

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

数据通信与计算机网络

第2章 物理层

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

主要内容与基本要求

- > 主要内容
 - > 物理层的主要功能与接口特性;
 - > 数据通信的基本知识, 各类传输媒体及其特点;
 - > 模拟传输与数字传输, 物理层标准举例RS-232。
- > 基本要求
 - > 理解并掌握物理层的基本概念、主要功能和基本特性;
 - > 理解信道的基本概念, 物理信道的最高和极限传输速率;
 - > 了解各类传输媒体的基本特性;
 - > 理解模拟传输与数字传输的基本概念;
 - > 了解物理层标准RS-232。

2011-8-28
《数据通信与计算机网络》——物理层
2

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

本章目录

- 2.1 物理层的基本概念 ▶
- 2.2 数据通信的基础知识 ▶
- 2.3 物理层下面的传输媒体 ▶
- 2.4 模拟传输与数字传输 ▶
- 2.5 信道复用技术 ▶
- 2.6 同步光纤网和同步数字系列 ▶
- 2.7 物理层标准举例 ▶

2011-8-28
《数据通信与计算机网络》——物理层
3

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.1 物理层的基本概念

任务: 透明地传输比特流。

物理层考虑的是如何在连接各种计算机的传输媒体上传输比特流, 而不是指连接计算机的具体的物理设备或具体的传输媒体。

物理层要屏蔽各种物理设备、传输媒体和各种通信方式间的差异。

物理层需要确定与传输媒体接口的一些特性:

- (1) 机械特性: 连接器的形状与尺寸、引线数目与排列等。
- (2) 电气特性: 各条引线上的电压范围。
- (3) 功能特性: 各线的功能及其上电平的含义。
- (4) 规程特性: 不同功能的各种可能事件的出现顺序。

物理层的传输方式一般都是串行传输。

2011-8-28
《数据通信与计算机网络》——物理层
4

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.2 数据通信的基础知识

2.2.1 数据通信系统的模型

The diagram illustrates the data communication system model. It shows a flow from a source system to a destination system. The source system includes a source point (源点) where input information (输入信息) is converted into input data (输入数据) by a transmitter (发送器). This data is then sent as a signal (发送的信号) through a transmission system (传输系统). The signal is received as a signal (接收的信号) by a receiver (接收器), which converts it into output data (输出数据) at the destination point (终点), resulting in output information (输出信息). The diagram also shows a specific example using a public telephone network (公用电话网) where digital bit streams (数字比特流) are converted to analog signals (模拟信号) for transmission and then back to digital bit streams at the destination.

2011-8-28
《数据通信与计算机网络》——物理层
5

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.2 数据通信的基础知识

一个数据通信系统可以分为源系统、传输系统和目的系统三大部分。

几个术语:

- 数据 (data) 是运送信息的实体 (传达某种意义的实体)。
- 信号 (signal) 是数据的电气或电磁表现 (编码)。
- 数据或信号都可以是模拟的 (连续变化) 或数字的 (只取几个离散值)。模拟数据如语音数据、视频数据等; 数字数据如文本数据。
- 模拟信号是连续变化的电磁波, 根据其频谱可在不同类型的媒体上传播; 数字信号是电压脉冲序列, 可在导向媒体上传输。
- 调制 (modulating) 是把数字数据转换为模拟信号的过程。
- 解调 (demodulating) 是从载有数字数据的模拟信号中提取出数字数据的过程, 是调制的逆过程。

2011-8-28
《数据通信与计算机网络》——物理层
6

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.2 数据通信的基础知识

模拟数据、模拟信号
 信号与数据占用相同的频段（基带传输，非导向媒体不能传基带信号），也可以经过调制（AM, FM, PM等）后占用不同频段。

模拟数据、数字信号
 模拟数据通过编码器（coder）转换为数字信号后，可以用数字传输和交换设备。如PCM编码，DM编码等。

数字数据、模拟信号
 数字数据通过调制器（modulator）转换为模拟信号后可以在光纤和非导向媒体中传输。如FSK, ASK, PSK等。

数字数据、数字信号
 信号由两电平组成，分别代表两个二进制值；数字数据经编码后的数字信号。如曼彻斯特编码等。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 7

