

第 1 章 现代通信技术概述

内容提要

- 信号、信道的概念和分类
- 信息的传输方式
- 通信系统的基本组成及性能指标
- 通信网的拓扑结构
- 通信网的分类
- 通信业务的分类及特点

1.1 信号、信道与信息的传输

人类是通过嘴巴、耳朵、眼睛等与对方进行信息交换的。但是当人们在相隔较远的地方时，如何进行信息交换呢？这就需要通信来实现。通信的基本任务是解决两地之间消息的传递和交换。例如，将地点 A 的信息传输到地点 B，或者将地点 A 和地点 B 的信息双向传输。

实现通信的方式很多。例如，古代人们曾利用信物、烽火、金鼓、旗语等作为通信工具传递信息，现代人们利用电话、传真、电视、国际互联网等进行信息传递和交换。现代的通信是电通信方式，即利用电信号携带所要传递的信息，然后经过各种信道进行传输，达到通信的目的。由于电通信几乎能在任意的通信距离上实现迅速而又准确的信息传递，因而获得了飞速的发展和广泛的应用。

1.1.1 信号

信息要用某种物理方式表达出来，通常可以用声音、图像、文字、符号等来表达。由于它们一般不便于高效率、高可靠的远距离传输，因而往往需要将它们转换成更便于传输和处理的信号。因此，可以说信号是信息的载体，是信息的表现形式。一般讲的信号是指电信号，它的表达形式可以是电压、电流或电场等。对信号的描述可以有两种方法，即时域法和频域法。

时域法研究的是信号的电量（电压或电流等）随时间变化的情况，可以用观察波形的方法进行。例如，声音信号与时间 t 的关系可用一维函数 $f(t)$ 来描述，如图 1.1 (a) 所示。频域法研究的是信号的电量在频域中的分布情况，可用频谱分析仪观察信号的频谱，语音信号的频率范围大约为 20~20000Hz，如图 1.1 (b) 所示，图中 $F(f)$ 为 $f(t)$ 的频谱函数。在语音中频率越高能量就越小，所以在电话中只传送听清对方说话声的 300~3400Hz 的部分。

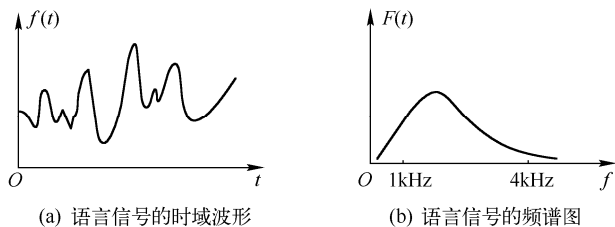


图 1.1 语音信号的波形与频谱图

电信号可以有多种分类方法。若以频率划分，可分为基带信号和频带信号；若以信号参数的状态划分，则可以分为模拟信号和数字信号。

1. 基带信号与频带信号

基带信号是指含有低频成分甚至直流成分的信号，通常原始信号都是基带信号。基带信号所占据的频带宽度相对于它的中心频率而言很宽，不适合于长距离传输，更不能进行无线电发送。如语音信号是一种典型的基带信号，它是由人的声音经过话筒转换而成的。频带信号的中心频率较高，而带宽相对中心频率很窄，因此适合于在信道中传输。基带信号经过各种不同调制方法可以转换成频带信号。如调频广播电台的 $FM \times \times MHz$ 就是一个频带信号，它是将语音信号调制到 $\times \times MHz$ 的中心频率上，然后进行发射。如果接收机的频率与电台的频率相同，就能够接收到所发射的信号。

2. 模拟信号与数字信号

模拟信号是指电信号参量的取值随时间连续变化的信号。因此，模拟信号也叫连续信号，如图 1.2 所示。模拟信号电量可以有无限多个取值，如在 $1.1 \sim 1.2V$ 之间的取值范围内，可以取 $1.1V$ 、 $1.11V$ 、 $1.111V$ 等无限多个数值。常见的模拟信号有语音信号、图像信号以及来自各种传感器的检测信号等。

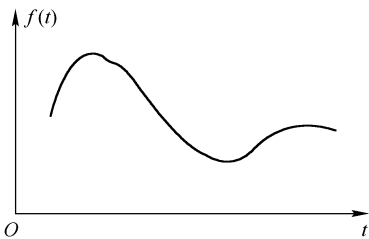


图 1.2 模拟信号示例

数字信号与模拟信号相反，是指电信号参量的取值是离散的且只有有限个状态的信号。因此，数字信号也叫离散信号。如图 1.3 (a) 所示是二进制数字信号，它只有两种取值，分别用 0 和 1 表示。当然也可以有多进制数字信号，如四进制、八进制等，如图 1.3 (b) 所示就是四进制数字信号，分别用 0、1、2、3 表示四种取值。常见的数字信号有电报、传真、计算机数据等信号。

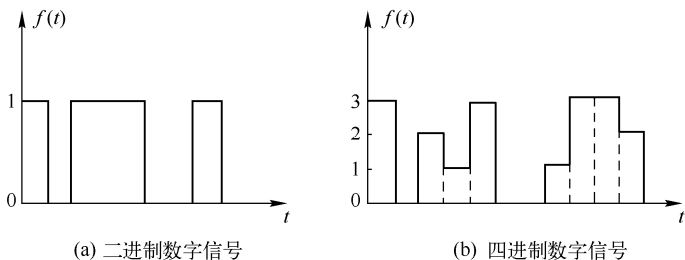


图 1.3 数字信号

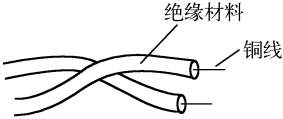
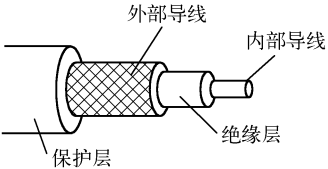
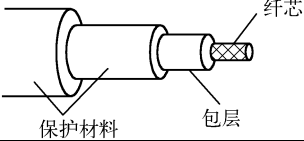
1.1.2 信道

