

计算机网络原理

第2章：物理层

阮晓龙

13938213680 / rxl@hactcm.edu.cn
http://network.xg.hactcm.edu.cn

河南中医药大学信息管理与信息系统教研室
信息技术学院网络与信息系统研工作室
河南中医药大学医疗健康信息技术研究所

2022.9

1

OSI 的七层协议体系结构



TCP/IP 的四层协议体系结构



五层协议的体系结构



2

本章教学计划

- ✓ 物理层的基本概念
 - ✓ 数据通信的基础知识
 - ✓ 传输媒体
- } **基础知识**
-
- ✓ 信道复用技术
 - ✓ 数字传输系统
 - ✓ 宽带接入技术
- } **数字通信技术**

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

3

1. 物理层的基本概念

- 物理层位于OSI参考模型的**最底层**。
 - 直接面向实际承担数据传输的物理媒体（即通信通道）。
 - 物理层的传输单位为比特 (bit)，即一个二进制位（“0”或“1”）。
 - 实际的比特传输必须依赖于传输设备和物理媒体，但物理层不是指具体的物理设备，也不是指信号传输的物理媒体，而是指在物理媒体之上为上一层（数据链路层）提供一个传输原始比特流的物理连接。
- 物理层考虑的是怎样才能连接各种计算机的传输媒体上传输数据比特流，而不是讨论具体的传输媒体。
 - 物理层的作用是尽可能屏蔽掉不同传输媒体和通信手段的差异。
 - 物理层的协议也常称为物理层规程 (procedure)。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

4

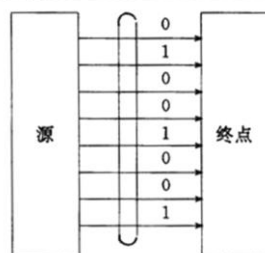
1. 物理层的基本概念

- 物理层的主要任务：确定与传输媒体的接口的一些特性。
- 主要包括的有：
 - 机械特性：
 - 指明接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列、固定和锁定装置等等。
 - 电气特性：
 - 指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。
 - 功能特性：
 - 指明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义。
 - 过程特性：
 - 指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

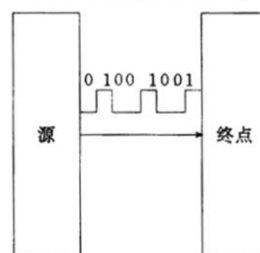
5

1. 物理层的基本概念



(a) 并行通信

数据在计算机内部多采用并行传输方式。



(b) 串行通信

数据在通信线路上多采用串行传输方式。

物理层必须要完成传输方式的转换工作。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

6

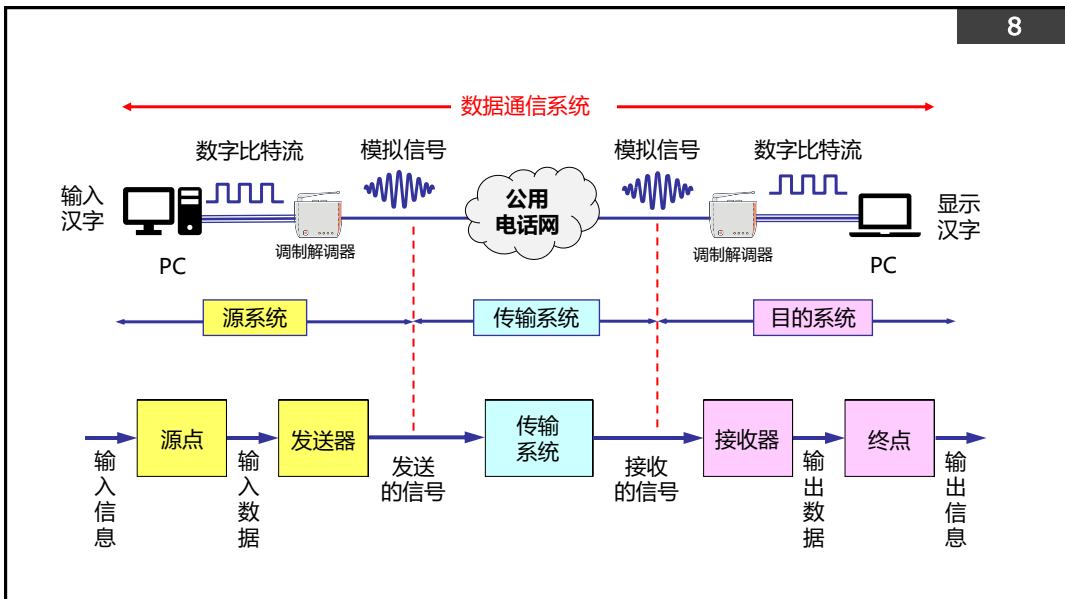
2. 数据通信的基础知识

2.1 数据通信系统的模型



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

7



8

2. 数据通信的基础知识

- 数据通信系统可划分为三个部分：
 - 源系统，又称为发送端、发送方。
 - 源系统一般包括两个部分：源点（Source）和发送器。
 - 源点设备产生要传输的数据。
 - 发送器将源点生成的数字比特流在传输系统中进行传输。
 - 典型的发送器就是调制器。
 - 传输系统，又称为传输网络。
 - 目的系统，又称为接收端、接收方。

2. 数据通信的基础知识

- 数据通信系统可划分为三个部分：
 - 源系统，又称为发送端、发送方。
 - 传输系统，又称为传输网络。
 - 目的系统，又称为接收端、接收方。
 - 目的系统一般包括两个部分：接收器和终点（destination）。
 - 接收器接收传输系统传送过来的信号，并把它转换为能够被目的设备处理的信息。
 - 终点设备从接收器获取传送过来的数字比特流，然后把信息输出。
 - 典型的接收器就是解调器。

2. 数据通信的基础知识

2.1 数据通信系统的模型

- 数据通信系统可划分为三个部分：
 - 源系统，又称为发送端、发送方。
 - 传输系统，又称为传输网络。
 - 传输系统可能是简单的传输线，也可以是连接在源系统和目的系统之间的复杂网络系统。
 - 目的系统，又称为接收端、接收方。

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念

- 数据通信系统中的几个常用术语：
 - 消息 (message) :
 - 如语音、文字、图像、音视频等。
 - 通信的目的就是传送消息。
 - 数据 (data) :
 - 运送消息的实体。
 - 有意义的符号序列。

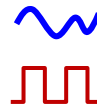
2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念

□ 数据通信系统中的几个常用术语：

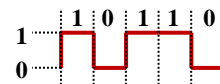
■ 信号 (signal)：

- 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 (code)：

- 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



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

13

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念

□ 信道

- 是传送信息的物理性通道, 一般是用来表示向某一个方向传送信息的媒体。
- 信息是抽象的, 但传送信息必须通过具体的媒质。例如:
 - 两人对话, 声波通过空气来传送, 空气就是信道。
 - 物流信道是指运载工具及其经过的设施和道路。
 - 无线电话的信道是电波传播所通过的空间。
 - 有线电话的信道是电缆。
- 每条信道都有特定的信源和信宿。
- 一条通信电路通常包含一条发送信道和一条接收信道。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

14

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念

□ 信道：

- 从通信双方的信息交互方式来看，可以有三种基本信道：

□ 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。
- 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。



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

15

2. 数据通信的基础知识

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。
 - 像计算机输出的代表各种文字或图像文件的数据信号都属于基带信号。
- 包含有较多的低频成分，甚至有直流成分。

□ 带通信号：

- 把基带信号经过载波调制后，把信号的频率范围搬移到较高的频段以便在信道中传输（即仅在一段频率范围内能够通过信道）。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

16

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念

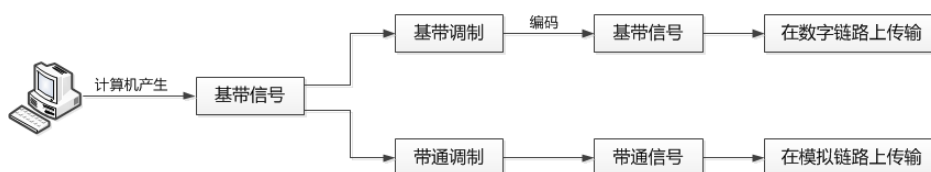
- 调制分为两大类：
 - 基带调制：
 - 仅对基带信号的波形进行变换，使它能够与信道特征相适应。
 - 把数字信号转换为另一种形式的数字信号。
 - 变换后的信号仍然是基带信号。
 - 把这个过程叫做**编码**（coding）。
 - 带通调制：
 - 使用载波（carrier）进行调制，把基带信号的频率范围搬移到较高的频段，并转换为模拟信号，这样就能够更好地在模拟信道中传输。
 - 经过载波调制后的信号称为带通信号（即仅在一段频率范围内能够通过信道）。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

