



电子与通信工程领域工程硕士系列教材

通信网理论概要

纪阳 编著

TONGXINWANG LILUN GAIYAO



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

TN915.01/6

2008

电子与通信工程领域工程硕士系列教材

通信网理论概要

纪 阳 编 著

北京邮电大学出版社
· 北京 ·

内 容 简 介

本书是电子与通信工程领域工程硕士的专业基础教材,主要介绍通信网的概念、网络的基本组成、网络载体服务的基本机制、网络的业务分析和排队论原理、网络拓扑分析原理、多址接入原理和分析、调度算法原理以及网络的可靠性理论等内容。

本书可作为高等院校通信类、电子信息类和计算机类工程硕士的教科书或教学参考书,也可以作为从事通信网络工作的技术人员的参考书。

目录中标有*的章节,供工程硕士参考,不作为教学必选内容。

图书在版编目(CIP)数据

通信网理论概要/纪阳编著. —北京:北京邮电大学出版社,2008

ISBN 978-7-5635-1706-0

I. 通… II. 纪… III. 通信网—研究生—教材 IV. TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 064397 号

书 名: 通信网理论概要

作 者: 纪 阳

责任编辑: 陈 瑶

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×960 mm 1/16

印 张: 12.25

字 数: 243 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-1706-0

定 价: 22.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

自贝尔发明电话以来,对远程交换信息的旺盛需求一直推进着通信网络快速的发展与变革。特别是在近 30 年,通信网在规模、种类、能力和应用等方面都达到了前所未有的高度。信息技术已经融入了社会生产和人类生活的各个方面。作为“信息时代”的基石,通信网络极大地推进了人类文明的发展和社会财富的增加。未来的网络将向着泛在化、宽带化、移动化、多媒体化、高可信化和智能化的方向发展,虽然支持的应用越来越丰富,但成本将更加低廉,性能更加优化,维护也将更加简单。这使得即便是偏远贫穷的地方,也依然有能力接入到网络中来,分享信息社会建设的累累硕果。人们普遍相信,未来网络将成为整个人类生态环境的有机部分,实现整个基于信息的全球化社会生产,更加深刻地改变人们的生活方式。

网络的飞速发展需要我们培养一批懂得网络发展规律的人才。考虑到底层设备芯片化、硬件化程度越来越高以及上层应用日趋复杂的趋势,信息产业界越来越需要更多了解网络设计、管理、运营、规划、优化以及应用方面的人才,以应对现代化网络发展带来的机遇和挑战。而这方面人才的培养,离不开对通信网内部理论规律的认识和了解。为了向研究生以及高级工程技术人员对通信网的相关理论发展进行系统的介绍,1991 年北京邮电大学周炯槃教授编著了《通信网理论基础》,此书一直作为研究生教材沿用至今。

通信网络理论的基石是随机过程分析和图论的基本知识。这些理论在网络中的分析和规划中体现出很强的应用价值,并且在一定程度上指导了网络的设计。例如在 IETF RFC1121 中,互联网的发明者们赞颂了在互联网发展初期的 20 年里,排队论作为一种分析工具对于指导网络体系设计起到关键作用。网络技术的实践过程一直不断产生各种新的问题,这对网络理论、分析方法的完善和新网络理论的发展提供了强有力的推动。而随着计算技术的发展,专业分析工具的普遍推广,理论工具和仿真工具的综合运用,正在成为现在分析网络问题的常用手段。

