



计算机通信网络

四、物理层





主要内容

- 1、物理层的基本概念
- 2、物理层下的传输媒体
- 3、Internet 的本地接入



1、物理层的基本概念



物理层的功能： 与传输媒体的接口，完成传输媒体上的信号与二进制数据间的转换，并定义了与传输媒体的接口特性

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

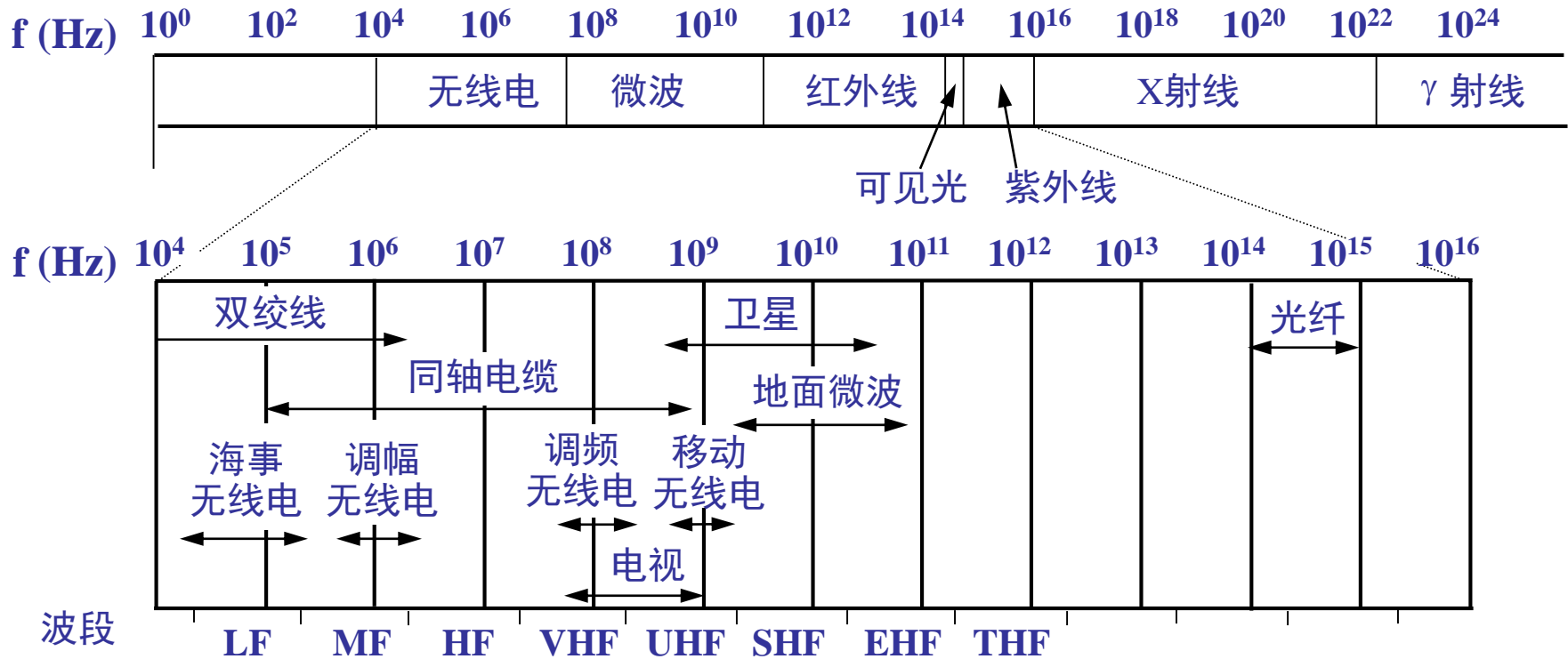


2、物理层下面的传输媒体

- (1) 电信领域使用的电磁波频谱
- (2) 导向传输媒体
- (3) 非导向传输媒体



(1) 电信领域使用的电磁波频谱





(2) 导向传输媒体

电磁波被导向沿着**固体媒体**（铜线或光纤）传播：



双绞线



同轴电缆



光缆



双绞线 (twisted pair)

- ④ 线间干扰较小、价格便宜、易于安装
- ④ 可传输模拟信号，也可传输数字信号
 - 在电话系统的最后一公里，用于传输模拟信号
 - 在计算机网络中，用于传输数字信号，常用8芯无屏蔽双绞线（UTP），通常的传输距离为100m，如Cat3（10 Mbps）和Cat5（100 Mbps）
- ④ **技术指标：** 缠绕率，包含的绞线对数量、铜线等级、屏蔽层类型、屏蔽材料。
- ④ **标准：** TIA/EIA568，1类（电话线原始类型）、3类（CAT3）、4类（CAT4）、5类（CAT5）、5e（CAT 5e）、6类（CAT 6e）、7类（CAT7）



(a)



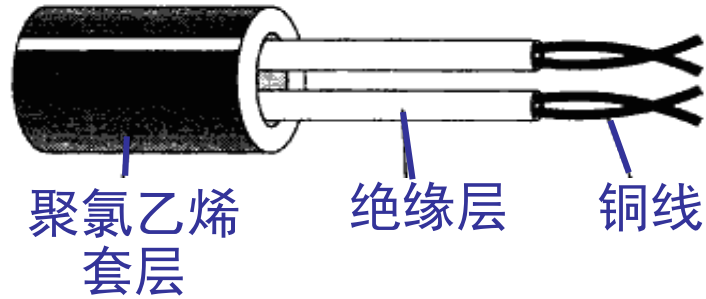
(b)

