



“十三五”

国家重点图书出版规划项目

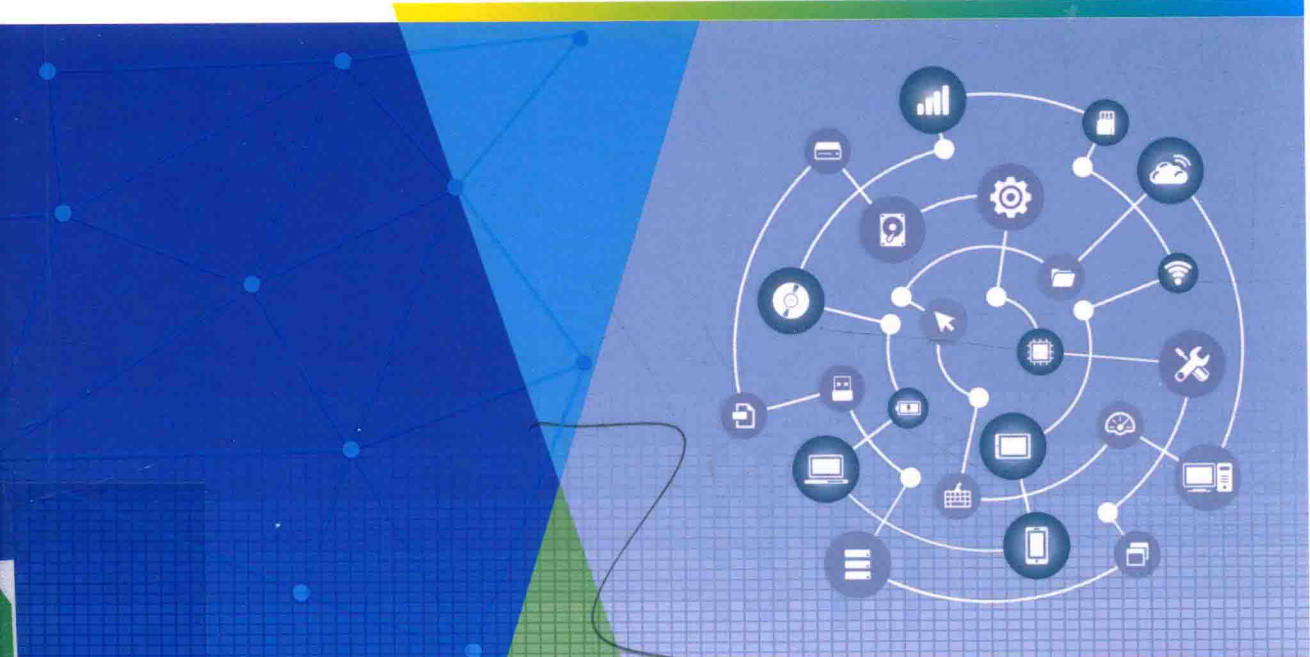
ICT认证系列丛书



华为信息与网络技术学院指定教材

# 网络基础

田果 刘丹宁 余建威 / 著



**LEADING NEW ICT**



中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

3

★ ★ ★  
★ “十三五” ★

国家重点图书出版规划项目

ICT 计算机丛书



华为信息与网络技术学院指定教材

# 网络基础

田果 刘丹宁 余建威 / 著



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

网络基础 / 田果, 刘丹宁, 余建威著. — 北京 :  
人民邮电出版社, 2017.9  
(ICT认证系列丛书)  
ISBN 978-7-115-45753-0

I. ①网… II. ①田… ②刘… ③余… III. ①计算机  
网络—基本知识 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第122394号

## 内 容 提 要

本书是华为 ICT 学院路由与交换技术官方教材, 旨在帮助零基础和初级阶段的学生理解网络技术的基本理论。

本书由浅入深地讲解网络技术, 首先把网络的历史发展和网络给大众日常生活带来的变化作为全书的切入点; 进而在后文中介绍了华为网络设备操作系统的一些简单使用方法, 其中包括 VRP 系统的本地管理方法、VRP 系统的基本命令和 VRP 系统的组合键与帮助功能; 此后, 本书按照 OSI 模型和 TCP/IP 模型自底向上的顺序, 逐层对网络通信中所涉及的重要标准、理论、协议等一一进行解读。

