

## 第3章 计算机网络基础和 Internet 应用

21 世纪是信息社会和知识经济时代。计算技术多年的发展经验表明，信息社会的基础设施是计算机、通信设备和网络。计算机网络技术的迅速发展和 Internet 的普及使人们更深刻地体会到计算机网络已渗透到人们工作的各个方面，并且对人们的日常生活甚至思想产生了较大的影响。

Internet 是世界上最大、覆盖面最广的计算机互联网。Internet 使用 TCP/IP，将全世界不同国家、不同地区、不同部门和结构、不同类型的计算机、国家主干网、广域网、局域网，通过网络互联设备“永久”地高速互联，因此是一个“计算机网络的网络”。

### 3.1 计算机网络的形成与发展

计算机网络技术是计算机技术和通信技术相结合的产物，它代表着当前计算机系统发展的一个重要方向，它的发展和应用正改变着人们的传统观念和生活方式，使信息的传递和交换更加快速。目前，计算机网络在全世界范围内迅猛发展，网络应用逐渐渗透到技术领域和社会的各个方面，已经成为一个衡量国家水平和综合国力的标志。由此可见，未来的计算机是网络化的计算机。

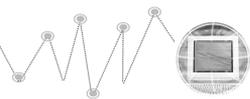
#### 3.1.1 计算机网络的产生

计算机网络是信息社会最重要的基础设施，其将构成人类社会的信息高速公路。

1946 年，世界上第一台通用电子数字计算机诞生，开辟了人类向信息社会迈进的新纪元。20 世纪 50 年代，美国利用计算机技术建立了半自动地面防空系统（SAGE），它将雷达信息和其他信号经远程通信线路送入计算机进行处理，第一次利用计算机网络实现了远程集中式控制，这是计算机网络的雏形。

1969 年，美国国防部高级研究计划局（DARPA）建立了世界上第一个分组交换网 ARPANet，即 Internet 的前身，这是一个只有 4 个节点，采用存储转发方式的分组交换广域网，ARPANet 的远程分组交换技术于 1972 年在首届国际计算机通信会议上公开展示。

1976 年，美国 Xerox 公司开发了基于载波监听多路访问/冲突检测（CSMA/CD）原理，用同轴电缆连接多台计算机的局域网，取名为以太网。



计算机网络是半导体技术、计算机技术、数据通信技术和网络技术相互渗透、相互促进的产物。数据通信技术的作用是利用通信介质传输信息。

通信网为计算机网络提供了便利而广泛的信息传输通道，而计算机和计算机网络技术的发展也促进了数据通信技术的发展。

### 3.1.2 计算机网络的发展

计算机网络出现的时间并不长，但发展速度很快，经历了从简单到复杂的过程。计算机网络最早出现在 20 世纪 50 年代，发展到现在经历了 4 个阶段。

#### (1) 大型机时代（1965—1975 年）。

大型机时代是集中运算的时代，采用主机和终端模式结构，所有的运算都是在主机上进行的，终端为字符方式。在这一结构里，最基本的联网设备是前端处理机和中央控制器（又称为集中器），所有终端连到中央控制器上，然后通过点到点电缆或电话专线连到前端处理机上。

#### (2) 小型机联网（1975—1985 年）。

DEC 公司最先推出了小型机及其联网技术。其采用了允许第三方产品介入的联网结构，加速了网络技术的发展。很快，数据传输速率为 10Mbit/s 的局域网在 DEC 公司推出的 VAX 系列主机、终端服务器等一系列产品上广泛应用。

#### (3) 共享型的局域网（1985—1995 年）。

随着 DEC 公司和 IBM 公司基于局域网的终端服务器的推出，以及微型计算机的诞生和快速发展，各部门纷纷需要解决资源共享问题。为满足这一需求，一种基于局域网的网络操作系统研制成功，与此同时，基于局域网的网络数据库系统也得到了快速发展。

