



现代电信网络技术

计算机网络与卫星通信 网络融合技术

JISUANJI WANGLUO YU WEIXING TONGXIN
WANGLUO RONGHE JISHU

孙晨华 张亚生 何 辞 谷聚娟 尹 波 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

计算机网络与卫星通信 网络融合技术

孙晨华 张亚生 何辞 谷聚娟 尹波 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书在系统地分析计算机网络与卫星通信网络(简称卫星网络)的区别与联系、计算机网络各层协议对卫星网络适应性的基础上,提出了针对卫星网络的数据链路层、网络层、传输层、应用层等各层的优化设计方案,是作者多年来从事计算机网络和卫星网络融合方向部分研究成果和工程实际经验的总结。本书在梳理相关基础知识的同时,特别关注了计算机网络和卫星网络的融合点,突出强调了理论性和工程实现性的结合,具有较高的理论研究和实际应用参考价值。

本书可作为从事计算机网络、卫星网络、天地一体化信息网络专业的工程技术人员、科技工作者和相关专业高校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络与卫星通信网络融合技术 / 孙晨华等著.
—北京:国防工业出版社,2016.10
ISBN 978-7-118-10938-2

I. ①计... II. ①孙... III. ①计算机网络-研究②卫星通信-通信网-研究 IV. ①TP393②TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 231844 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 11 字数 267 千字

2016 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 66.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

自从 1946 年第一台计算机诞生和第一个以月球表面做中继的“通信卫星试验”开始,计算机及计算机网络发展、卫星及卫星网络发展就水乳交融、相互促进,越来越密不可分,却又有所不同。尤其是近十年来,以支持 IP 业务为典型特征的计算机网络相关技术逐步嵌入到卫星网络,集成到卫星终端设备,进一步促进了“融合”方向的不断研究和工程应用。广义的计算机网络涉及了基于卫星通信、光纤通信等各种不同传输介质的计算机互联网络,本书将计算机网络和卫星网络分开来讲,是为了更加突出基于卫星传输手段与基于光纤等传输手段的不同,以对卫星网络的特殊问题引起重视。

本书共分 8 章,孙晨华负责统筹、规划全书内容并主笔第 1 章、第 2 章的编写,负责提出第 3 章~第 8 章主要编写内容和思路,并组织编写;张亚生具体指导第 3 章~第 7 章的编写工作并主笔第 8 章的编写;尹波主笔第 3 章的编写;何辞主笔第 4 章~第 6 章的编写;谷聚娟主笔第 7 章的编写。

第 1 章总结计算机网络与卫星网络的发展历程、计算机网络的分层模型及协议、计算机网络与卫星网络融合应用的问题。从计算机和计算机网络发展历程、通信卫星和卫星网络发展历程梳理计算机网络和卫星网络发展过程中的相互影响;不仅给出计算机网络的混合参考模型和协议体系,还给出分层协议软件实现模型;结合不同的卫星通信体制特点和应用场景,分析融合应用的问题,给出技术解决途径。

第 2 章梳理常用的计算机网络数据链路层协议和卫星网络数据链路层协议。重点强调两个网络链路层的区别与联系,注重工程应用性而非完备性。

第 3 章介绍计算机网络常用路由协议的原理,结合卫星网络的拓扑结构和卫星链路的特性,对路由协议进行适应性分析和仿真验证,给出适合各类典型卫星网络特点的路由解决方案。

第 4 章介绍卫星 TCP 协议增强技术,结合卫星链路特性和典型卫星应用场景,给出几种典型卫星网络的 TCP 加速技术解决方案。

第 5 章介绍卫星应用层协议增强技术,梳理常用的应用层协议及其增强技术路线,给出几种卫星网络中 HTTP 协议增强的解决方案。

第 6 章介绍卫星 IP 压缩技术,梳理地面网络常用的 IP 压缩技术,给出不同压缩技术的卫星网络工程应用示例。

第 7 章介绍服务质量的观念、地面 IP 网络的服务质量保证机制,分析地面 IP 网络 QoS 机制在卫星网络的适应性,给出几种典型卫星网络的 QoS 机制。

第 8 章介绍目前地面网络中的一些热门研究成果和方向,并引出针对下一代卫星网络的研究方向。

本书是国内较为少见、深入全面介绍计算机网络与卫星网络融合技术方面的书籍,是一本理论和实践结合紧密的专业论著,取材于作者及其团队多年来从事计算机网络与卫星网络融合技术研究的科研成果。本书尤其注重从实际应用出发,采用读者易于理解和掌握的叙述和论证方式,循序渐进地帮助读者全面把握本书。