2003 年,北京邮电大学开始在工程硕士学位的课程中引入对通信网理论的教学。希

望通过该课程向工程硕士学员介绍一些基础理论,并希望能够通过工程硕士的课程学习和论文研究推进理论与实际工程需求的接轨。工程硕士教学的特点不同于在校生,他们离开学校往往已经有一段时间,本身的工作也比较繁忙,课堂教学的时间比较集中。这使得工程硕士教学对教材和教学过程有着与日校不同的要求。针对这些问题,北京邮电大学电信工程学院设立教学改革项目,鼓励教师能够从工程硕士教学需求出发,进行对工程硕士通信网理论教材和教学方面的探索。本书的编写就是在这样的背景下展开的。在课题探索过程中,我们关注到近 20 年来通信网络理论也有很多新的基础理论成果,如网络微积分等等。但由于其需要代数论作为基础背景知识,不适合工程硕士的培养体系,因此没有选纳进来。另外,网络理论涉及的内容与以前相比也更为广泛,例如网络计费、网络规划方面的很多技术应用成果也在逐步理论化,网络技术分析和网络经济分析、管理分析、运营分析,甚至是战略分析的相互结合也正在成为通信网理论在应用方面发展的一个趋势。这部分的工作,虽然有很多新的特点,但都是建立在通信网理论的基础之上的。这使得我们更加意识到基础理论在指导技术变革时的重要价值。同时也感到,对于通信网基础理论的整理,仍然有相当多的工作要做,而本次对通信网理论工程硕士教材的修订也只是一次初步尝试,工程硕士学员和教师的建议和意见会进一步促进我们不断地修正完善这项工作。

作为一本定位于工程硕士的教学用书,本书在编写中主要基于如下思路。首先,在选题、选材上考虑在与日校生同样深度和水平的情况下,以周炯槃先生的《通信网理论基础》为基础,并对其中的内容作了精简、增删、勘误和修订,使得关键内容更加精炼。这些调整的目的在于使工程硕士学员可以更好更快地把握通信网理论基础体系中的关键问题。其次,本书也注意了近现代网络技术,尤其是分组交换技术对网络总体发展的影响,重点讨论了网络载体服务的基本机制对理论的需求,通信网基本原理在这些基本机制的设计过程中,得到了一定程度的体现。本书引入了调度算法等一些新的理论成果,更有时代感。再次,本书也适度加强了理论知识和网络技术实践相结合的讨论,使其更加符合工程硕士学员短平快的学习节奏和接受新知识的习惯。在几年来工程硕士教学的过程中,我们也发现,很多基础理论所涉及到的概念,在实际工程中往往已经有了不同的定义或者理解。例如呼损,在实际工程中往往不仅仅是由于线路阻塞,还涉及很多其他方面的原因,如软件故障等等。这方面的内容也在新的教材中有所体现。最后,本书也注意了学生接受知识的特点,在算法原理介绍时调整了表达方式,让某些理论内容更加形象化、

生动化。这样的处理,能够使工程硕士的课堂学习和课后复习变得相对容易一些。本书虽然主要是针对工程硕士的教学而设计,但考虑到近些年来市场上相关的理论书籍非常匮乏,本书的一些内容也同样适合在校研究生和工程技术人员作为教材或教学参考书来使用。

饮水思源,本书即将脱稿之际,笔者深感学海无涯,并对周炯槃先生以及曾经为我讲授过通信网理论和排队论课程的张惠民教授、汪润生教授和陆传赉教授等前辈充满感激与敬佩之情。本书的编写得到了北京邮电大学电信工程学院的教改项目资助,在此表示感谢。非常感谢芮玉珍老师给我们提供了大量的工程硕士教学实践机会。张建华、张治、崔棋楣等老师也在近年来投入到了这门课程的教学,他们对于教材、课件提供了很多宝贵的意见和建议。赵臻真、曾宪、吕擎擎为本书资料的收集、整理作了很多烦琐的工作,谨表感谢。同时也感谢这些年深圳、福州、山东、北京、铁通和广东班的工程硕士学员在成书过程中对课程内容的讨论。

由于编者水平有限,本书难免存在不当或错误之处,欢迎批评指正。

纪 阳

2008 年 2 月于北京邮电大学

目 录

第 1 章 引 论

1.1 概述	1
1.2 通信系统	1
1.3 通信网	2
1.4 通信网的类型	4
1.5 通信网的应用与服务	6
1.5.1 网络应用举例	6
1.5.2 服务模式	7
1.6 通信网的组网拓扑结构	8
1.6.1 网状型网	9
1.6.2 星型网	10
1.6.3 复合型网	10
1.6.4 环形网	10
1.6.5 总线型网	10
1.6.6 树型网	10
1.7 通信网的设计要素	11