17

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念




河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

18

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念



Pics from 

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

19

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念

- 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。

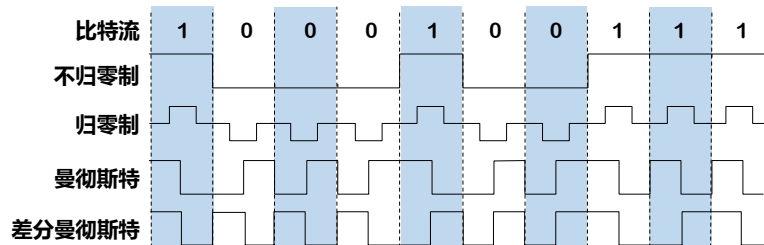
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

20

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念

数字信号常用的编码方式



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

21

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念

- 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。
 - 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。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

22

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念

- 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：
 - 调幅(AM)：载波的振幅随基带数字信号而变化。
 - 调频(FM)：载波的频率随基带数字信号而变化。
 - 调相(PM)：载波的初始相位随基带数字信号而变化。

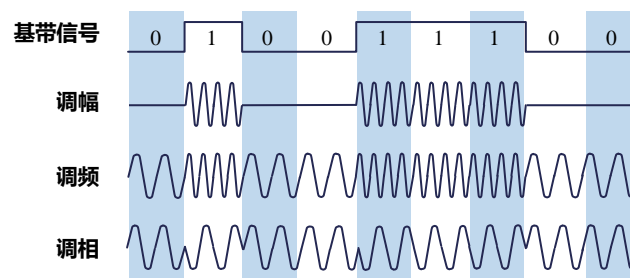
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictcm.edu.cn>

23

2. 数据通信的基础知识

2.2 有关信道的几个基本概念

最基本的三种调制方法



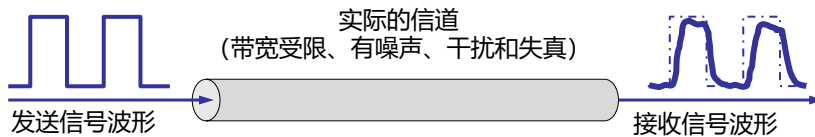
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictcm.edu.cn>

24

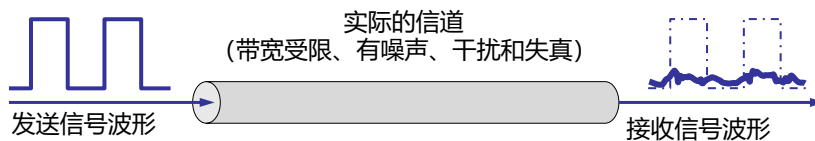
2. 数据通信的基础知识

2.3 信道的极限容量

有失真，可识别



失真大，不识别



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

25

2. 数据通信的基础知识

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。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

26

2. 数据通信的基础知识

2.3 信道的极限容量

□ 信道能够通过频率范围

- 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。
- 1924 年，奈奎斯特(Nyquist)就推导出了著名的奈氏准则。
 - 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。
 - 在任何信道中，码元传输的速率是有上限的，否则就会出现码间串扰的问题。

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，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。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

27

2. 数据通信的基础知识

2.3 信道的极限容量

□ 信噪比

- 噪声存在于所有的电子设备和通信信道中。
 - 由于噪声是随机产生的，它的瞬时值有时会很大。
 - 噪声会使接收端对码元的判决发生错误，例如把 1 判为 0 或 0 判为 1。
 - 噪声对通信的影响是相对的，如果信号强度很大，那么噪声影响就会相对很小。
- 信噪比就是信号的平均功率和噪声的平均功率之比，常记作 S/N ，并用分贝 (dB) 作为度量单位。

信噪比(dB) = $10 \log_{10}(S/N)$ (dB)

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

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

28

2. 数据通信的基础知识

2.3 信道的极限容量

□ 信噪比

- 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。
- 信道的极限信息传输速率 C 可表达为：

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

其中：

W 信道的带宽 (Hz)

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

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

29

2. 数据通信的基础知识

2.3 信道的极限容量

□ 信噪比

- 香农的理论说明：
 - 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的多。

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

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。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

30

2. 数据通信的基础知识

- 突破信息传输速率的上限值
 - 对于频带宽度已经确定的信道，如果信噪比也不能够再提高，并且码元传输速率也达到了上限值。
 - 是否就没有办法来提升信息的传输速率呢？
 - 用编码的方法让每一个码元携带更多信息量。
 - 提升信息传输速率的方式很多，例如：
 - 提升码元的传输速率
 - 提升信噪比
 - 使用更有效率的信息编码算法等。

例：

基带信号 $M = 101011000110111010.....$ -----> 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。

奈氏准则和香农公式的意义不同

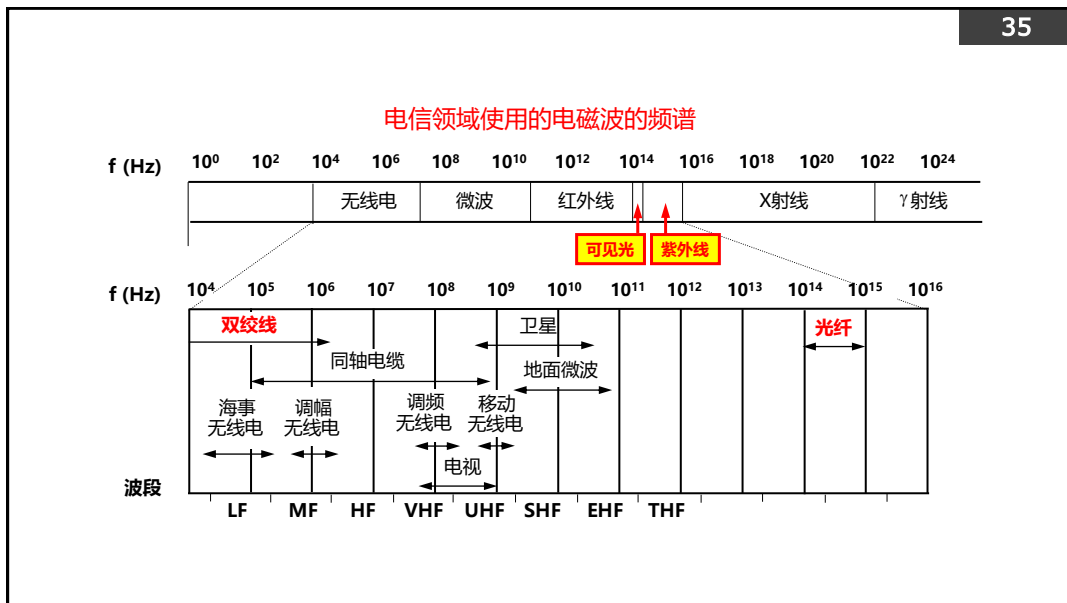
- **奈氏准则:**
 - 激励工程人员, 要不断探索更加先进的编码技术, 使每一个码元携带更多比特的信息量。
- **香农公式:**
 - 告诫工程人员, 在实际有噪声的信道上, 不论采用多么复杂的编码技术, 都不可能突破信息传输速率的绝对极限。

33

3. 物理层下面的传输媒体

- 传输媒体也称为传输介质或传输媒介, 它就是数据传输系统中在发送器和接收器之间的物理通路。
- 传输媒体可分为两大类:
 - 引导型传输媒体:
 - 电磁波被导引沿着固体媒体 (铜线或光纤) 传播。
 - 非引导型传输媒体:
 - 传输媒体就是自由空间。
 - 非引导型传输媒体中电磁波的传输常称为**无线传输**。

34



35

3. 物理层下面的传输媒体

3.1 导引型传输媒体:双绞线

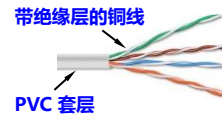
- 双绞线是最古老且最常用的传输媒体。
 - 把两根互相绝缘的铜导线并排放在一起，然后用规则的方法绞合 (twist) 起来，就构成了双绞线。
 - 绞合的目的在于减少每根线缆对相邻导线的电磁干扰。
 - 绞合度越高，可用的数据传输率越高。
 - 2 大类：
 - 无屏蔽双绞线 UTP。
 - 屏蔽双绞线 STP。
 - 双绞线使用最广泛的就是电话系统，几乎所有的电话都用双绞线连接到电话交换机。



36

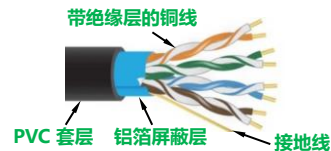
□ 无屏蔽双绞线 UTP (Unshielded Twisted Pair) :

- 无屏蔽层。
- 价格较便宜。



□ 屏蔽双绞线 STP (Shielded Twisted Pair) :