(a) 3类双绞线

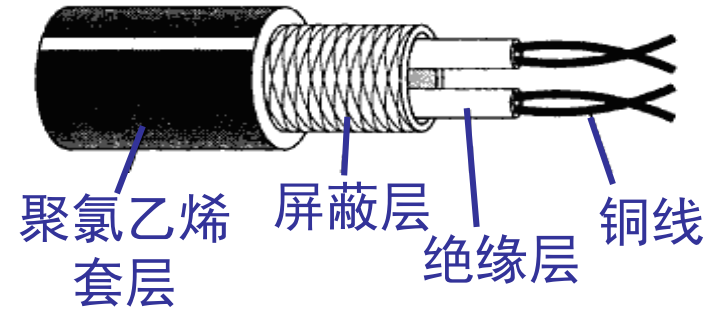
(b) 5类双绞线



无屏蔽双绞线 UTP



屏蔽双绞线 STP



双绞线示意图



常用的同轴电缆有两种：



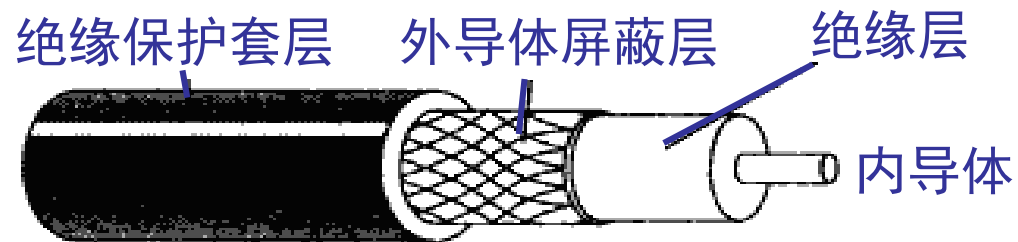
50 Ω 同轴电缆

用于数字信号传输，目前基本已被双绞线所替代。




75 Ω 同轴电缆

- 75 Ω 同轴电缆用于模拟信号传输，目前主要用于电视信号的传输。
- 由于75 Ω 同轴电缆的带宽极宽，所以也被用于城域网，如有线通。



同轴电缆示意图



 **光传输系统：**包括光发射器（发光二极管、半导体激光器）、光纤、光放大器、光检测器（光电二极管）

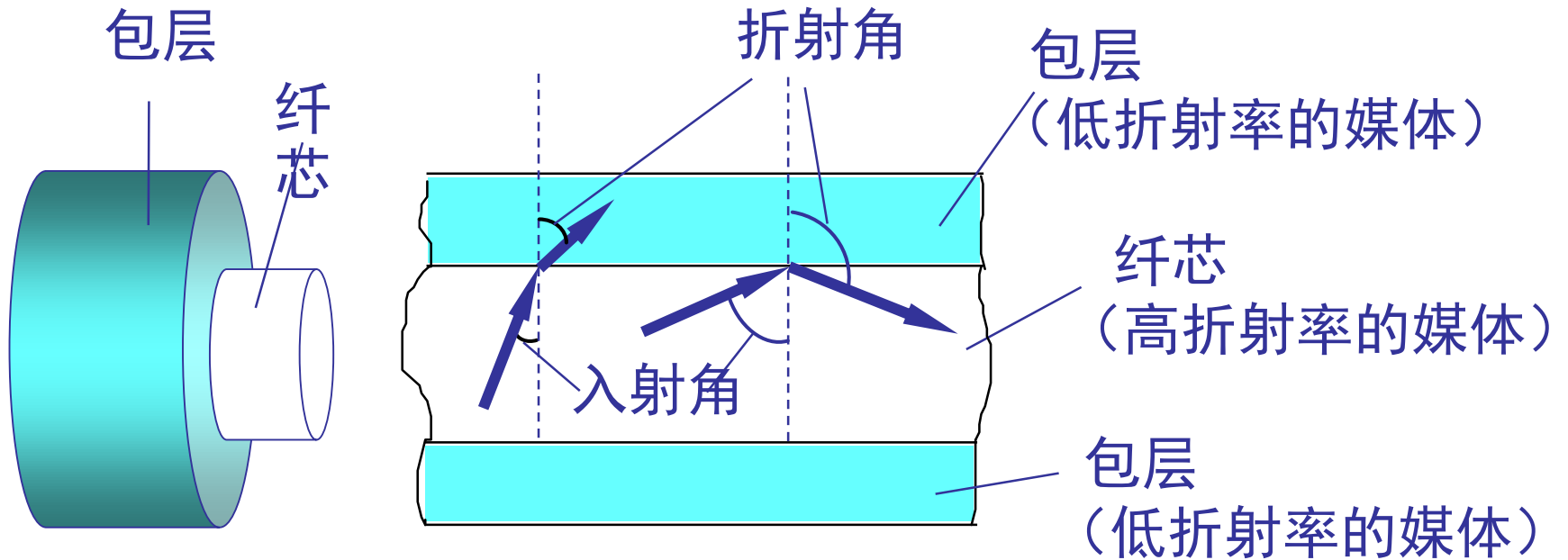
 **光纤类型：**

- **多模光纤：**直径在50~115mm，常用62.5mm，信号通过光的折射在光纤中传输，距离2 km。
- **单模光纤：**直径小于10 μ m，直线传输，距离10 km。

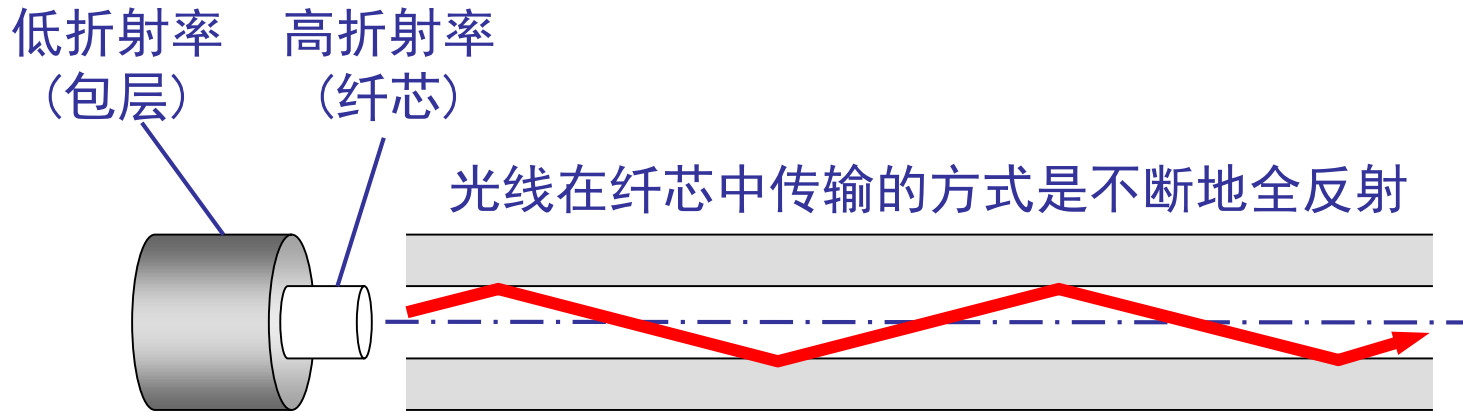
 **采用三个波段中心的光信号：**0.85 μ m、1.30 μ m、1.55 μ m，带宽：25000~30000GHz