信道是信号的传输媒质，它可分为有线信道和无线信道两类。有线信道包括明线、双绞线、同轴电缆和光纤等，而无线信道是由无形的空间构成，利用电波进行通信。

1. 有线信道

目前广泛使用的有线信道主要有双绞线、同轴电缆和光纤，它们的构造、特征及主要用途如表 1.1 所示。

表 1.1 有线信道的线路种类、构造、特征和主要用途

线路种类	构造	特征	主要用途
双绞线	 <p>绝缘材料 铜线</p>	便宜、构造简单，传输频带宽，有漏话现象，容易混入杂音	电话用户线低速 LAN
同轴电缆	 <p>外部导线 内部导线 绝缘层 保护层</p>	价格稍高，传输频带宽，漏话感应少，分支、接头容易	CATV 分配电缆高带 LAN
光纤	 <p>纤芯 包层 保护材料</p>	低损耗，频带宽，重量轻，直径小，无感应，无漏话	国际间主干线国内城市间主干线高速 LAN

双绞线构造简单且价格便宜，但传输损耗大，且随着频率升高双绞线间产生漏话现象。另外，不能对电磁波产生屏蔽，容易混入外部杂音。双绞线主要使用于 100kHz 以下或数字信号 10Mb/s 以下的信息传输，被广泛应用于电话端局和用户之间的连线，或低速局域网计算机之间连线。

一般高频信号的传输和长距离的传输都使用同轴电缆。同轴电缆的频带要比双绞线宽得多，它的外部金属能屏蔽中心导体的电磁波，因而不容易混入杂音。由于这些特点，它被广泛用于数百兆赫兹的模拟信号传输，也可用于 1Gb/s 的数字传输。因为电视的频段在 91.25~900MHz 范围，所以有线电视（CATV）的分配电缆都采用同轴电缆。

光纤与双绞线、同轴电缆相比较，具有无可比拟的低损耗、传输频带宽、无电磁感应、不漏话且质轻、径细等极优良的性能。国际间、国内城市间长距离大容量的传输线路使用的同轴电缆很快被光纤替代了。伴随着制造光纤技术的日益提高，成本不断下降，甚至原来以双绞线、同轴电缆为主要传输线路的高层大楼、办公室等内部通信也开始使用光纤了。

2. 无线信道

无线信道是利用电波传输信号。电波是一种在空间传播的物质，是全世界共同拥有的资源和财产。电波是指频率在 3000GHz 以下的电磁波，电磁波包括电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线和 g 射线等，它们都是以光速 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ 传播的，人们根据电波的波长对它进

行命名，如图 1.4 所示。

波长	频率	符号	名称
0.1mm	3000GHz		
1mm	300GHz		(亚毫米波)
1cm	30GHz	EHF	极高频(毫米波)
10cm	3GHz	SHF	超高频(厘米波)
1m	300MHz	UHF	特高频
10m	30MHz	VHF	甚高频(超短波)
100m	3MHz	HF	高频(短波)
1km	300kHz	MF	中频(中波)
10km	30kHz	LF	低频(长波)
100km	3kHz	VLF	甚低频(极长波)

频率	名称
40GHz	Ka频段
27GHz	K频段
18GHz	Ku频段
12GHz	X频段
8GHz	C频段
4GHz	S频段
2GHz	L频段
1GHz	

图 1.4 电波的名称

电波是从天线发射出来的，不同的频率其天线的形状、尺寸也各不相同，并且电波传播方式也多种多样，主要传播方式有地表面波、直射波和电离层反射波。表 1.2 列出了电波的工作频段、传播方式及主要用途。

表 1.2 无线信道的工作频率、传播方式和主要用途

名称	频带范围	波长范围	主要传播方式	主要用途
长波	30~300kHz	1~10km	地表面波	远距离通信，导航
中波	300~3000kHz	0.1~1km	地表面波	调幅广播，船舶、飞机通信
短波	3~30MHz	10~100m	地表面波、电离层反射波	调幅广播，调幅和单边带通信
超短波	30~300MHz	1~10m	直射波、对流层散射波	调频广播，广播电视，雷达与导航，移动通信
微波	300MHz 以上	1 以下	直射波	广播电视，卫星通信，移动通信，微波接力通信等

如图 1.5 所示是电波的各种传播路径。地球的表面是一个球面，绕地球表面进行传播的电波称地表面波，中波以下频段的电波主要以地表面波形式传播。电波发送端与接收端在视距范围内直接传播的方式称为直射波，超短波以上波段的电波主要以直射波为主。受地球表面曲率的影响，直射波的传播范围一般不超过 50km。电离层反射波是指电波经过电离层反射到地面的电波，短波频段电波的电离层反射波最为明显。

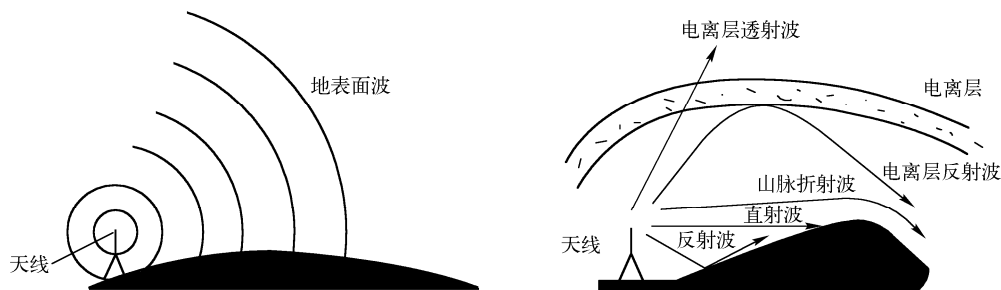


图 1.5 电波的传播路径

1.1.3 信息的传输方式

信息的传输方式可以有以下几种分类：按照通过传输线路信息的形式不同可以将传输方式分为模拟传输和数字传输；按照传输方法可分为串行传输和并行传输；按照信号的流向可分为单工、半双工和全双工三种通信方式。

1. 模拟传输和数字传输

根据信道中传送的是模拟信号还是数字信号，将通信传输方式分成模拟传输方式和数字传输方式。应当指出，模拟传输方式和数字传输方式是以信道传输信号的差异为标准的，而不是根据原始输出的信号来划分。若将原始输出的模拟信号经过模/数变换，成为数字信号，就可以用数字传输方式传送，在接收端再进行相反的数/模变换，即可还原出原始的模拟信号。

2. 串行传输和并行传输

将多位二进制码的各位码在时间轴上排列成一行，在一条传输线路上一位一位地传输的方式称为串行传输方式。用数量等于二进制码的位数的多条传输线路同时传送多位码的传输方式称为并行传输方式。如图 1.6 所示是两种传输方式的示意图。串行传输的通信成本低但速度慢，而并行传输的传输速度快但成本高。因此，在通信线路长即远距离传输时使用串行传输方式，而在短距离的计算机之间或计算机与外部设备（如打印机、显示器等）之间使用并行传输方式。