除华为 ICT 学院的学生之外, 本书同样适合正在备考 HCNA 认证或者正在参加 HCNA 技术培训的人士进行阅读和参考。其他有志从事 ICT 行业的初级人员和网络技术爱好者也可以通过阅读本书, 加深对网络技术的理解。

---

◆ 著 田 果 刘丹宁 余建威

责任编辑 李 静

执行编辑 王国霞

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 19.5

2017年9月第1版

字数: 395千字

2017年9月北京第1次印刷

---

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

# 序

物联网、云计算、大数据、人工智能等新技术的兴起，推动着社会的数字化演进。全球正在从“人人互联”发展至“万物互联”。未来二三十年，人类社会将演变成以“万物感知、万物互联、万物智能”为特征的智能社会。

新兴技术快速渗透并推动企业加速向数字化转型，企业业务应用系统趋于横向贯通，数据趋于融合互联，ICT 正在成为企业新一代公共基础设施和创新引擎，成为企业的核心生产力。华为 GIV（全球 ICT 产业愿景）预测，到 2025 年，全球的联接数将达到 1 000 亿，85%的企业应用云计算技术，100%的企业会联接云服务，工业智能的普及率将超过 20%。数字化发展为各行业带来的纵深影响远超出想象。

ICT 人才作为企业数字化转型中的关键赋能者，将站在更新的高度，以更为全局的视角审视整个行业，并依靠新思想、新技术驱动行业发展。因此，企业对于融合型 ICT 人才需求也更为迫切。未来 5 年，华为领导的全球 ICT 产业生态系统对人才的需求将超过 80 万。华为积累了 20 余年的 ICT 人才培养经验，对 ICT 行业发展现状及趋势有着深刻的理解。面对数字化转型背景下企业 ICT 人才短缺的情况，华为致力于构建良性 ICT 人才生态链。2013 年，华为开始与高校合作，共同制订 ICT 人才培养计划，设立华为信息与网络技术学院（简称华为 ICT 学院），依据企业对 ICT 人才的新需求，将物联网、云计算、大数据等新技术和最佳实践经验融入到课程与教学中。华为希望通过校企合作，让大学生在校园内就能掌握新技术，并积累实践经验，促使他们快速成长为有应用能力、会复合创新、能动态成长的融合型人才。

教材是知识传递、人才培养的重要载体，华为聚合技术专家、高校教师倾心打造 ICT 学院系列精品教材，希望能帮助大学生快速完成知识积累，奠定坚实的理论基础，助力同学们更好地开启 ICT 职业道路，奔向更美好的未来。

亲爱的同学们，面对新时代对 ICT 人才的呼唤，请抓住历史机遇，拥抱精彩的 ICT 时代，书写未来职业的光荣与梦想吧！华为，将始终与你同行！

# 前 言

华为 ICT 学院路由与交换技术官方教材分为 3 册，是华为技术有限公司、YESLAB 培训中心和高校专家，针对华为 ICT 学院的学生推出的诚意之作。教材的大纲结构到文字描述由业内专家执笔，而且内容经多方顶级专家反复论证推敲。

本书是华为 ICT 学院路由与交换技术系列教材中的第一册教材。在这套教材创作之初，就给它定下了基调，希望这是一套集可读性、逻辑性、严谨性和实用性于一体的作品。

整个团队由衷期待这套诚意之作能够在帮助读者理解、掌握网络知识的同时，还能带给您良好的阅读和学习体验。

## 本书主要内容

本书共分为 9 章，其中第 1 章、第 2 章为铺垫性内容，3~9 章为本书的核心内容。

### 第 1 章：网络纵横

本章旨在激发读者的学习兴趣，同时帮助读者积累一些重要的概念和术语知识。本章从网络的诞生和发展历程说起，在介绍网络发展的过程中引出了诸如数据包交换网络、协议、协议栈等重要的知识。接下来，本章还介绍了数据通信网络和各行各业之间的关系。本章的第 3 节对局域网、城域网、广域网和互联网的概念进行了区分和阐述。在本章的最后，读者可以了解到网络技术的前沿动态。

### 第 2 章：操作系统与网络

本章的重点在于华为 VRP 网络操作系统的使用。首先从操作系统的概念讲起，在第 2 节中将话题引入到数据通信设备的操作系统，并由此展开对华为 VRP 系统访问方式及其命令行界面基本使用方法的介绍。本章最后为读者演示了 eNSP 的安装与使用。