四芯光缆剖面示意图



光线在光纤中的折射



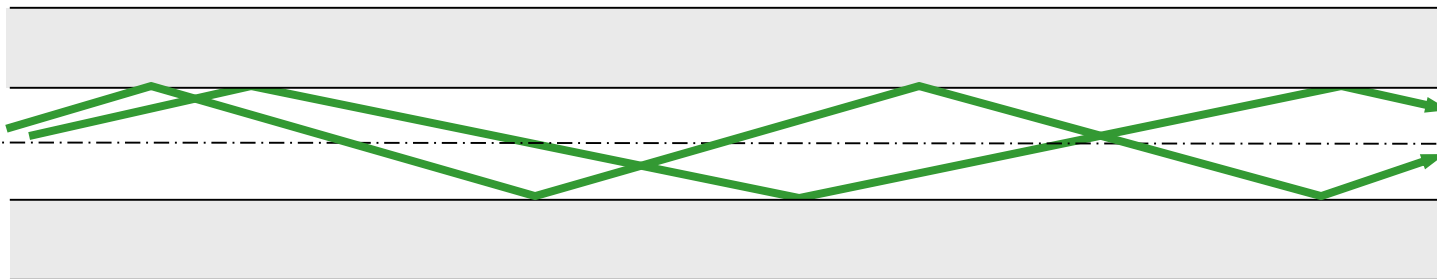
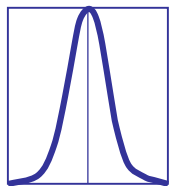
光纤的工作原理



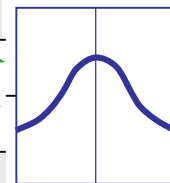
发光二极管

多模光纤（有色散现象）

输入脉冲



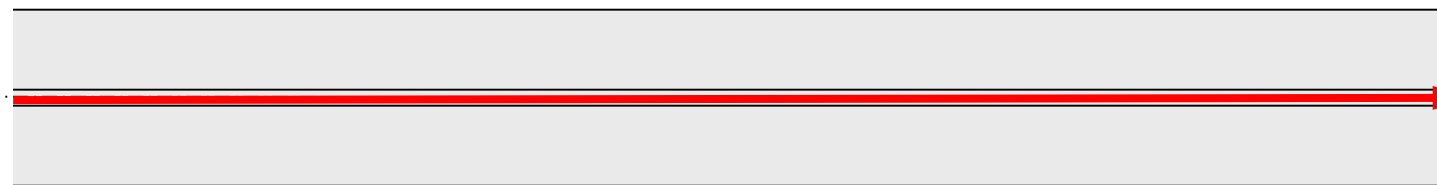
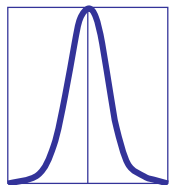
输出脉冲



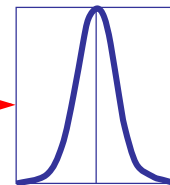
激光器

单模光纤

输入脉冲



输出脉冲



多模光纤与单模光纤的比较



光缆相对铜缆的特性

- 带宽高，距离远，损耗低，重量轻，无电磁干扰，防窃听
- 端口设备价格高



(3) 非导向传输媒体

无线传输，所使用电磁波的频段很广。

根据波长分成不同的波段，依次为无线电、微波、红外、可见光、紫外等。

- 无线电传输
- 微波传输
- 红外线和毫米波传输
- 光波传输



- ④ 全方向传播
- ④ 主要靠电离层的反射
- ④ 多径效应——通信质量较差

——实例：广播，业余无线电爱好者



直线传播，能穿透电离层



地面微波接力通信：

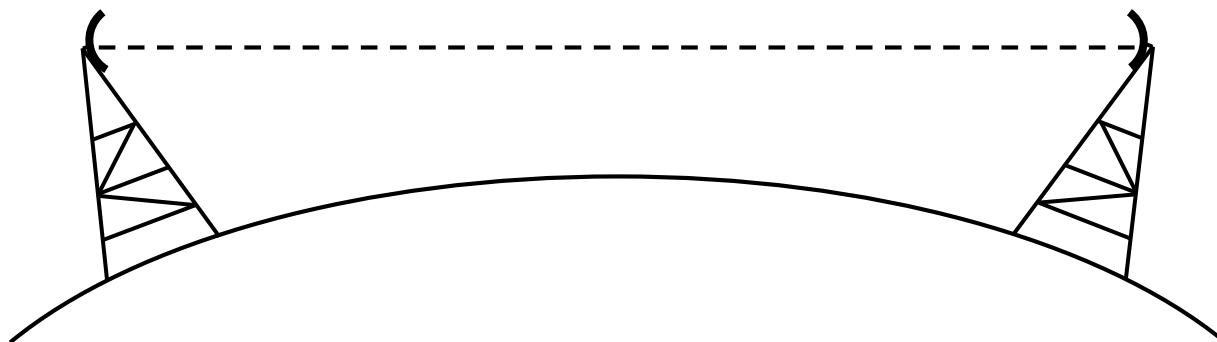
两个终端之间建立若干个中继站(天线)