第 2 章 网络载体服务的基本网络机制

2.1 基本网络机制概述	15
2.2 多路复用	17
2.3 交换与路由	18
2.4 差错控制	22
2.4.1 交替比特位协议	23
2.4.2 返回 N 协议	25

2.4.3 选择重发协议	25
2.5 流量控制	26
2.6 资源分配	26

第3章 通信网结构

3.1 图论基础	28
3.1.1 基本定义	28
3.1.2 图的联结性	32
3.1.3 树	35
3.1.4 割和环	37
3.1.5 平面性和对偶性	39
3.1.6 图的矩阵表示	42
3.2 最短路径问题	49
3.2.1 最短主树	49
3.2.2 端间的最短路径	52
3.3 流量分配问题	62
3.3.1 流量优化的一般性问题	63
3.3.2 最大流问题	64
3.3.3 最佳流问题	70

第4章 网内业务分析理论

4.1 排队论基础	74
4.1.1 基本概念	74
4.1.2 $M M 1$ 问题	80
4.1.3 $M M m(n)$ 问题	86
* 4.1.4 一般排队问题	92
4.2 通信网的业务模型与分析	105
4.2.1 各种测度和指标	105
4.2.2 业务分析举例	109
4.3 提高网效率的一些措施	121
4.3.1 大群化效应	121

4.3.2 延迟效应	123
* 4.3.3 综合效应	125
* 4.3.4 迂回效应	128
 第 5 章 多址接入系统分析	
5.1 纯阿罗华系统	130
5.2 时隙阿罗华系统	133
5.3 载波监听多址接入系统	135
5.4 轮询方式	142
5.5 各种多址系统的比较	145
 * 第 6 章 分组调度	
6.1 分组调度概述	148
6.1.1 分组调度算法中一些常用的基本概念	149
6.1.2 分组排队策略	151
6.1.3 分组调度功能	151
6.1.4 分组调度算法分类	153
6.2 分组调度算法本质分析	154
6.3 分组调度算法的性能指标	154
6.4 基于 GPS 模型的算法	156
6.4.1 GPS 调度算法	156
6.4.2 P-GPS 调度算法	158
6.4.3 WFQ 调度算法	158
6.5 其他分组调度算法	159
6.5.1 基于静态优先级的算法	159
6.5.2 基于轮询的算法	159
6.5.3 基于时延的算法	160
6.5.4 分层链路共享算法	160
6.5.5 核心无状态算法	161
6.5.6 基于服务曲线的算法	162
6.5.7 比例区分算法	162

6.5.8 结合缓冲管理的算法	162
6.6 分组调度算法小结	163
第7章 通信网的可靠性	
7.1 可靠性理论概要	164
7.1.1 不可修复系统的可靠度	164
7.1.2 可修复系统的可靠度	166
7.1.3 复杂系统的分解	168
7.1.4 可靠性设计	175
7.2 通信网的可靠性	175
7.3 可靠网的规划设计	177
参考习题	180
参考文献	184

第 1 章 引 论

1.1 概 述

通信意味着信息的传递和交换,这对人类社会是不可缺少的。尤其是在近代社会中,信息的交换日益频繁,随着通信技术和计算机技术的发展,人们已经能够克服空间和时间的限制,使得大量的、远距离的信息传递和存取成为可能。随着通信的普及,人们的日常生活和通信的发展联系越来越紧密,通信的作用就显得更重要。在现代化的信息社会中,社会生产活动中的各类信息由声音、文字、图像、数据等多种媒体承载,并通过高速通信网络系统实现信息的传递,到达各类信息应用系统,为全社会每个地方和每个人进行服务,实现信息资源的共享和基于信息的社会生产。可以说,通信网络已经极大地促进了人类的文明,它改变了传统的生产结构,改进了人类的智能活动,极大地增加了社会财富。在过去的几十年中通信网一直向着数字化、宽带化方向发展。当前,通信网络的数字化进程已经基本完成,而通信网的宽带化仍然是当前通信发展的热点,各种类型的宽带网络正在规划和建设之中。在信息传递的快速性、有效性、可靠性、多样化以及经济性方面,通信网一直在经历不断的优化。未来网络将向着泛在化、移动化、多媒体化、宽带化、高可信化的趋势发展。通信网的这种飞速发展推动了通信网络理论的发展,目前通信网络理论已经成为一门专门的学科,其内容十分丰富,掌握通信网的理论知识对于网络的规划、设计、建设和维护等实践活动具有很大的帮助。

