

 新视野电子电气科技丛书

▶ 本书第1版获得中国电子教育学会优秀教材一等奖

Computer Network Tutorial, second edition

计算机网络教程

(第2版)

◎ 黄永峰 田晖 李星 编著



清华大学出版社



新视野电子电气科技丛书

Computer Network Tutorial, second edition

计算机网络教程

(第2版)

◎黄永峰 田晖 李星 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以互联网 TCP/IP 协议体系为线索,系统介绍了计算机网络的物理层、链路层、网络层、传输层和应用层的基础知识和热点技术。重点介绍网络层路由协议,网络安全等相关知识。同时,跟踪了互联网最新技术,简要介绍了软件定义网络、内容中心网络、云网络、可表述网络和移动网络等新型网络架构。

本书在知识结构上注重系统性,在内容组织上追求新颖性,在教学安排上力求时效性。本书适合作为计算机、信息与通信等学科的本科生、研究生“计算机网络”相关课程教材或参考书,也可供相关领域工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络教程/黄永峰,田晖,李星编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2018(2018.4重印)
(新视野电子电气科技丛书)
ISBN 978-7-302-48506-3

I. ①计… II. ①黄… ②田… ③李… III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 231294 号

责任编辑:文 怡

封面设计:台禹微

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:20.75

字 数:505 千字

版 次:2006 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 2 版

印 次:2018 年 4 月第 2 次印刷

印 数:1501~2500

定 价:59.00元

产品编号:073612-01

前言

PREFACE

随着微电子技术、计算机技术和通信技术的迅速发展和相互渗透,计算机网络已成为当今最重要的技术之一。在 21 世纪,计算机网络尤其是互联网技术改变了人们的生活、学习、工作乃至思维方式,并对科学、技术、政治、经济乃至整个社会产生了巨大的影响,国家的经济建设、社会稳定、国家安全乃至政府的高效运转都将越来越依赖互联网。

我们曾经做过调查,几乎所有的高等学校都将“计算机网络”作为信息技术相关专业的专科生、本科生和研究生的必修课程,而且授课学时都很多。例如,斯坦福大学的电机系给本科生和研究生同时开设“计算机网络体系结构和协议”,76 学时,讲授内容主要是计算机网络的概念、原理和实践,重点介绍互联网技术和 TCP/IP 协议;南加州大学的电机工程系开设的“计算机通信网络分析和设计”,70 学时,讲授内容主要是互联网的基本原理、概念和相关协议,以及计算机网络的分层模型(OSI 模型),重点是 TCP/IP 协议,并注重介绍网络新技术。另外,我们还对国内的主要大学也做过调查,例如,北京大学给研究生开设的“计算机网络原理”,72 学时,3 学分;中国科技大学开设的“信息通信网”,72 学时,3 学分。上述各校所开设的网络课程名称尽管有所不同,但内容都是围绕“互联网络技术”主题。

综合国内外高校的计算机网络开设情况,同时结合我们多年来对计算机网络原理与技术的教学和科研体会,我们在《计算机网络教程》(第 1 版)的基础上进行了修订,形成了《计算机网络教程》(第 2 版)。希望新版本能更适合作为各类大学信息技术相关专业的本科生和研究生的计算机网络课程教材或教学参考书。与上一版相比,除补充了宽带接入方式、IP 多播、虚拟局域网、IP 电话等计算机网络重要概念外,本版教材还介绍了软件定义网络、内容中心网络、云网络、可表述网络和移动网络等新型网络架构;对网络安全防护体系部分的内容进行了更新,在原有防火墙、紧急响应和恢复内容的基础上,增加了互联网攻击检测、虚拟专网、隐蔽通信及其检测技术、互联网 IP 劫持防范技术、身份认证和访问控制、垃圾邮件防范技术等内容;在计算机网络五层协议的体系结构的基础上,在网络层后,将路由协议作为单独的一章,将重点内容重点叙述。

本版教材具有如下特点:

(1) 对计算机网络和电信网络的知识进行了高度的融合,覆盖面广,同时重点分析互联网技术,并以一种清晰且易于接受的方式将深奥的互联网技术问题表达给不同基础的学生,使他们对计算机网络的基本概念和基本原理有更深入、更全面的理解。

(2) 在注重学生的计算机网络和通信理论基础的同时,尤其强调培养学生的网络工程实际动手、分析与开发能力。因此,在内容组织上,既讲述基本概念和原理,又注重介绍具有实用价值的网络技术。

(3) 及时地跟踪了网络发展的新技术,剔除了一些已经过时老旧的技术,引入了一些计算机网络方面新的技术概念。我们以特有的方法把技术上的准确性和当前网络的研究热点完美地结合起来,充分体现了网络技术发展的时效性。