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.2 数据通信的基础知识

2.2.2 有关信道的几个基本概念

信道（channel）是信号传输所经过的媒体。信道分为传送模拟信号的模拟信道和传送数字信号的数字信道。

通信双方信息交互的三种基本方式：
 （1）**单向通信** 又称单工通信（Simplex），即通信只沿一个方向进行。如广播通信。
 （2）**双向交替通信** 又称半双工通信（Half duplex），通信可以双向进行，但不能同时双向进行。如对讲机。
 （3）**双向同时通信** 又称全双工通信（Full duplex），通信可以双向同时进行。如电话。

信道上传送的信号可以分为**基带（baseband）信号**和**宽带（broad-band）信号**。这里的宽带信号是指调制后形成的频分复用模拟信号。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 8

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.2 数据通信的基础知识

2.2.3 信道的最高码元传输速率

任何实际信道都不是理想的，在传输信号时会带来多种干扰，产生各种失真。码元传输的速率越高，或信号传输的距离越远，在信道的输出端的波形的失真就越严重。

即使信道理想，码元的传输速率也不是不受限制。
 奈奎斯特（Nyquist）推出了理想信道下的最高码元传输速率。
理想低通信道的最高码元传输速率=2W Baud。
理想带通信道的最高码元传输速率=W Baud。

其中，W是理想低通或带通信道的带宽，单位是赫兹（Hz）。Baud是波特，是码元传输速率的单位。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 9

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.2 数据通信的基础知识

奈氏准则的另一种表述方法：每赫带宽的理想低通信道的最高码元传输速率是每秒2个码元；而每赫带宽的理想带通信道的最高码元传输速率为每秒1个码元。

波特和比特是两个不同的概念。波特是码元传输速率的单位，而比特是信息量的单位。

2.2.4 信道的极限信息传输速率

香农（Shannon）推出了带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的极限信息传输速率。

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

其中，W为信道带宽（单位是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。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 10

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.2 数据通信的基础知识

香农公式表明：
 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。

若信道带宽或信噪比没有上限（当然实际信道不可能有这样的），则信道的极限信息传输速率也就没有上限。

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不少。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 11

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.3 物理层下面的传输媒体

传输媒体分为导向的（guided）和非导向（unguided）的两类，在导向媒体中，电磁波沿媒体传播。有些文献称为受限的和不受限的。

2.3.1 导向传输媒体

双绞线（twisted pair）
 是最廉价、应用最广泛的导向媒体。通过把两根互相绝缘的铜导线按规则绞合在一起以减少对相邻导线的电磁干扰。

双绞线分为：无屏蔽双绞线（Unshielded Twisted Pair, UTP）和屏蔽双绞线（Shielded Twisted Pair）。

无屏蔽双绞线 UTP



聚乙烯套层 绝缘层 铜线

屏蔽双绞线 STP



聚乙烯套层 屏蔽层 绝缘层 铜线

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 12

2.3 物理层下面的传输媒体

双绞线可用于模拟传输或数字传输。优点是廉价、使用方便。但数据率和传输距离有限。对长距离传输，模拟信号要加放大器，数字信号要加中继器。标准为EIA/TIA-568-A。

两类双绞线的实物图（左图为UTP，右图为STP）



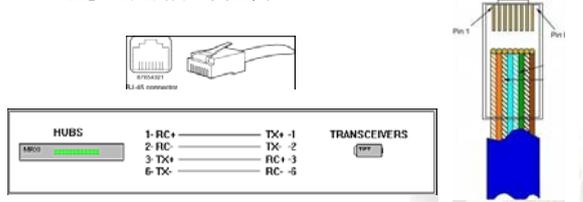
2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 13

2.3 物理层下面的传输媒体

双绞线的连接

TIA568B规定的跳线的颜色顺序为：
橙白、橙、绿白、蓝、蓝白、绿、棕白、棕。

注意：3和6用同一个绞线对。



2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 14

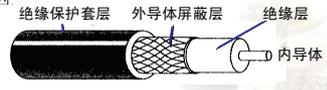
2.3 物理层下面的传输媒体

同轴电缆 (coaxial cable)