本章将从通信网的含义、发展、分类和要求等方面进行阐述。

1.2 通信系统

点与点之间建立的通信系统的基本组成包括:信源、变换器、信道、噪声源、反变换器及信宿 6 个部分,如图 1-1 所示。信源是指产生各种信息(如语音、文字、图像及数据等)的信息源,可以是发出信息的人,也可以是发出信息的机器,如计算机等。不同

的信息源构成不同形式的通信系统。

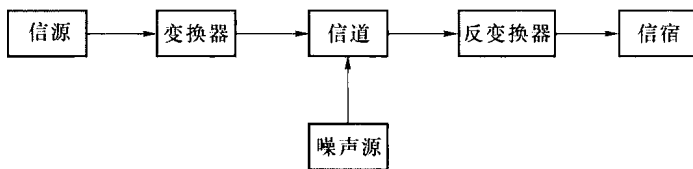


图 1-1 点-点单向通信系统构成模型

变换器的作用是将信源发出的信息变换成适合在信道中传输的信号。对应不同的信源和不同的通信系统,变换器有不同的组成和变换功能。例如:对于数字电话通信系统,变换器则包括送话器和模/数变换器等。模/数变换器的作用是将送话器输出的模拟话音信号经过模/数变换、编码和时分复用等处理后,变换成适合于在数字信道中传输的信号。

信道是信号的传输介质。信道按传输介质的种类可以分为有线信道和无线信道。在有线信道中电磁信号被约束在某种传输线(如电缆、光缆等)上传输;在无线信道中电磁信号沿空间(大气层、对流层、电离层等)传输。信道如果按传输信号的形式又可以分为模拟信道和数字信道。

反变换器的作用是将从信道上接收的信号变换成信道接收者可以接收的信息。反变换器的作用与变换器正好相反,起着还原的作用。

信宿是信息的接收者,与信源相对应,可以是人或者机器。

噪声来自系统的各个部分,从发出和接收信息的周围环境、各种设备的电子器件,到信道所受到的外部电磁场干扰,都会对信号形成噪声影响。为了分析问题方便,一般将系统内所存在的干扰均折合到信道中,用噪声源表示。

以上所述的通信系统只能实现两用户之间的单向通信。要实现双向通信还需要另一个通信系统完成相反方向的信息传送工作,即构成双工通信系统。而要实现多个用户之间的两两通信时,就需要有一个通信网,利用一些中转节点,将多个通信系统有机地组成一个整体。

1.3 通信网

多用户间的相互通信,最简单的方法是在任意两用户之间均有线路相连,但由于用户众多,这种方法不但会造成线路的巨大浪费,而且也是不可能实现的。为了解决这个问题,在网络的发展过程中,引入了交换的概念,即每个用户都通过用户线与交换

中心相连,由交换中心负责交换转接,从而大幅度缩减线路的数量,实现了经济的联网。

通信网具体由各种用户终端、交换中心、集中器,以及连接它们的传输线路组成。除了这些硬件设备之外,为了保证网络能够合理运行,使用户之间快速连接并有效地交换信息,达到通信质量一致,运转可靠和信息透明等目标,还需要用管理网络运营的软件(如标准、信令、协议)支撑。因此,通信网可以说是通信系统的系统,它包括了所有通信设备和通信规程。实际上,由于每个具体的通信设备都是通信网的一部分,所以在研究这些设备时必须同时考虑通信网,才能使这些设备发挥应有的功能。例如孤立地看一个通信系统,它可能是很好的,但如果不能与大的通信网连接,或者说不能进网,它就只能起到局部作用,不能与网内其他用户互通信息,在使用效率或应用范围上就会显得不足。反之,在研究全网时,也必须了解具体设备的功能,否则网的性能也就无从说起。