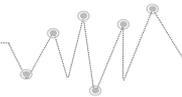
粗缆由于安装不方便，开始被双绞线、高可靠的星型网络结构取代；大楼楼层开始放置集线器，用于连接总线网和令牌环的桥接器研制成功。但是这些设备在扩大了网络规模的同时加大了广播信息量，对网络规模的继续扩大构成了威胁。随后出现了以路由器为基础的联网技术，不但解决了提升带宽的问题，而且解决了广播风暴问题。

#### (4) 交换时代（1995 年至今）。

个人计算机的快速发展是开创网络计算时代最直接的动因。网络数据业务强调可视化，如 Web 技术的出现与应用、各种图像文档的信息发布、用于诊断的医疗放射图片的传输、CAD 及视频培训系统的广泛应用等。这些多媒体业务的快速增长，以及全球信息高速公路的提出和实施无疑对网络带宽提出了更快、更高的需求。显然，之前运行良好的集线器和路由器已经不能满足这些要求，一个崭新的交换时代已经来临。

### 3.1.3 计算机网络的发展趋势

计算机网络的发展趋势是 IP 技术+光网络，光网络将会演进为全光网络。从网络的服务层面上看，未来将是一个 IP 的世界，通信网络、计算机网络和有线电视网络将通过 IP 三网合一；从传送层面上看，未来将是一个光的世界；从接入层面上看，未来将是一个包含有线和无线的多元化世界。



### 1. 三网合一

目前广泛使用的网络有通信网络、计算机网络和有线电视网络。随着技术的不断发展,新的业务不断出现,新旧业务不断融合,作为其载体的各类网络也不断融合,目前广泛使用的三类网络逐渐向统一的 IP 网络发展,即所谓的“三网合一”。

在 IP 网络中,可将数据、语音、图像、视频均归结到 IP 数据包中,通过分组交换和路由技术,采用全球性寻址,使各种网络无缝连接,IP 将成为各种网络、各种业务的“共同语言”,实现所谓的 Everything over IP。

实现“三网合一”并最终形成统一的 IP 网络后,传递数据、语音、视频只需要建造和维护一个网络,简化了管理,也会大大地节约开支,同时可提供集成服务,方便用户使用。可以说,“三网合一”是网络发展的一个最重要的趋势。

### 2. 光通信技术

光通信技术已有 30 年的历史。随着光器件、各种光复用技术和光网络协议的发展,光传输系统的容量已从 Mbit/s 级发展到 Tbit/s 级,提高了近 100 万倍。

光通信技术的发展主要有两个大方向:一是主干传输向高速率、大容量的光传送网(OTN)发展,最终实现全光网络;二是接入向低成本、综合接入、宽带光纤接入网发展,最终实现光纤到家庭和光纤到桌面。全光网络指光信息在网络中的传输及交换始终以光的形式实现,不再需要经过光/电转换、电/光转换,即信息在从源节点到目的节点的传输过程中始终在光域内。

### 3. IPv6

TCP/IP 是 Internet 基石之一,而 IP 是 TCP/IP 的核心协议,是 TCP/IP 中网络层的协议。IPv4 的地址为 32 位,即理论上约有 42 亿个地址。随着 Internet 应用的日益广泛和网络技术的不断发展,IPv4 的问题逐渐显露出来,主要有地址资源枯竭、路由表急剧膨胀、对网络安全和多媒体应用的支持不够等。

IPv6 采用 128 位地址,几乎可以不受限制地提供地址。理论上约有  $3.4 \times 10^{38}$  个 IP 地址,而若地球的表面积以  $\text{cm}^2$  为单位计算,也仅有  $5.1 \times 10^{18} \text{cm}^2$ ,即使按保守方法估算 IPv6 实际可分配的地址,地球每平方厘米的表面积上也可分配到若干亿个 IP 地址。IPv6 除一劳永逸地解决了地址短缺问题外,还解决了 IPv4 的其他缺陷,主要有端到端 IP 连接、服务质量(QoS)、安全性、多播、移动性、即插即用等。