著者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 计算机网络与卫星网络发展历程	1
1.1.1 计算机及计算机网络发展历程	1
1.1.2 通信卫星及卫星网络发展历程	2
1.2 计算机网络分层模型及协议	3
1.2.1 OSI 参考模型和 TCP/IP 参考模型	3
1.2.2 混合模型及协议	5
1.3 计算机网络与卫星网络融合应用和问题分析	9
1.3.1 融合应用场景	9
1.3.2 卫星通信不利于 IP 应用的特点分析	13
1.3.3 计算机网络与卫星网络融合问题分析及技术途径	14
第 2 章 计算机网络及卫星网络数据链路层协议	17
2.1 常用计算机网络数据链路层协议	17
2.1.1 以太网数据链路层协议	17
2.1.2 HDLC 数据链路层协议及其扩展	18
2.1.3 ATM 数据链路层协议	24
2.2 卫星网络数据链路层协议	26
2.2.1 FDMA/DAMA 卫星网络数据链路层协议	26
2.2.2 MF-TDMA 卫星网络数据链路层协议	28
2.2.3 卫星 ATM 网络数据链路层协议	31
2.2.4 DVB-RCS 卫星网络数据链路层协议	33
2.2.5 CCSDS AOS 数据链路层协议	37
第 3 章 计算机网络及卫星网络路由技术	39
3.1 常用路由协议原理	39
3.1.1 单播路由协议	39
3.1.2 组播路由协议	46
3.2 路由协议在卫星网络中适应性分析与仿真验证	51
3.2.1 卫星网络路由协议分析	51
3.2.2 单播路由协议适应性分析	52
3.2.3 组播路由协议适应性分析	56
3.2.4 路由协议在卫星网络中适应性仿真	56
3.3 典型卫星网络路由解决方案及优化	61
3.3.1 FDMA/DAMA 卫星网络路由方案	61

3.3.2	MF-TDMA 卫星网络路由方案	64
3.3.3	DVB-RCS 卫星网络路由方案	67
3.3.4	基于星上处理的卫星网络路由方案	68
第4章	卫星 TCP 增强技术	71
4.1	TCP 流程及传输控制机制	71
4.1.1	TCP 流程	71
4.1.2	TCP 传输控制机制	72
4.2	TCP 在卫星网络中的适应性分析	74
4.2.1	卫星长时延对 TCP 的影响	74
4.2.2	高误码对 TCP 的影响	75
4.2.3	不对称信道对 TCP 的影响	76
4.2.4	频繁中断对 TCP 的影响	76
4.3	卫星网络 TCP 增强技术	76
4.3.1	TCP 增强技术概要	76
4.3.2	针对卫星链路特性的 TCP 增强技术解决方案	78
4.3.3	针对典型卫星应用场景的 TCP 增强技术解决方案	86
4.4	典型卫星网络 TCP 增强技术应用	88
4.4.1	FDMA/DAMA 卫星网络 TCP 增强技术应用	88
4.4.2	TDMA 卫星网络 TCP 增强技术应用	90
4.4.3	DVB-RCS 卫星网络 TCP 增强技术应用	91
4.4.4	基于星上处理的卫星网络 TCP 增强技术应用	91
第5章	卫星网络应用层协议增强技术	93
5.1	应用层协议及卫星适应性分析	93
5.1.1	应用层协议简介	93
5.1.2	应用层协议卫星适应性简要分析	94
5.2	HTTP 协议及卫星适应性分析	95
5.2.1	HTTP 协议流程	95
5.2.2	HTTP 协议在卫星网络中的适应性分析	95
5.3	常用 HTTP 增强技术	98
5.3.1	HTTP 增强技术概要	98
5.3.2	Web 缓存技术	98
5.3.3	Web 预取技术	103
5.3.4	流程优化技术	107
5.4	HTTP 增强技术在卫星网络中的应用及优化设计	109
5.4.1	HTTP 增强技术在卫星网络中的应用部署	109
5.4.2	结合卫星广播特性的 HTTP 增强技术优化设计	110
第6章	卫星 IP 压缩技术	112
6.1	IP 包头压缩技术	112
6.1.1	IP 包头压缩技术标准概况	112
6.1.2	RFC3095(ROHC)基本原理	113

6.2	IP 净荷压缩	116
6.2.1	IP 净荷压缩技术标准概况	116
6.2.2	RFC3173(IPComp) 基本原理	117
6.3	IP 压缩技术在卫星网络中的必要性和适应性分析	118
6.3.1	IP 压缩技术针对卫星网络的必要性分析	118
6.3.2	IP 压缩技术在卫星网络中的适应性分析	120
6.4	卫星网络 IP 压缩技术的典型应用	120
6.4.1	基于点对点窄带卫星信道的应用	120
6.4.2	基于点对多点卫星网络的应用	121
第7章	卫星 IP 网络服务质量保证技术	123
7.1	IP 网络 QoS 技术及其在卫星网络中的适应性分析	123
7.1.1	IP 网络常用 QoS 模型	123
7.1.2	IP 网络 QoS 技术在卫星网络中的适应性分析	128
7.2	卫星 IP 网络 QoS 技术	130
7.2.1	卫星网络 QoS 功能组成	130
7.2.2	卫星网络 QoS 需要关注的几个问题及解决思路	132
7.3	不同体制卫星网络的 QoS 实现	136
7.3.1	FDMA/DAMA 网络 QoS 实现	136
7.3.2	TDMA 网络 QoS 实现	139
7.3.3	DVB-RCS 网络 QoS 实现	143
7.3.4	基于星上处理卫星网络 QoS 实现	147
第8章	研究的新领域展望	152
8.1	SDN	152
8.1.1	SDN 的概念	152
8.1.2	SDN 的发展现状	152
8.1.3	SDN 应用的优势及其面临的主要问题	154
8.2	NFV	155
8.2.1	NFV 的概念	155
8.2.2	NFV 的发展现状	155
8.2.3	NFV 的应用优势及其面临的主要问题	156
8.3	云计算	157
8.3.1	云计算的概念	157
8.3.2	云计算的发展现状	158
8.3.3	云计算应用的优势及其面临的主要问题	159
8.4	卫星网络与地面网络融合发展趋势	160
8.4.1	卫星网络发展	160
8.4.2	融合技术探索	161
主要参考文献		162
缩略语		164