- 带屏蔽层。
- 都必须有接地线。



37

3. 物理层下面的传输媒体

3.1 导引型传输媒体:双绞线

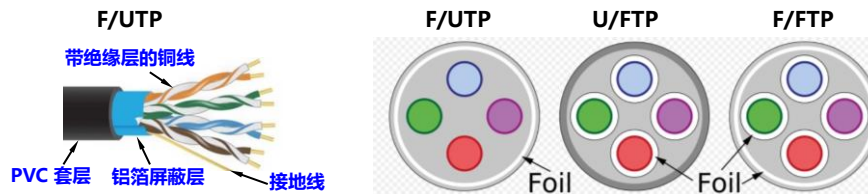
□ 屏蔽双绞线 STP

- 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。

38

3. 物理层下面的传输媒体

3.1 导引型传输媒体:双绞线



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

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

39

3. 物理层下面的传输媒体

3.1 导引型传输媒体:双绞线

常用绞合线的类别、带宽和典型应用

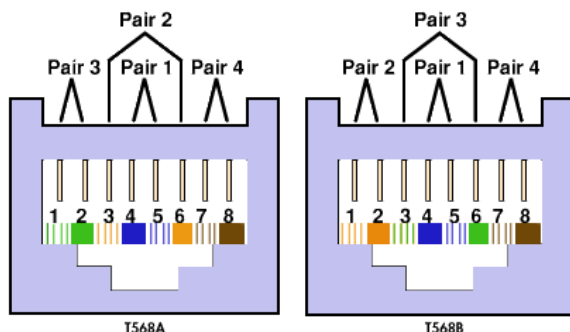
绞合线类别	带宽	线缆特点	典型应用
3	16 MHz	2 对 4 芯双绞线	模拟电话; 传统以太网 (10 Mbit/s)
5	100 MHz	与 3 类相比增加了绞合度	传输速率 100 Mbit/s (距离 100 m)
5E(超5类)	125 MHz	与 5 类相比衰减更小	传输速率 1 Gbit/s (距离 100 m)
6	250 MHz	改善了串扰等性能, 可使用屏蔽双绞线	传输速率 10 Gbit/s (距离 35 ~ 55 m)
6A	500 MHz	改善了串扰等性能, 可使用屏蔽双绞线	传输速率 10 Gbit/s (距离 100 m)
7	600 MHz	必须使用屏蔽双绞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

无论哪种类别双绞线, 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。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

40

3. 物理层下面的传输媒体



Crossover Cable	
RJ-45 PIN	RJ-45 PIN
1 Rx+	3 Tx+
2 Rc-	6 Tx-
3 Tx+	1 Rc+
6 Tx-	2 Rc-

Straight Through Cable	
RJ-45 PIN	RJ-45 PIN
1 Tx+	1 Rc+
2 Tx-	2 Rc-
3 Rc+	3 Tx+
6 Rc-	6 Tx-

河南中医药大学信息技术

41

3. 物理层下面的传输媒体

42

3.2 导引型传输媒体:同轴电缆

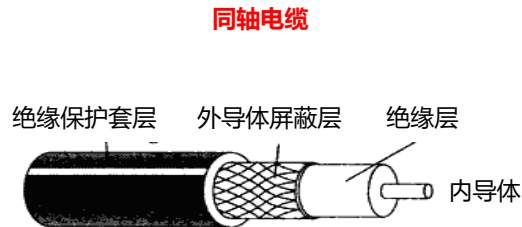
- 同轴电缆由内导体铜质芯线、绝缘层、网状编织的外导体屏蔽层以及保护塑料外层所组成。
 - 由于外导体屏蔽层的作用，同轴电缆**具有很好的抗干扰特性，被广泛用于传输较高速率的数据。**
 - 同轴电缆从用途上分可分为基带同轴电缆和宽带同轴电缆（即网络同轴电缆和视频同轴电缆）。
 - 同轴电缆分50Ω 基带同轴电缆和75Ω宽带同轴电缆两类。
 - 基带电缆又分细同轴电缆和粗同轴电缆两类。
 - 基带电缆仅仅用于数字传输，数据率可达10Mbps。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / http://network.xg.haictcm.edu.cn

42

3. 物理层下面的传输媒体

3.2 导引型传输媒体:同轴电缆



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

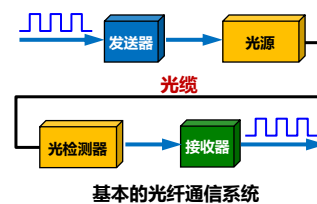
43

3. 物理层下面的传输媒体

3.3 导引型传输媒体: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。
- 传输带宽远大于其他传输媒体。
- **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。

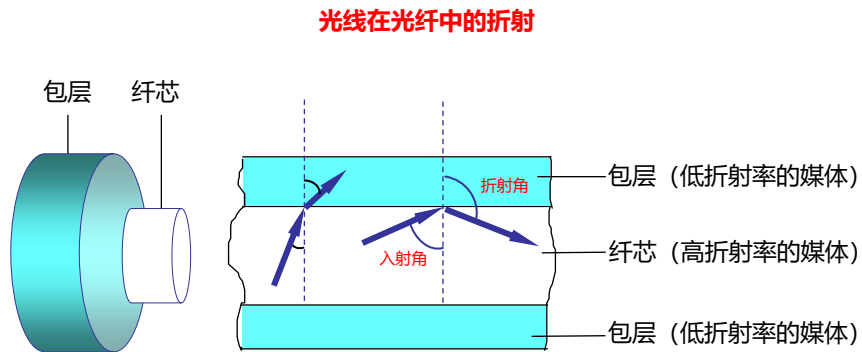


河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

44

3. 物理层下面的传输媒体

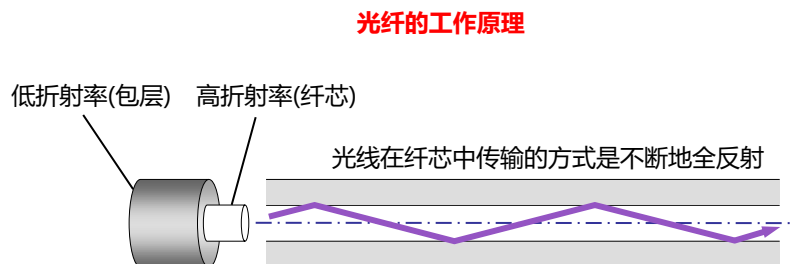
3.3 导引型传输媒体:光缆

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

45

3. 物理层下面的传输媒体

3.3 导引型传输媒体:光缆

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

46

3. 物理层下面的传输媒体

3.3 导引型传输媒体:光缆

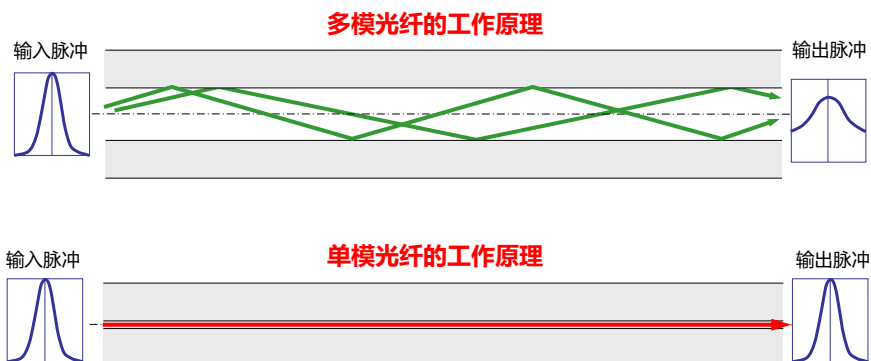
- 多模光纤与单模光纤
 - 多模光纤
 - 可以存在多条不同角度入射的光线在一条光纤中传输。
 - 光脉冲在多模光纤中传输时会逐渐展宽，造成失真，只适合于近距离传输。
 - 单模光纤
 - 其直径减小到只有一个光的波长（几个微米），可使光线一直向前传播，而不会产生多次反射。
 - 制造成本较高，但衰耗较小。
 - 光源要使用昂贵的半导体激光器，不能使用较便宜的发光二极管。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

47

3. 物理层下面的传输媒体

3.3 导引型传输媒体:光缆



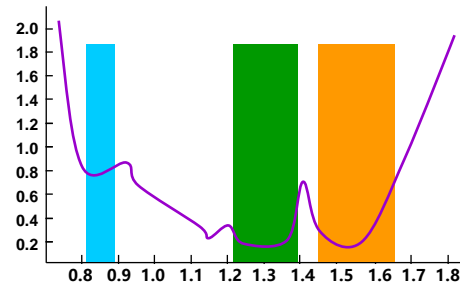
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

48

3. 物理层下面的传输媒体

3.3 导引型传输媒体:光缆

- 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



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

49

3. 物理层下面的传输媒体

3.3 导引型传输媒体:光缆

- 光纤通信的优点
 - 通信容量非常大
 - 传输损耗小, 中继距离长, 对远距离传输特别经济。
 - 抗雷电和电磁干扰性能好。
 - 无串音干扰, 保密性好, 不易被窃听或截取数据。
 - 体积小, 重量轻。
- 光纤通信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。
- 在高速局域网中, 通常也采用光纤作为传输介质。
 - 例如: FC-SAN的网络中。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