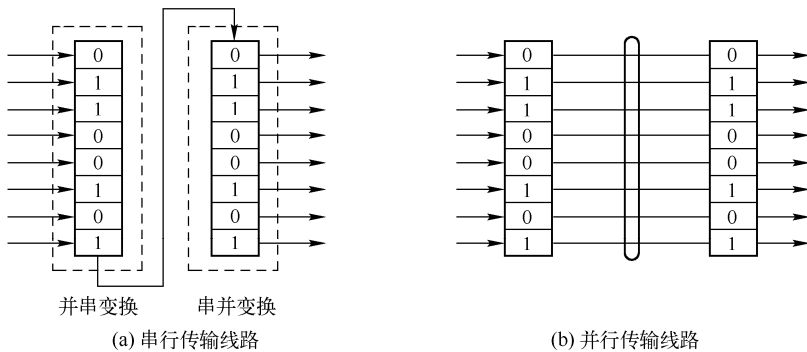


图 1.6 数据的串行传输和并行传输

3. 单工、半双工和全双工通信

(1) 单工通信。单工通信是指信息的流动方向始终固定为一个方向的通信方式。虽然能够逆向传输应答监视信号，但不能在反方向传输信息，如图 1.7 (a) 所示。

例如，电视机、收音机只能接收信号，而不能反方向传送信号，它是一种类似于单行道路的通信方式。

(2) 半双工通信。这是一种信息流动方向可以随时改变的通信方式，信息的流动方向有时是从 A 流向 B，有时是从 B 流向 A。但任何时刻只能由其中的一方发送数据，另一方接收数据，如图 1.7 (b) 所示。由于传输方向不断交换，所以传输效率会有所下降。

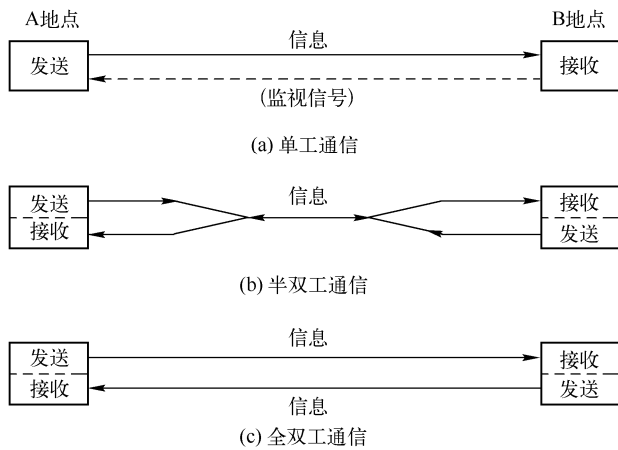


图 1.7 单工、半双工、全双工的通信方式

例如，无线电收、发两用机和银行的联机系统都属于这种方式。它是一种类似于单向交互通行道路的通信方式。

(3) 全双工通信。全双工通信是指可以同时向两个方向传输信息的通信方式，如图 1.7 (c) 所示。这种通信方式可以相互交换大量的信息。虽然是同时双向传输信息，但不一定非要在两个方向上分别敷设传输线路，如将发送、接收的信号频率分离，引入频分复用技术就可实现双向通信。例如，电话通信、宽带上网等都是属于这种通信方式。它是一种类似于双向通行道路的通信方式。

1.2 通信系统

1.2.1 通信系统的基本模型

通信的目的是传输信息。通信系统的作用就是将信息从信源发送到一个或多个目的地。对于电通信来说，首先要把消息转换成电信号，然后经过发送设备，将信号送入信道，在接收端利用接收设备对接收信号做相应的处理后，送给信宿再转换为原来的消息。这一过程可用图 1.8 所示的通信系统一般模型来概括。图 1.8 中各部分的功能简述如下。

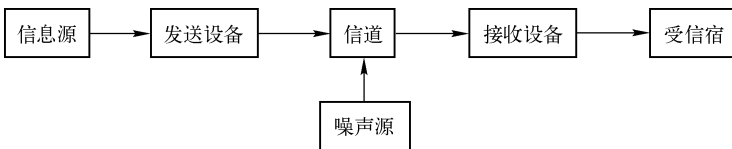


图 1.8 通信系统的一般模型

1. 信息源

信息源（简称信源）的作用是把各种消息转换成原始电信号。根据消息的种类不同，信源可分为模拟信源和数字信源。模拟信源输出连续的模拟信号，如话筒（声音→音频信号）、

摄像机（图像→视频信号）；数字信源则输出离散的数字信号，如电传机（键盘字符→数字信号）、计算机等各种数字终端。并且，模拟信源送出的信号经数字化处理后也可送出数字信号。

2. 发送设备

发送设备的作用是产生适合于在信道中传输的信号，即使发送信号的特性和信道特性相匹配，具有抗信道干扰的能力，并且具有足够的功率以满足远距离传输的需要。因此，发送设备涵盖的内容很多，可能包含变换、放大、滤波、编码、调制等过程。

3. 信道

信道是一种物理媒质，用来将来自发送设备的信号传送到接收端。在无线信道中，信道可以是自由空间；在有线信道中，信道可以是明线、电缆和光纤。有线信道和无线信道均有多种物理媒质。信道既给信号以通路，也会对信号产生各种干扰和噪声。信道的固有特性及引入的干扰和噪声直接关系到通信的质量。图 1.1 中所示的噪声及分散在通信系统及其他各处的噪声通常是随机的，形式多样的，它的出现干扰了正常信号的传输。

4. 接收设备

接收设备的功能是将信号放大和反变换（如译码、解调等），其目的是从收到减损的接收信号中正确恢复出原始电信号。对于多路复用信号，接收设备中还包括解除多路复用，实现正确分路的功能。此外，它还要尽可能减小在传输过程中噪声与干扰所带来的影响。

5. 受信者

受信者（简称信宿）是传送消息的目的地，其功能与信源相反，即把原始电信号还原成相应的消息，如扬声器等。

图 1.1 所示概括描述了一个通信系统的组成，反映了通信系统的共性。根据我们研究的对象以及所关注的问题不同，图 1.1 所示的各方框的内容和作用将有所不同，因而相应有不同形式的、更具体的通信模型。

通信传输的消息多种多样，但一般分为两大类：一类称为连续消息；另一类称为离散消息。连续消息是指消息的状态连续变化，如连续变化的语音、图像等；离散消息则是指消息状态是可数的或离散的，如符号和数据。通常，按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号，相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