第1章 概述

本章首先概要总结了计算机及计算机网络、通信卫星及卫星网络的发展历程,然后系统梳理了计算机网络的参考模型及协议体系,最后给出了计算机网络与卫星网络融合应用场景,以及存在的问题和技术解决途径。

1.1 计算机网络与卫星网络发展历程

1.1.1 计算机及计算机网络发展历程

1.1.1.1 计算机的发展

1946年2月14日,在美国宾夕法尼亚大学,世界上第一台电子计算机 ENIAC(Electronic Numerical integrator and Calculator,电子数字积分器与计算器)诞生。该计算机为美国陆军军械部弹道研究实验室研制,用于炮弹弹道轨迹计算,占地 170m^2 、重 30t 、由 18000 个电子管、 6000 个开关、 7000 只电阻、 10000 只电容、 500000 条线组成,耗电约 150kW ,每秒可进行 5000 次加法运算、 400 次乘法运算,比当时最快的计算工具快 30 倍。尽管它“笨拙”“低级”,但它标志着计算机时代的到来,也标志着人类进入一个崭新的信息革命时代。

第一代电子计算机(1946—1957)。主要采用电子管作为基本器件,用光屏管和汞延时电路作为存储器,输入输出主要采用穿孔片或纸带,使用机器语言或符号语言,虽然体积大、速度慢、存储容量小、可靠性差,但确是计算工具革命性发展,它采用的二进制和程序存储等基本思想,奠定了现代电子计算机技术基础。

第二代晶体计算机(1958—1964)。主要采用晶体管作为基本器件,用磁芯或磁鼓作存储器,用程序语言代替机器语言,与第一代电子计算机相比,具有尺寸小、重量轻、寿命长、发热少等优点,除用于科学计算外,也开始用于数据处理、过程处理等方面。

第三代中小规模集成电路计算机(1965—1971)。主要采用中小规模集成电路作为主要部件,采用半导体材料存储器,体积、功耗进一步缩小,可靠性进一步提高、在软件方面有了标准化的程序语言和人机会话式语言,随着半导体工艺的发展,使得其应用领域进一步扩展。

第四代大规模和超大规模集成电路计算机(1971—)。以大规模和超大规模集成电路为显著标志,集成更高的大容量半导体内存存储器,同时向多机系统并行处理、精简指令集、软件系统工程化、理论化、程序设计自动化发展,微型计算机应用范围进一步扩大,使得今天几乎所有领域都能看到计算机的“身影”。

1.1.1.2 计算机网络的发展

计算机网络是通过通信介质(如电缆、双绞线、光纤、微波和通信卫星等)将地球上分散的、独立的计算机互连,在网络操作系统、网络管理软件及网络协议的管控协调下,实现资源共享和信息传递的系统。20世纪50年代中期,美国的半自动地面防空系统开始了计算机技术与通信技术相结合的尝试,将远程雷达和其他测控设备的信息经由线路汇集至一台 IBM 计算

机上进行集中处理与控制。世界上公认的、最成功的第一个计算机网络是在 1969 年,由美国国防部高级研究计划局主持建立的计算机网络(Advanced Research Projects Agency Network, ARPANET),即现在 Internet 的前身。近年来,计算机网络获得了飞速的发展,被广泛应用于工商业的各个方面,电子银行、电子商务、现代化的企业管理、信息服务业等都以计算机网络为基础。现在,计算机网络以及 Internet 已成为社会结构的一个基本组成部分。

第一代计算机网络(20 世纪 60 年代中期前),是以单个计算机为中心的远程联机系统。典型应用是由一台计算机和全美范围内 2000 多个终端组成的飞机订票系统。终端是一台计算机的外部设备,包括显示器和键盘,无 CPU 和内存。当时,人们把计算机网络定义为“以传输信息为目的而连接起来,实现远程信息处理或进一步达到资源共享的系统”,具备了计算机网络的雏形。

第二代计算机网络(20 世纪 60 年代中期至 20 世纪 70 年代),是以多个主机通过通信链路互联起来,为用户提供服务。典型代表是美国国防部高级研究计划局主持建立的 ARPANET。主机之间通过接口报文处理机转接后互联,接口报文处理机和通信链路构成通信子网。通信子网互联的主机负责运行程序,提供资源共享,组成资源子网。这一时期,计算机网络的概念为“以能够相互共享资源为目的互联起来的具有独立功能的计算机之集合体”,形成了计算机网络的基本概念。

第三代计算机网络(20 世纪 70 年代末至 20 世纪 90 年代),是具有统一网络体系结构并遵循国际标准的开放式和标准化网络。ARPANET 兴起后,计算机网络发展迅猛,各大计算机公司相继推出自己的网络体系结构及实现这些结构的软硬件产品。由于没有统一的标准,不同厂商的产品之间互联很困难,人们迫切需要一种开放性的标准化实用网络环境,这样应运而生两种国际通用的最重要的体系结构,即 TCP/IP 体系结构和国际标准化组织的 OSI 体系结构。

第四代计算机网络(20 世纪 90 年代末至今),由于局域网技术发展成熟,出现了光纤及高速网络技术、多媒体网络与智能网络,整个网络就像一个对用户透明的大的计算机系统,发展为以 Internet 为代表的互联网。

1.1.2 通信卫星及卫星网络发展历程

1.1.2.1 通信卫星的发展

早在 1945 年 10 月,英国科学家阿瑟·克拉克首次提出地球同步轨道卫星通信设想。大约 20 年后,这一设想变成了现实。通信卫星的发展过程大致经历了以下两个阶段:

(1) 试验阶段。1957 年,苏联发射了第一颗人造地球卫星“斯普特尼”(SPUTNIK),为 98 分钟椭圆轨道。1958 年,美国陆军弹道导弹署,发射首颗通信卫星“斯柯尔”(SCORE),通过该卫星,美国总统艾森豪威尔发表了 56 个单词的圣诞祝词。1962 年,美国发射了第一颗椭圆轨道通信卫星(TELSTAR),该卫星在轨道周期内仅有 20min 跨洋通信时间。1964 年美国国家宇航局发射了首颗地球静止轨道通信卫星,并成功进行了电话、电视、传真传输试验和东京奥运会实况转播。至此,通信卫星的早期实验阶段基本结束。

(2) 实用与提高阶段。1965 年 4 月,西方国家财团组成的“国际卫星通信组织”把第一代通信卫星送入静止同步轨道,正式承担国际通信业务。两周后,苏联成功发射了第一颗非同步通信卫星“闪电 1 号”,进入倾角为 65° 、远地点为 40000km、近地点为 500km 的准同步轨道(轨道周期为 12h),对其北方、西伯利亚、中亚地区提供电视、广播、传真和一些电话业务。这标志着卫星通信进入实用与提高的新阶段。

1.1.2.2 卫星网络的发展

卫星网络是卫星通信与电信网络和计算机网络的结合,通过卫星传输,能够方便地实现远程话音和计算机通信,特别是那些地面传输手段难以满足长途通信要求的国家和地区。1976年,美国先后发射了三颗静止轨道的“海事卫星”,组建了全球海事卫星通信网。1980年世界上第一个 VSAT(Very Small Aperture Terminal,甚小天线地球站)系统问世,为卫星网络大规模应用奠定了基础。20世纪90年代末,美国铱星公司发射了几十颗低轨通信卫星,建成了第一代卫星移动通信星座网络,将地面蜂窝移动通信网络搬到了天上。目前,卫星终端集成度与小型化程度越来越高,并逐步与 IP 技术结合,出现了一大批卫星路由器、卫星 IP 终端等产品。卫星网络融入地面 Internet 已是大势所趋,以承载 IP 业务为核心思想发展卫星网络,实现天地一体化互联,满足用户要求廉价和方便的服务需求。

计算机网络与卫星网络发展历程如图 1.1 所示。



图 1.1 计算机网络与卫星网络发展历程

1.2 计算机网络分层模型及协议

1.2.1 OSI 参考模型和 TCP/IP 参考模型

1.2.1.1 OSI 参考模型

20世纪70年代末,各公司、部门自行研制的网络规模越来越大,分布越来越广,不同网络之间的互连势在必行,但是各自研制的系统缺乏统一的体系结构,很难实现互连。为此,国际标准化组织设立分委员会,专门致力于研究网络体系结构的标准化问题,并于1984年颁布了“开放系统互连基本参考模型”,1995年,国际标准化组织对该模型进行了修订,这个模型即开

放系统互连参考模型(Open System Interconnection – Reference Model, OSI – RM),我们简称为 OSI 模型,如图 1.2 所示。

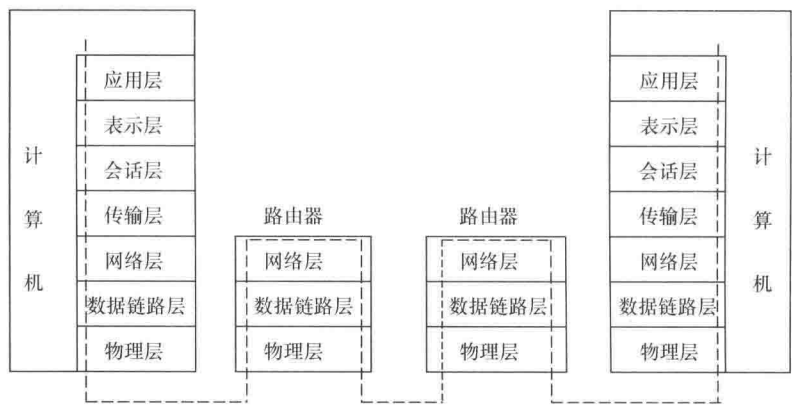


图 1.2 OSI 参考模型

OSI 参考模型分为七层,从下到上分别为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。OSI 参考模型中的低三层实现通信子网的功能,提供面向通信的服务,高三层实现用户功能,提供面向信息处理的服务。而传输层成为面向通信服务与面向信息服务的桥梁。每一层执行本层所承担的具体任务,且功能相对独立,通过接口与其相邻层连接,依靠各层之间的接口或功能组合,实现两系统间、多结点间信息的传输。OSI 分层模型使网络结构层次分明,但并未确切描述用于各层的协议和服务,是一个非常理想化的理论模型。

1.2.1.2 TCP/IP 参考模型

20 世纪 70 年代中期,美国国防部开始为其研究性网络 ARPANET 开发新的网络体系结构。ARPANET 最初通过租用电话线将美国几百所大学和研究所连接起来的。随着卫星网络、无线网络等异构网络加入到 ARPANET 网络中,发现已有的协议已不能解决这些通信网络的互连问题,于是提出了新的网络体系结构,用于将不同的通信网络无缝连接。这个体系结构被称为 TCP/IP 参考模型,后应用于互联网,将各种局域网、广域网和国家骨干网连接在一起。互联网的快速发展和广泛应用,使得 TCP/IP 成为迄今为止最为成功的网络体系结构和协议规范,形成了事实上的网络互连工业标准。