(4) 全书内容结构清晰,重点突出,对于读者而言,容易由点到面,形成知识体系。

本教材的参考教学学时为 72 学时,全书分为 9 章,每章之后均附有习题。

参加本书第 1 版编写的还有吴晓军和张千里两位博士;本书得到了中国电子教育学会同行们的支持和肯定,获得了中国电子教育学会优秀教材一等奖。在第 2 版修订过程中也得到许多同行和同事的帮助和指导。在此,一并表示由衷的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和不妥之处,殷切希望各位读者批评与指正。

作者,于清华园

2018 年 1 月 20 日

目录

CONTENTS

第 1 章 概论	1
1.1 通信和互联网技术的发展	1
1.1.1 通信技术发展的三次革命	1
1.1.2 互联网的发展过程和未来趋势	3
1.1.3 我国互联网发展的概况	6
1.2 计算机网络的基本概念	9
1.2.1 计算机网络的定义和功能	9
1.2.2 计算机网络的类型	10
1.2.3 计算机网络的性能指标	12
1.3 计算机网络的体系结构	14
1.3.1 网络体系结构的概念	14
1.3.2 OSI/RM 网络体系结构	18
1.3.3 TCP/IP 体系结构	20
1.3.4 TCP/IP 参考模型和 OSI 参考模型的比较	24
练习题	25
第 2 章 物理层	26
2.1 物理层的基本概念	26
2.2 数字通信的基本概念	27
2.2.1 通信系统的基本概念	27
2.2.2 数字通信的基础理论	28
2.2.3 数据传输同步和交换方式	36
2.3 传输媒介	40
2.3.1 传输介质性能指标	40
2.3.2 同轴电缆	41
2.3.3 双绞线	42
2.3.4 光缆	44
2.3.5 无线传输	46
2.4 物理层的标准举例	47
2.4.1 RS-232-C 标准	47
2.4.2 RS-449 标准	52
练习题	53
第 3 章 数据链路控制及其协议	54
3.1 数据链路层的定义和功能	54

3.1.1	数据链路层的定义	54
3.1.2	数据链路实现的功能	54
3.2	错误检测和纠正	56
3.2.1	纠错码	56
3.2.2	检错码	58
3.3	基本的数据链路层协议	59
3.3.1	无约束单工协议	60
3.3.2	单工停等协议	60
3.3.3	有噪声信道的单工协议	61
3.3.4	停等协议的吞吐量分析	62
3.4	滑动窗口协议	63
3.4.1	一比特滑动窗口协议	64
3.4.2	后退 n 帧协议	66
3.4.3	选择重传协议	69
3.5	协议说明与验证	71
3.5.1	有限状态机模型	72
3.5.2	Petri 网模型简介	73
3.6	常用的数据链路层协议	75
3.6.1	高级数据链路控制规程	75
3.6.2	Internet 数据链路层协议简介	78
	练习题	79
第 4 章	网络层	81
4.1	概述	81
4.2	IP 协议	82
4.2.1	IP 分类编址	82
4.2.2	IP 地址与硬件地址	86
4.2.3	IP 数据报	87
4.3	子网、超网和无分类编址	93
4.3.1	子网划分	94
4.3.2	超网	97
4.3.3	IP 无分类编址	98
4.4	网络层的相关协议	100
4.4.1	互联网控制报文协议 ICMP	100
4.4.2	IP 组播与互联网组管理协议 IGMP	103
4.4.3	地址解析协议 ARP	108
4.4.4	逆地址解析协议 RARP	110
4.5	移动 IP	112
4.5.1	移动 IP 的工作原理	113
4.5.2	移动 IP 的缺陷及对策	116
4.6	IP 多播	117
4.6.1	IP 多播的基本概念	117
4.6.2	局域网上的物理多播	118
4.6.3	多播路由选择协议	119