### 第 3 章：协议与通信

本章旨在对后面各章的骨架，即网络的参考模型进行介绍。在讲述了两种网络参考模型之后，从不同角度对各类设备在将一个数据包从源到目的地址进行传输的过程中，所执行的封装与解封流程进行了介绍。

### 第 4 章：网络接入层

本章介绍的内容是 TCP/IP 参考模型的网络接入层，即 OSI 参考模型的物理层和数据链路层。在对物理层规格与网络传输介质以及数据链路层的作用与概念进行介绍之后，

专门介绍了目前最重要的数据链路层标准，即以太网的相关概念。

### 第 5 章：网络层

本章的重点内容是 IPv4 协议、路由的概念以及路由器的工作原理与配置。本章对 IPv4 协议的介绍并没有包括与 IPv4 地址相关的诸多概念。

### 第 6 章：IP 地址与子网划分

本章用大量笔墨围绕 IPv4 地址及其相关概念进行了详细介绍。首先解释了二进制与十进制的相互转换方法，进而描述了 IPv4 地址本身的结构以及网络掩码的作用；接下来介绍了子网的概念、VLSM 和 CIDR 的概念，并且通过案例手把手介绍了规划网络地址的方法；最后介绍了 ARP 和 ICMP。

### 第 7 章：传输层

本章首先从传输层与网络层和应用层之间的关系入手，介绍了传输层的服务；接下来分别介绍了两大传输层协议——TCP 和 UDP 分别是如何提供传输层服务的。

### 第 8 章：应用层

本章首先对应用层提供的服务进行了介绍，继而介绍了一些常用的应用层协议及其对应的端口号；然后介绍了四大类、共计 8 项应用层协议的工作原理，包括提供远程访问服务的 Telnet 和 SSH 协议、提供网络管理服务的 DHCP 和 DNS 协议、提供 Web 访问服务的 HTTP 和 HTTPS 协议，以及提供电子邮件服务的 POP3 和 SMTP 协议。

### 第 9 章：管理维护

本章首先介绍了如何通过配置 VRP 系统，实现对网络设备的远程管理；然后介绍了 VRP 系统的管理方法，包括如何对网络设备的 VRP 系统进行备份、升级，以及如何对网络设备执行密码恢复。

## 本书配套资源

从理论到实战为高校提供贴合实际应用的定制化教学学习资源。

- 实验手册：教材配套实验材料，助力读者动手能力的提升，以实验促进读者对理论知识的理解。
- 视频讲解：教材配套重点知识讲解小视频，帮助读者更好地理解书中的重点、难点，相关视频可到华为 ICT 学院官方网站进行观看。
- 授课 PPT：教材配套授课材料，方便高校授课，提升教师备课效率。
- 综合实验：教材配套综合练习课程，注重知识间的关联性，提升读者综合运用知识的能力。
- 综合实训：教材配套实训课程，还原真实项目，提升读者应对实际项目的能力。

## 关于本书读者

本书的定位是华为 ICT 学院路由与交换技术官方教材。本书适合于以下几类读者。

- 华为 ICT 学院的学生。
- 各大高校学生。
- 正在学习 HCNA 课程的学员和正在备考 HCNA 认证的考生。
- 有志于从事 ICT 行业的初学者。
- 网络技术爱好者。

## 本书阅读说明

读者在阅读本书的过程中，尤其是教师在使用本书作为教材的过程中，需要注意以下事项。

1. 本书第 2 章 2.4 节（eNSP 操作指导）旨在为计算机操作基础薄弱、不了解模拟器程序下载及安装的读者提供方法上的引导。因此，对于华为 ICT 学院的教师，建议将本书的 2.4 小节（华为数通模拟器）留给学生作为自习章节，不必在课堂上演示及讲授。

2. 为了解释私有 IP 地址的作用，本系列教材会在第 3 册第 4 章中对私有 IP 地址的概念进行介绍。本册书中没有关于私有 IP 地址相关概念的介绍。

3. 关于 IP 协议第 6 版（IPv6）的概念与使用，会在第 3 册第 7 章和第 8 章中进行介绍。本册书中没有关于 IPv6 的介绍。

4. 本书多处把路由器或计算机上的网络适配器接口称为“接口”，把交换机上的网口称为“端口”，这种差异仅仅是称谓习惯上的差异。在平时的交流中，“接口”一词与“端口”一词完全可以混用。