同轴电缆由内导体铜制芯线（单股实心或多股绞合）、绝缘层、外导体屏蔽层（网状或单股）以及保护塑料外层组成，见下图。

由于它是屏蔽的，并且是同轴的，所以比双绞线抗干扰性好。但连接比双绞线麻烦得多。

按特性阻抗的不同，同轴电缆可以分为50Ω同轴电缆和75Ω同轴电缆。50Ω同轴电缆又称基带同轴电缆，用于传送基带数字信号；75Ω同轴电缆又称宽带同轴电缆，用于模拟传输系统（如CATV）。这主要是基于历史的原因而非技术的因素。



2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 15

2.3 物理层下面的传输媒体

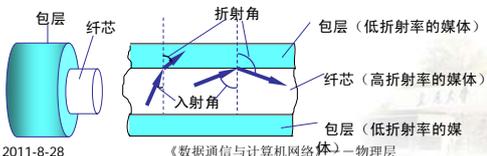
同轴电缆可用于模拟和数字信号的传输。它的频率特性比双绞线优越得多，可有效地用于频率更高、数据率更快的环境。

在计算机通信中，“宽带系统”是指采用了频分复用和模拟传输技术的同轴电缆网络。

右图为同轴电缆的T型连接器。



光纤 (Optical Fiber)



2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 16

2.3 物理层下面的传输媒体

光纤

光纤，即光导纤维，主要由纤芯和包层构成双层通信圆柱体。利用了光线从高折射率媒体射向低折射率媒体时折射角大于入射角的原理。

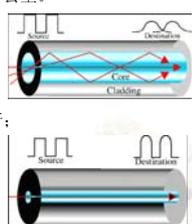
光纤分为多模光纤和单模光纤。多模光纤只适合近距离传输，单模光纤损耗小，在2.5Gb/s的速率下可以传输数十公里。

光纤的优点：

- (1) 通信容量大，数百Gb/s；
- (2) 衰减小，中继距离长；
- (3) 抗雷电和电磁干扰性能好。
- (4) 无串音干扰，保密性好，不易被窃听；
- (5) 体积小，重量轻；

缺点：连接需要专用设备。

应用：长途干线、局域网、骨干网等。

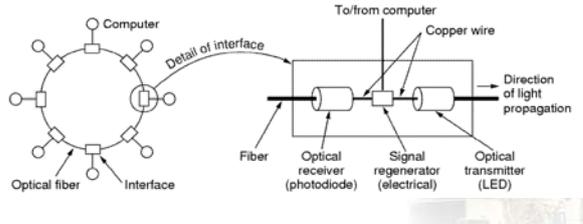


2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 17

2.3 物理层下面的传输媒体

光纤经常采用T形接头连成一个环路。

T形接头有有源和无源的两种。下图为使用有源转发器的光纤环路。



2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 18

2.3 物理层下面的传输媒体

2.3.2 非导向媒体 无线电传输所用的频段

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 19

2.3 物理层下面的传输媒体

短波通信主要靠电离层反射，但电离层不稳定使其通信质量比较差。微波通信主要使用2~40GHz的频率范围。微波在空间中主要是直线传播。可以分为地面微波接力通信和卫星通信。微波接力通信可传输电话、电报、图像等信息。主要特点如下：信道容量大；工业干扰和天电干扰对微波通信影响小；与相同容量和长度的电缆载波通信相比，微波接力通信建设投资少，见效快。微波接力通信的缺点：视线传播；易受恶劣气候的影响；隐蔽性和保密性差；中继站的使用和维护要耗费一定的人力和物力。卫星通信的最大特点是通信距离远，且通信费用与距离无关。其另外一个特点是较大的传播时延，大约250~300ms之间。卫星通信非常适合广播通信，保密性差。红外通信广泛用于室内无线短距通信。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 20

2.3 物理层下面的传输媒体

传输介质	传输方式	速率/工作频带	传输距离	性能	价格	应用
双绞线	宽带 基带	≤1Gb/s	模拟: 10km 数字: 500m	较好	低	模拟/数字信号传输
50 Ω 同轴电缆	基带	10Mb/s	<3km	较好	较低	基带数字信号
75 Ω 同轴电缆	宽带	≤450MHz	100km	较好	较低	模拟电视、数据及音频
光纤	基带	40Gb/s	20km以上	很好	较高	远距高速数据传输
微波接力	宽带	4-6GHz	几百km	好	中等	远程通信
卫星	宽带	1-10GHz	18000km	很好	高	远程通信