1. 模拟通信系统模型

模拟通信系统是利用模拟信号来传递信息的通信系统，其模型如图 1.9 所示，其中包含两种重要的变换。第一种变换是，在发送端把连续消息变换成原始电信号，在接收端进行相反的变换，这种变换由信源和信宿来完成。这里所说的原始电信号通常称为基带信号，基带的含义是指信号的频谱从零频附近开始，如语音信号的频率范围为 300~3400Hz，图像信号的频率范围为 0~6MHz。有些信道可以直接传输基带信号，而以自由空间作为信道的无线电传输却无法直接传输的信号。因此模拟通信系统中常常需要第二种变换：把基带信号变换成适合在信道中传输的信号，而在接收端进行反变换。完成这种变换和反变换的通常是调制器

和解调器。经过调制以后的信息称为已调信号，它应有两个基本特征：一是携带有信息；二是适应在信道中传输。由于已调信息的频谱通常具有带通形式，所以已调信号又称带通信号（也称为频带信号）。

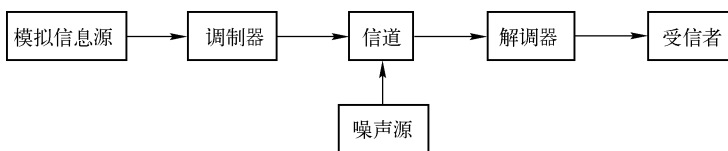


图 1.9 模拟通信系统模型

应该指出，除了上述的两种变换，实际通信可能还有滤波、放大、天线辐射等过程。由于上述两种变换起主要作用，而其他过程不会使信号发生质的变化，只是对信号进行放大和改善信号特性等，在通信系统模型中一般被认为是理想的而不予讨论。

2. 数字通信系统模型

数字通信系统（Digital Communication System, DCS）是利用数字信号来传递信息的通信系统，如图 1.10 所示。数字通信涉及的技术问题很多，其中主要有信源编码和译码、信道编码和译码、数字调制和解调、同步以及加密和解密等。

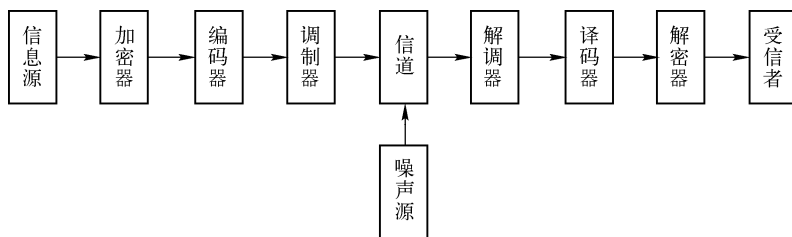


图 1.10 数字通信系统模型

目前，无论是模拟通信还是数字通信，在不同的通信业务中都得到了广泛的应用。但是数字通信的发展已明显超过模拟通信，成为当代通信技术的主流。与模拟通信相比，数字通信具有抗干扰能力强，且噪声不积累、传输差错可控、便于处理、变换、存储，便于将来自不同信源的信号综合到一起传输、易于集成，使通信设备微型化，重量轻等优点。

1.2.2 通信系统的分类

1. 按通信业务和用途分类

通信系统可分为常规通信和控制通信。常规通信又分为话务通信和非话务通信。话务通信业务主要是电话信息服务业务、语音信箱业务和电话智能网业务。非话务通信主要是分组数据业务、计算机通信、数据库检索、电子信箱、电子数据交换、传真存储转发、可视图文及会议电视、图像通信等。控制通信则包括遥测、遥控、遥信（远程信号）和遥调等。

2. 按调制方式分类

根据是否采用调制，可将通信系统分为基带传输和频带（调制）传输。基带传输是将未

经调制的信号直接传送，如音频市内电话；频带传输是对各种信号调制后传输的总称。

按输入信号的特征分类，按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号，相应地把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统

3. 按传输媒质分类

通信系统可以分为有线通信系统和无线通信系统两大类。有线通信是用导线（如架空明线、同轴电缆、光导纤维、波导等）作为传输媒质完成通信的，如明线、电缆、光缆信道等；无线通信是依靠电磁波在空间传播达到传递消息的目的，如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继等。

4. 按传输信号的复用方式分类

传输多路信号有三种复用方式，即频分复用、时分复用和码分复用。频分复用是用频谱搬移的方法使不同信号占据不同的频率范围；时分复用是用脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区间；码分复用是用正交的脉冲序列分别携带不同信号。传统的模拟通信中都采用频分复用。随着数字通信的发展，时分复用通信系统的应用愈来愈广泛，码分复用主要用于空间通信的扩频通信中。

5. 按工作的波段分类

按通信设备的频率或波长不同，分为长波通信、中波通信、短波通信、远红外线通信等。表 1.3 列出了通信使用的频段、常用的传输媒质及主要用途。

表 1.3 ITU 无线电通信频段

频段号	符号	频率范围	波长范围	典型源
1	ELF	3~30Hz	10000~100000km	海军深海通信
2	SLF	30~300Hz	1000~10000km	海底通信
3	ULF	300Hz~3kHz	100~1000km	地震波、地下通信
4	VLF	3kHz~30kHz	10~100km	近海面通信
5	LF	30kHz~300kHz	1~10km	AM 广播、飞机塔台
6	MF	300kHz~3MHz	100m~1km	AM 广播
7	HF	3MHz~30MHz	10~100m	远距离通信、SW 广播
8	VHF	30MHz~300MHz	1~10m	FM 广播、电视广播、DVB 广播
9	UHF	300MHz~3GHz	10~100cm	微波炉、手机、蓝牙、GPS、Wi-Fi
10	SHF	3GHz~30GHz	1~10cm	雷达、卫星电视、Wi-Fi
11	EHF	30GHz~300GHz	1~10mm	卫星间通信、单向能量武器

工作波长和频率的换算公式为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f}$$

式中， λ 为工作波长；

f 为工作频率（Hz）；

c 为光速 (m/s)。

1.2.3 通信系统的主要性能指标

在设计或评估通信系统时，往往要涉及通信系统的主要性能指标，否则就无法衡量其质量的好坏。通信系统的性能指标涉及通信系统的有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性及维护使用等等。如果考虑所有这些因素，那么通信系统的设计就要包括很多项目，系统性能的评诉工作也就很难进行。尽管对通信系统可有很多的 actual 要求，但是，从消息的传输角度来说，通信的有效性与可靠性将是主要的矛盾。这里所说的有效性主要是指消息传输的“速度”问题，而可靠性主要是指消息传输的“质量”问题。显然，这是两个相互矛盾的问题，这对矛盾通常只能依据实际要求取得相对的统一。例如，在满足一定可靠性指标下，尽量提高消息的传输速度；或者，在维持一定有效性下，使消息传输质量尽可能地提高。由于模拟通信系统和数字通信系统之间的差别，两者对有效性和可靠性的要求和度量方法不尽相同。

