 - 无屏蔽双绞线 UTP Unshielded Twisted Pair：速度快

2. 同轴电缆

- 抗干扰性好，数据传送速率高
- 分类
 - 基带同轴电缆：粗缆 和 细缆
 - 宽带同轴电缆

3. 光缆（分类要记!!!）

- 光纤：石英玻璃细丝

波长范围

- 850nm: 多模
- 1300nm: 多 / 单模
- 1550nm: 单模

传输特点

- 优点：
 - 通信损耗低
 - 频带宽
 - 数据传输速率高
 - 抗电磁干扰好，安全性好
- 缺点：
 - 价格昂贵

- 分类：
 - 多模光纤
 - 单模光纤

多模光纤

- 一根光纤可以传送多条管线（原理：全反射）
- 传输过程，光脉冲逐渐**宽展**，造成**失真**。
- 适合**短距离**

单模光纤

- 价格昂贵
- 适合长距离传输

2.3.2 非导向性传输媒体

- 用 自由空间 作为传输介质来进行数据通信。

特点

- 信号方向性较强
- 沿直线传播,不能绕开固体障碍物

分类

- 地面微波接力通信
- 卫星通信
- 红外线
- 毫米波通信

1. 微波接力通信

- 原理：利用中继站放大信号
- 优点：
 - 频带宽, 通信容量大
 - 传输质量高, 可靠性较好
 - 投资少、见效快、灵活
- 缺点：
 - 相邻站间**必须直视**，不能有障碍物
 - 受气候干扰较大
 - 保密性差
 - 中继站的使用与维护

2. 卫星通信

- 原理：人造卫星作中继站放大信号
- 优点：
 - 频带很宽, 通信容量大
 - 信号受干扰小
 - 通信比较稳定,通信距离远
- 缺点：
 - 保密性较差

- 造价较高
- 具有**较大的传输延迟**
- 适用：
 - 广播通信

3. 红外线与毫米波通信

- 优点：
 - 价格便宜，易制造
 - 有良好的安全性，不易被窃听
- 缺点：
 - 不能穿透坚硬的物体
 - 对环境气候敏
- 适用
 - 遥控，防盗警报

** 2.4G ~ 2.484GHz开放给医学科学使用，不需要审批。容易产生干扰。

2.4 信道复用技术

2.4.1 频分/时分/统计时分复用

- 将**多路信号**组合在**一条物理信道**上进行传输，在接收端再将各路**信号分离**开来，提高通信线路的利用率

分类

- 频分多路复用 FDM Frequency Division Multiplexing
- 时分多路复用 TDM Time Division Multiplexing
- 波分多路复用 WDM Wavelength Division Multiplexing
- 码分多路复用 CDMA Code Division Multiple Access

1. 频分多路复用 FDM

- 原理：当信道的带宽大于各路信号的总带宽时，可以将信道**分割**成若干个**子信道**，每个子信道用来传输一路信号。
- 特点：**同样的时间占用不同的带宽资源**

概念

- 频谱：信号的能量随频率的分布规律为信号的频谱。
- 信号的带宽：能量集中的区域为信号的带宽。

- 车道大于车流量时，分多车道同行。
- 同时传输多路信道

- ADSL 非对称数字用户线路（上下行速率不对称， $v_{\text{下}} \gg v_{\text{上}}$ ）
 - e.g. 用电话线上网

2. 时分多路复用 TDM

- 原理：**时间片轮转**，分配给各路信号，每一路信号在自己的时间片内**独占**整个信道。
- 时间片大小：按一个数据块传输时间确定
- 特点：**在不同的时间占用相同的频带宽度**

- 类似北京的单双号限行。
- 轮流占有信道，通信时独占一整个信道

同步TDM

- 优点：控制简单
- 缺点：信道利用不充分。 某信号源没有数据，仍会占用时间片。

异步TDM：统计时分复用STDM Statistic TDM

- 原理：对于没有数据的直接跳过，对于有数据的加入，满一帧则发送。
- STDM帧不是固定分配时隙，而是动态分配时隙。
- STDM帧需要添加地址信息

特点

- 优点：充分利用信道
- 缺点：控制比较复杂

由于计算机的突发性，同步TDM会造成很多的时间等待，降低效率。因此，引入STDM机制。

3. 波分多路复用 WDM

- 原理：光的频分复用
- 密集波分复用器 DWDM Dense WDM

4. 码分多路复用 CDM

- 同样时间使用同样频率进行通信。
- 挑选**不同码型**，所以不产生干扰。
- 每一个比特时间划分为 m 个短的间隔，称为码片(chip)。 m 通常为64或128.

CDMA 的重要特点

- 每个站分配的码片序列不仅必须各不相同，并且还必须互相**正交**(orthogonal)
 - 正交：两个站（S和T）的码片内积为0。 $S \cdot T = 0$
 - $S \cdot (+/- T) = 0$
 - $S \cdot S = 1$
 - $S \cdot (-S) = -1$
- 当接收站打算接收S站的信号时，就用S站的码片序列与收到的叠加信号求规格化内积
 - 若S站有信号发送，则内积结果为1(发送数据1)或-1（即发送数据0）
 - 若S站没有信号发送，则内积结果为0
- 两种题型
 - 已知发送站点的码片序列 S_i ,每个站是否发送，且送了0或1，求接收端收到的叠加信号。

发送1，发送原值；发送0，发送相反值
最后，全加起来

- 已知发送站点的码片序列 R , 已知接收端的叠加信号 S_i ，求每个站的发送情况

2.5 数字传输系统

早期缺点

- 速率标准不统一：
 - 北美&日本 T1 : 1.544 Mbps
 - 欧洲 E1: 2.048 Mbps
- 不是同步传输

SONET Synchronous Optical Network 同步光纤网

设定全球传输的速度标准

- 传输基本速率 = **51.84 Mb/s**
 - 电信号：第1级同步传送信号 STS-1 Synchronous Transport Signal
 - 光信号：第1级光载波 OC-1 Optical Carrier

SDH Synchronous Digital Hierarchy 同步数字系列

- 传输基本速率 = **155.52 Mb/s**
 - 第1级同步传递模块 STM-1 Synchronous Transfer Module
 - SONET基础速度3倍

SONET与SDH的关系

- 差别很小
- SONET：北美和日本
- SDH：欧洲和中国
- 采用TDM技术；同步系统，由主时钟控制

意义

- 使北美、日本和欧洲等不同的数字传输体制在STM-1等级上获得了统一。
- SDH/SONET是第一次真正实现数字传输体制上的国际标准

2.4 物理层协议举例

物理层特性（要记！！）

- **机械特性**
 - 接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列、固定和锁定装置
- **电器特性**
 - 接口电缆的各条线上出现的电压的范围。
- **功能特性**
 - 某一电平的电压表示何种意义
- **规程特性**
 - 不同功能的各种可能事件的出现顺序

EIA-232-E接口标准

- 规定了DTE和DCE间的接口标准
- DTE：数据终端设备（可以理解为计算机）
- DCE：数据电路端接设备（可以理解为调制解调器）

机械特性

规程特性

定义流程，DTE和DCE如何交流的.

- EIA232规定了DTE和DCE之间的信号时序的应答关系和操作过程。

RS-449接口标准

- 传输速率可达到48~168kb/s