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 21

2.4 模拟传输与数字传输

数据与信号的概念参见2.2中的介绍。传输是用传播并处理信号的方式进行的通信过程，可分为模拟传输或数字传输。模拟传输不考虑所传输信号的内容（即信号代表的是模拟数据还是数字数据），只是用放大器放大衰减后的信号，会造成误差的累积。数字传输要考虑信号的内容。它不用放大器，而是用中继器恢复数字信号，不累积误差。模拟信号、模拟传输 使用放大器放大信号。模拟信号、数字传输 若模拟信号表示的是数字数据，用中继器。数字信号、模拟传输 不使用。数字信号、数字传输 无论是模拟还是数字数据，均用中继器。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 22

2.4 模拟传输与数字传输

一般认为数字传输比模拟传输优越：数据完整性好；安全和保密；数字技术（LSI、VLSI的体积和价格下降）；容量利用率；复用更容易。

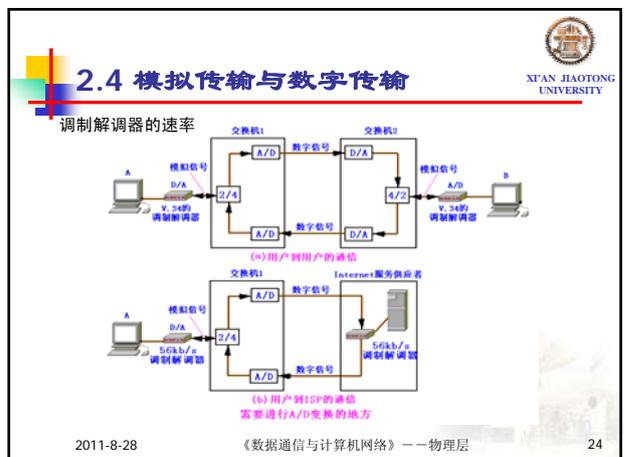
2.4.1 模拟传输系统

我们为什么要关心模拟传输？虽然长途线路已基本实现数字化，但最后一公里仍然是模拟的。

2.4.2 调制解调器 (modem)

调制解调器由调制器 (MODulator) 和解调器 (DEModulator) 组成。调制器实际上是个波形变换器；解调器其实是个波形识别器。基本的调制方法：频移键控FSK，相移键控PSK。使用正交幅度调制 (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) 可以达到更高的信息传输速率。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 23



2.4 模拟传输与数字传输

同步通信和异步通信

同步通信要求接收端的时钟频率和发送端的时钟频率相等，即收发双方的时钟是同步的，以保证收方对收到的比特流的采样判决时间是准确的。

异步通信是在发送端将欲发送的数据以字节（8个比特）为单位进行逐个字节的封装，即加上起始位和停止位。异步通信的收发可以在发送完一个字节后，可以经过任意长的时间间隔再发送下一个字节。

异步通信是通过增加通信开销使接收端可以使用廉价的、具有一般精度的时钟来进行数据通信。

2.4.3 数字传输系统

脉冲编码调制（Pulse Code Modulation, PCM）

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 25

2.5 信道复用技术

为什么要复用？低速传输信号共享高速信道或通过复用提高利用率。

2.5.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

频分复用即所有的用户在同样的时间占用不同的带宽资源。
时分复用即所有的用户在不同的时间占用同样的频带宽度。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 26

2.5 信道复用技术

统计时分复用（Statistic TDM, STDM）又称异步时分复用。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 27

2.5 信道复用技术

2.5.2 波分复用

波分复用（Wavelength Division Multiplexing, WDM）就是光的频分复用。密集波分复用（Dense WDM, DWDM）。

2.5.3 码分复用

码分复用（Code Division Multiplexing, CDM）的每个用户可以在同样的时间使用同样的频带进行通信。由于各用户的码型是正交的，所以各用户之间不会造成干扰。

码分复用的频谱类似白噪声，有很强的抗干扰能力。它是直接序列（direct sequence）扩频。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 28

2.6 同步光纤网和同步数字系列

原有的数字传输系统存在两个主要缺点：速率标准不统一、不是同步传输。

同步光纤网（Synchronous Optical Network, SONET）

SONET整个同步网络的各级时钟都来自一个非常精准（ $\pm 1 \times 10^{-11}$ ）的主时钟。

第1级同步传送信号（Synchronous Transport Signal），即STS-1为51.84Mb/s（每秒8000帧，每帧长810字节）。对应的光信号称为光载波（Optical Carrier），即OC-1。STS-n的帧长为STS-1的n倍。