模拟通信系统的有效性可用有效传输频带来度量，同样的消息用不同的调制方式，则需要不同的频带宽度。

数字通信系统的有效性可用传输速率和频带利用率来衡量。

1. 码元传输速率 (R_B)

又称码元速率，它被定义为单位时间（每秒）内传输的码元数目，单位为波特（Baud 或 B）。简称为 B。与所传的码元进制数无关。

设每个码元的长度为 T 秒，则码元速率为

$$R_B = \frac{1}{T} \quad (\text{B})$$

2. 信息传输速率 (R_b)

简称传信率，又称比特率。它定义为单位时间内（每秒）传送的信息量（比特数）单位为比特/每秒 (b/s) 或 bps。

在“0”、“1”等概率出现的二进制码元的传输中，每个码元含有 1b 的信息量，所以二进制数字信号的码元速率和信息速率在数量上相等。而采用多 (M) 进制码元的传输中，由于每个码元携带 $\log_2 M$ 比特的信息量，因此码元速率与信息速率有以下确定的关系，即

$$R_b = R_B \log_2 M \quad (\text{bit/s})$$

3. 频带利用率 (n)

在比较不同通信系统的有效性时，不能单看它们的传输速率，还应考虑所占用的频带宽度，因为两个传输速率相等的系统其传输效率并不一定相同。所以真正衡量数据通信系统的有效性指标是频带利用率，它定义为单位带宽（每赫兹）内的传输速率，即 $n=R_B/B$ (Baud/Hz)， B 为带宽。

数字通信系统的可靠性可用差错率来衡量。差错率常用误码率和误信率表示。

(1) 误码率 P_e 。指的是错误接收的码元数在传输总码元数中所占的比例，更确切地说，误码率是码元在传输系统中被传错的概率，即

$$P_c = \frac{\text{错误接收的码元数}}{\text{传输的总码元数}}$$

(2) 误信率 P_b 。又称误比特率，是指错误接收的比特在传输总比特数中所占的比例，即

$$P_b = \frac{\text{错误接收的比特数}}{\text{传输的总比特数}}$$

1.3 通信网

通信网是一种使用交换设备，传输设备，将地理上分散用户终端设备互连起来实现通信和信息交换的系统。通信最基本的形式是在点与点之间建立通信系统，但这不能称为通信网，只有将许多的通信系统（传输系统）通过交换系统按一定拓扑结构组合在一起才能称之为通信网。也就是说，有了交换系统才能使某一地区内任意两个终端用户相互接续，才能组成通信网。通信网由用户终端设备、交换设备和传输设备组成。

1.3.1 通信网的结构

1. 通信网的基本组成

任何通信网络都具有信息传送、信息处理、信令机制、网络管理功能。因此，从功能的角度看，一个完整的现代通信网可分为相互依存的三部分：业务网、支撑网、传送网。

(1) 业务网。业务网负责向用户提供各种通信业务，如基本语音、数据、多媒体、租用线、VPN（Virtual Private Network，虚拟专用网络）等。

构成一个业务网的主要技术要素包括网络拓扑结构、交换节点设备、编号计划、信令技术、路由选择、业务类型、计费方式、服务性能保证机制等。

(2) 支撑网。支撑网为保证业务网正常运行，增强网络功能，提高全网服务质量而形成的传递控制监测及信令等信号的网络。

支撑网负责提供业务网正常运行所必需的信令、同步、网络管理、业务管理、运营管理等功能，以提供用户满意的服务质量。

支撑网包含同步网、信令网、管理网三部分。

(3) 传送网。传送网又称基础网。传送网为各类业务网、支撑管理网提供业务信息传送手段，负责将节点连接起来，并提供任意两点之间信息的透明传输。传送网是由传输线路、传输设备组成的网络，所以又称之为基础网。

传送网具有电路调度、网络性能监视、故障自动切换等相应的管理功能。

构成传送网的主要技术要素有：传输介质、复用体制、传送网节点技术等。

2. 通信网的拓扑结构

当无数个通信系统互连在一起形成网络的时候，有一种高度精练的方式，可以很直观地反映网络的组织形式，这就是“拓扑图”，如图 1.11 所示。网络的拓扑结构反映网中各实体的结构关系，基本的拓扑结构有：网状网、星形网、复合型网、总线型网、环形网等。

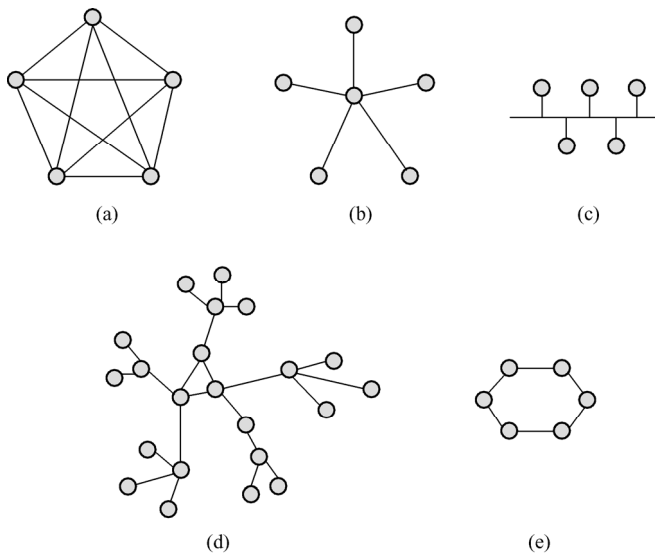


图 1.11 通信网拓扑图

(1) 网状网。所形成的网络链路较多，形成的拓扑结构像网状。具有代表性的网状网就是完全互连网（网内任意两节点间均由直达线路连接），如图 1.11 (a) 所示。具有 N 个节点的完全互连网需要有 $\frac{1}{2 \times N \times (N-1)}$ 条传输链路。