50

3. 物理层下面的传输媒体

3.3 导引型传输媒体:光缆

- 光缆(optical fiber cable)
 - 是为了满足光学、机械或环境的性能规范而制造的。
 - 它是利用置于包覆护套中的一根或多根光纤作为传输媒质并可以单独或成组使用的通信线缆组件。
 - 光缆主要是由光导纤维（细如头发的玻璃丝）和塑料保护套管及塑料外皮构成。光缆内没有金、银、铜铝等金属，无回收价值。
 - 光缆是光纤（光传输载体）经过一定工艺而形成的线缆。
 - 光缆由缆芯、加强钢丝、填充物和护套等几部分组成。另外根据需要还有防水层、缓冲层、绝缘金属导线等构件。

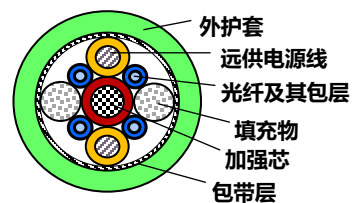
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

51

3. 物理层下面的传输媒体

3.3 导引型传输媒体:光缆

- 光缆(optical fiber cable)
 - 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。



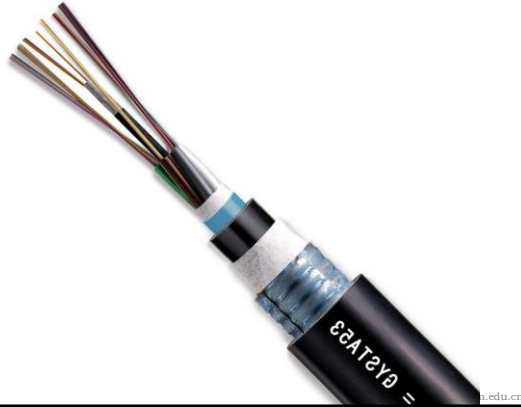
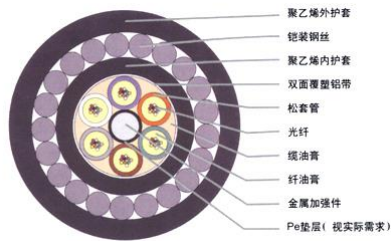
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

52

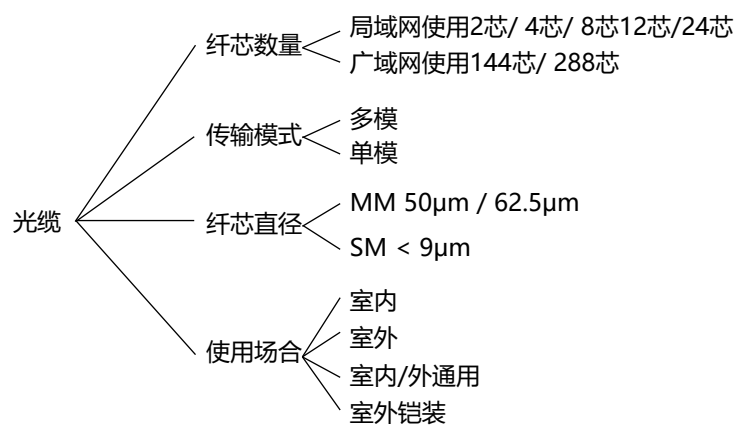
3. 物理层下面的传输媒体

3.3 导引型传输媒体:光缆

光缆剖面的示意图



53

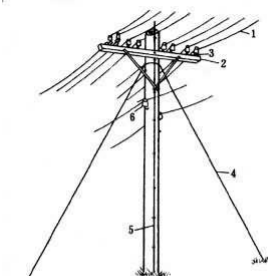


54

3. 物理层下面的传输媒体

3.4 导引型传输媒体:架空明线

- 在引导型传输媒体中，除了双绞线、同轴电缆、光缆之外，还有一种**曾广泛应用**的架空明线。
- 架空明线是由电杆支持架于地面上的裸导线通信线路，简称明线线路。
 - 这是一种有线电通信线路，用于传送电报、电话、传真等。



明线线路图
1 导线 2 横担 3 直螺帽
4 拉线 5 电杆 6 旁接避雷电子

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

55

3. 物理层下面的传输媒体

3.4 导引型传输媒体:架空明线

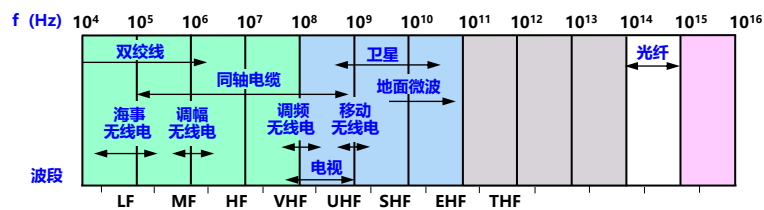
- 架空明线的主要特点是：
 - 明线线路设备简单，容易架设和拆除，发生故障时较易修理，初次架设投资较少，但每一电话电路的平均建设投资则高于电缆线路。
 - 容易受天气、自然灾害和外界电磁场的影响。
 - 容量较小。
 - 传输频带窄，不能传送电视等宽频带信号。
- 目前很多国家已经停止了铺设架空明线。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

56

3. 物理层下面的传输媒体

- 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)**



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

57

3. 物理层下面的传输媒体

3.5 非导引型传输媒体: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。

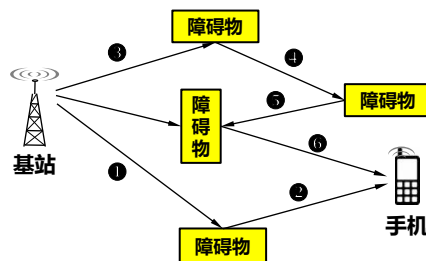
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

58

3. 物理层下面的传输媒体

3.5 非导引型传输媒体:无线电微波通信

- 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，这就是多径效应。



信号从
①→② 和 ③→④→⑤→⑥
两条路径到达手机。

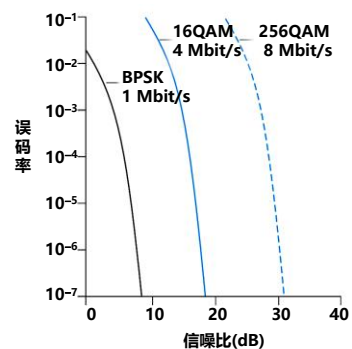
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

59

3. 物理层下面的传输媒体

3.5 非导引型传输媒体:无线电微波通信

- 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

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

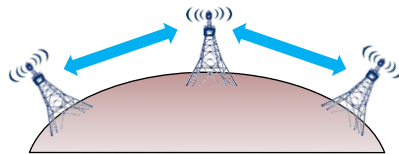
60

3. 物理层下面的传输媒体

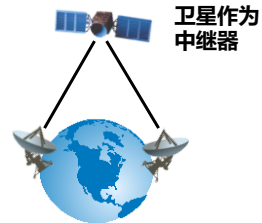
3.5 非导引型传输媒体:无线电微波通信

□ 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

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

61

3. 物理层下面的传输媒体

3.5 非导引型传输媒体:无线电微波通信

□ 远距离微波通信：微波接力

- 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（常称为视距 LOS (Line Of Sight)），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。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

62

3. 物理层下面的传输媒体

3.6 非导引型传输媒体:卫星通信

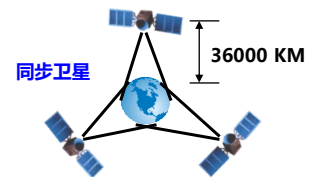
□ 通信卫星实际上是一个微波接力站，用于将两个或多个地球站或地面站的地面微波发送器/接收器连接起来。

■ 主要特性：

- 卫星使用上下行两个频段：接收一个频段(上行)上的传输信号，放大或再生信号后，再在另一个频段(下行)上将其发送出去。
- 卫星主要应用：电视广播、长途电话传输和个人用商业网络。
- 卫星传输的最佳频率范围为 1 GHz ~ 10 GHz。

■ 主要特点：

- 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。
- 传播时延较大：在 250~300 ms 之间。
- 保密性相对较差。造价较高。



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

63

3. 物理层下面的传输媒体

3.6 非导引型传输媒体: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中部署，并构成了空间高速链路。

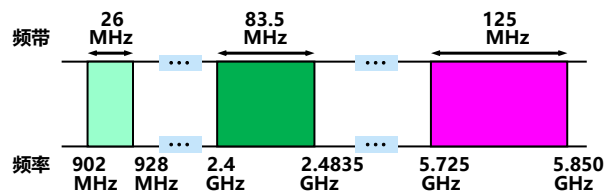
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

64

3. 物理层下面的传输媒体

3.7 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。



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

65

3. 物理层下面的传输媒体

3.8 非导引型传输媒体:红外线

- 红外线传输不能超过视线范围，距离短。
 - 红外线传输无法穿透墙体。
 - 微波系统中遇到的安全性和干扰问题在红外线传输中都不存在。
 - 红外线不需要频率分配许可。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

66

3. 物理层下面的传输媒体

3.9 非导向型传输媒体:光波

- 频率更高的光波，主要指非导向光波，而非用于光纤的导向光波。
 - 提供非常高的带宽，成本也很低，相对容易安装，而且与微波不同，不要求FCC许可。
 - 激光的强度(非常窄的一束光)是它的弱点，不易瞄准。
 - 激光束不能穿透雨或者浓雾，白天太阳热量使气流上升也会造成激光束产生偏差。