4.7 计算机局域网 LAN	121
4.7.1 LAN 的拓扑结构	121
4.7.2 LAN 的体系结构	122
4.7.3 LAN 的介质访问控制技术	123
4.8 以太网	130
4.8.1 以太网原理	130
4.8.2 以太网 MAC 层	133
4.8.3 以太网连接方法	136
4.9 高速局域网	139
4.9.1 快速以太网	139
4.9.2 吉比特以太网	141
4.9.3 10 吉比特以太网	144
4.9.4 光纤分布式数据接口	145
4.10 虚拟局域网 VLAN	146
4.10.1 VLAN 的基本概念	146
4.10.2 IEEE 802.1q VLAN 标准	147
4.10.3 VLAN 的优点	149
4.11 无线局域网	149
4.11.1 IEEE 802.11 无线局域网的体系结构	150
4.11.2 IEEE 802.11 无线局域网的物理层	152
4.11.3 IEEE 802.11 标准的 MAC 子层	152
4.11.4 IEEE 802.11 的 MAC 管理子层	159
练习题	160
第 5 章 路由协议	167
5.1 路由协议概述	167
5.1.1 互联网络路由体系结构	168
5.1.2 动态路由协议	171
5.2 内部路由协议	174
5.2.1 RIP 协议	174
5.2.2 OSPF 协议	177
5.3 外部路由协议	183
5.3.1 BGP 路由协议	183
5.3.2 BGP 报文格式	184
5.3.3 BGP 路径属性	187
5.3.4 BGP 路由选择的算法	189
5.3.5 BGP 联盟和 BGP 反射器	190
练习题	193
第 6 章 传输层	195
6.1 传输层概述	195
6.2 UDP 协议	199
6.2.1 UDP 协议的特点	199
6.2.2 UDP 的报头结构	200
6.3 TCP 协议	202

6.3.1	TCP 协议的特点	202
6.3.2	TCP 头部格式	203
6.3.3	TCP 连接的建立和解除	206
6.3.4	TCP 数据传输与流量控制	208
6.3.5	TCP 的超时重传和拥塞控制	211
6.3.6	TCP 协议的选项	216
	练习题	221
第 7 章	应用层	223
7.1	域名系统	223
7.1.1	域名系统介绍	223
7.1.2	域名解析过程	225
7.2	文件传输	227
7.2.1	文件传输协议 FTP	227
7.2.2	小文件传输协议 TFTP	229
7.3	电子邮件的工作原理	230
7.3.1	电子邮件的格式与简单邮件传输协议 SMTP	230
7.3.2	邮件读取协议 POP 与 IMAP	235
7.4	万维网	236
7.4.1	统一资源定位符 URL	236
7.4.2	超文本传输协议 HTTP	237
7.4.3	标记语言	238
7.5	网络管理	241
7.5.1	网络管理功能	241
7.5.2	简单网络管理协议 SNMP	241
7.6	流媒体与 IP 电话	244
7.6.1	流媒体	244
7.6.2	IP 电话	246
	练习题	250
第 8 章	下一代网络技术	252
8.1	IPv6	252
8.1.1	IPv6 地址结构	253
8.1.2	IPv6 的首部	261
8.1.3	ICMPv6	265
8.1.4	IPv4 向 IPv6 的过渡	268
8.2	移动 IPv6 概述	270
8.2.1	移动 IPv6 的工作过程	270
8.2.2	移动 IPv6 的代理发现过程	271
8.2.3	移动 IPv6 的通告过程	271
8.2.4	移动 IPv6 的数据传送过程	272
8.3	多协议标记交换 MPLS	272
8.3.1	MPLS 的产生背景	272
8.3.2	MPLS 的工作原理	273
8.3.3	MPLS 首部的位置与格式	275

8.4 新型网络架构	276
8.4.1 软件定义网络 SDN	276
8.4.2 内容中心网络 CCN	278
8.4.3 云网络	281
8.4.4 可表述网络 XIA	281
8.4.5 移动网络	282
练习题	283
第9章 网络安全	285
9.1 信息安全基础	285
9.1.1 密钥密码学	286
9.1.2 公钥密码学	288
9.1.3 哈希函数	290
9.1.4 数字签名	292
9.1.5 密钥的发布和管理	294
9.1.6 公钥基础设施——PKIX	297
9.2 TCP/IP 协议的安全问题	299
9.2.1 网络层及其以下各层的安全问题	299
9.2.2 路由协议的安全问题	300
9.2.3 TCP 的安全问题	300
9.2.4 应用层服务	302
9.3 安全协议	303
9.3.1 IP 层安全 IPSec	303
9.3.2 传输层安全 SSL 和 TLS	304
9.3.3 应用层的安全协议	306
9.4 网络安全防护体系	308
9.4.1 防火墙	308
9.4.2 互联网攻击检测	309
9.4.3 紧急响应和恢复	310
9.4.4 虚拟专网 VPN	311
9.4.5 网络隐蔽通信及其检测技术	313
9.4.6 互联网 IP 劫持防范技术	313
9.4.7 身份认证和访问控制	314
9.4.8 垃圾邮件防范技术	317
练习题	318
附录 A 实验教学内容	320