5. 在华为公司的作品中，串行链路常用虚线表示，以太链路而以实线表示。本书中所有链路一概用实线表示，虚线在各图中做特殊表意使用，如数据包前进路线、区域范围等。

6. 本书学习目标中要求读者了解的内容，读者只需了解对应的概念及其表意；本书学习目标中要求读者理解的内容，读者应把握其工作原理，做到既知其然，也知其所以然；本书学习目标中要求读者掌握的内容，读者还应在理解的基础上有能力对其灵活运用。

7. 本书章节名称前带星号的内容为选学模块，华为 ICT 学院授课教师可根据授课情况进行选择。

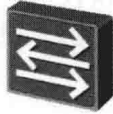
## 本书常用图标



路由器



集线器



交换机



接入点 (AP)



IP 网络云



PC 终端



笔记本电脑



调制解调器



服务器



FTP 服务器

## 本书作者

主 编：田果、刘丹宁、余建威

编委人员：田果、刘丹宁、余建威、江永红、刘军、韩士良、刘洋、闫建刚、刘耀林、谢金伟、谢晓阳

技术审校：江永红、刘军、韩士良、谢金伟



# 目 录

第 1 章 网络纵横 .....	0
1.1 人类通信发展史 .....	3
1.1.1 前网络时代 .....	4
1.1.2 萌芽的产生 .....	5
1.1.3 互联网的雏形 .....	6
1.1.4 互联网的诞生 .....	9
1.1.5 互联网的腾飞 .....	11
1.2 网络连接世界 .....	13
1.2.1 网络与生活 .....	13
1.2.2 网络与社会 .....	14
1.2.3 网络与商业 .....	15
1.2.4 网络与职业 .....	15
1.3 局域网、城域网、广域网和互联网 .....	17
1.3.1 局域网 .....	17
1.3.2 城域网 .....	20
1.3.3 广域网 .....	21
1.3.4 互联网 .....	22
1.4 挑战与发展 .....	23
1.4.1 终端：万物互联 .....	23
1.4.2 内容：数据时代 .....	24
1.4.3 架构：云为载体 .....	25
1.4.4 操作：软件定义 .....	27
1.5 本章总结 .....	29
1.6 练习题 .....	29
第 2 章 操作系统与网络 .....	32
2.1 操作系统 .....	35
2.1.1 操作系统功能概述 .....	35
2.1.2 网络设备与操作系统 .....	38
2.1.3 本地访问网络设备的操作系统 .....	42
2.2 华为 VRP 网络操作系统 .....	47


2.2.1 VRP 系统概述	48
2.2.2 命令行基础	48
2.2.3 VRP 系统配置基础	50
2.3 VRP 系统入门操作	56
2.3.1 快捷键的使用	56
2.3.2 命令帮助功能	57
2.3.3 查看及验证设备信息	62
2.4 eNSP 操作指导	70
2.4.1 eNSP 简介及安装	70
2.4.2 eNSP 界面及操作	77
2.4.3 在 eNSP 中完成一个简单的实验	82
2.4.4 在 eNSP 中保存配置及实验拓扑	86
2.5 本章总结	88
2.6 练习题	88
<b>第 3 章 协议与通信</b>	<b>90</b>
3.1 网络协议和标准	93
3.1.1 通信规则	93
3.1.2 网络协议的作用	96
3.1.3 协议栈的必要性	97
3.1.4 OSI 参考模型	99
3.1.5 TCP/IP 参考模型	101
3.2 实现数据传输	103
3.2.1 封装与解封装	104
3.2.2 从终端设备视角看数据传输	105
3.2.3 从网络设备视角看数据传输	107
3.2.4 从网络拓扑视角看数据传输	110
3.3 本章总结	114
3.4 练习题	114
<b>第 4 章 网络接入层</b>	<b>116</b>
4.1 物理层协议	119
4.2 网络介质	120
4.2.1 有线介质简介	121
4.2.2 无线介质简介	124
4.3 数据链路层	125
4.3.1 数据链路层的作用	126
4.3.2 错误检测	126