TCP/IP 参考模型分为四层,从下到上分别为网络接口层、网络互连层、传输层和应用层,如图 1.3 所示。其中,网络互连层是整个体系结构的关键部分,定义了官方的分组格式和协议,即互联网协议(Internet Protocol, IP),负责将 IP 分组发送到目的网络,与之相伴的还有一些辅助协议,包括互联网控制报文协议(Internet Control Message Protocol, ICMP)、互联网组管理协议(Internet Group Management Protocol, IGMP)、地址解析协议(Address Resolution Protocol, ARP)、逆地址解析协议(Reverse Address Resolution Protocol, RARP)。传输层定义了两个端到端的协议,分别为面向连接的传输控制协议(Transport Control Protocol, TCP)和无连接的用户数据报协议(User Datagram Protocol, UDP)。应用层包含的协议有文件传输协议(File Transfer Protocol, FTP)、简单邮件传输协议(Simple Mail Transfer Protocol, SMTP)、域名服务(Domain Name Service, DNS),以及超文本传输协议(Hyper Text Transfer Protocol, HTTP)等。TCP/IP 参考模型并没有真正描述网络接口层,只是指出主机必须使用某种协议与网络连接,以便能在其上传递 IP 分组。

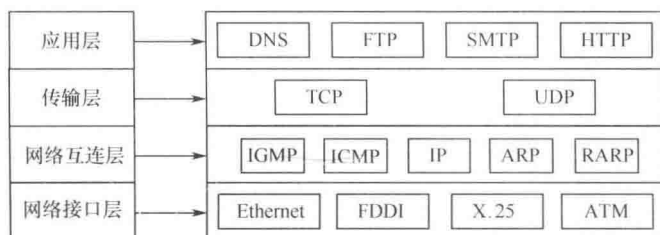


图 1.3 TCP/IP 参考模型及各层使用的协议

1.2.1.3 OSI 与 TCP/IP 参考模型比较

图 1.4 给出了 OSI 参考模型和 TCP/IP 参考模型的层次对应关系。从所覆盖的功能来看, TCP/IP 参考模型的应用层与 OSI 参考模型的应用层、表示层、会话层相对应; TCP/IP 参考模型传输层与 OSI 参考模型的传输层对应; TCP/IP 参考模型网络互连层与 OSI 参考模型的网络层相对应; TCP/IP 参考模型网络接口层与 OSI 参考模型的数据链路层和物理层相对应。

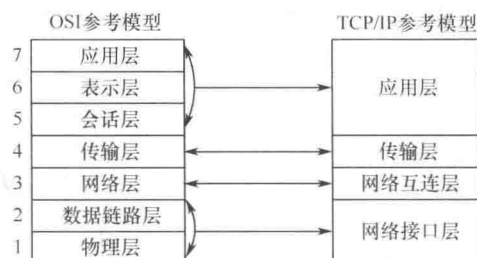


图 1.4 OSI 参考模型与 TCP/IP 参考模型对比

OSI 参考模型和 TCP/IP 参考模型的共同之处是它们都采用了分层的思想,但在层次划分和功能设计上存在很大的区别。OSI 参考模型是在其协议被开发之前设计出来的,因此更具有通用性,使用 OSI 协议可以很好地讨论计算机网络。而 TCP/IP 参考模型正好相反,其先有协议,模型只是现有协议的归纳和总结。

TCP/IP 的出现比 OSI 参考模型早 10 年左右,技术上的发展较成熟,配套开发的相关协议、应用软件也较多。此外,由于它是应互联网的实际需求而产生的,因此在现实的环境中可行性也较高。而 OSI 参考模型虽然结构完整、功能详尽、包容性大,但它也只是一个理论上的概念模型,在互联网中很少有实际的系统,甚至可以说 OSI 从来没有真正实现过。

1.2.2 混合模型及协议

1.2.2.1 混合模型

OSI 的七层协议体系结构既复杂又不实用,但其概念清楚,体系结构理论完整。TCP/IP 的协议现在得到了广泛应用,但其体系结构实质上只有三层,即应用层、传输层和网络互连层,因为最下面的网络接口层并没有具体内容。因此在研究计算机网络时往往采取折中的方法,即综合 OSI 和 TCP/IP 的优点,采用一种混合参考模型。混合参考模型分为五层,从下到上分别是物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层,如图 1.5 所示。

1.2.2.2 分层协议体系

计算机网络按照一定的功能与逻辑关系划分成一种分层结构,计算机结点之间交换数据

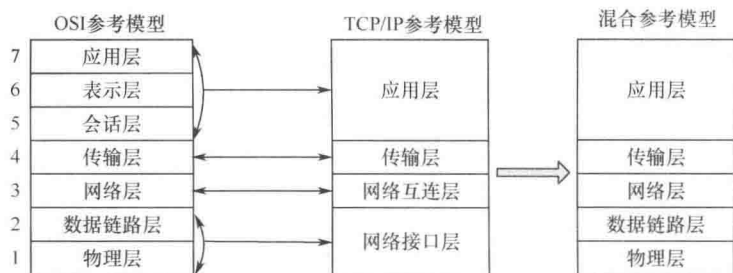


图 1.5 混合参考模型

时必须遵守的一组约定或规则称为协议。协议包含语法、语义和时序三个要素。语法是数据与控制信息的结构或格式。语义是需要发出何种控制信息、执行何种动作或返回何种应答。时序关系是事件实现顺序的详细说明。这些协议集合与分层结构就构成了计算机分层协议体系,图 1.6 指明了在混合参考模型中各层都包括哪些协议。