随着微电子技术、计算机技术和通信技术的迅速发展和相互渗透,计算机网络已成为当今最重要的技术之一。在21世纪,计算机网络尤其是互联网技术正在改变人们的生活、学习、工作乃至思维方式,并对科学、技术、政治、经济乃至整个社会产生巨大的影响,每个国家的经济建设、社会发展、国家安全乃至政府的高效运转都越来越依赖于计算机互联网络。20年前,互联网(Internet)仅是一个只有几十个站点的研究项目。今天的互联网已成为一个连接所有国家亿万人的通信系统。互联网络(internet)使个人化的远程通信成为可能,并改变了商业通信的模式。一个完整的用于发展网络技术、网络产品和服务的新兴产业已经形成。本章将介绍计算机网络相关的基本概念和互联网的发展过程,强调计算机互联网络技术对社会发展的重要意义。需要特别指明的是,在本书中“互联网络”泛指一般意义的互联的计算机网络(internet);而“互联网”特指覆盖全球、人们实际使用的互联网络,即 Internet。

1.1 通信和互联网技术的发展

1.1.1 通信技术发展的三次革命

从1837年莫尔斯发明电报,1876年贝尔发明电话以来,经历长达一个多世纪的发展,通信服务已走进了千家万户,成为社会生活、工作和人们交流信息所不可缺少的重要工具。通信服务由传统的电报、电话单一品种扩大到传真、数据通信、图像通信、电视广播、多媒体通信等新业务领域;通信技术的演变日新月异,传输媒介包括有线电线、无线短波、微波、卫星和光缆;交换设备由机电制布线逻辑方式向计算机程序控制方式发展;传输设备由模拟载波向数字脉码调制方式发展;终端设备由机电方式向微处理器控制的多功能终端发展;通信方式由人工、半自动向全自动方向发展;通信网络由单一的业务网向综合方向发展形成综合业务数字网;通信的地点由固定方式转向移动方式,并逐步实现个人化。

综观通信技术发展的全历程,可以将其发展过程分为三次革命。

第一次通信技术的革命是一百多年前电话的问世。电话网络是开放电话业务为广大用户服务的通信网络。最早的电话通信形式只是两部电话机中间用导线连接起来便可通话,但当某一地区电话用户增多时,要想使众多用户相互间都能两两通话,便需设一部电话交换机,由交换机完成任意两个用户的连接,这时便形成了一个以交换机为中心的单局制电话网。在某一地区(或城市)随着用户数继续增多,便需建立多个电话局,然后由局间中继线路将各局连接起来,形成多局制电话网。

在电话网中,主要传输的业务是话音,但是只要增加少量设备就可以传送传真、中速数据等非话业务。

电话网络采用的交换技术是基于电路交换的通信技术。电路交换包括公用电话网、公用电报网和电路交换的公用数据网(CSPDN)。

第二次通信革命是半个多世纪前电视和有线网络的出现。电视的出现改变了电话网络只能传输话音的缺点,它使用户不仅能闻其声,也能见其人。特别是有线电视网络的出现,使视频信号的传输质量和带宽都得到了很大的改善,也使得基于广播电视的通信技术进入了快速发展的阶段,达到了鼎盛时期,成为三大媒体通信技术之一。

但是由于目前的CATV(Community Antenna Television,社区公共电视天线系统)是单向传输,采用的是广播技术,并且该网络缺乏交换机制以及网络安全管理的功能,这就使得通过CATV提供双向对称/不对称业务非常困难,所以改造现有的单向网络变成双向网络,即在原有的树形广播网络中传输双向上行的信息是利用CATV实现除电视业务以外其他多媒体业务的关键。

第三次通信革命是计算机网络的产生和发展,特别是互联网的迅速崛起所引发的IP数据传输技术的发展。IP数据传输技术已开始成为通信舞台上的主角,并与话音通信、视频通信形成新的产业会聚,世界通信网络基础设施就此出现新层次的突破,一个崭新的通信世界日渐凸现出来。这种新兴的以IP分组交换为核心的计算机网络技术具有如下特点。

(1)从技术上说,新的变革实际上就是从基于电路交换的技术转变为IP分组交换技术。分组交换(Packet Switching)也称为包交换,它将用户发来的一整份报文分割成若干定长的数据块(分组),让它们以“存储-转发”方式在网内传输。每一个分组信息都载有接收地址和发送地址的标识,在传送数据分组之前,必须首先进行路由建立虚电路,然后依序传送。分组交换在路上采用动态复用的技术传送各个分组,所以线路利用率较高。分组交换兼有电路交换和报文的优点,是数据交换方式中一种比较理想的方式。传统电话网络只是简单地建立连接,而新的网络中IP分组承载的信息在IP头的比特编码下具有更强的智能化功能。

(2)从模式上看,IP数据传输是一种全新的通信模型,在该模型中,数据正迅速取代语音成为主要的网络流量类型。互联网、企业内部网(Intranet)和外部网(Extranet)上的数据流量激增,IP网际互联已无可争辩地成为新世界的基础。