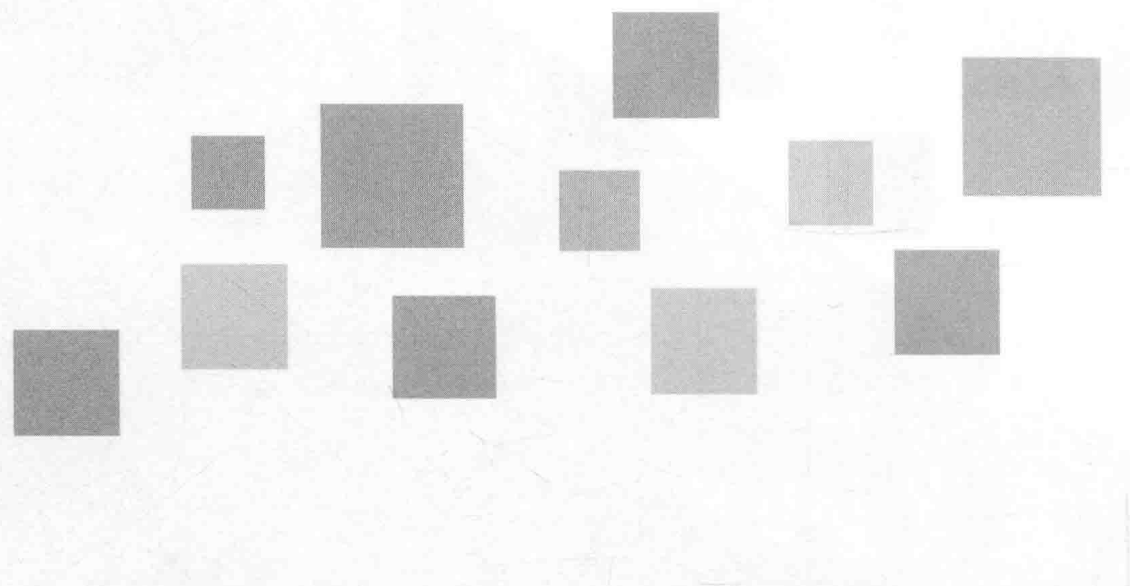
4.3.3 链路类型 .....	128
4.3.4 介质访问控制子层 .....	129
4.4 以太网协议 .....	131
4.4.1 以太网概述 .....	132
4.4.2 以太网数据封装格式 .....	133
4.4.3 MAC 地址简介 .....	135
4.5 本章总结 .....	140
4.6 练习题 .....	140
<b>第 5 章 网络层</b> .....	<b>142</b>
5.1 网络层协议 .....	145
5.1.1 网络层的作用 .....	145
5.1.2 IP 协议第 4 版 .....	146
5.2 路由 .....	150
5.2.1 路由的概念 .....	150
5.2.2 路由表与路由条目 .....	151
5.2.3 路由协议的分类 .....	153
5.3 路由器 .....	154
5.3.1 路由器的工作原理 .....	154
5.3.2 路由器的基本配置 .....	156
5.4 本章总结 .....	161
5.5 练习题 .....	161
<b>第 6 章 IP 地址与子网划分</b> .....	<b>164</b>
6.1 IPv4 网络地址 .....	167
6.1.1 二进制与十进制 .....	167
6.1.2 IPv4 编址方式 .....	170
6.1.3 网络掩码 .....	173
6.2 对 IPv4 网络划分子网 .....	176
6.2.1 子网划分与可变长子网掩码 .....	176
6.2.2 规划网络地址 .....	181
6.2.3 无类域间路由 .....	182
6.3 IPv4 通信的建立与验证 .....	184
6.3.1 地址解析协议 .....	185
*6.3.2 ARP 欺骗攻击概述 .....	188
6.3.3 ICMP 协议原理 .....	191
6.3.4 使用 ICMP 工具测试连通性的原理 .....	192