优点：线路冗余度大，网络可靠性高，任意两点间可直接通信。

缺点：线路利用率低（ N 值较大时传输链路数将很大），网络成本高，网络的扩容也不方便，每增加一个节点，就需增加 N 条线路。

适用场合：通常用于节点数目少，又有很高可靠性要求的场合。

(2) 星形网。星形结构由一个功能较强的转接中心 S 以及一些各自连到中心的从节点组成。具有 N 个节点的星形网共需 $(N-1)$ 条传输链路，如图 1.11 (b) 所示。

优点：与网状网相比，降低了传输链路的成本，提高了线路的利用率

缺点：网络的可靠性差，一旦中心转接节点发生故障或转接能力不足时，全网的通信都会受到影响。

适用场合：传输链路费用高，用于转接设备、可靠性要求又不高的场合，以降低建网成本。

(3) 总线型网。属于共享传输介质型网络，网中的所有节点都连至一个公共的总线上，任何时候只允许一个用户占用总线发送或接送数据，如图 1.11 (c) 所示。

优点：需要的传输链路少，节点间通信无须转接节点，控制方式简单，增减节点也很方便。

缺点：网络服务性能的稳定性差，节点数目不宜过多，网络覆盖范围也较小。

适用场合：主要用于计算机局域网、电信接入网等网络中。

(4) 复合型网。复合型网是由网状网和星形网复合而成的。它以星形网为基础，在业务量较大的转接交换中心之间采用网状网结构，如图 1.11 (d) 所示。

优点：兼并了网状网和星形网的优点。整个网络结构比较经济，且稳定性较好。

适用场合：规模较大的局域网和电信骨干网中广泛采用分级的复合型网络结构。

(5) 环形网。网中所有节点首尾相连，组成一个环。 N 个节点的环网需要 N 条传输链路。环网可以是单向环，也可以是双向环，如图 1.11 (e) 所示。

优点：结构简单，容易实现，双向自愈环结构可以对网络进行自动保护。

缺点：节点数较多时转接时延无法控制，并且环形结构不易扩容。

适用场合：目前主要用于计算机局域网、光纤接入网、城域网、光传输网等网络中。

1.3.2 通信网的分类

通信网从不同的角度可以分为不同的种类。

1. 按业务种类分类

若按业务种类分，通信网分为电话通信网、电报通信网、传真通信网、广播电视通信网、数据通信网、多媒体通信网等。

- 电话通信网——传输电话业务的网络。
- 电报通信网——传输电报业务的网络。
- 传真通信网——传输传真业务的网络。
- 广播电视通信网——传输广播电视业务的网络。
- 数据通信网——以传输数据业务为主的通信网称为数据通信网，它是一个由分布在各地的数据终端设备、数据交换设备和数据传输链路所构成的网络，在网络协议（软件）的支持下实现数据终端间的数据传输和交换。
- 多媒体通信网——传输多媒体业务（集语音、数据、图像于一体）的网络，它是多媒体技术、计算机技术、通信技术和网络技术相互结合和发展的产物，具有集成性、交互性和同步性等特点。

2. 按信息交换分类

按信息交换分类，通信网分为分组交换网和电路交换网。

分组交换网是数据通信的基础网，利用其网络平台可以开发各种增值业务，如：电子信箱、电子数据交换、可视图文、传真存储转发、数据库检索。

分组交换网的突出优点是可以在一条电路上同时开放多条虚电路，为多个用户同时使用，网络具有动态路由功能和先进的误码纠错功能，网络性能最佳。中国公用分组交换数据网是中国电信经营的全国性分组交换数据网，网络已直接覆盖到全部地市和绝大部分县城，通过电话网可以覆盖到电话网通达的所有城市，用户可就近以专线或电话拨号方式入网，使用分组交换业务。

电路交换网络的基本结构是由交换单元按照一定的拓扑结构扩展而成的，所构成的交换网络也称为互连网络。交换网络从外部看，也有一组输入端和一组输出端，将其分别称为交换网络的入线和交换网络的出线，如果交换网络有 M 条入线和 N 条出线，则把这个交换网络称为 $M \times N$ 的交换网络。

分组交换网和电路交换网是两个节点或者主机之间传输数据的两种网络方式。分组交换的通信线路并不专用于源与目的地间的信息传输。在要求数据按先后顺序且以恒定速率快速传输

的情况下，使用电路交换网是较为理想的选择。因此，当传输实时数据时，诸如音频和视频；或当服务质量（QOS）要求较高时，通常使用电路交换网络。分组交换在数据传输方面具有更强的效能，可以预防传输过程（如 E-mail 信息和 Web 页面）中的延迟和抖动现象。

3. 按信息介质分类

按信息介质可以有以下几种分类：

- (1) 导线介质网 如：铜线、光纤。
- (2) 无导线介质网 如：空中的电波和激光。

4. 按地域或者覆盖范围分类

按地域或者覆盖范围分类则可以分为广域网，城域网和局域网。

广域网：在一个广泛地理范围内所建立的计算机通信网，简称 WAN。其范围可以超过城市、国家甚至全球。

城域网：在一个城市范围内所建立的计算机通信网，简称 MAN

局域网：将小区域内的各种通信设备相互连接起来的通信设备。

1.4 通信业务

1.4.1 音视频业务

在现代通信系统中尽管数据业务发展非常迅速，但模拟与数字音视频业务在所有通信业务中仍然占有主要地位。在此类业务中包括普通电话、IP 电话、移动电话、数字电话、可视电话、会议电视、广播电视、数字视频广播、点播电视等各种音视频业务。

1. 音视频信息基本概念

音频信息主要是指由自然界中各种音源发出的可闻声和由计算机通过专门设备合成的语音或音乐。此类声音主要有 3 类，即语音、音乐声和效果声。

视频泛指将一系列静态影像以电信号方式加以捕捉、记录、处理、储存、传送与重现的各种技术。连续的图像变化每秒超过 24 帧（frame）画面以上时，根据视觉暂留原理，人眼无法辨别单幅的静态画面；看上去是平滑连续的视觉效果，这样连续的画面叫做视频。

2. 音视频信息数字化

在现代通信技术中，信息处理的硬件大部分都是数字逻辑电路或数字计算机，因此音视频信息进入系统必须进行数字化处理。模拟信号在时间上是连续的，而数字音视频则对应一个时间离散的数字序列。为用数字形式传输和处理音视频信息，首先要解决的问题是音视频信息的数字化，这包括两方面的内容：