(3)从业务上看,传统电信业务主要就是电话业务,所以电信公司实际上只是电话公司。互联网应用的普及使这一格局很快发生了改变,一批互联网服务供应商迅速崛起,其服务范围越来越广,互联网具备更丰富的业务内涵。这其中包括很多多媒体数据业务的实现,如IP话音、IP图像、IP电视会议等。更加丰富的是增值服务,其中最具代表性的是目前极为流行的IP虚拟专用网等。越来越多的人开始意识到,未来通信市场的竞争不是“卖带宽”,而是“增值服务”。

另外,IP数据传输是通信技术发展的趋势所在。通信业在经历了将近一个世纪的电路交换通信模式后,目前其技术的整体发展趋势是由电路交换向分组交换演化,IP网络将是未来通信网络的基础。其突出表现在以下几个方面:

(1)IP与ISDN(Integrated Services Digital Network,综合业务数据网)和ATM(Asynchronous Transfer Mode)等网络技术不同,IP网络是典型的由市场驱动发展起来的。ISDN和ATM的发展历史都是技术驱动型的,先有技术,再找应用。历史证明,这种模式是

不成功的。而互联网从诞生的那一天起,就是由应用推动技术发展,技术发展又反过来刺激应用,形成了技术和应用的良性互动。据统计,达到相同的用户数,电话网络用了将近一个世纪,电视用了三十年,而互联网仅经历了短短几年。在互联网上的业务量正在以指数规模增长。同时,网上的业务范围也在不断地扩大,除了传统的 Web 浏览、信息检索、电子邮件、远程文件传输外,各种新业务,如电子商务、IP 电话与传真、远程教学、远程医疗、IP 电视会议、远程协同工作等都在迅猛发展中。以 IP 网络和 IP 信息业务为主体的信息化社会将在 21 世纪初期形成,它像工业革命时代的蒸汽机和电气化时代的电一样,将深远地影响整个社会、经济和人们日常工作和生活的方方面面。

(2) 在 IP 业务迅猛发展的同时,IP 网络技术也在不断升级,逐步迈向更高的台阶。IP 协议对底层承载技术有广泛的适应性,IP 核心网络由数年前的软件路由器加窄带中继发展到 G 比特甚至 T 比特 IP 路由交换机加宽带传输网络。IP 接入网络由传统的低速调制解调器、ISDN 发展到 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line,非对称数字用户线路) 和 Cable Modem,以及现在无所不在移动通信 G4. 等。之前人们广泛批评的 IP 网络的弱点和缺陷,如 QoS、网络安全性等,随着光网络技术和交换式路由器的进步都会得到彻底解决。

(3) IP 与移动通信必将紧密结合,互相渗透。伴随着互联网的飞速发展,移动通信也在突飞猛进。但是移动通信的业务迄今为止都是传统的话音通信占主导地位,移动通信网络本质上是电路交换通信网。随着用户量的剧增,运营商之间的竞争加剧,单一的话音业务远远不能满足用户的业务需求。发展移动数据业务是移动通信运营商的战略方向,让消费者拥有和互联网无缝结合的移动 IP 业务是运营商的竞争利器。借助于 WAP (Wireless Application Protocol) 的 Web 浏览,随时随地进行的移动电子商务、移动网上银行、移动 IP 电话等业务预示着互联网和移动通信无缝结合的前景和未来。第三代移动网络的发展就很好地说明了这一趋势。随着分组业务量的急剧增长和 IP 技术的完全成熟,所有的业务将会统一到 IP 网络,形成一个真正的综合业务网络。

人们惊喜地发现:电话、电视及计算机正在迅速地融合;信息的获取、存储、传送和处理之间的孤岛现象随着计算机网络的发展而逐渐消失;曾经独立发展的电信网、电视网和计算机网将合而为一;新的信息产业正以强劲的势头迅速崛起。因此,在未来社会中,信息产业将成为社会经济中发展最快和最大的部门。为了提高信息社会的生产力,提供一种全社会的、经济的、快速的存取信息的手段是十分必要的,这种手段由计算机网络来实现。

1.1.2 互联网的发展过程和未来趋势

1946 年,产生了人类历史上第一台电子计算机,当时,任何人都没有预测到 70 年后的今天,计算机在社会各个领域的应用和影响是如此广泛和深远。在 1969 年,建立了世界上第一个计算机网络 ARPANET,同样,当时也不会有人预测到 40 多年后的今天,计算机网络,特别是互联网在现代信息社会中扮演了如此重要的角色。

最初只有 4 个节点 ARPANET 网络,经过 40 多年的发展,已成为横跨全世界一百多个国家和地区、连接几千万台计算机、几亿用户的互联网(Internet)。纵观这 40 多年的发展,从中也可领略到计算机网络发展速度之迅猛。互联网的发展经历了 5 个阶段:

(1) Internet 的起源

1962 年,美苏冷战期间,美国国防部为了保证美国本土防卫力量和海外防御武装在受

到苏联第一次核打击以后仍然具有一定的生存和反击能力,认为有必要设计出一种分散的指挥系统:它由一个个分散的指挥点组成,当部分指挥点被摧毁后,其他点仍能正常工作,并且这些点之间能够绕过那些已被摧毁的指挥点而继续保持联系。

1969年,为了对这一构思进行验证,美国国防部国防高级研究计划署(DoD/DARPA)资助建立了一个名为阿帕网(ARPANET)的网络,这个网络把位于洛杉矶的加利福尼亚大学、位于圣芭芭拉的加利福尼亚大学、斯坦福大学,以及位于盐湖城的犹它州州立大学的计算机主机联接起来,位于各个节点的大型计算机采用分组交换技术,通过专门的通信交换机(IMP)和专门的通信线路相互连接。这个 ARPANET 就是 Internet 最早的雏形。

1972年,ARPANET 网上的网点数已经达到 40 个,这 40 个网点彼此之间可以发送小文本文件(当时称这种文件为电子邮件,也就是现在的 E-mail)和利用文件传输协议发送大文本文件,包括数据文件(即现在 Internet 中的 FTP),同时也发现了通过把一台计算机模拟成另一台远程计算机的一个终端而使用远程计算机上的资源的方法,这种方法被称为 Telnet。E-mail、FTP 和 Telnet 是 Internet 上较早出现的重要工具,而 E-mail 仍然是目前 Internet 上最主要的应用。

(2) TCP/IP 协议的产生

1972年,全世界计算机业和通信业的专家学者在美国华盛顿举行了第一届国际计算机通信会议,就在不同的计算机网络之间进行通信达成协议,会议决定成立 Internet 工作组,负责建立一种能保证计算机之间进行通信的标准规范(即“通信协议”)。

1973年,美国国防部开始研究如何实现各种不同网络之间的互联问题。1974年,IP(Internet 协议)和 TCP(传输控制协议)问世,合称 TCP/IP 协议。这两个协议定义了一种在计算机网络间传送报文(文件或命令)的方法。随后,美国国防部决定向全世界无条件免费提供 TCP/IP,即向全世界公布解决计算机网络之间通信的核心技术,TCP/IP 协议核心技术的公开最终导致了互联网的大发展。

1980年,世界上既有使用 TCP/IP 协议的美国军方的 ARPANET,也有很多使用其他通信协议的各种网络,如 IPX/SPX、DECnet 等。为了将这些网络连接起来,美国人温顿·瑟夫(Vinton Cerf)提出一个想法:在每个网络内部各自使用自己的通信协议,在和其他网络通信时使用 TCP/IP 协议。这个设想最终导致了 Internet 的诞生,并确立了 TCP/IP 协议在网络互联方面不可动摇的地位。

(3) 计算机网络的“春秋战国”时代

20世纪70年代末到80年代初,可以说是计算机网络的春秋战国时代,各种各样的网络应运而生。

20世纪80年代初,DARPA Net 取得了巨大成功,但没有获得美国联邦机构合同的学校仍不能使用。为解决这一问题,美国国家科学基金会(NSF)开始着手建立提供给各大学计算机系使用的计算机科学网(CSNet)。CSNet 是在其他基础网络之上加统一的协议层,形成逻辑上的网络,它使用其他网络提供的通信能力,从用户角度来看是一个独立的网络。CSNet 采用集中控制方式,所有信息交换都经过 CSNet-Relay(一台中继计算机)进行。

1982年,美国北卡罗来纳州立大学的斯蒂文·贝拉文(Steve Bellovin)创立了著名的集电极通信网络——网络新闻组(Usenet),它允许该网络中任何用户把信息(消息或文章)发送给网上的其他用户,大家可以在网络上就自己所关心的问题和其他人进行讨论。

1983年在纽约城市大学也出现了一个以讨论问题为目的的网络——BITNet,在这个网络中,不同的话题被分为不同的组,用户可以根据自己的需求,通过计算机订阅,这个网络后来被称之为电子邮件群(Mailing List)。

1983年,在美国旧金山还诞生了另一个网络,即费多网(FidoNet或Fido BBS),它是一种公告牌系统。它的优点在于用户只要有一部计算机、一个调制解调器和一根电话线就可以互相发送电子邮件并讨论问题,这就是后来的互联网的BBS。