### 4. 宽带接入技术

计算机网络必须有宽带接入技术的支持,各种宽带服务与应用才有可能开展。因为只有接入网的带宽瓶颈问题被解决,骨干网和城域网的容量潜力才能真正发挥。尽管当前宽带接入技术有很多种,但只要是不和光纤或光结合的技术,就很难在下一代网络中应用。目前光纤到户(Fiber To The Home, FTTH)的成本已下降至可以被用户接受的程度。这里涉及两个新技术:一个是基于以太网无源光网络(Ethernet Passive Optical Network, EPON)的光纤到户技术;一个是自由空间光通信(Free Space Optical, FSO)。



由 EPON 支持的光纤到户技术正在异军突起，它能支持 Gbit/s 级的数据传输速率，并且在不久的将来，成本会降到与数字用户线（Digital Subscriber Line, DSL）和混合光纤同轴电缆（Hybrid Fiber Coax, HFC）相同的水平。

FSO 技术通过大气而不是光纤传送光信号，它是光纤通信与无线电通信的结合。FSO 技术能提供接近光纤通信的数据传输速率，如可达到 1Gbit/s，它既在无线接入带宽上有了明显的突破，又因为无须许可证而不需要在稀有资源——无线电频率上有很大的投资。FSO 和光纤线路相比，不但系统安装简便，用时少，而且成本低很多。FSO 现已在企业 and 居民区得到应用，但是其和固定无线接入一样，易受环境因素干扰。

## 5. 移动通信技术

移动通信技术是进行无线通信的现代化技术，这种技术是电子计算机与移动互联网发展的重要成果之一。移动通信技术延续着每十年更新一代技术的发展规律，已经历了蜂窝移动通信系统（1G）、第二代移动通信系统（2G）、第三代移动通信系统（3G）、第四代移动通信系统（4G）、第五代移动通信系统（5G）的发展，每一次代际跃迁及技术进步都极大地促进了产业升级和经济社会发展。从 1G 到 2G，实现了模拟通信到数字通信的过渡，移动通信技术走进了千家万户；从 2G 到 3G、4G，实现了语音业务到数据业务的转变，数据传输速率成百倍地提升，促进了移动互联网的普及和繁荣。当前，移动互联网已融入社会生活的方方面面，深刻改变了人们的沟通、交流乃至整个生活方式。4G 造就了繁荣的 Internet 经济，实现了人与人随时随地通信，随着移动互联网的快速发展，新服务、新业务不断涌现，移动数据业务流量暴发式增长，4G 难以满足未来移动数据业务流量暴涨的需求。目前，移动通信技术已经迈入了 5G 阶段，这也是目前改变世界的几种主要技术之一。

### (1) 1G。

1G 是一种移动通信硬件架构，分为模拟蜂窝系统和数字蜂窝系统。由于构成系统覆盖的各通信基站的信号覆盖呈六边形，从而使整个覆盖网络像一个蜂窝而得名。

在 1G 中，信号覆盖区域分为若干被称为蜂窝的小区（Cell），它可以是六边形、正方形、圆形或一些其他形状，通常是六角蜂窝状。这些小区被分配了多个频率（ $f_1 \sim f_6$ ），具有相应的基站。在其他小区中，可使用重复的频率，但相邻的小区不能使用相同频率，否则会引起同信道干扰。

与单一基站相比，1G 在不同小区中可以使用相同的频率完成不同的数据传输（频率复用）。而单一基站在同一频率上，只能有一个数据传输。然而，1G 中频率的使用不可避免地会干扰到使用相同的频率的其他基站。