各种设备一旦联成网络,节点之间就会相互作用。这种相互作用常常使得网络的整体功能和性能不能简单地表达为部件功能和性能的线形组合。这就是说,通信网本身是一个大的系统,认识通信网的规律,需要从整体性的视角出发,将网络中设备的功能和网络协议规程的作用综合起来考察,把握网络的整体规律。网络理论上的突破对于网络部件,即网络节点设备的设计是有指导作用的。这种例子在网络的发展历史中很多。例如,对于基于以太网方式的理论分析成果直接推进了局域网络设备的出现。在网络结构的规划和优化中,基于业务量的随机性分析和优化的方法在有效使用设备和信道方面,起到了很好的作用。对于通信网络可靠性的研究,使得在有限投资下获得高可靠性的网络,从而大幅减小通信的中断率。强调整体研究的重要性,也需要兼顾当前局部现实技术条件的影响。网的研究是建立在现实技术条件基础上的。在网络发展的历史中,设备局部的技术条件有时会极大影响网络整体技术的采用。例如,如果没有经济的语音脉冲编码与压缩技术,数字通信网络不可能取得今天的成绩。如果没有同轴电缆和光缆在带宽能力方面的极大提升和在链路误码率方面的显著降低,许多依赖重传的网络协议将无法投入实际商用。

网络正在演变为一个宽带的、节点数量庞大的、应用多元的、异构互联相互作用的复杂巨系统,系统在整体和局部之间的作用关系更加复杂,网络各个局部的变异时刻都在发生。这些为网络理论的研究带来新的挑战,有许多设计应用的问题期待更加完善的网络理论。可以说,所谓通信网的理论问题,即便仅仅涉及到综合性和整体性的问题,在数十年的沉淀和积累中,也变得内容庞杂。而本书中,限于篇幅,只能讨论一些具有广泛意

义的、较为成熟的基础理论问题。

1.4 通信网的类型

由于通信网是逐步形成的,而且总是根据需要而建设的,所以现有通信网具有各种类型。学习通信网络,需要将不同形式或者功能的网络进行分类,对其特征进行总结和比较,才能够比较深入地了解网络的内部功能设计与外部属性之间的关系,从而更好地理解通信网的各种支撑技术。

对于通信网络的分类有不同的方法。按照通信网络承载的应用来划分,可以有电话网、数据网、计算机网、广播网等等。这些网络在内部组成方式上各有特点。电话网主要用来承载话音,传统的电话网采用电路交换方式,可以很好地实现对实时业务的保证。计算机网的主要功能是文件传输,因为文件传输对误码率敏感,但是对时延并不敏感,因此可以使用经济高效的分组交换方式来进行组网。在广播网络中,主要强调接收者的范围广,并不强调交互,因此传统广播网络的设计很多采用单工方式工作的网络来缩减成本。由此可见,传递和使用不同类型的内容,可以有不同的网络技术体系。

由于信息类型不同,协议规程以及对网内设施的要求也不一致,这就是网络的异构性,即具体的网络体系结构和承载协议机理均不一致。网络的异构性阻碍了网络之间的互联互通,并使得网络之间往往不能相互调节,即某种网的业务有溢出时不易利用另一类型的网。从网络发展的历史来看,网络正在向着业务融合的方向发展,发源于计算机网的IP技术渐渐成为主流技术,并能够承载各种类型的内容。各种网络技术在IP网络的基础上逐步趋向融合。例如,IP电话就是近年来出现的一种新业务。传统的电话网是通过电路交换网传送电话信号的,而IP电话则是通过分组交换网传送电话信号。在IP电话网中,主要采用两种技术:一种是话音压缩技术;另一种是话音分组交换技术。由于采用这两项技术,使IP电话的价格低于传统电话的价格。而相对于传统的计算机网,IP电话网络要在控制层增加一些功能才能完成这样的业务提供。