- (1) 音频信息时间上的离散化和图像信息空间位置的离散化。
- (2) 音频信息电平值和图像灰度电平值的离散化。

上述过程涉及音视频信号的采样、量化和编码。对于音频信号而言，采样就是使音频信

号在时间轴上离散化，每隔一个时间间隔在模拟声音波形上取一个幅度值，采样的时间间隔称之为采样周期。根据采样定理，只要采样频率等于或大于音频信号中最高频率成分的两倍，信息就不会丢失，也就是说可以由采样后的离散信号不失真地重建原始的模拟音频信号，否则就会产生不同程度的失真。因此采样频率的选择是音频信息数字化的关键技术之一。现代通信技术中通常选用的音频采样频率有 8kHz、11.025kHz、16kHz、22.05kHz、32kHz、44.1kHz 和 48kHz 等。音频信号通常采用 8~20bit 量化编码。一般在允许失真条件下，尽可能选择较低的采样频率，以免使数据速率过高。

对于视频信号而言，采样就是使图像信号在空间位置上离散化。

视音频信号数字编码的实质是：在保证一定图像或声音质量（信噪比要求和主观评价得分）的前提下，以最小比特数来表示音视频信号。

3. 音视频业务种类

(1) 普通电话与智能网业务。

① 普通电话业务。普通电话业务是发明和应用普及最早的一种通信业务，它在基于电路交换原理的电话交换网络支持下，提供人们最基本的点到点语音通信功能。根据通信距离和覆盖范围电话业务可分为市话业务；根据通信距离和覆盖范围电话业务可分为市话业务、国内长途业务和国际长途业务。现在还可以为用户提供来电显示、三方通话、转移呼叫、会议电话、短消息收发等增值功能，还可以提供传真、互联网拨号接入等功能。

② 智能网业务。众所周知，传统的电话通信网是将用户特性集中在每一个交换机中，每增加一种新业务，网中全部交换机都需要增加相应的软件，不仅工作量大，而且还会因为对业务规范理解的不一致而导致异种交换机间业务互通出现各种问题。

智能网是程控交换机的电话网上设置的一种附加网络。它采用全新的“控制与交换相分离”的思想，把网络中原来位于各个端局交换机中的网络智能集中到了若干个新设的功能部件上（如业务交换点、业务控制点、智能外设、业务生成环境和业务管理点等），他们均独立于现有网络，是附加网络结构。新业务的提供、修改以及管理等功能全部集中于智能网，程控交换机则提供交换这一基本功能，而与业务提供无直接关系。

在智能网中，由于将业务处理和呼叫分开，其网络节点只完成基本的呼叫处理，而将智能业务从普通的网络节点上分离出来，每个网络节点连至智能网的集中设置的业务控制点，向用户提供智能业务。

智能网所提供的业务可以分为单端点、单点控制的业务和多端点、多点控制的业务两大类。单点控制的业务特征应用于一个呼叫中的一个用户，并用于独立于参与呼叫的任何其他用户的业务和拓扑等级，它描述的是任何一个时候一个呼叫的同一个方面受一个且仅受一个业务控制功能的影响；而多端点控制业务是一个单独的呼叫段中有多个业务逻辑实例进行交互的能力。自动电话记账卡业务（300）、被叫集中付费业务（800）、虚拟专用网业务（600）、通用个人通信（700）、广域集中用户交换机、电子投票（181）、大众呼叫等都是智能网所提供的业务。

(2) IP 电话。以话音通信为目的而建立的 PSTN 电话网采用电路交换技术，可以保证通话质量，但通话期间始终占用固定带宽。以数据通信目的建立起来的 Internet 采用分组交换技术，所有业务共享线路，这样大大提高了网络带宽的利用率，但由于数据包是非实时

的，所以，Internet 通常不保证语音传输的质量，然而人们一直在寻求利用廉价的 Internet 进行语音传输的方法，因此 IP 电话应运而生。

IP 电话通常被称为 Internet 电话或网络电话，IP 电话利用基于路由器/分组交换的 IP 数据网进行传输。

IP 电话的工作原理是先将语音信号进行模数转换、编码、压缩和打包，然后通过 Internet 网络传输，到接收端则相应进行拆包、解压、译码和模数转换，从而恢复出语音信号。与 IP 电话通话质量有关的关键技术可以归纳为以下几个方面：语音压缩技术、静噪抑制技术、回声抵消技术、语音抖动处理技术、语音优先技术、IP 包分割技术、VoIP 前向纠错技术。

通常 IP 电话的通话方式分为：PC 到 PC，PC 到 PHONE 和 PHONE 到 PHONE。

以太网 (Ethernet) 电话是一种基于 H.323 协议格式的终端，它占用一个独立的 IP 地址，能直接接入网络。它是一种 IP 专用电话机，可以直接连在 Internet 上而完全代替 PC 进行通话。

在 Internet 上的连接均是以 IP 地址为基础的，其实质是以太网电话机以 IP 地址为电话号码通过 Internet 建立起的通信。但是人们不太习惯 IP 地址为电话号码而更习惯于传统的电话号码，这是必须要解决的另一问题。

(3) 广播电视。电视信号在通过无线广播发射或有线传输时，对图像信号采用残留边带调幅、对伴音信号采用调频的发送方式，每一路电视节目所占的频带为 8MHz。

我国规定的开路电视信号一共划分为 68 个频道，目前由广播电视使用的为 1~48 频道，其中第 5 频道已划给调频广播使用。

在无线电频谱中 48~958MHz 的频率范围被划分为五个频段，I 频段为电视广播的 1~5 频道；II 频段划分给调频广播和通信专用；III 频段为电视广播的 6~12 频道；IV 频段为电视广播的 13~24 频道；V 频段为电视广播的 25~68 频道。其中，1~12 频道属于甚高频道，常用 VHF 表示；13~68 频段属于特高频段，常用 UHF 表示。

可以看出，在广播电视各频段之间均留有一定的间隔，这些频率被分配给高频广播、电信业务和军事通信等使用。对于这些频率开路广播电视是不能使用的，否则将千万电视与其他应用相互干扰，但由于有线电视是一个独立的、封闭的系统，只要设计得当一般不会与通信产生相互干扰，因此可以采用这些频率以扩展节目的数量，这就是有线电视系统的增补频道。

(4) 数字视频广播。近年，由于数字视频码率压缩技术的迅速发展和超大规模集成电路的研制成功，使传送数字广播电视节目变成了现实。采用现代的数字视频压缩技术和信道调制技术，可实现一路模拟电视信号占用带宽传送 4~6 路数字压缩电视节目，大大提高了信道利用率，降低了每路节目的传输费用，图像质量可达到广播级。