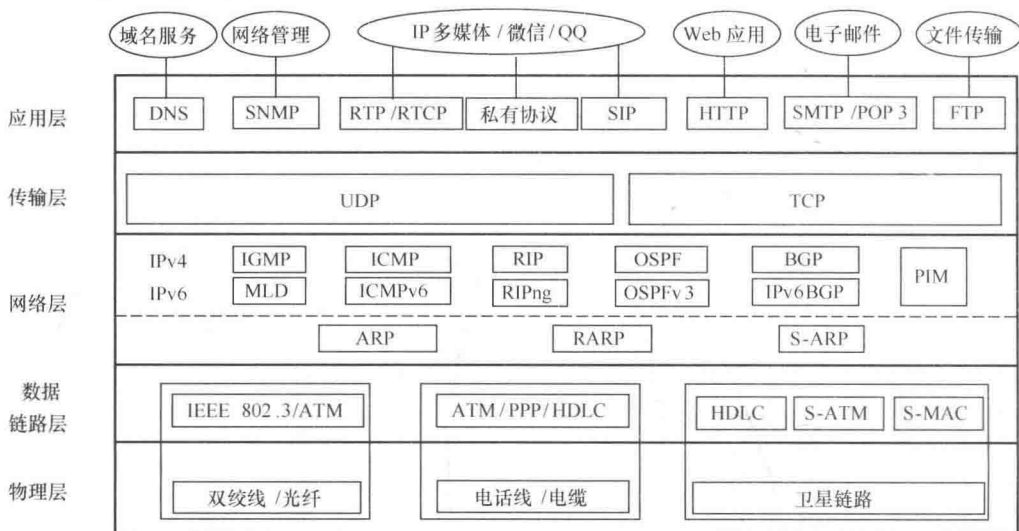


图 1.6 混合参考模型的分层协议体系

(1) 应用层协议负责为用户提供常用的、特定的应用程序,用于规范一系列计算机网络的使用方式和功能,常用的应用层协议包括域名服务、超文本传输协议、文件传输协议、简单网络管理协议 (Simple Network Management Protocol, SNMP)、邮件传输协议 (Simple Mail Transfer Protocol/Post Office Protocol 3, SMTP/POP3) 和 IP 多媒体通信协议簇等,其中 IP 多媒体通信协议簇包括会话初始化协议 (Session Initiation Protocol, SIP)、实时传输协议 (Realtime Transport Protocol, RTP) 和实时传输控制协议 (Realtime Transport Control Protocol, RTCP)。

(2) 传输层协议负责提供端到端的数据传输服务,针对不同用户或应用对通信质量要求的不同,传输层定义了两种端到端协议:TCP 是面向连接的无差错传输字节流的协议,通过引入确认、超时重发、流量控制和拥塞控制等机制,提供端到端的可靠数据传输;UDP 是一个不可靠的、无连接的协议,不确认报文的到达,提供端到端的数据无连接服务。

(3) 网络层协议负责将数据分组从信源传送到信宿,主要解决路由选择、拥塞控制和网络互连等问题。在 TCP/IP 参考模型中,网络层包含五个协议:IP、ARP、RARP、ICMP 和 IGMP。

IP 是网络层的核心,负责 IP 数据报在计算机网络上的路由转发;ARP 实现 IP 地址到物理地址的映射;RARP 实现物理地址到 IP 地址的映射;ICMP 用于网络层控制信息的产生和接收处理;IGMP 实现本地组播成员的管理。在混合参考模型中,将路由协议划分到网络层协议,为数据分组的转发提供转发规则。

(4) 数据链路层协议负责 IP 数据包在具体通信系统上的传输。一方面接收网络层的 IP 数据包,而后通过网络向外发送;另一方面接收到来自物理网络上的数据帧后,抽取 IP 数据包向 IP 层传送。混合参考模型并没有规定具体链路层,只要是在其上能进行 IP 数据包传输的物理网络都可以当作数据链路层。这样做的好处是可以实现不同类型物理网络的互连,而不必纠缠物理网络的细节。

(5) 物理层协议负责为数据链路层提供一个物理连接,该层定义了数据传输规则以及设备与物理介质有关的四个接口特性:机械接口特性、电气接口特性、功能接口特性和过程接口特性。物理层的传输介质通常分为有线介质和无线介质:有线介质将信号约束在一个物理导体之内,如双绞线、电缆和光纤等;无线介质则不能将信号约束在某个空间范围之内,如卫星链路。

1.2.2.3 分层协议的封装与解封装

当应用程序在运行基于 TCP/IP 的网络上传送数据时,发送端需要对数据进行封装处理,接收端则需要对其进行解封装处理,如图 1.7 所示。

(1) 发送端数据封装处理过程。数据传输时,发送端将收到的用户数据,按照各层协议定义的首部格式,逐层添加应用层首部、传输层首部、网络层首部、数据链路层首部,生成下一层的数据单元。通常,传输层的数据单元称为报文段,网络层的数据单元称为数据包,数据链路层的数据单元称为数据帧。数据单元每经过一层时,由于该层协议对数据长度的限制,若数据单元超长时,则需按长度要求进行分段(原数据单元首部不变),同时对每个分段的数据单元增加各自的首部,然后再向下传输,直到通过数据链路层传到网络介质上到达接收端。