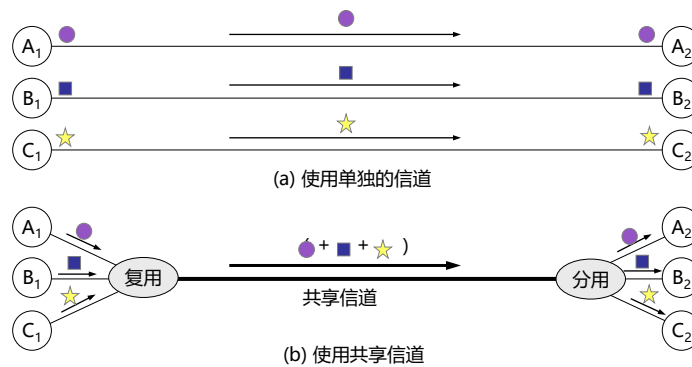
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

67

4. 信道复用技术

4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

- 复用(multiplexing)是通信技术中的基本概念。



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

68

4. 信道复用技术

4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

□ 频分复用 FDM (Frequency Division Multiplexing)

- 最基本。
- 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。



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

69

4. 信道复用技术

4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

□ 时分复用 TDM (Time Division Multiplexing)

- 时分复用则是将时间划分为一段段等长的时分复用帧（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（其周期就是TDM帧长度）。
- TDM 信号也称为等时(isochronous)信号。
- 所有用户是在不同的时间占用同样的频带宽度。

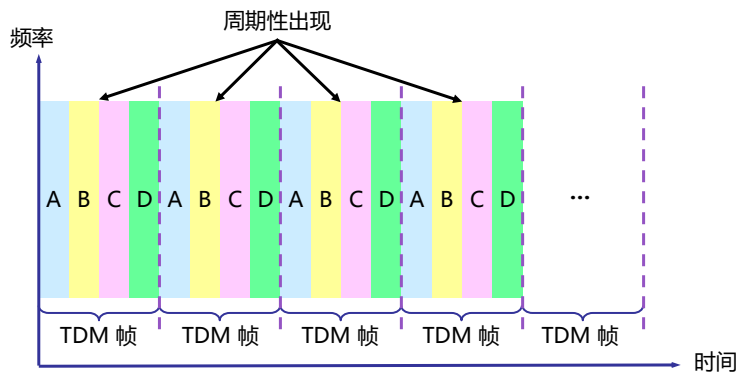
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

70

4. 信道复用技术

4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

□ 时分复用 TDM (Time Division Multiplexing)



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictcm.edu.cn>

71

4. 信道复用技术

4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

□ 频分多址与时分多址

- 可让 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。
 - 这种方式称为频分多址接入 FDMA (Frequency Division Multiple Access)。
 - 简称为频分多址。
- 可让 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。
 - 这种方式称为时分多址接入 TDMA (Time Division Multiple Access)。
 - 简称为时分多址。

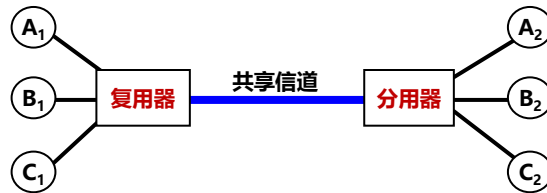
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictcm.edu.cn>

72

4. 信道复用技术

4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

- 复用器 (multiplexer) 和分用器 (demultiplexer)
 - 成对使用。



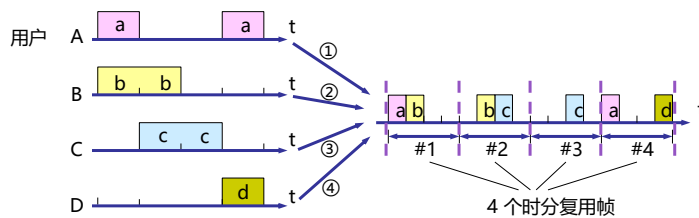
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

73

4. 信道复用技术

4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

- 时分复用会导致信道利用率不高
 - 使用时分复用系统传送计算机数据时，由于计算机数据的突发性质，用户对分配到的子信道的利用率一般是不高的。



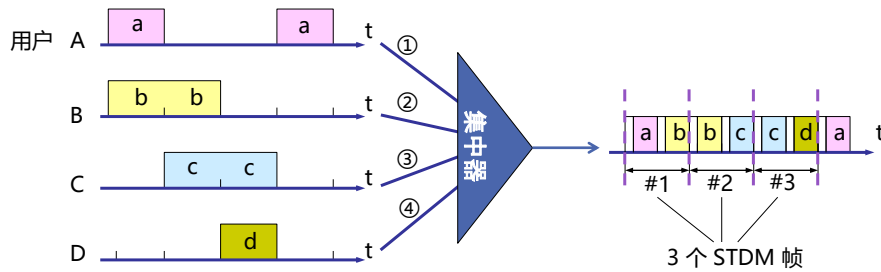
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

74

4. 信道复用技术

4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

- 统计时分复用 STDM (Statistic TDM)
 - STDM是对TDM的改进，它能够明显的提高信道的利用率。
 - STDM又称为异步时分复用，TDM则称为同步时分复用。



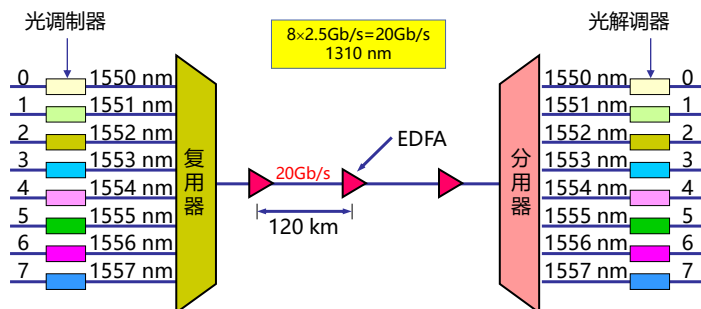
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

75

4. 信道复用技术

4.2 波分复用

- 波分复用 WDM(Wavelength Division Multiplexing)
 - 波分复用就是光的频分复用。
 - 使用一根光纤来同时传输多个光载波信号。



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

76

4. 信道复用技术

4.3 码分复用

- 码分复用 CDM (Code Division Multiplexing)
 - 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。
 - 当码分复用 CDM (Code Division Multiplexing) 信道为多个不同地址的用户所共享时，就称为码分多址 CDMA (Code Division Multiple Access)。
 - 各用户使用经过特殊挑选的不同码型，因此彼此不会造成干扰。
 - 这种系统发送的信号有很强的抗干扰能力，其频谱类似于白噪声，不易被敌人发现。
 - CDMA技术最早用于军方，随着技术进步，CDMA设备的价格和体积都大幅度下降，目前已经广泛用于民用，特别是无限局域网中。
 - 采用CDMA可提高通信的语音质量和数据传输的可靠性，减少干扰影响，增大通信系统的容量（是GSM的4-5倍），降低手机的功率等。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

77

4. 信道复用技术

4.3 码分复用

- CDMA 工作原理
 - 将每一个比特时间划分为 m 个短的间隔，称为码片 (chip)。
 - 为每个站指派一个唯一的 m bit 码片序列。
 - 发送比特 1：发送自己的 m bit 码片序列。
 - 发送比特 0：发送该码片序列的二进制反码。

例如：S 站的 8 bit 码片序列是 00011011。

1 → 00011011

0 → 11100100

码片序列：(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

78

4. 信道复用技术

4.3 码分复用

- CDMA 工作原理
 - 码片序列实现了扩频。
 - 要发送信息的数据率 = b bit/s, 实际发送的数据率 = mb bit/s, 同时, 所占频带宽度也提高到原来的 m 倍。
 - 扩频通常有 2 大类:
 - 直接序列扩频 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)。
 - 跳频扩频 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictcm.edu.cn>

79

4. 信道复用技术

4.3 码分复用

- CDMA 的重要特点
 - 每个站分配的码片序列: 各不相同, 且必须互相正交 (orthogonal)。
 - 正交: 向量 S 和 T 的规格化内积 (inner product) 等于 0:

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{T} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

- 任何一个码片向量和该码片向量自己的规格化内积都是 1。

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1$$

- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是 -1。

$$\mathbf{S} \cdot \bar{\mathbf{S}} = -1$$

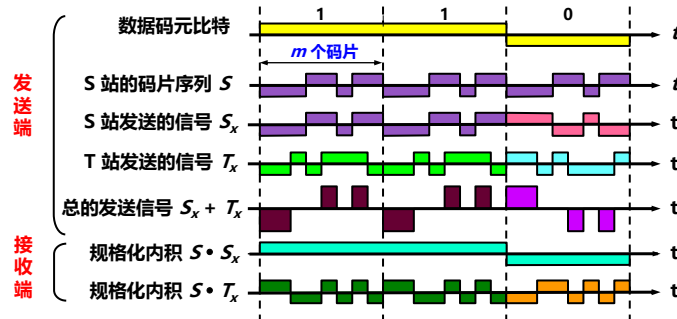
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictcm.edu.cn>