从范围来分,通信网可分为局域网、城域网和广域网。这3种网络之间的区别在于通信网络设备之间的距离。局域网局限于本地的范围,即每个局域网由一个实体所拥有,并且建立在非常有限的地理范围内,且大部分局域网的规模局限于一座建筑内。局域网一般比城域网快,错误率也较低。在较大的机构中,局域网可以把相近建筑物中的计算机连接起来。在城市范围内和城镇范围内连接起来的计算机则构成了城域网。城

域网兼有局域网和广域网的特点,城域网的通信能力对用户一般是透明的。连接在城市之间或者不同的本地访问传输域之间的设备属于广域网。广域网通常比局域网慢,错误率也高。广域网的基本建设投资非常高,主要是因为广域网络向外的延伸空间非常大。

从组成网络的信道来分,通信网可分为电缆网、无线短波网、微波中继网、卫星网、光缆网等。这些网在传输和使用上各有特点。例如无线短波网络很容易建立,但由于衰落现象而质量上不够稳定;卫星网很适宜于远距离的全联结网;光缆网的潜在容量很大而干扰甚小等。显然,各种网可根据条件和需要分别建立,作为相互补充和备用是很好的;但它们之间互联往往会碰到质量不一致、传输指标不一致、接口转换等复杂因素而造成困难。由于网络依赖的各种传输条件总是受到环境的制约,因此,网络的异构性实际上是不可避免的。由于网络的功能就是期望能够将众多的节点通过互联实现资源共享而创造价值,异构网络互联的问题将始终成为网络发展过程中的重要问题,并且这些网络在网络发展的各个时代都有其自身鲜明的特色。

电话网是目前覆盖范围最广、业务量最大的网络。从对电话的分析中可以看出,上述的分类方式经常是混合使用的。例如,根据范围,电话网又可以被分为本地电话网和长途电话网。本地电话网是在统一编号区的网络,由端局、汇接局和传输链路组成;长途电话网是在不同的编号区之间通话的网络,由长途交换局和传输链路组成。移动电话网是使用无线方式传输,能够提供移动电话服务的网络。移动电话网由移动交换局、基站、中继传输系统和移动台组成。移动交换局和基站之间通过中继线相连,基站和移动台之间为无线接入方式,移动交换局又和本地电话网中的市话局相连组成移动电话网。

通信网在发展中其网络结构也在不断变化。按照网络的功能分,通信网可以分为业务网、传输网和支撑网3类。业务网是指向公众提供电信业务的网络,包括固定电话网、移动电话网、IP电话网、数据通信网、综合业务数字网(ISDN)。传输网是指数字信号传送网,包括骨干传送网和接入网。支撑网包括 No. 7 信令网、智能网、数字同步网和电信管理网。例如,智能网(IN)是电话网的一个支撑网,它对固有的业务提供模式进行了改进,把业务逻辑和业务功能从网络中分离出来,在提供新的业务时,不需要改变整个网络结构和主体设备,只需改变智能节点的软件,可以在减少投资的情况下来生成各种业务。

网络在过去的几十年里一直经历着变化,因此其分类的体系也在不断进行变化。了解不同种类网络产生、演变乃至消亡的历史可以使研究者更好地了解各种网络机制的设计动因,从而能够更好地判断网络的发展走向,更好地改造网络,使网络朝着更加优化的

方向发展。

1.5 通信网的应用与服务

通信网络可以提供多种多样的服务。利用通信网络,我们可以和别人进行交谈,可以发邮件,还可以传输文件和查找资料。商业和工业应用要求网络能够承载更为苛刻的功能,如资金转账、交易的自动处理和数据库信息的查询与更新等。随着技术的进步,因特网(Internet)还可以通过传统的无线电和电视线路提供“广播”服务。