主要频率范围：2~40GHz



卫星通信：

以位于约36000公里高空的人造同步地球卫星作为中继器。

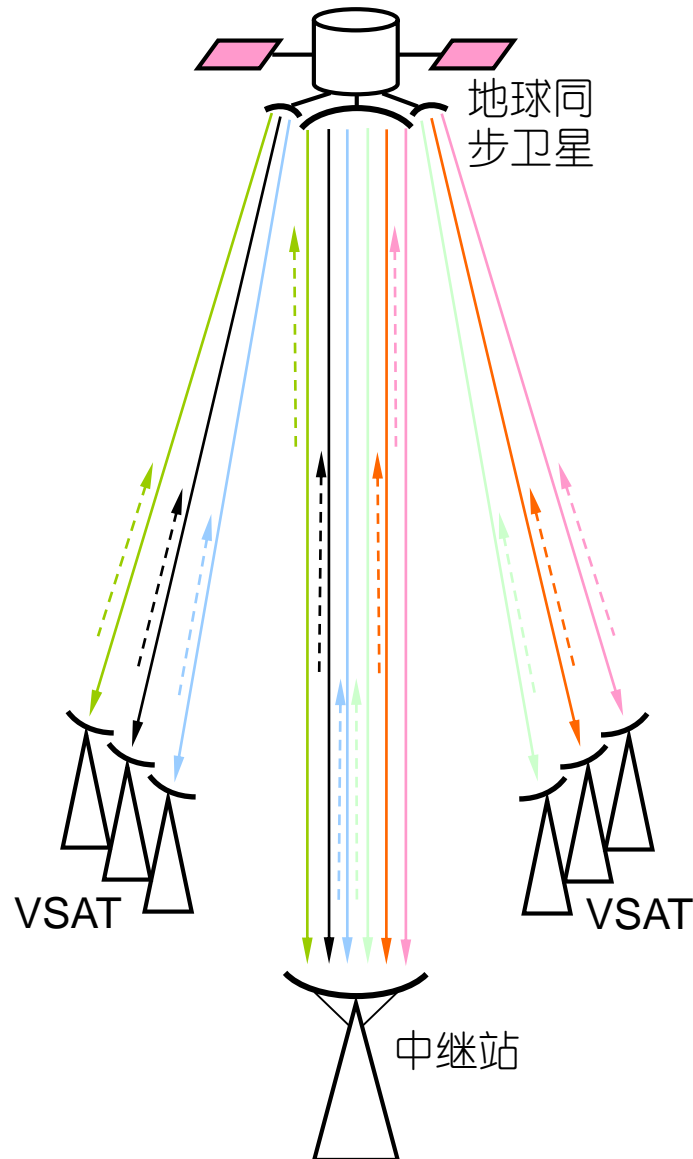
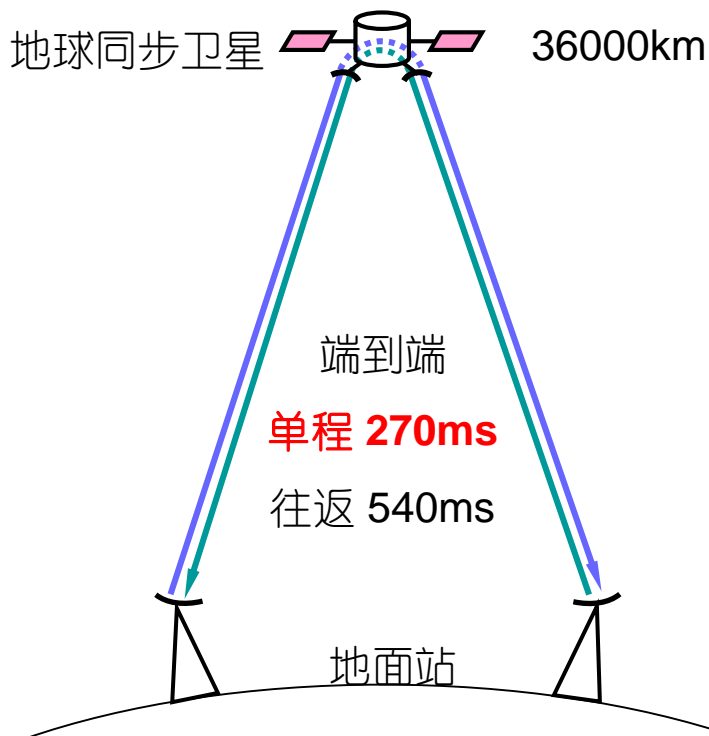