ITU在SONET的基础上，制定了国际标准同步数字系列（Synchronous Digital Hierarchy, SDH）。

二者的主要不同点在于，SDH的基本速率为155.52Mb/s，称第1级同步传递模块（Synchronous Transfer Module），即STM-1，相当于OC-3。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 29

2.7 物理层标准举例

本节介绍一种应用广泛的物理层标准：EIA-232-E。

数据处理设备（如终端、计算机等）只具有有限的数据传输能力，直接将相隔很远的两个数据处理设备连接起来是不能通信的。因此，必须在数据处理设备和传输媒体之间加一中间设备，我们把它称为**数据电路端接设备（Data Circuit-terminating Equipment, DCE）**，而把数据处理设备称为**数据终端设备（Data Terminal Equipment, DTE）**，如下图。

DCE的作用就是在DTE和传输媒体之间提供信号变换和编码的功能，并负责建立、保持和释放数据链路的连接。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 30

2.7 物理层标准举例

DTE和DCE之间由若干并行的信号线和控制线连接，需要高度协调工作，即要对它们之间的接口进行标准化，这就是物理层协议。

多数物理层采用DTE/DCE模型。局域网不是，它的物理层协议直接定义了一个数据终端设备和链路的传输媒体接口。

EIA-232-E

232对物理层的四个基本特性做了详细的规定。

机械特性，使用ISO 2110关于插头座的标准DB-25，即有25个引脚的D形插头座。引脚分上、下两排，分别有13和12个引脚。而且规定插头装在DTE上，插座装在DCE上。

电气特性，采用CCITT的V.28建议书。采用**负逻辑**。逻辑0相对于信号地有+3V或更高的电压，表示数据“0”或控制线的“断开”；而逻辑1相对于信号地有-3V或更低的电压，表示数据“1”或控制线的“接通”。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 31

2.7 物理层标准举例

功能特性

与CCITT的V.24建议书一致。规定了每个引脚的功能，如右图所示。

常用的引脚为1~8, 20和22。

有时使用DB-9插头座。此时去掉保护地1。连接到1~9序号顺序是8 2 3 20 7 6 4 5 22。

232引脚	CCITT	Modem	名称	说明	用途
1	101	AA	保护地	设备外壳接地	接地
2	103	BA	发送数据	从Dte到Modem	TxD
3	104	BB	接收数据	从Modem接收数据	RxD
4	105	CA	请求发送	由计算机到调制解调器的控制线	RTS
5	106	CB	允许发送	Modem到计算机	CTS
6	107	CC	数据准备好	Modem准备好	DSR
7	102	AB	信号地	信号公共地	SG
8	109	CF	数据信号检测	Modem正在接收另一端传来的信号	DCD
9			空		
10			空		
11			空		
12			接收信号检测(2)	由第二信道检测信号	
13			允许发送(2)	第二信道允许发送	
14	110		发送数据(2)	第二信道发送数据	
15	113	DA	发送准备好	由Modem提供发送准备好信号	
16	118		接收数据(2)	第二信道接收数据	
17	115	DB	接收准备好	计算机和调制解调器	
18			空		
19			请求发送(2)	连接第二信道的发送器	
20	108	CB	数据准备好	数据准备好	DSR
21			空		
22	125		脚特指示		SI
23	111	CH	数据准备好	选择两个数据源	
24	114	DB	发送准备好	计算机和调制解调器	
25			空		

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 32

2.7 物理层标准举例

规程特性，与CCITT的V.24建议书一致，规定了DTE与DCE之间所发生事件的合法序列。

很难用文字精确地描述规程，应该使用状态转换图来描述。

通过电话网进行远距离通信的连接方式

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 33

2.7 物理层标准举例

通过专线modem进行远距离通信的连接方式

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 34

2.7 物理层标准举例

虚调制解调器的连接方式参见图-30，用于把两台距离很近（小于15米）的计算机直接相连（不经过调制解调器）。

近距离通信还经常使用只用三根线的连接方式。

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 35

2011-8-28 《数据通信与计算机网络》——物理层 36