### (2) 2G。

2G 标志着移动通信技术从模拟通信走入了数字通信时代。这个引入了数字信号处理技术的移动通信系统诞生于 1992 年。2G 第一次引入了流行的用户识别模块（SIM）卡。主流的 2G 接入技术是 CDMA 和 TDMA。GSM 是一种非常成功的 TDMA 网络，它自 2G 时代开始就被广泛使用。2.5G 出现于 1995 年后，它引入了合并包交换技术，对 2G 进行了扩展。



### (3) 3G。

3G 的基本思想是在支持更高带宽和数据传输速率的同时,提供多媒体服务。3G 同时采用了电路交换和包交换策略。主流的 3G 接入技术是 TDMA、CDMA、宽带 CDMA (WCDMA)、CDMA2000,以及时分同步 CDMA (TD-SCDMA)。

TD-SCDMA 是由中国首次提出,并在无线传输技术 RTT 的基础上与国际合作完成了 TD-SCDMA 标准,成为 CDMA TDD 标准中的一员的,这是中国移动通信界的一次创举,也是中国对 3G 发展的贡献。相较于欧洲、美国各自提出的 3G 标准,中国提出的 TD-SCDMA 已正式成为全球 3G 标准之一,这标志着中国在移动通信领域已经进入世界领先之列。该方案的主要技术集中在中国大唐公司手中,它的设计参照了 TDD (时分双工)在不成对的频带上的时域模式。

### (4) 4G。

4G 移动通信技术是在 3G 移动通信技术基础上的一次改良,相较于 3G 移动通信技术,其优势是将 WLAN 技术和 3G 移动通信技术进行了很好的结合,使图像的传输速度更快,图像看起来更加清晰。在智能通信设备中应用 4G 移动通信技术让用户的上网速度更快,可以高达 100Mbit/s。

LTE 是 Long Term Evolution (长期演进技术)的缩写。3GPP 最初制定 LTE 标准时,将其定位为 3G 移动通信技术的演进升级。后来,LTE 的发展远远超出了预期,LTE 的后续演进版本 Release10/11 (LTE-A)被确定为 4G 标准。LTE 根据双工方式不同,分为 LTE-FDD 和 LTE-TDD (通常简称为 TD-LTE)两种制式。

4G 网络的性能指标是指与 LTE 网络覆盖、容量、业务质量相关的一些指标,如覆盖率、单小区吞吐量、小区边缘用户速率、掉话率、切换成功率等。

① 覆盖,主要指覆盖率。一般室外要求覆盖率满足  $RSRP > -110\text{dBm}$  的概率大于 90%,室内要求覆盖率满足  $RSRP > -105\text{dBm}$  的概率大于 90%。

② 容量,主要包括单小区吞吐量、小区边缘用户速率等。考虑最极端的条件,在 TD-LTE 组网时,一般要求实际用户在 50%网络负荷的条件下,单小区平均吞吐量上行可达 5Mbit/s,下行可达 20Mbit/s;小区边缘用户速率上行可达 150kbit/s,下行可达 500kbit/s。在网络空载时,小区边缘用户速率上行可达 250kbit/s,下行可达 1Mbit/s。

③ 业务质量,包括无线接通率、掉话率、切换成功率等。若采用同频组网,则在 50%网络负荷的条件下,要求 TD-LTE 无线接通率大于 95%,掉话率小于 4%,系统内切换成功率大于 95%,同时要求在无线网络覆盖区域内的 90%位置,99%的时间可以接入网络,数据业务的块差错率小于 10%。

### (5) 5G。

5G 移动通信技术是具有高速率、低时延和大连接特点的新一代宽带移动通信技术,是实现人、机、物互联的网络基础设施。国际电信联盟 (ITU) 定义了 5G 的三大应用场景,即增强型移动宽带 (eMBB)、低时延高可靠通信 (URLLC) 和大连接物联网 (mMTC)。eMBB 主要面向移动互联网流量的暴发式增长,为移动互联网用户提供更加极致的应用体验;URLLC 主要面向工业控制、远程医疗、自动驾驶等对时延和可靠性具有