80

4. 信道复用技术

4.3 码分复用

□ CDMA 工作原理

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictcm.edu.cn>

81

4. 信道复用技术

4.3 码分复用

□ 1G、2G 和 3G

- 1995年问世的第一代模拟制式手机（1G）只能进行语音通话。
- 1996到1997年出现的第二代GSM、CDMA等数字制式手机（2G）便增加了接收数据的功能，如接收电子邮件或网页。
- 第三代移动通信技术（3rd-generation, 3G）是指支持高速数据传输的蜂窝移动通讯技术。
 - 3G 并不是2009年诞生的，早在2002年国外就已经产生 3G 了。
 - 中国于2003年开发中国的 3G，但2009年才正式上市。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictcm.edu.cn>

82

4. 信道复用技术

4.3 码分复用

- 1G、2G 和 3G
 - 3G是第三代通信网络，国际电联确定3G三个无线接口标准，分别是
 - 美国CDMA2000
 - 欧洲WCDMA
 - 中国TD-SCDMA
 - 国际电信联盟（ITU）是在芬兰赫尔辛基于2000年5月确定WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA三大主流无线接口标准，写入3G技术指导性文件《2000年国际移动通讯计划》（简称IMT—2000）。
 - 目前国内支持国际电联确定三个无线接口标准，分别是：
 - 中国电信的CDMA2000，中国联通的WCDMA，中国移动的TD-SCDMA。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

83

4. 信道复用技术

4.3 码分复用

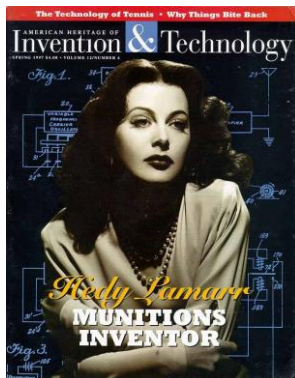
- 1G、2G 和 3G
 - 第一代移动通信系统采用频分多址(FDMA)的模拟调制方式，这种系统的主要缺点是频谱利用率低，信令干扰语音业务。
 - 第二代移动通信系统主要采用时分多址(TDMA)的数字调制方式，提高了系统容量，并采用独立信道传送信令，使系统性能大大改善，但TDMA的系统容量仍然有限，越区切换性能仍不完善。
 - 第三代移动通信系统的技术基础是CDMA。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

84

4. 信道复用技术

4.3 码分复用



Hedy Lamarr
海蒂·拉玛



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

85

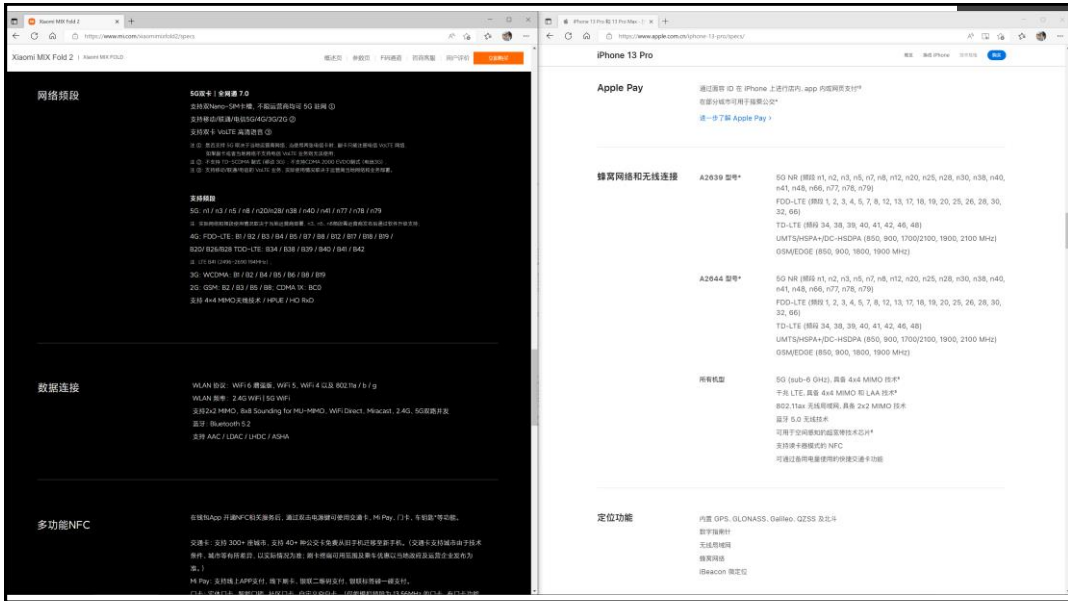
4. 信道复用技术

4.3 码分复用

- 4G
 - 4G是第四代移动通信信息系统，是基于3G通信技术基础上不断优化升级、创新发展而来，融合了3G通信技术的优势，并衍生出了一系列自身固有的特征，以WLAN技术为发展重点。
 - 4G技术包括 TD-LTE 和 FDD-LTE 两种制式。
 - 严格意义上来讲，LTE只是3.9G，尽管被宣传为4G无线标准，但它其实并未被3GPP认可为国际电信联盟所描述的下一代无线通讯标准IMT-Advanced，因此在严格意义上其还未达到4G的标准。
 - 只有升级版的LTE Advanced才满足国际电信联盟对4G的要求。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

86



87

88

4. 信道复用技术

4.3 码分复用

<http://www.ifanr.com/1149419>

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

88

5. 数字传输系统

- 早期电话网中，从市话局到用户电话机的用户线采用最廉价的双绞线，长途干线采用频分复用 FDM 的模拟传输方式。
- 由于数据通信与模拟通信相比，无论是传输质量还是经济上都有明显优势，目前长途干线大都采用时分复用 PCM 的数字传输方式。
- 现代电信网业务括语音、视频、图像和各种数据业务。因此需要一种能承载来自其他各种业务网络数据的传输网络。
- 在数字化的同时，光纤开始成为长途干线最主要的传输媒体。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

89

5. 数字传输系统

- 早期的数字传输系统却存在着许多缺点：
 - 速率标准不统一。
 - 两个互不兼容的国际标准：
 - 北美和日本的 T1 速率 (1.544 Mbit/s)
 - 欧洲的 E1 速率 (2.048 Mbit/s) 。
 - 不是同步传输。
 - 主要采用准同步方式。
 - 各支路信号的时钟频率有一定的偏差，给时分复用和分用带来许多麻烦。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

90

5. 数字传输系统

5.1 SONET

- 为了解决早期数据传输系统的问题，美国在1988年提出了一个新的数据传输标准，叫做同步光纤网 SONET (Synchronous Optical Network)。
 - 同步光纤网 SONET (Synchronous Optical Network) 的各级时钟都来自一个非常精确的主时钟（铯原子钟）。
 - 为光纤传输系统定义了同步传输的线路速率等级结构：
 - 传输速率以 51.84 Mbit/s 为基础。对电信信号称为第 1 级同步传送信号 STS-1 (Synchronous Transport Signal)，对光信号则称为第 1 级光载波 OC-1 (Optical Carrier)。
 - 现已定义了从 51.84 Mbit/s (即 OC-1) 到 9953.280 Mbit/s (即 OC-192/STS-192) 的标准。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

91

5. 数字传输系统

5.2 SDH

- 同步数字系列 SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
 - ITU-T 以美国标准 SONET 为基础，制订出国际标准同步数字系列 SDH (Synchronous Digital Hierarchy)。
 - 一般可认为 SDH 与 SONET 是同义词，这两个标准是一样的。
 - 与 SONET 的主要不同：
 - SDH 的基本速率为 155.52 Mbit/s，称为第 1 级同步传递模块 (Synchronous Transfer Module)，即 STM-1，相当于 SONET 体系中的 OC-3 速率。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

92

5. 数字传输系统

SONET 的 OC 级 / STS 级与 SDH 的 STM 级的对应关系

线路速率 (Mb/s)	SONET 符号	ITU-T 符号	表示线路速率的常用近似值
51.840	OC-1/STS-1	—	
155.520	OC-3/STS-3	STM-1	155 Mb/s
466.560	OC-9/STS-9	STM-3	
622.080	OC-12/STS-12	STM-4	622 Mb/s
933.120	OC-18/STS-18	STM-6	
1244.160	OC-24/STS-24	STM-8	
2488.320	OC-48/STS-48	STM-16	2.5 Gb/s
4976.640	OC-96/STS-96	STM-32	
9953.280	OC-192/STS-192	STM-64	10 Gb/s
39813.120	OC-768/STS-768	STM-256	40 Gb/s

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictcm.edu.cn>

5. 数字传输系统

- SONET / SDH 标准的意义
 - 定义了标准光信号，规定了波长为 1310 nm 和 1550 nm 的激光源。
 - 在物理层定义了帧结构。
 - 使北美、日本和欧洲这三个地区三种不同的数字传输体制在 STM-1 等级上获得了统一。
 - 已成为公认的新一代理想的传输网体制。
 - SDH 标准也适合于微波和卫星传输的技术体制。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictcm.edu.cn>