就像在前面介绍通信网的分类时指出的那样,对应于不同的网络应用,发展起来的网络技术也各不相同。而在技术进步的今天,人们越来越希望网络能够融合所有的应用,在满足现行服务的同时,还要考虑满足未来服务的要求,这对网络体系结构的设计提出了新的挑战。

1.5.1 网络应用举例

1. 万维网

万维网(WWW)是一种分布式应用,它能使人们在网上浏览被称为 Web 页面的一组通过超链接联系在一起的文档。每个 Web 页面可能包括文字、图片、视频和可能的链接。一个链接指明了同一文档在另一页面中的位置或名字。这个位置可能是同一计算机上的另一个文件或连接在 Internet 上的不同计算机。当你单击一个超链接时,WWW 就会显示一个不同的页面或转换到一个新的 Web 页面。因此,当你在网上浏览时,你就启动了一个文件传输队列。Web 页面的大小通常在几 KB 到几百 KB,如果链接到一个视频文件,就要传输几兆字节,这样某些页面要等待很长时间才能看到。例如,如果访问的页面的大小达 100 KB 而传输速率限制在 8 kbit/s,就需要传输约 2 min 的时间。传输速率不仅受到调制解调器的影响,还受到共享网络的链路影响。

2. 音频流和视频流

现在,许多广播电台和电视台在 Internet 上直播节目。这些音频流和视频流的应用也称作流媒体,是从听觉和视觉上展现给用户各种节目。流媒体应用在网络中产生了从源到目的地传输的分组数据流。由于网络的影响,进入网络后的音频和视频分组有可能经历各种延迟。为了能够在目的节点以相同的时间间隔进行重新播放,所有音频和视频分组的延迟时间必须相同,因此传送最快的分组必须被后延以便和最慢的分组有相同的延迟时间。

流媒体类应用一个重要的特点是单向传输,因此对时延的要求可以比较宽松。流媒体播放器一般具有缓冲功能,在开始播放前要在缓冲区存放一些分组。缓冲功能能够减小延迟抖动对播放质量的影响。

流媒体类应用的数据传输率取决于节目的质量。质量高的节目需要的信息量大,数据速率就要高一些。音频传输率一般在 8 kbit/s 到 30 kbit/s 之间,视频传输率在 40 kbit/s 到 80 kbit/s 之间。相对于文件传输而言,一定限度的链路误码率对于音频和视频来说是可接受的,比如我们可以感觉到噪声或图像被破坏,但是并不影响话音和图像的懂度。

3. 基于分组的语音视频会议

目前,人们可以用不太昂贵的摄像头和音频设备在个人电脑间建立电话呼叫或视频会议。会话中单方向的时延如果小于 100 ms,人们是很难感觉到的;而时延大于 350 ms 的会话,人们就难以接受了。

较小的语音时延意味着采样信号必须置于小的分组中。举例来说,假定语音被采样编码到一个速率为 64 kbit/s 的比特流中,而进一步需要语音数据封装在长度为 800B 的分组中进行传输,这就要花 $800 \times 8 / 64\,000 = 100$ ms 的时间来采集语音数据以填充一个分组。此外,大分组传输出错的可能也会增大,而重传又会带来新的时延。

4. 联网游戏

许多联网游戏是通过 Internet 进行的,像棋牌类游戏和快速动作类游戏。当玩这样的游戏时,计算机间要交换各种短命令。在联网游戏中,游戏的设计要求往往会对网络的延迟、带宽以及传输的可靠性提出要求。

1.5.2 服务模式

1. 客户/服务器模式

从数据库到分布式日历(Calendar)再到共享文件服务器,许多网络应用是按客户/服务器模式组织的。在这种模式的应用程序中,服务器被设计成用来应答从客户端发出的请求。一般来说,客户端向服务端发送请求并等待回答,当回答信息到达后,客户端重新执行原来的程序。客户端必须能够检测到服务器或网络错误,并做出反应。服务器必须能处理从许多客户端到达的请求。满足这个目标的通常步骤是使服务器不记状态,即服务器不记录以前请求的任何信息。事实上,服务器很少不记录状态。然而,应用程序设计者会努力限制服务器必须记住的信息数量。