传输距离：天线的高度、类型和信号强度

传输可靠性：障碍物

传输正确性：气象条件

地面微波接力通信示意图



VSAT: 甚小孔径卫星终端

very small aperture satellite terminals

卫星通信示意图



全球卫星导航系统

- 美国GPS
- 俄罗斯GLONASS
- 欧盟GALILEO
- 中国BDS



3、Internet 的本地接入

- (1) 拨号接入
- (2) ADSL接入
- (3) Internet over Cable
- (4) 无线接入



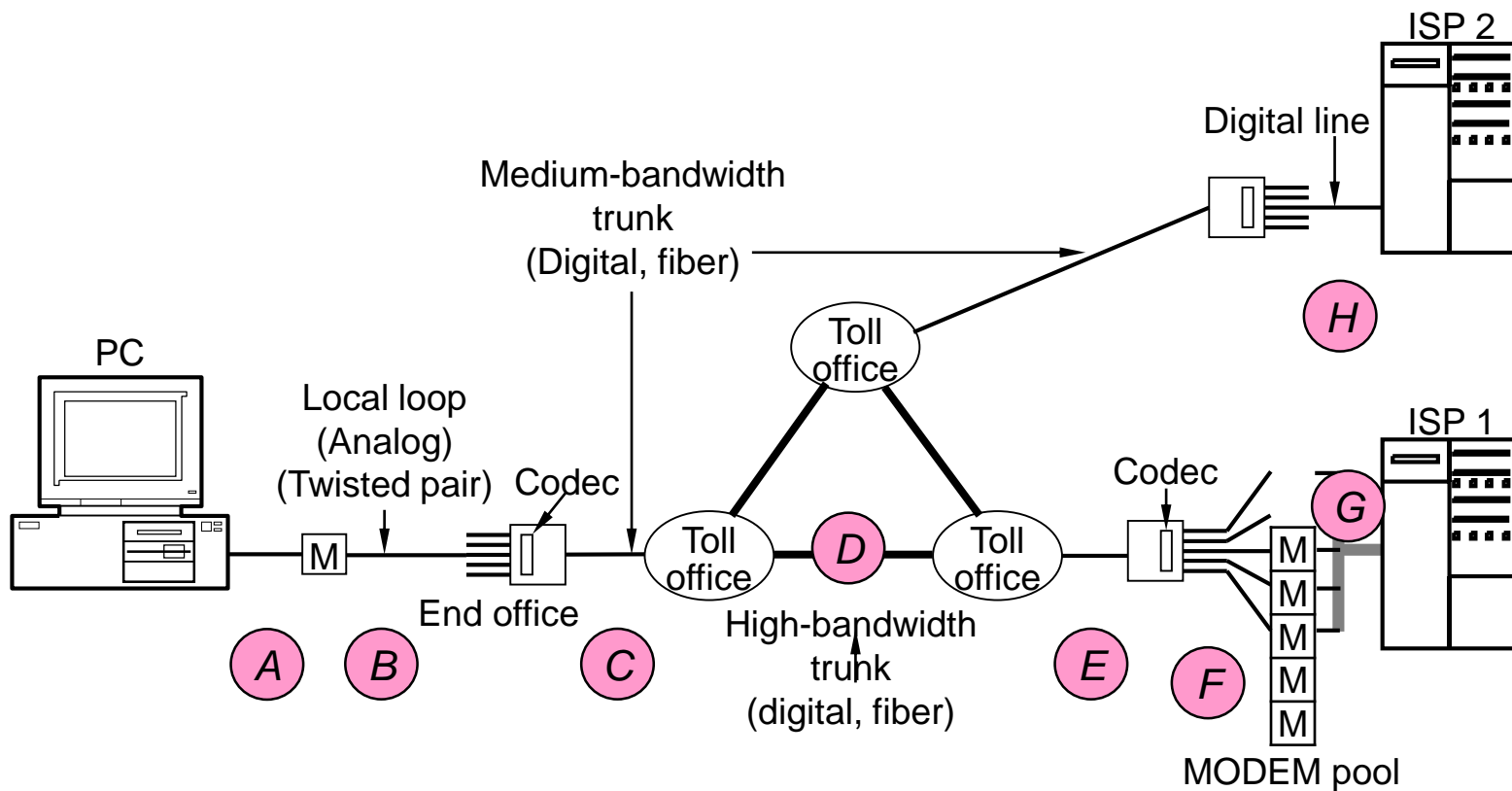
(1) 拨号接入

- ④ 通过电话线路访问远程服务器
- ④ 使用调制解调器将数字信号转换成模拟信号
- ④ 必须在某ISP注册成为合法用户
- ④ 服务器端采用DHCP协议，为接入者分配一个临时的IP地址



家庭主机拨号上网示意图

- 家庭主机通过拨号对远程服务器的访问
- 不归零制编码的数字数据（数字信号）：A、G
- 经MODEM调制后的数字数据（模拟信号）：B、F
- 经Codec编码解码后的数字数据（数字/模拟信号）：C、D、E、H





数据传输需考虑的问题

- ④ 任何传输介质在传输信号时都伴随着干扰（噪声）和衰减
 - 噪声有热噪声和随机冲击噪声两种。
 - 衰减与信号的频率有关，频率越高衰减程度越大。
- ④ 由于数字信号中包含着大量的高次谐波，所以基带信号不适合长距离和高速的传输。
- ④ 尤其应关注在电话系统中使用的是频分多路复用，人为地限制了每个信道的带宽为4k Hz。



MODEM 调制解调器

调制解调器（MOModulation and DEModulation，简称为MODEM）

❶ **MODEM的功能：** 包括调制和解调两个功能。

❷ **调制方式：**

- 调幅 ➤ 调频 ➤ 调相
- 或是上述的组合

❸ **常用的调制解调器接口：** RS-232、RS-449



载波： 1000 – 2000 Hz的正弦波。



使用**调幅、调频、调相**或其**组合**的调制技术，让载波携带数字数据。



常用的协议

- V.32: $6(1)\text{b} \times 2400 = 14.4$
- V.34: $12 \times 2400 = 28.8 \text{ kbps}$
 $14 \times 2400 = 33.6 \text{ kbps}$
- V.90: 当ISP为数字接入时，终端用户上行速率为33.6 kbps，ISP的下行速率为56 kbps。



(2) ADSL接入

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line



DSL 数字用户线路



ADSL的接入模型



DMT 离散多音调调制



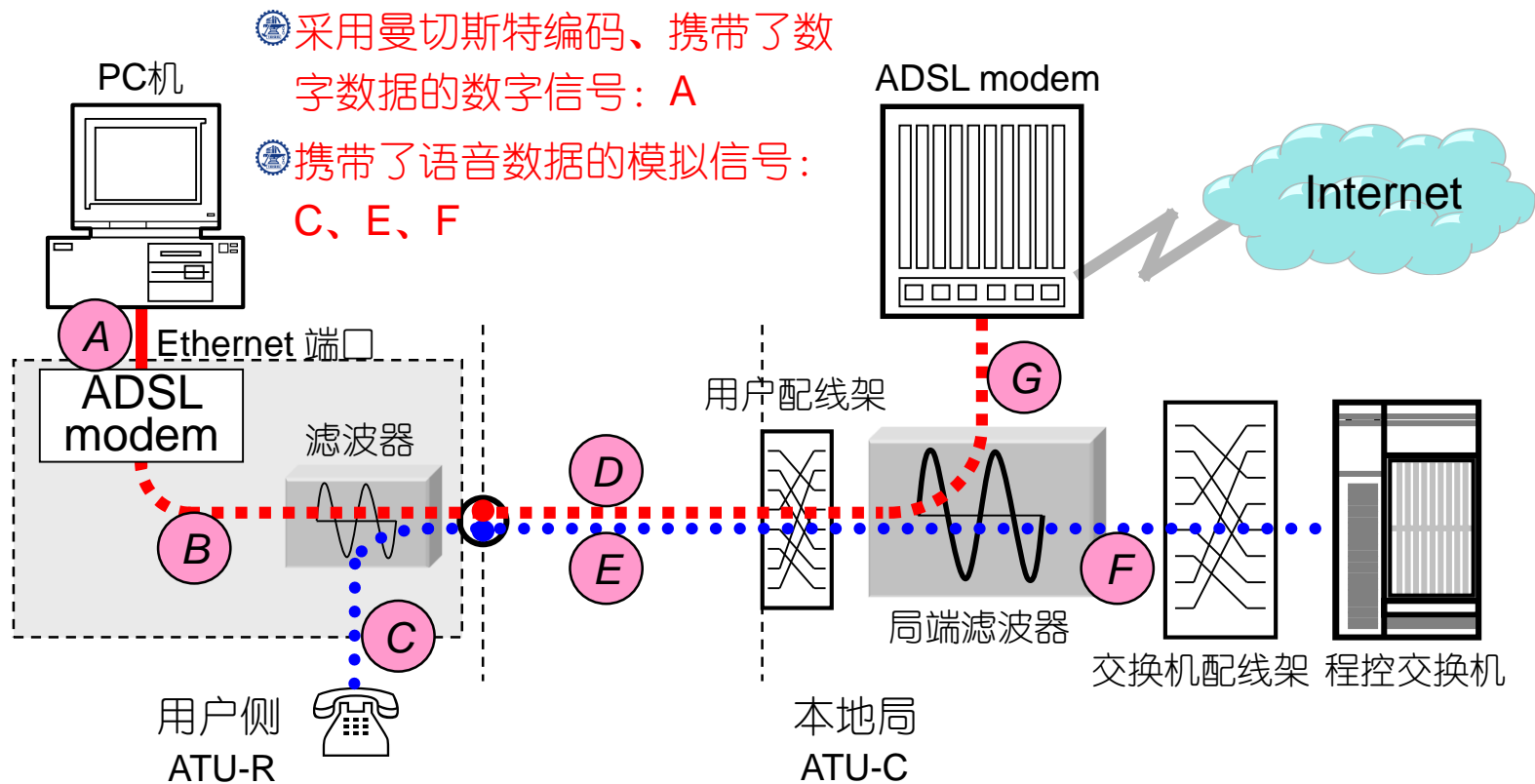
DSL 数字用户线路

(DSL: digital subscriber line)