6.4 本章总结	194
6.5 练习题	194
<b>第7章 传输层</b>	<b>196</b>
7.1 传输层简介	199
7.1.1 传输层与网络层	199
7.1.2 传输层与应用层	200
7.2 TCP 协议	201
7.2.1 TCP 协议简介	201
7.2.2 TCP 封装	203
7.2.3 TCP 连接	204
7.2.4 基于 TCP 的协议	208
7.3 UDP 协议	209
7.3.1 UDP 协议简介	210
7.3.2 UDP 封装	211
7.3.3 基于 UDP 的协议	212
7.4 本章总结	213
7.5 练习题	213
<b>第8章 应用层</b>	<b>216</b>
8.1 应用层简介	219
8.2 应用层协议	220
8.3 常见应用层协议和服务	222
8.3.1 远程访问应用	222
8.3.2 网络管理应用	225
8.3.3 Web 应用	229
8.3.4 电子邮件应用	235
8.4 本章总结	240
8.5 练习题	241
<b>第9章 管理维护</b>	<b>242</b>
9.1 远程管理设备	244
9.1.1 远程管理与 VTY 线路	245
9.1.2 Telnet 协议基础与配置	246
9.1.3 SSH 协议基础与配置	252
9.1.4 对通过 SSH 实现远程管理的测试	254
9.2 管理网络设备	256

---

9.2.1 VRP 系统管理基础 .....	259
9.2.2 VRP 系统的备份 .....	268
9.2.3 VRP 系统的升级 .....	270
9.2.4 设备配置文件的备份及恢复 .....	273
9.2.5 密码恢复 .....	276
9.3 本章总结 .....	282
9.4 练习题 .....	282
术语表 .....	284
推荐延伸阅读与其他参考文献 .....	294

- 
- 1.1 人类通信发展史
  - 1.2 网络连接世界
  - 1.3 局域网、城域网、广域网和互联网
  - 1.4 挑战与发展
  - 1.5 本章总结
  - 1.6 练习题



自 20 世纪以来，计算机网络是带给人类文明最深远影响的科技发明之一。随处可见的二维码、人手一台的智能手机、推陈出新的社交平台、物美价廉的购物网站、街头热议的公众事件、耳熟能详的余兴节目，哪一样不与网络息息相关？互联网早已不再是 20 世纪 70 年代仅仅用于科研领域的古板平台，亦不再是 20 世纪 90 年代商业化之初应用匮乏的新奇技术，甚至也不再是 21 世纪初以传输文字和照片信息为主的通信媒介。针对互联网的绝大多数预言，在很多年之后都会成为人们的笑谈，反倒是那些以当年的观点看来明显高估了互联网发展趋势的预言，有时能够一语成真。

当然，如果志在成为网络从业者中的一员，那么对网络的了解就不应仅仅停留在它的应用层面。因为想要通过网络来满足他人的需求，首先必须掌握网络背后的技术原理。对于技术背景不深，同时又期待在这个行业施展拳脚的人来说，这难免需要经历一个从无到有的过程。在本章中，我们首先会对在互联网产生和发展的过程中出现的比较有代表性的事件分成几个阶段进行介绍。在事件之外，本节旨在能够借助历史背景，更加形象地提出协议、数据包、分层、运营商等抽象概念，为后面几章更加理论和枯燥的内容做一个生动的铺垫。在接下来的小节中，我们会从与技术无关的角度，带领读者思考网络世界与真实世界各个领域之间的联系，希望读者可以借此以一个更为理性的角度来看待网络的发展，对自己即将从事的行业拥有更加深入的看法。为了保证技术措辞的严谨性，我们常常将“网络”这个整体概念弃之不用，而在技术表达中代之以具体的网络类型，因此本章会用一节的内容，提前对一种简单的分类方式进行概述，解释局域网、广域网和互联网这些简单的专有名词，让读者不致在后面的学习中出现概念上的混淆。在这一章的最后小节中，我们会对当前网络发展的几大趋势进行介绍，帮助读者对这些当下的热点概念建立认识，把握这个行业技术发展的脉搏。

首先，让我们一起回到那个互联网还没有诞生的年代，追溯人类通信发展的起源。

## 学习目标

- 了解通信技术，尤其是互联网的发展历程；
- 理解电路交换、（数据）包交换、协议、分层、互联网等概念的由来；
- 了解网络与现实世界中各行各业的联系，以及网络技术人员的职业发展方向；
- 理解网络、局域网、城域网、广域网的概念；
- 掌握局域网的几种连接方式；
- 了解网络的几大前沿发展方向。

## 1.1 人类通信发展史

根据构词法，“通信”的英文“telecommunication”由希腊语前缀 tele（表示远距离、远程）和拉丁语词根 communicare（表示共享）构成。因此，“telecommunication”这个词的字面意思是“远程共享”。