(2) 接收端数据解封装处理过程。接收端从网络介质上收到数据时,收到的数据必须经历一个从下层逐层向上传输的逆过程。每经过一层,都要读取数据首部信息,检查首部信息中的协议标识,以确定接收数据的上层协议。有的协议还要判断在发送主机方是否由于数据超长而被分包,如果是,还要进行合并包的处理,然后剥掉自己的首部信息再向上层传输,一直传到接收方主机的应用层为止。

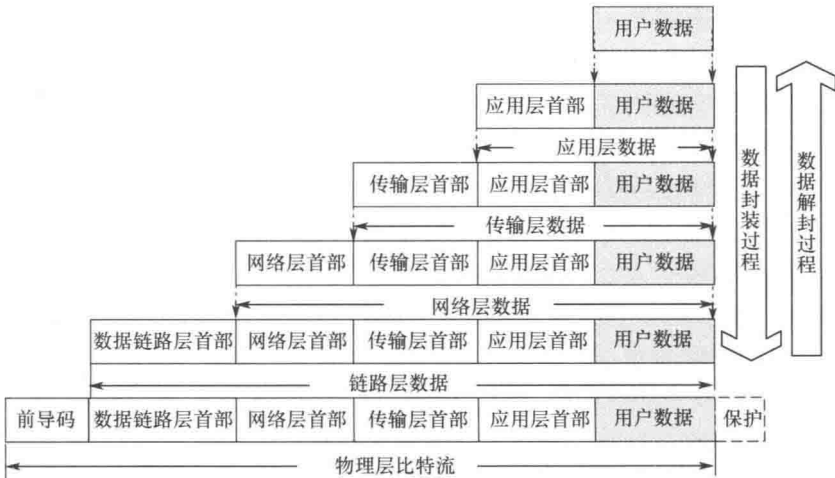


图 1.7 TCP/IP 中数据封装与解封过程

如图 1.8 所示,以应用层数据在异步传输模式 (Asynchronous Transfer Mode, ATM) 网络中传输为例,说明逐层封装过程。传输层的 TCP 收到应用层数据后,根据 TCP 协议对数据长度的限制,将应用层数据分割成一定长度的数据单元,然后添加 TCP 首部信息,传递给网络层。网络层的 IP 将 TCP 报文段直接添加 IP 首部信息,传递给数据链路层。ATM 数据链路层可分为 ATM 适配层 (ATM Adaptation layer, AAL) 和 ATM 层。ATM 适配层先将 IP 数据包填充为 48B 的整数倍,再将其分割成 48B 的 ATM 业务数据单元。ATM 层协议将每个业务数据单元封装 5B 的 ATM 首部信息,最终 ATM 数据帧被当作一串比特流在物理介质中传输。

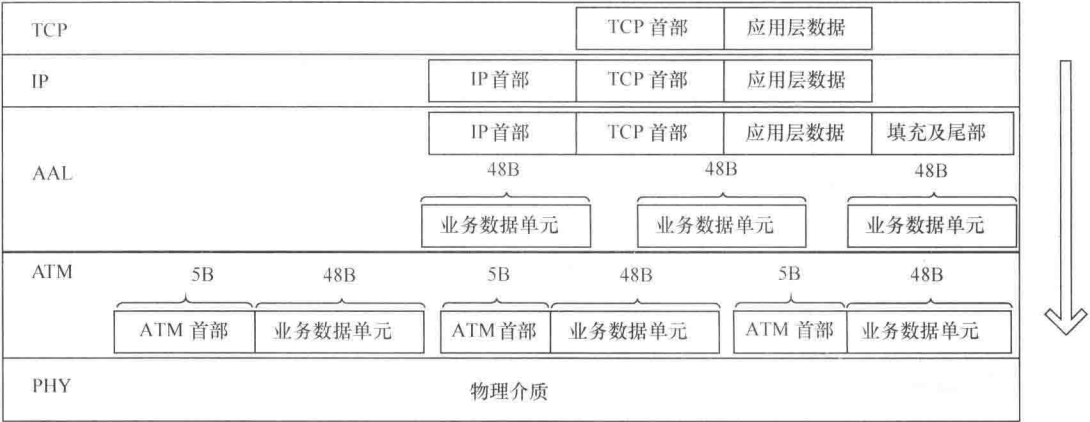


图 1.8 ATM 数据封装过程

1.2.2.4 协议体系软件实现架构和原理

计算机系统上的网络协议体系软件基本是按混合参考模型的分层协议标准进行设计的,但在具体实现上有所不同,如图 1.9 所示。ARP 处理模块和 IP 处理模块放在同一层(数据链路层之上)位置上,ICMP、IGMP 处理模块和 TCP、UDP 处理模块放在同一层(IP 层之上)位置上,动态路由协议处理模块(RIP、OSPF、BGP 等)和应用层协议处理模块放在同一层次。这样设计的目的主要是出自程序调度逻辑的考虑,如 MAC 模块(数据链路层)从网络接口驱动收到数据帧后判断数据帧首部的类型字段。如果是 ARP 数据包(首部类型为 0x0806)则传递给 ARP 处理模块,如果是 IP 数据包(首部类型为 0x0800)则传递给 IP 处理模块,因此在实现上 ARP 处理模块和 IP 处理模块在同一层上。同样,IP 处理模块根据数据包首部的协议字段,传递给 ICMP、IGMP 处理模块或 TCP、UDP 处理模块。TCP、UDP 处理模块根据报文段首部的端口字段,传递给相应的应用层协议处理模块(FTP、HTTP、DNS 等)。