- ④ 使用常规的**电话线路**，本地局端的滤波器将限制带宽为4 kHz，但本地回路通常采用的是**3类UTP**，**其实际带宽远远大于4 kHz**。
- ④ 如局端滤波器的限制策略为按需可调，则给定的带宽可增加。
- ④ 根据对上行、下行线路不同的带宽需求有多种不同的标准
 - **对称线路:**
 - HDSL: 1.544 ~ 2.048 Mbps, 2/4对双绞线, 3 ~ 4 km
 - SDSL: 1.544 ~ 2.048 Mbps, 1对双绞线, 3 km
 - **非对称线路:**
 - VDSL: 上行13 ~ 52 Mbps, 下行1.5 ~ 2.3 Mbps
1对双绞线, 0.xx km
 - ADSL: 上行64 k ~ 1 Mbps, 下行512 k ~ 8 Mbps
1对双绞线, 3 ~ 5 km



ADSL的接入模型



ATU - C: ADSL Transmission Unit—Central
ATU - R: ADSL Transmission Unit—Remote

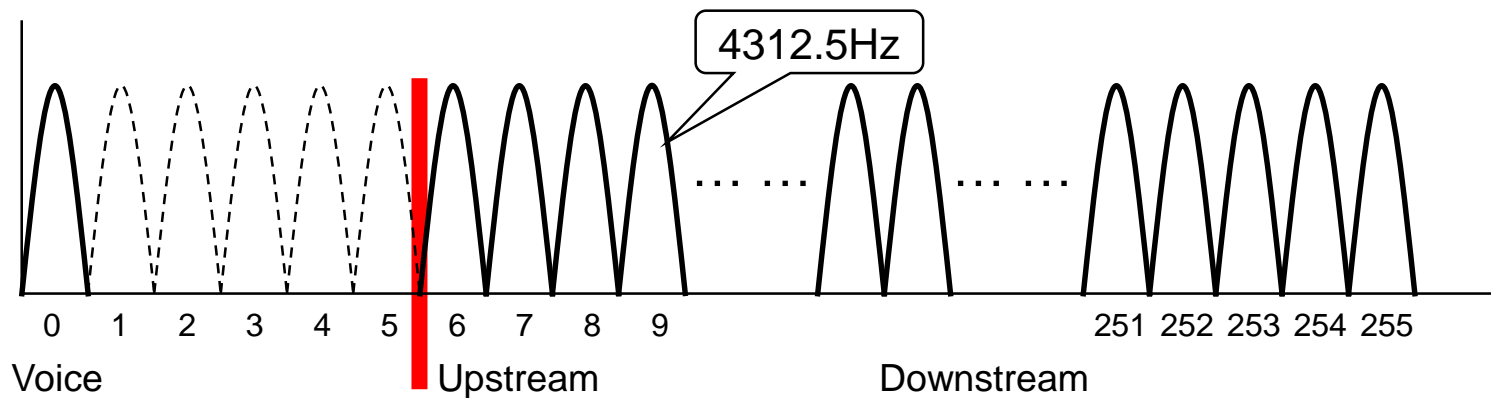
- ❖ 经ADSL modem 调制后的、携带了数字数据的模拟信号: B、D、G
- ❖ 多个信道，频分多路复用



DMT 离散多音调调制

DMT: Discrete MultiTone modulation 将本地回路的可用带宽（约1.1MHz）分成**256**个4312.5Hz的独立信道

- 信道0 给传统的电话
- 信道1 ~ 5保留
- 剩下的250个信道中一个给上行控制，一个给下行控制，其余全部用于数据传输，由提供者分配哪些给上行，哪些给下行