为了最大限度降低各种数字视频应用所需的成本，使其具有尽可能大的通用性，在 DVB 的一系列标准中，其核心系统采用了对各种传输媒体（包括卫星，有线电视与光缆、地面无线发射等）均适用的通用技术。

(5) 视频点播业务。VOD (Video On Demand) 即视频点播，从技术上来讲是一种受用户控制的视频分配和检索业务，观众可自由决定在何时观看何种节目。点播是相对于广播而言的，广播对所有观众一视同仁，观众是被动接收者；点播则把主动权交给了用户，用户可

以根据需要点播自己喜欢的节目，包括电影、音乐、卡拉 OK、新闻等任何视听节目。VOD 的最大特点是信息的使用者可根据自己的需求主动获得多媒体信息，它区别于信息发布的最大不同一是主动性、二是选择性。在 VOD 应用系统中，信息提供者将节目存储在视频服务器中、服务器随时应观众的需求，通过传输网络将用户选择的多媒体信息传送到用户端，然后由用户计算机或机顶盒将多媒体信息解码后输出至显示器或电视机供用户收看。

1.4.2 数据通信业务

数据通信业务是随着计算机的广泛应用而发展起来的，它是计算机和通信紧密结合的产物。由于其外部设备之间，以及计算机与计算机之间都需要进行数据交换，特别是随着计算机网络互连的快速发展，需要高速大容量的数据传输与交换，因而出现了数据通信业务。与传统的电信网络不同，根据网络覆盖的地理范围大小，数据通信网络被分为局域网（LAN）、城域网（MAN）和广域网（WAN），它们采用各自的技术和通信协议，在网络拓扑结构传输速率和网络功能等方面均有差别。

1. 数据通信的基本概念

所谓数据，是指能够由计算机或数字设备进行处理的，以某种方式编码的数字、字母和符号。利用电信号或光信号的形式把数据从一端传送到另一端的过程称为数据传输，而数据通信是指按照一定的规程或协议完成数据的传输、交换、储存和处理的整个通信过程。

由于数据信号也是一种数字信号，所以数据通信在原理上与数字通信没有根本的区别。实际上数据通信是建立在数字通信基础上的，数据通信与一般数字通信在信号传输方面有许多共同之处，如都需要解决传输编码、差错控制、同步以及复用等问题，但数据通信与数字通信在含义和概念上仍有一定区别。对数字通信而言，它一般仅指所传输的信号形式是数字的而不是模拟的，它所传输的内容可以是数字化的音频信号，可以是数字号的视频信号，也可以是计算机数据。由于所承载的信息的内容不同，数字通信系统在传输时会根据其信息特点采取不同的传输手段与处理方式。由此可见，数字通信是比数据通信更为宽泛的通信概念。相对于其他信息内容的数字通信，数据通信有自己的一些特点如下：

- 数据业务比其他通信业务拥有更为复杂、严格的通信规程或协议。
- 数据业务相对于音视频业务实时性要求较低，可采用存储转发交换方式工作。
- 数据业务相对于音视频业务差错率要求要高，必须采取严格的差错控制措施。
- 数据通信是进程间的通信，可在没有人的参与下自动完成通信过程。

2. 数据通信业务

(1) DDN 业务。数字通信网（DDN: Digital Data Network）是一个利用数字信道传输数据的网络。基于该网络电信部门可以向用户提供永久性和半永久性连接的数据传输业务，既可用于计算机之间的通信，也可用于传送数字化传真、数字语音、数字图像信号或其他数字化信号。永久性连接的数字数据传输信道是指用户间建立固定连接。传输独占带宽电路，半永久连接的数字数据传输对用户来说是非交换性的，但用户可提出申请，由网络管理人员对

其提出的传输速率、传输数据的目的地和传输路由进行修改。网络经营者向用户提供了灵活方便的数字电路出租业务，供各行业构成自己的专用网。金融、证券、海关、外贸等集团用户和租用数据专线的部门、单位大幅度增加，数据库及检索业务也迅速发展，DDN 就是适合这些业务发展的一种传输网络。它将数万、数十万和以光缆为主体的数字电路，通过数字电路管理设备，形成一个传输速率高、质量好、网络时延小、全透明、高流量的数据传输基础网络。

DDN 网是一个全透明网络，能提供多种业务来满足各类用户的需求：

- 提供速率可在一定的范围内（200bit/s~2Mbit/s）任选的中高速数据通信业务，如局域网互连、大中型主机互连、计算机互联网等提供中继电路。
- 为分组交换网、公用计算机互联网等提供中继电路。
- 可提供点对点、一点对多点的业务，适用于金融证券公司、科研教育系统、政府部门租用 DDN 专线组建自己的专用网。
- 提供帧中继业务，用户通过一条物理电路可同时配置多条虚连接。
- 提供语音、G3 传真、图像、智能用户电报等通信。
- 提供虚拟专用网业务。大的集团用户可以租用多个方向、较多数量的电路，通过自己的网络管理工作站，进行自己管理、自己分配电路带宽资源，组成虚拟专用网。

(2) 帧中继。帧中继 (FR: Frame Relay) 技术是在分组技术充分发展，数字与光纤传输线路逐渐替代已有的模拟线路，用户终端日益智能化的条件下诞生并发展起来的。帧中继完成 OSI 物理层和链路层核心层的功能，它具有容量高、时延低、适合突发性业务等特点。帧中继技术主要应用在广域网 (WAN) 中，支持多种数据型业务，如局域网互连、远程计算机辅助设计和计算机辅助制造、文件传送、图像查询业务、图像监视、会议电视等。

(3) ISDN 业务。综合业务数字网 (ISDN: Integrated Services Digital Network)，俗称一线通，是以电话业务数字网 (TSDN) 为基础发展成的通信网，能提供端到端的数字连接，用来承载包括语音和非语音在内的多种电信业务。用户能够通过有限的一组标准多用途用户/网络接口接入这个网络，享用各种类型的网络服务。

ISDN 的电信业务可以分为承载业务、用户终端业务以及补充业务。

① 承载业务。

② 用户终端业务。

- 传真业务
- 可视电话业务
- 会议电视业务
- 多媒体通信业务
- 数据传送业务

③ 补充业务。ISDN 可以提供内容丰富的补充业务，主要有：

- 主叫号码显示
- 主叫号码限制
- 遇忙转移
- 无应答转移
- 无条件转移