以上所谓“网络”都相继成为目前互联网的一种应用,因而互联网成为全世界各种“网络”的大集合。

(4) 互联网的基础——NSFNet

互联网的第一次快速发展源于美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSFNet)的建立。

20世纪80年代初,美国一大批科学家呼吁实现全美的计算机和网络资源共享,以改进教育和科研领域的基础设施建设,抵御欧洲和日本先进教育和科技进步的挑战和竞争。

20世纪80年代中期,美国国家科学基金会(NSF)为鼓励大学和研究机构共享他们非常昂贵的4台计算机主机,希望各大学、研究所的计算机与这4台巨型计算机联接起来。最初NSF曾试图使用DARPA Net作NSFNet的通信干线,但由于DARPA Net的军用性质,并且受控于政府机构,这个决策没有成功。于是他们决定自己出资,利用ARPANET发展出来的TCP/IP通信协议建立名为NSFNet的广域网。

1986年,NSF投资在美国普林斯顿大学、匹兹堡大学、加州大学圣迭戈分校、依利诺伊大学和康奈尔大学建立5个超级计算中心,并通过56kbps的通信线路连接形成NSFNet的雏形。

1987年,NSF公开招标对于NSFNet的升级、营运和管理,结果IBM、MCI和由多家大学组成的非营利性机构Merit获得NSF的合同。

1989年7月,NSFNet的通信线路速度升级到T1(1.5Mbps),并且连接13个骨干节点,采用MCI提供的通信线路和IBM提供的路由设备,Merit则负责NSFNet的营运和管理。由于NSF的鼓励和资助,很多大学、政府资助甚至私营的研究机构纷纷把自己的局域网并入NSFNet中,从1986年至1991年,NSFNet的子网从100个迅速增加到3000多个。随着NSFNet的正式营运并实现与其他已有和新建网络的连接,NSFNet开始真正成为互联网的基础。

互联网在20世纪80年代的扩张不但带来量的改变,也带来某些质的变化。由于多种学术团体、企业研究机构,甚至个人用户的进入,互联网的使用者不再限于纯计算机专业人员。新的使用者发觉计算机相互间的通信对他们来说更有吸引力。于是,他们逐步把互联网当作一种交流与通信的工具,而不仅仅是共享NSF巨型计算机的运算能力。

20世纪90年代初期,互联网事实上已成为一个“网际网”:各个子网分别负责自己的架设和运行费用,而这些子网又通过NSFNet互联起来。NSFNet连接全美上千万台计算机,拥有几千万用户,是互联网最主要的成员网。随着计算机网络在全球的拓展和扩散,美洲以外的网络也逐渐接入NSFNet主干或其子网。

(5) 互联网的商业化

20世纪90年代初,商业机构开始进入互联网,使互联网开始了商业化的新进程,也成

为互联网大发展的强大推动力。

1995年,NSFNet停止运作,互联网已彻底商业化了。这种把不同网络连接在一起的技术的出现,使计算机网络的发展进入一个新的时期,形成由网络实体相互连接而构成的超级计算机网络,人们把这种网络形态称为互联网络(internet)。

随着商业网络和大量商业公司进入互联网,网上商业应用取得高速的发展,同时也使互联网能为用户提供更多的服务,使互联网迅速普及和发展起来。

现在互联网已发展为多元化,不再是单纯为科研服务,而是正逐步进入到日常生活的各个领域。近几年来,互联网在规模和结构上都有了很大的发展,已经发展成为一个名副其实的“全球网”。

计算机网络的出现,改变了人们使用计算机的方式;而互联网的出现,又改变了人们使用网络的方式。互联网使计算机用户不再被局限于分散的计算机上,同时,也使他们脱离了特定网络的约束。任何人只要进入了互联网,就可以利用网络中和各种计算机上的丰富资源。

互联网技术已经发展了40多个年头,互联网已经成为人们生活和工作不可或缺的工具。各种新的互联网技术层出不穷,给互联网带来日新月异的变化,目前而言,互联网在未来有如下几个发展动向:

(1) 全球互联网用户会进一步增加,据美国国家科学基金会预测,全球互联网用户数在2020年前将增加到50亿。并且互联网在全球的分布情况将会日益分散,互联网会在发展中国家迅速发展,互联网未来所支持的语言也会越来越丰富多元。

(2) 移动互联网飞速发展,截至2014年5月,全球移动互联网就已经占整体互联网的25%,这个数据在2013年的时候仅为14%。就目前移动互联网的增长速度,可以预见未来互联网将会朝着无线化发展。

(3) 基于云技术的项目会越来越多。随着云计算技术的不断发展,让很多的公司意识到:从个人计算机到云计算的转变可以带来很大程度上的成本削减。公司与云服务提供商签约,将计算和数据存储工作交给云服务提供商,云服务提供商为公司数据中心提供物理空间和相应的维护服务,确保数据和设备的安全,并且云服务的弹性,使得用户可以免去购买固定硬件的成本,只用于实际使用的资源付费。