采用DMT调制的ADSL



常用的**ADSL**带宽分配：因为用户对Internet 的访问是不对称的，所以一般总是将80 – 90%的信道分配给下行，每个信道都是**独立调制**的。

voice	4k	4k	...	4k
Upstream	64k	256k	...	1M
Downstream	512k	1M	...	8M



(3) Internet over Cable

Internet over Cable : 基于社区电视系统



社区电视系统



HFC 混合光纤电缆系统



HFC中的频谱分配



Cable MODEM



ADSL与HFC的比较



社区电视系统



社区电视系统的特点

- 覆盖面很大，系统之间用**光缆**连接
- 传播**单向电视信号**的一个共享系统
- 用**同轴电缆**作为传输介质，带宽可达**750 MHz**



作为Internet 接入的可能性

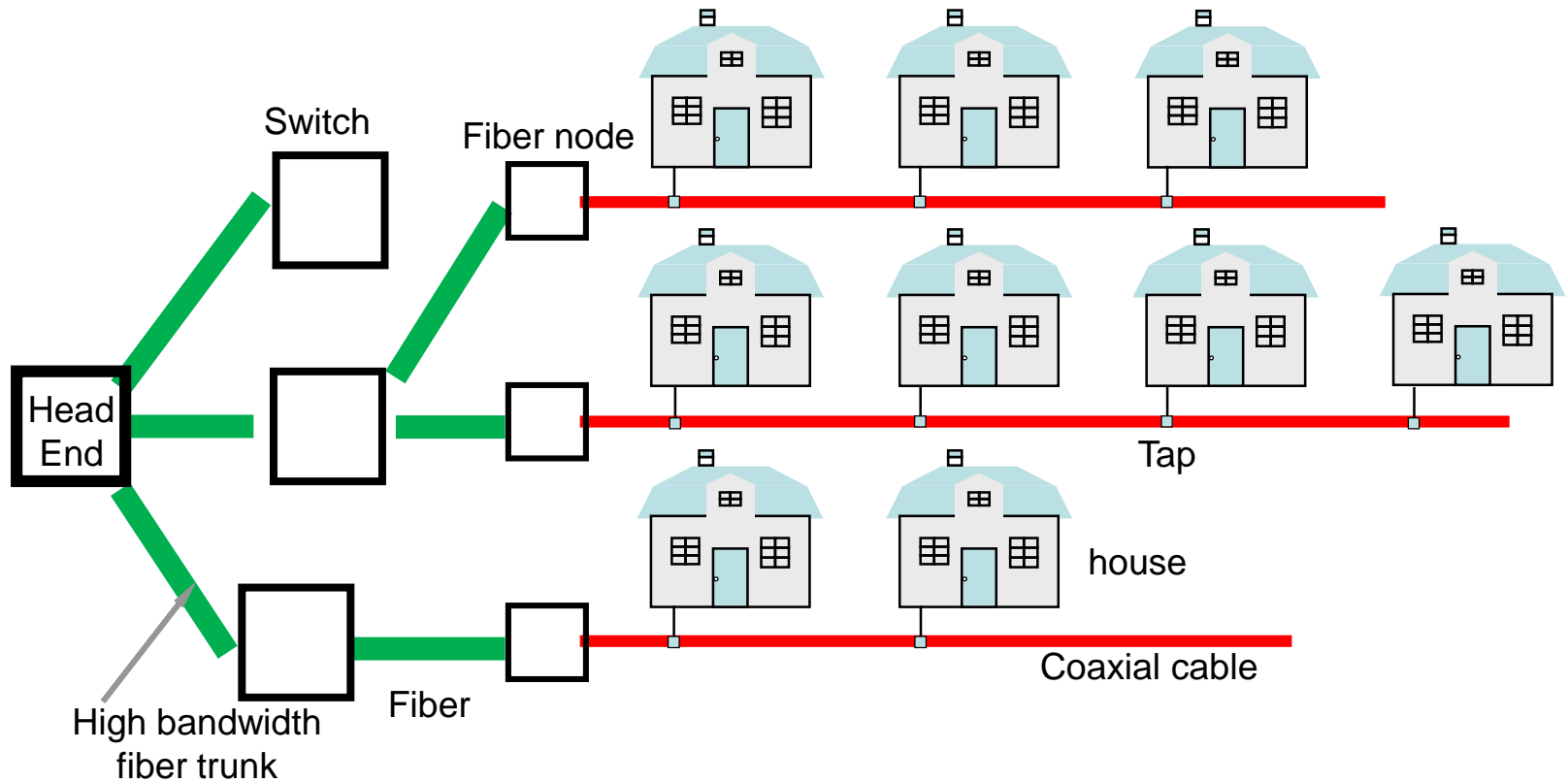
- 数据的双向传输
- 用户端的**Cable MODEM**



HFC 混合光纤电缆系统



HFC: Hybrid Fiber Coax

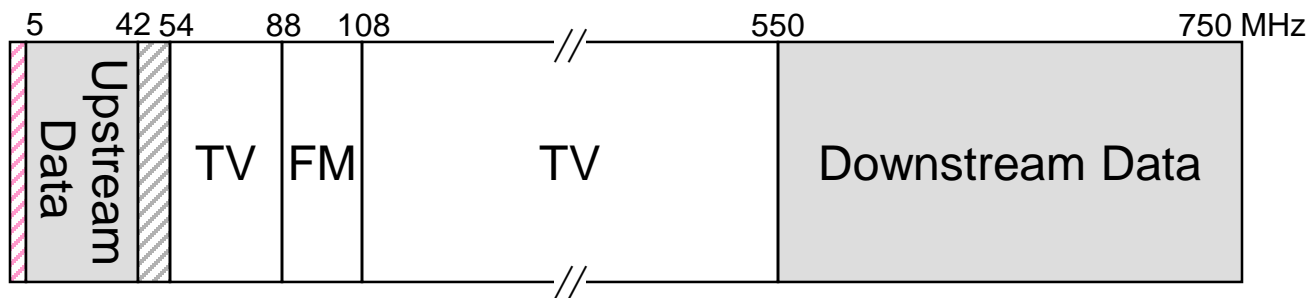


混合光纤电缆系统



HFC中的频谱分配

- ④ HFC保留了原有的TV及FM的广播功能
- ④ 实现了数据的非对称双向传输，以作为Internet的接入



42 ~ 54M频段保留，凡高于此频段的都是下行信号，低于此段频的都是上行信号，其实，此频段是一隔离带



- 每个下行信道占用6 ~ 8 MHz
- 用模拟方式传输，常用的调制方法是QAM-64，对质量特别好的信道也可用QAM-256
- 对6MHz信道，可用的数据传输率为36Mbps，去掉一些额外开销，一般为27Mbps
- 上行信道质量较差，一般用QPSK携带2位信息



Cable MODEM

- ④ Cable MODEM与计算机的接口为Ethernet
- ④ 在一个Headend管理下的、并由Cable连接的所有计算机组成的是一个共享网络
- ④ 共享站点的竞争发送不能采用CSMA/CD协议，因为站点无法对介质进行检测



Cable MODEM的初始化

- Power On或Reset后，MODEM将监测下行数据流中由headend为新站点提供的系统参数，并通过某一上行信道宣布它的存在。
- Headend 为新站点分配上行和下行信道（以后可能会调整）并通知（新站点的）MODEM。
- MODEM发送一特殊的测距分组并等待应答，以测试自己到Headend 的“距离”（此过程为ranging），以后将以此为依据，此距离以“时隙”（minislot）计，典型的一个minislot 相当于8 bytes的传播延时。
- Headend 除分配上行、下行信道外，还为每个MODEM分配一个请求上行带宽的时隙号，可能会有多个MODEM共享一个时隙号，如共享时隙号的站点同时请求上行带宽，将发生冲突。



计算机的一次发送过程

- 计算机用上行信道经MODEM向Headend发送一个请求分组，其中包含**所需的时隙数**（minislot），然后等待应答（需等待的时隙数已知）。
- Headend 通过下行信道应答（ACK），并通知计算机已为之**保留的时隙号**，计算机在上行信道为其保留的时隙号内发送数据分组。
- 如在等待的时隙数过后还未收到Headend的ACK应答，这意味着已发生冲突，此时将采用**二进制指数后退法**，随机选择一个需等待的时隙数后再次请求，以避免再次冲突。

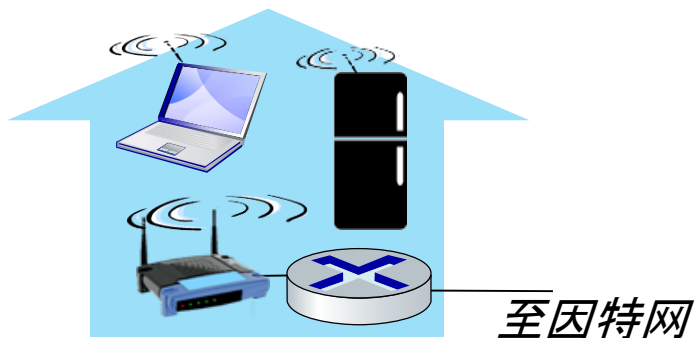


(4) 无线接入



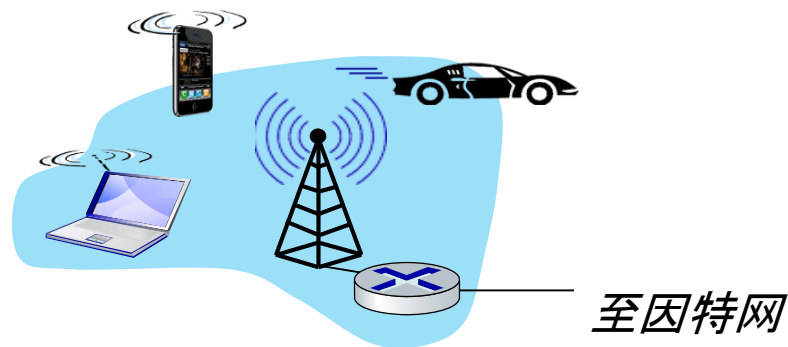
无线局域网:

- 通常位于一个建筑物内 (30m)
- 802.11b/g/n (WiFi):
传输速率: 11, 54, 450 Mbps



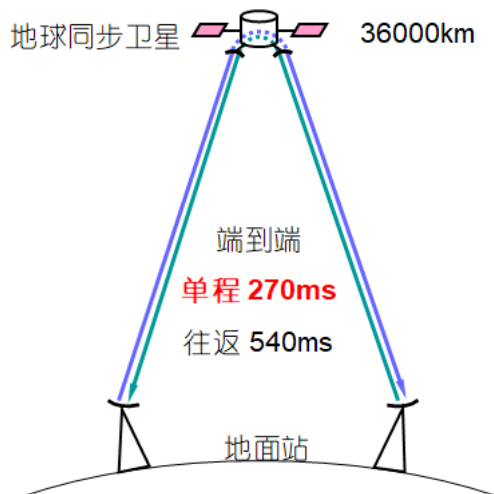
蜂窝移动网络

- 10 km
- 10 Mbps
- 4G 蜂窝网络 (5G 正在到来)





卫星互联网



- 低轨道卫星（LEO）：500~2000km
- 中轨道卫星（MEO）：2000~36000km
- 高轨地球同步卫星（GEO）：36000km



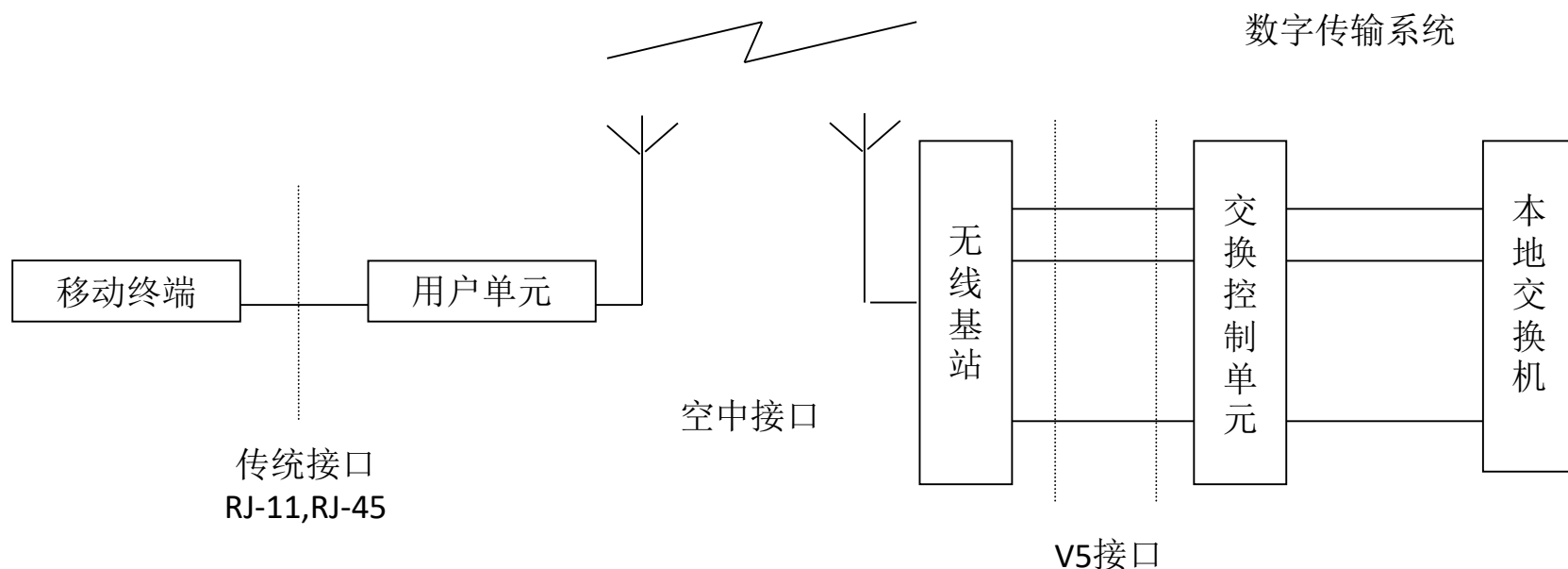
• 低轨卫星互联网

波音、空客、亚马逊、Google、Facebook、OneWeb, SpaceX、鸿雁（中国航天科技集团）、虹云（中国航天科工集团）



蜂窝移动网络

 **无线接入系统的功能：**用无线电波将用户设备与电话局交换机的用户接口连接起来——又称为无线本地环路系统（Wireless local loop, WLL）。





无线本地环路的结构:

- **用户单元**: 包括收发信机, 并提供一个面向基站的无线接口和面向用户的传统接口 (如RJ-11、RJ-45等, 以与各通信终端设备相连)
- **无线基站**: 由收发信设备与控制单元组成, 提供一个面向交换机的标准网络接口 (V5) 和面向用户侧的空中接口
 - 无线接口的认证、加密
 - 无线资源管理
 - ...
- **无线交换控制单元**: 主要控制无线信道的分配, 并提供与交换机接口, 可连接并控制多个基站。



多路传输方式——一个基站与若干用户连接

- 频分多址 (Frequency Division Multiple Access, FDMA)

频带分为若干个频段，每个频段作为一路，将传输的信息调制在上面。

- 时分多址 (Time Division Multiple Access, TDMA)

将载波频率分为若干时隙，为每个用户分配一个特定的时隙，来发送信号。

- 码分多址 (Code Division Multiple Access, CDMA)

为每个用户分配一个码片序列，各码片序列之间具有正交性。允许所有用户在相同时间、相同频带内通信。