6. 宽带接入技术

6.1 ADSL

- 宽带：标准在不断提高。
- 美国联邦通信委员会 FCC 定义：

宽带下行速率达 25 Mbit/s，宽带上行速率达 3 Mbit/s。

- 从宽带接入的媒体来看，划分为 2 大类：
 - 有线宽带接入。
 - 无线宽带接入。

6. 宽带接入技术

6.1 ADSL

- 非对称数字用户线 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) 技术：
 - DSL 是数字用户线 (Digital Subscriber Line) 的缩写，A是非对称。
 - 用数字技术对现有的模拟电话用户线进行改造，使它能够承载宽带业务。
 - ADSL 技术就把 0~4kHz 低端频谱留给传统电话使用，把原来没有被利用的高端频谱留给用户上网使用。
 - 标准模拟电话信号的频带被限制在 300~3400Hz 的范围内，但用户线本身实际可通过的信号频率超过 1 MHz。
 - ADSL 的 ITU 的标准：G.992.1 (或称 G.dmt) 。
 - 非对称：
 - 下行 (从 ISP 到用户) 带宽远大于上行 (从用户到 ISP) 带宽。

6. 宽带接入技术

6.1 ADSL

- ADSL 的极限传输距离与数据率以及用户线的线径都有很大的关系。
 - 用户线越细，信号传输时的衰减就越大。
 - 所能得到的最高数据传输速率与实际的用户线上的信噪比密切相关。
 - 例如：
 - 0.5 毫米线径的用户线，传输速率为 1.5~2.0Mb/s 时可传送5.5公里，但当传输速率提高到 6.1Mb/s 时，传输距离就缩短为 3.7 公里。
 - 如果把用户线的线径减小到 0.4 毫米，那么在 6.1Mb/s 的传输速率下就只能传送 2.7 公里。

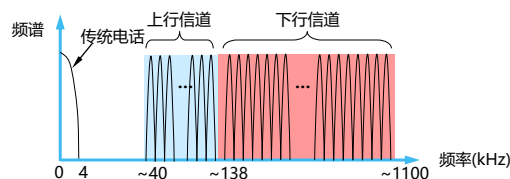
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

97

6. 宽带接入技术

6.1 ADSL

- ADSL 调制解调器
 - 采用离散多音调 DMT (Discrete Multi-Tone) 调制技术。
 - DMT 调制技术采用频分复用 FDM 方法。
 - 把40kHz以上一直到1.1MHz的高端频谱划分为许多的子信道，其中25个子信道用于上行信道，而249个子信道用于下行信道。
 - 每个子信道占据4kHz 带宽 (严格讲是4.3125kHz)，并使用不同的载波 (即不同的音调) 进行数字调制。相当于在一对用户线上使用许多小的调制解调器并行地传送数据。



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

98

6. 宽带接入技术

6.1 ADSL

- ADSL 的数据率：
 - 由于用户线的具体条件往往相差很大（距离、线径、受到相邻用户线的干扰程度等都不同），因此 ADSL 采用自适应调制技术使用户线能够传送尽可能高的数据率。
 - 当 ADSL 启动时，用户线两端的 ADSL 调制解调器就测试可用频率、各子信道受到的干扰情况，以及在每个频率上测试信号的传输质量。
 - ADSL 不能保证固定数据率。
 - 对于质量很差的用户线甚至无法开通。
 - 通常下行数据率在 32kb/s 到 6.4Mb/s 之间。
 - 通常上行数据率在 32kb/s 到 640kb/s 之间。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

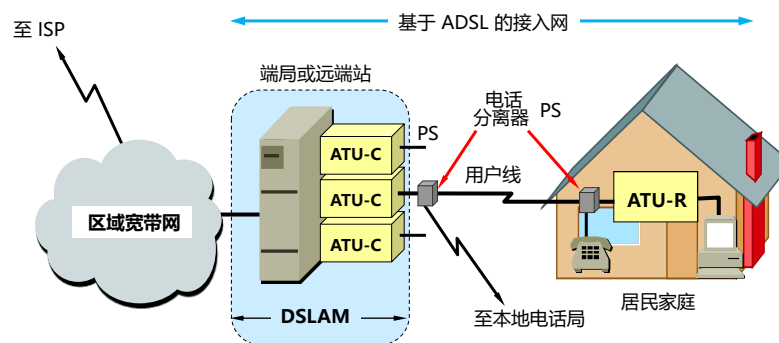
99

6. 宽带接入技术

数字用户线接入复用器 DSLAM (DSL Access Multiplexer)
 接入端接单元 ATU (Access Termination Unit)
 C 代表端局 Central Office, R 代表远端 Remote
 电话分离器 PS (POTS Splitter)

6.1 ADSL

- ADSL 的组成：



河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

100

6. 宽带接入技术

6.1 ADSL

- ADSL2 (G.992.3 和 G.992.4) , ADSL2+ (G.992.5)
 - 通过提高调制效率得到了更高的数据率。
 - 例如：
 - ADSL2 要求至少应支持下行 8Mb/s、上行 800kb/s 的速率。
 - ADSL2+ 则将频谱范围从 1.1MHz 扩展至 2.2MHz；下行速率可达 16Mb/s，最大传输速率可达 25Mb/s；上行速率可达 800kb/s。
 - 采用了无缝速率自适应技术 SRA (Seamless Rate Adaptation)，可在运营中不中断通信和不产生误码的情况下，自适应地调整数据率。
 - 改善了线路质量评测和故障定位功能，这对提高网络的运行维护水平具有非常重要的意义。

ADSL 不适用于企业，因为企业往往需要使用上行信道发送大量数据给许多用户。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictm.edu.cn>

101

6. 宽带接入技术

6.1 ADSL

- xDSL 的常见类型：
 - SDSL (Single-line DSL)：对称数字用户线。
 - HDSL (High speed DSL)：高速数字用户线。
 - VDSL (Very high speed DSL)：甚高速数字用户线。
 - RADSL (Rate-Adaptive DSL)：
 - 速率自适应DSL，是ADSL的一个子集，可自动调节线路速率。
 - Giga DSL：超高速数字用户线
 - 华为公司于 2012 年首先研制成功样机。
 - 使用时分双工 TDD (Time Division Duplex)和 OFDM 技术。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.haictm.edu.cn>

102

6. 宽带接入技术

6.2 HFC

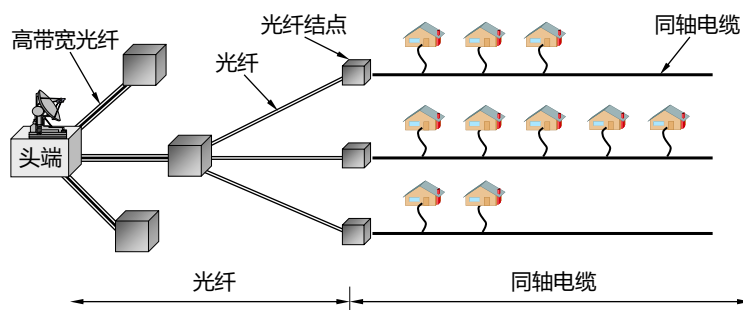
- 光纤同轴混合网 HFC (Hybrid Fiber Coax) 是在有线电视网 CATV 的基础上开发的居民宽带接入网。
- HFC 网除可传送 CATV 外, 还提供电话、数据和其他宽带交互型业务。
 - 现有的 CATV 网是树形拓扑结构的同轴电缆网络, 它采用模拟技术的频分复用对电视节目进行单向传输。
 - HFC 网将原 CATV 网中的同轴电缆主干部分改换为光纤, 使用模拟光纤技术。
 - 模拟光纤从头端连接到光纤结点 (fiber node), 即光分配结点 ODN (Optical Distribution Node)。
 - 在光纤结点光信号被转换为电信号, 在光纤结点以下是同轴电缆。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

103

6. 宽带接入技术

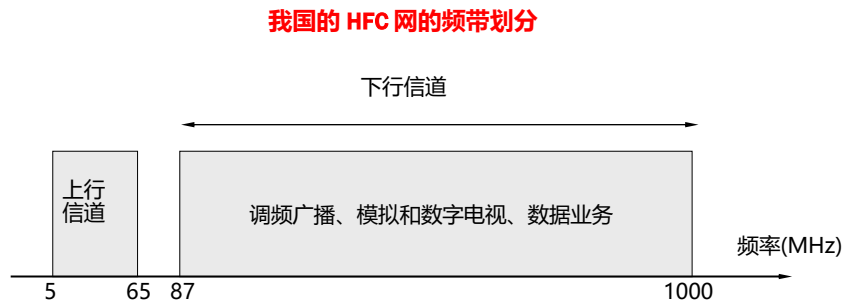
6.2 HFC

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

104

6. 宽带接入技术

6.2 HFC

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

105

6. 宽带接入技术

6.2 HFC

- HFC 中，每个家庭都要安装一个用户接口盒。
- 用户接口盒 UIB (User Interface Box) 要提供三种连接，即：
 - 使用同轴电缆连接到机顶盒(set-top box)，然后再连接到用户的电视机。
 - 使用双绞线连接到用户的电话机。
 - 使用电缆调制解调器连接到用户的计算机。
 - 电缆调制解调器是为 HFC 网而使用的调制解调器，其工作比 ADSL 调制解调器要复杂得多，并且不是成对使用，而是只安装在用户端。
- 虽然 HFC 的调制解调器速度更快，但是由于 HFC 是共享带宽，因此在实际使用中速度是不确定的。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