从汉语的词源上看，“通信”一词在汉语中使用的历史也许并不算长。清末李伯元的《文明小史》中有：“到了美国约克，到了中国香港，还时时通信给他”。显然，当时的通信是指“用书信与人互通信息”。今天，“通信”这个词的外沿已经得到了极大扩展，它目前的大意是指双方或多方借助某种媒介实现信息互通的行为。如果按照当代汉语的方式理解“通信”，那么古代的互遣使节、飞鸽传书、烽火示警等都属于通信的范畴。

当然，古代和近代的各种通信方式并不在这几册图书的讨论范畴之内。本书作为华为信息与网络技术学院路由交换技术系列教材，数据通信（Data Communication）技术才是教材的重点，而数据通信技术在很多语境下可以视为是计算机网络（Computer Network）技术的同义词。所以，在本书的1.1节中，我们首先会对计算机网络，尤其是互联网（Internet）的前世今生进行介绍，以此充当全部三册教材的知识背景和理论铺垫。

在本节中，我们将互联网的发展历史分为5个阶段进行介绍。

- **前网络时代：**在这个阶段，数字计算机刚刚诞生。由于系统的限制，当时的计算机每次只能完成一项任务，计算机也都是由专门的操作员在本地完成输入操作的，由通信提出的远程共享理念还没有与计算机产生关联。
- **萌芽阶段：**在这个阶段，计算机网络仍然没有出现，但随着对复杂计算的需求



越来越强烈，产生了一些为提升计算机利用效率而提出的概念，这些概念与计算机网络有一定的相似之处，并最终对计算机网络的产生发挥了启迪作用。

- **雏形阶段：**传统的电话网络不仅在容错方面表现堪忧，同时也极大地增加了通信成本。为了建立更加可靠的计算机通信网络，不同专业的人士提出了类似的主张，其中一项终成现实，这个最终得以落实的计算机网络正是现代互联网的雏形。
- **诞生阶段：**通信的实现需要双方建立统一的标准，为了满足越来越广泛的网络通信需求，人们制订了一系列通信标准。同时，网络发展受到了行政章程的制约，为了回避这些规章制度，一家基金会出资建设了新的网络来连接更多科教机构，互联网骨干就此问世。
- **腾飞阶段：**互联网的发展虽然不再受到政府制约，但基金会的规则仍旧妨碍了互联网的商业化。随着这些限制的松动，互联网在学术目的之外的功能被不断开发出来，更多应用的出现最终让互联网呈现出了爆炸式增长的态势。这种态势一直延续至今，并且在近十年愈演愈烈。

下面，让我们先从“前网络时代”阶段说起。

### 1.1.1 前网络时代

说到计算机网络，当然首先要从计算机说起。

早期计算机每次只能执行一项任务，它的工作方式就是按照同一个指定程序，根据用户输入的信息输出计算结果。这种流水线式使用同一个程序对输入数据执行计算，并输出计算结果的操作称为批处理。由于计算机每次只能执行一项任务，因此这类计算机采用的系统称为单用户批处理（Batch Processing）系统。

不过在那个年代，限制计算机使用效率的不只是操作系统，计算机的计算能力本身也相当有限，而且计算机输入/输出信息的方法更是极为笨拙：用户需要把输入信息制作成一沓厚厚的穿孔卡片，将卡片插入到读卡机（另一台低端计算机）中，等待读卡机将这些卡片中的信息录制到一盘磁带上，再由专门的人员将磁带插入负责计算这些数据的高端计算机中，让计算机执行程序完成计算；在计算机完成作业后，相关人员再把输出的磁带拿到读卡机中打印计算结果，整个过程常常需要耗费几小时甚至几天的时间。受限于计算机本身的计算能力和这种繁杂的数据输入方式，单用户批处理系统倒是没有对计算结果的效率形成瓶颈。

随着计算机计算能力的增强，它们具备了同时执行多项任务的潜力，单用户批处理系统低效的缺陷也就日渐显露了出来。于是，人们对单用户批处理系统进行了改进，推出了多道批处理系统，让计算机可以将自己的计算资源同时分配给多名用户的操作任务。

到此为止，限制计算机资源有效利用的因素自然也就发生了变化。