极高要求的垂直行业应用需求；mMTC 主要面向智慧城市、智能家居、环境监测等以传感和数据采集为目标的应用需求。

为满足 5G 多样化的应用场景需求，5G 的关键性能指标更加多元化。用户体验速率达 1Gbit/s，时延低至 1ms，用户连接能力达 100 万连接/km<sup>2</sup>。5G 移动通信技术的几个关键性能指标如下。

- ① 峰值速率需达到 10~20Gbit/s，以满足高清视频、虚拟现实等大数据量传输的需求。
- ② 空中接口时延需低至 1ms，以满足自动驾驶、远程医疗等实时应用的需求。
- ③ 具备百万连接/km<sup>2</sup>的设备连接能力，满足物联网通信的需求。
- ④ 与 LTE 相比，频谱效率提升 3 倍以上。
- ⑤ 在连续广域覆盖和高移动性下，用户体验速率可达到 100Mbit/s。
- ⑥ 流量密度达到 10Mbit/(s·m<sup>2</sup>)以上。
- ⑦ 支持 500km/h 的高速移动。

## 3.2 计算机网络的功能和应用

计算机网络中包括网络传输介质、网络连接设备、各种类型的计算机等。在软件方面，计算机网络需要网络协议、网络操作系统、网络管理和应用软件等。

### 3.2.1 计算机网络的功能

计算机网络的应用范围不断扩大，功能也不断增强，主要包括以下几个方面。

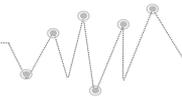
#### 1. 资源共享

现代计算机网络连接的主要目的是共享网络资源，包括硬件资源（如大容量的硬盘、打印机等）、软件资源（如文字和数字数据、图片、视频等）。

计算机网络中的各种资源均可以根据不同的访问权限和访问级别，供入网的计算机用户共享使用，可以是全开放的，也可以按权限访问，即网络上的用户都可以在权限范围内共享计算机网络中的资源。共享基于联网环境资源的计算机用户不受实际地理位置的限制。例如，客户端的用户可以在网络服务器上建立用户目录并将自己的数据文件存放到此目录下，也可以从网络服务器上读取共享的文件，还可以把打印作业送到网络连接的打印机上打印，当然也可以从网络中检索自己所需要的信息数据等。

在计算机网络中，当某台计算机的处理任务过重，也就是太“忙”时，可通过网络将部分工作转交给较“空闲”的计算机来完成，均衡使用网络资源。

资源共享使得计算机网络中分散的资源能够为更多的用户服务，提高了资源的利用率，共享资源是组建计算机网络的重要目的之一。



## 2. 数据通信

数据通信是计算机网络的基本功能之一，用于实现在计算机与终端或计算机与计算机之间传递各种信息，从而提高了计算机系统的整体性能，也大大方便了人们的工作和生活。

## 3. 提高信息系统的可靠性

组成计算机网络的计算机具有可靠的处理能力。计算机网络中的计算机能够彼此互为备用，一旦计算机网络中的某台计算机出现故障，故障计算机的任务就可以由其他计算机来完成，不会出现单机故障使整个系统瘫痪的现象，增强了计算机网络的安全可靠性。例如，如果计算机网络中的一台计算机或一条线路出现故障，那么可以通过其他无故障线路传送信息，并在其他无故障的计算机上进行任务处理。其对不可抗拒的自然灾害也有较强的应对能力，例如，战争、地震、水灾等可能使一个单位或一个地区的信息处理系统处于瘫痪状态，但整个计算机网络中其他地域的计算机仍能工作，只是在一定程度上降低了计算机网络的分布处理能力。

## 4. 进行分布处理

在具有分布处理能力的计算机网络中，可以将任务分散到多台计算机上进行处理，由计算机网络来完成对多台计算机的协调工作。对于较大型的综合性问题，可按一定的算法将任务分配给计算机网络中不同的计算机进行分布处理，提高处理速度，有效利用设备。这样，以往需要大型机才能完成的大型题目即可由多台微型机或小型机构成的计算机网络来协调完成，而且运行费用大大降低，运行效率大大提高，还能保证数据的安全性、完整性和一致性。