106

6. 宽带接入技术

6.3 FTTx

- FTTx (光纤到.....) 是一种实现宽带居民接入网的方案。
 - 字母 x 可代表不同意思。
 - 例如：
 - 光纤到户 FTTH(Fiber To The Home):
 - 光纤一直铺设到用户家庭可能是居民接入网最后的解决方法。
 - 光纤到大楼 FTTB(Fiber To The Building):
 - 光纤进入大楼后就转换为电信号，然后用电缆或双绞线分配到各用户。
 - 光纤到路边 FTTC(Fiber To The Curb):
 - 光纤放置到路边机箱，从路边到各用户可使用星形结构双绞线作为传输媒体。
 - 光纤到小区 FTTZ(Fiber To The Zone):
 - 光纤接入小区，从小区到各用户使用电缆或双绞线作为传输媒体。
 -

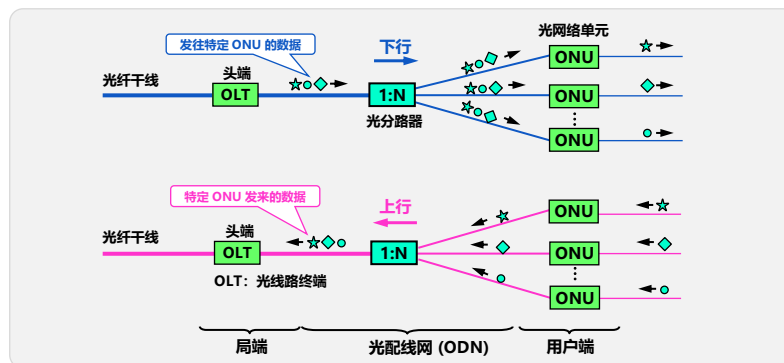
河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / http://network.xg.hactcm.edu.cn

107

6. 宽带接入技术

6.3 FTTx

光配线网 ODN (Optical Distribution Network)



光配线网 ODN (Optical Distribution Network): 位于光纤干线和广大用户之间。

无源的光配线网常称为无源光网络 PON (Passive Optical Network)。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / http://network.xg.hactcm.edu.cn

108

6. 宽带接入技术

6.3 FTTx

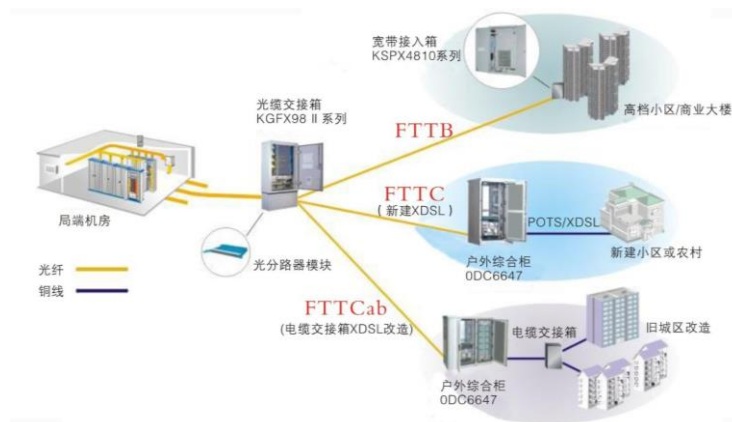
- 光配线网 ODN (Optical Distribution Network)
 - 采用波分复用 WDM, 上行和下行分别使用不同的波长。
 - 2 种最流行的无源光网络 PON (Passive Optical Network):
 - 以太网无源光网络 EPON (Ethernet PON)
 - 在链路层使用以太网协议, 利用 PON 的拓扑结构实现以太网的接入。
 - 与现有以太网的兼容性好, 并且成本低, 扩展性强, 管理方便。
 - 吉比特无源光网络 GPON (Gigabit PON)
 - 采用通用封装方法 GEM (Generic Encapsulation Method), 可承载多业务, 且对各种业务类型都能够提供服务质量保证, 总体性能比EPON好。
 - 成本稍高。

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

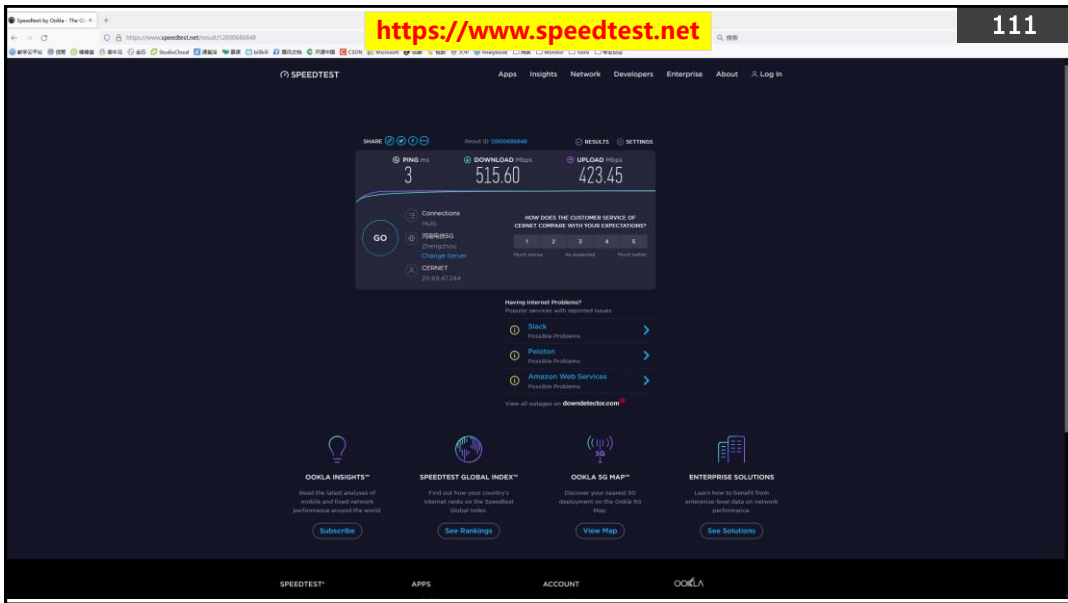
109

6. 宽带接入技术

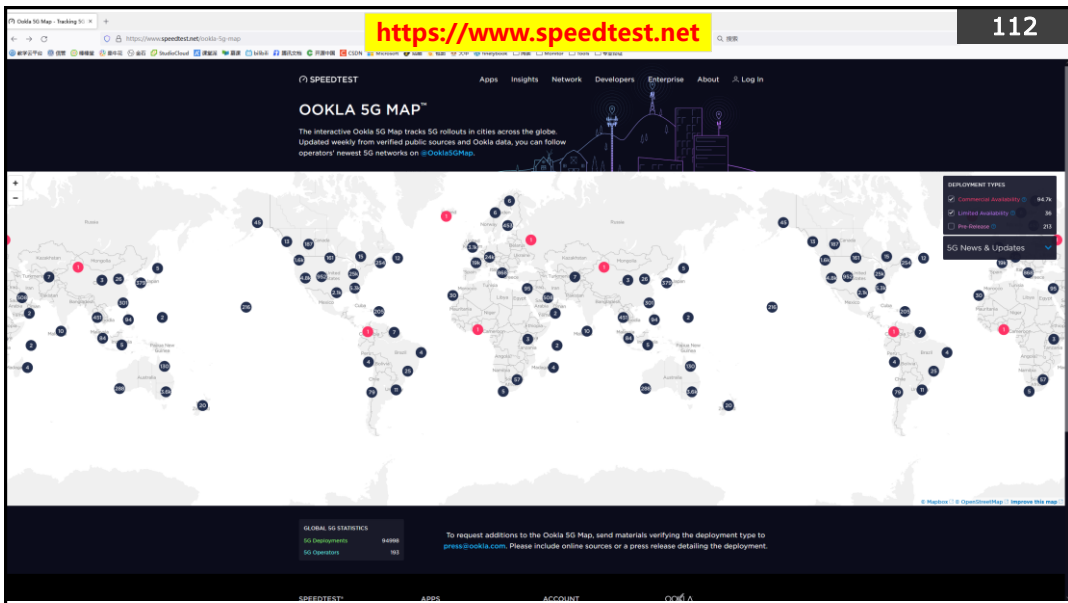
6.3 FTTx

河南中医药大学信息技术学院 / 阮晓龙 / 13938213680 / <http://network.xg.hactcm.edu.cn>

110



111



112

Thanks