1.1.3 我国互联网发展的概况

我国早在1987年就由中国科学院高能物理研究所首先通过X.25租用线实现了国际远程联网,并于1988年实现了与欧洲和北美地区的E-mail通信。1994年6月中国教育与科研计算机网(CERNET)正式连接到互联网。1996年6月,中国电信的CHINANET也正式投入运营。到目前为止,中国共有9大计算机互联网络,它们分别是:

- 中国教育和科研计算机网(CERNET);
- 中国科技网(CSTNET);
- 中国电信网(CHINANET);
- 中国金桥网(GBNET);
- 中国长城互联网(GWNET);
- 中国联合通信网(UNINET);
- 中国网络通信网(CNCNET);
- 中国移动通讯网(CMNET);

► 中国对外经济贸易网(CIENET)。

其中,中国科技网是我国最早建立的计算机互联网络,始建于1989年,并于1994年4月首次实现了我国与国际互联网络的直接连接,同时在国内开始管理和运行中国顶级域名CN。中国科学院计算机网络信息中心是中国科技网的网络管理运行中心。中国科学院计算机网络信息中心经国家主管部门授权,管理和运行中国互联网络信息中心,向全国提供网络域名注册服务。该网络目前与美国的互联网的连接带宽为55Mbps,与CERNET的连接带宽为1000Mbps,与CHINANET的连接带宽为155Mbps。

中国教育与科研计算机网(CERNET)始建于1994年,已发展成为中国第二大互联网络。1995年年底我国上网高校仅有86所,截至2000年3月,中国高等院校网站共有436个,占全国高校比例的42.7%(根据教育部1998年的公报,全国共有高等院校1020所)。中国教育和科研计算机网CERNET是由国家投资建设,教育部负责管理,清华大学等高等学校承担建设和管理运行的全国性学术计算机互联网络。它主要面向教育和科研单位,是全国最大的公益性互联网络。

CERNET分4级管理,分别是全国网络中心,地区网络中心和地区主节点,省教育科研网,校园网。CERNET全国网络中心设在清华大学,负责全国主干网的运行管理。地区网络中心和地区主节点分别设在清华大学、北京大学、北京邮电大学、上海交通大学、西安交通大学、华中科技大学、华南理工大学、电子科技大学、东南大学、东北大学等10所高校,负责地区网的运行管理和规划建设。CERNET省级节点设在36个城市的38所大学,分布于全国除台湾省外的所有省、市、自治区。CERNET已经有28条国际和地区性信道,与美国、加拿大、英国、德国、日本和中国香港地区联网,总带宽达到250Mbps。与CERNET联网的大学、中小学等教育和科研单位达900多家(其中高等学校800所以上),联网主机120万台,个人用户达到800多万人。CERNET与国内CSTNET、CHINANET和CHINAGBN实现互联。CERNET建成了总容量达800GB的覆盖全世界主要大学和著名国际学术组织的10个信息资源镜像系统和12个重点学科的信息资源镜像系统,以及一批国内知名的学术网站。CERNET建成了系统容量为150万页的中英文全文检索系统和涵盖100万个文件的文件检索系统。1999年,CERNET开始建设自己的高速主干网。利用国家现有光纤资源,在国家 and 地方共同投入下,到2001年年底,CERNET已经建成20000公里的DWDM/SDH高速传输网,覆盖我国近30个主要城市,主干总容量可达40Gbps;在此基础上,CERNET高速主干网已经升级到2.5Gbps,155Mbps的CERNET中高速地区网已经连接到我国35个重点城市;全国已经有100多所高校的校园网以100~1000Mbps速率接入CERNET。

CERNET是我国互联网络技术研究的排头兵,具有雄厚的技术实力。CERNET是完全由我国技术人员独立自主设计、建设和管理的计算机互联网络。在网络建设的同时,CERNET还注重加强网络安全工作,1999年CERNET建成国内第一个网络紧急响应中心CCERT,并提供服务。迄今为止CCERT小组已经先后处理了2000多网络安全事件的报告。CERNET还是中国开展下一代互联网研究的试验网络,它以现有的网络设施和技术力量为依托,建立了全国规模的IPv6试验床。1998年CERNET正式参加下一代IP协议(IPv6)试验网6BONE,同年11月成为其骨干网成员。CERNET在全国第一个实现了与国际下一代高速网Internet 2的互联,目前国内仅有CERNET的用户可以顺利地直接访问Internet 2。截至2014年7月,CERNET主干网国际国内互联总带宽超过90Gbps,国际互联带宽超过65Gbps。2004年建立全球的最大的IPv6网络,即CERNET2。截至2014年7