从整体上看,计算机系统中协议体系软件是在操作系统及网络设备驱动之上实现协议处理功能的,可以分为网络设备驱动层、网络协议处理层、套接字层和应用层四个部分。网络设备驱动层负责链路层数据帧的发送,以及将接收到数据帧从网络设备缓存区转移至内存缓冲区,而链路层数据帧的封装/解封装功能则由上层的 MAC 模块实现。网络协议处理层负责各种网络协议的处理,每种协议基本都是按照 RFC 标准具体设计和实现,包括 MAC/ARP 模块、IP 处理模块、ICMP/IGMP 处理模块、TCP/UDP 处理模块等。套接字层位于网络协议处理层之上,屏蔽了不同网络协议之间的差异,向上层应用软件提供一个统一的编程环境,并为上层软件提供库函数与系统函数。应用层协议一般在操作系统的用户层实现,使用套接字接口和底层进行通信。应用层协议包括常用的 HTTP、FTP、DNS、SNMP 等,此外动态路由协议 RIP、OSPF、BGP、PIM 通常也在该层实现。

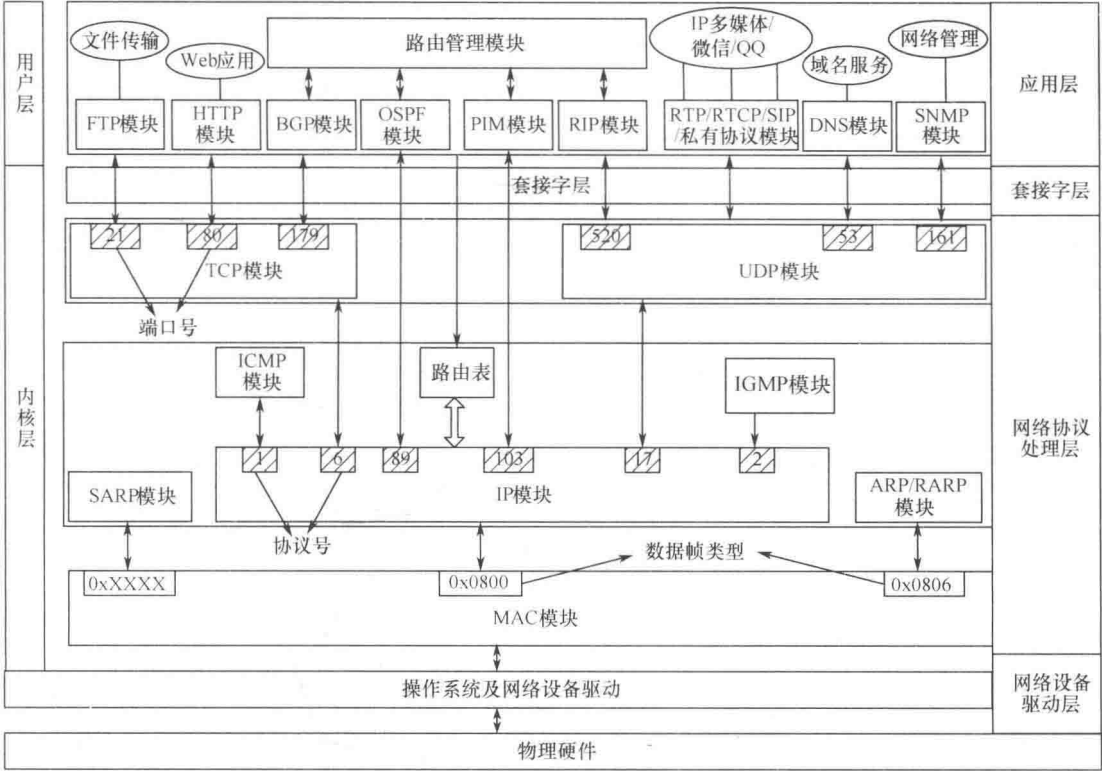


图 1.9 计算机系统中协议体系软件实现架构

1.3 计算机网络与卫星网络融合应用和问题分析

1.3.1 融合应用场景

近年来,计算机网络高速发展,终端用户数量不断增加,新业务层出不穷,网络带宽不断提高,接入方式更加灵活方便,为其基础设施覆盖区域的用户提供了极大便利,但在一些地面链路无法到达的区域,卫星接入网络的方式,无疑是最好的选择。与计算机网络相比,卫星网络具有传输距离远、覆盖范围广、部署灵活、广播特性等得天独厚的优势,卫星网络和计算机网络的融合应用可以对地面网络形成很好的补充和延伸。常见卫星网络有频分多址/多路单载波(Frequency Division Multiple Access/Multiple – Channel Per Carrier, FDMA/MCPC)体制、频分多址/按需分配多址(Frequency Division Multiple Access/Demand Assigned Multiple Access, FDMA/DAMA)体制、多频时分多址/按需分配多址(Multiple Frequency Time Division Multiple Access/Demand Assigned Multiple Access, MF – TDMA/DAMA)体制、经由卫星反向信道数字视频广播(Digital Video Broadcasting – Return Channel via Satellite, DVB – RCS)体制,不同体制有不同的应用场景。下面给出了几种典型的计算机网络与卫星网络综合应用的场景。

1.3.1.1 卫星干线信道连接异地两个计算机网络

把卫星链路作为两个信息结点或用户群之间的干线传输通道是卫星通信的一种经典应用方式,这种方式的卫星链路通常基于地球同步轨道转发器构建,采用(FDMA/DAMA)体制,通信速率从几十千位每秒到几十兆位每秒(典型应用为 2Mbit/s),网络组织简单,链路稳定可