采用分布处理技术往往能够将多台性能不一定很高的计算机连成高性能的计算机网络，解决大型复杂问题的费用大大降低。

## 5. 进行实时控制和综合处理

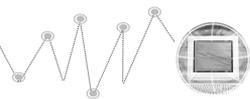
利用计算机网络可以完成数据的实时采集、实时传输、实时处理和实时控制，这在实时性要求较高或环境恶劣的情况下非常有用。另外，通过计算机网络可将分散在各地的数据信息进行集中或分级管理，经过综合分析处理后得到有价值的信息资料，利用计算机网络完成下级生产部门的数据信息向上级部门集中汇总，可以使上级部门及时了解情况。

## 6. 其他用途

利用计算机网络可以进行文件传送，作为仿真终端访问大型机，在异地同时举行网络会议，进行电子邮件的发送与接收，在家中办公或购物，欣赏音乐、电影、体育比赛节目等，还可以在网络上和他人聊天或讨论问题等。

### 3.2.2 计算机网络的应用

网络数据的分布处理、计算机资源的共享及移动通信技术的快速发展与应用推动了社会的信息化，使计算机技术朝着网络化方向发展。融合了计算机技术与移动通信技术的计算机网络技术，是当前计算机技术发展的重要方向。



计算机网络的功能特点使计算机网络应用已经深入社会生活的各个方面，如办公自动化、网上教学、金融信息管理、电子商务、网络传呼通信等。随着现代信息社会进程的推进，以及移动通信技术和计算机技术的迅猛发展，计算机网络的应用越来越普及，打破了空间和时间的限制，几乎深入社会的各个领域。其应用可归纳为以下几方面。

### 1. 办公自动化

人们已经不满足于用个人计算机进行文字处理及文档管理，普遍要求把一个机关或企业的办公计算机连成网络，以简化办公室的日常工作，这些事务包括：

- ① 信息录入、处理、存档等。
- ② 信息的综合处理与统计。
- ③ 报告生成，部门之间或上、下级之间的报表传递。
- ④ 通信、联络（电话、邮件）等。
- ⑤ 决策与判断。

### 2. 管理信息系统

管理信息系统对一个企业，特别是部门多、业务复杂的大型企业更有意义，也是当前计算机网络应用最广泛的方面，主要包括：

- ① 按不同的业务部门设计子系统，如计划统计子系统、人事管理子系统、设备仪器管理子系统等。
- ② 工况监督系统，如对大型生产设备和仪器的参数、产量等信息进行实时采集的综合信息处理系统。
- ③ 企业管理决策支持系统。

### 3. 电子数据交换

电子商务、电子数据交换等计算机网络应用把商店、银行、运输、海关、保险、工厂、仓库等各个部门联系起来，实行无纸、无票据的电子贸易。它可提高商贸，特别是国际商贸的流通速度，降低成本，减少差错，方便客户，提高企业的商业竞争力，是全球化经济的体现，是构造全球化信息社会不可缺少的纽带。

### 4. 公共生活服务信息化

公共生活服务包括以下与公共生活密切相关的网络应用服务。

- ① 与电子商务有关的网上购物服务。
- ② 基于信息检索服务的各种生活信息服务，如天气预报信息、旅游信息、交通信息、图书资料出版信息、证券行情信息等。
- ③ 基于联机事务处理系统的各种事务性公共服务，如飞机、火车联网订票系统，银行联汇兑及取款系统，旅店客房预定系统，以及图书借阅管理系统等。
- ④ 各种方便、快捷的网络通信服务，如电子邮件、网络电话、网络传真、网络电视电话、网络寻呼机、网上交友及网络视频会议等。
- ⑤ 网上广播、电视服务，如网上新闻组、交互式视频点播等。