

21

世纪计算机专业重点课程辅导丛书

计算机网络 习题与解析

第2版

鲁士文 编著

Exercise

&

Analysis



清华大学出版社

► 21 世纪计算机专业重点课程辅导丛书

计算机网络习题与解析

(第 2 版)

鲁士文 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要按照计算机网络自底向上的层次结构编写,内容共分9章。每章先叙述基本知识点,然后给出该章的习题和解析。习题分为基本练习题和综合应用练习题两个部分;其中有选择题和填空题,也有问答题和计算题。选择题和填空题是一些基本概念方面的题目,只给出答案而没有解析;而对于问答题和计算题则给出每道题的完整解答过程。

本书的习题覆盖面广,既收集了一些比较容易的题目,也收集了大量难度适中和少数较高难度的题目。本书不仅可以作为计算机专业研究生、大学高年级学生计算机网络课程的学习参考书,同时也适合于计算机网络课程自学者和计算机等级考试者研习。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络习题与解析/鲁士文编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2005.9
(21世纪计算机专业重点课程辅导丛书)

ISBN 7-302-11644-X

I. 计… II. 鲁… III. 计算机网络—高等学校—解题 IV. TP393-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第094780号

出版者:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社总机:010-62770175

客户服务:010-82896445

组稿编辑:夏非彼

文稿编辑:周烈强

封面设计:付剑飞

版式设计:科海

印刷者:北京市耀华印刷有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:23 字数:559千字

版 次:2005年9月第2版 2005年9月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-11644-X/TP·7607

印 数:1~5000

定 价:32.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)82896445

丛 书 序

“计算机专业教学辅导丛书——习题与解析系列”自1999年推出以来,一直被许多院校采用并受到普遍好评,广大师生也给我们反馈了不少中肯的改进建议。这些都是我们修订、扩充该丛书的动力之源。同时,计算机科学与技术的持续发展和不断演化,使得传统的计算机专业教学模式也随之扩充与革新。随着计算机教学教材改革不断深化,如何促进学生将理论用于实践,提高分析与动手能力,以及通过实践加深对理论的理解程度,都是我们21世纪计算机教学亟待解决的问题。正是基于这样的需求,经过对原有丛书的使用情况的深入调研,并组织专家和一线教师对自身教学经验进行认真总结提炼之后,我们重新修订了这套“21世纪计算机专业重点课程辅导丛书”。本丛书根据计算机专业普遍采用的课程体系,在原有丛书的基础上新增了“高等数学”、“线性代数”、“概率统计”、“计算机系统结构”等专项分册,同时,依据各门课程的最新教学大纲,对原有图书内容进行了全面的修订和扩充,使其更加完备、充实。修订之后的新版丛书几乎囊括了计算机专业的各个科目,与现行计算机专业课程体系更加吻合。

“21世纪计算机专业重点课程辅导丛书”包括:

- 《高等数学习题与解析》
- 《线性代数习题与解析》
- 《概率统计习题与解析》
- 《离散数学习题与解析》(第2版)
- 《C语言习题与解析》(第2版)
- 《C++语言习题与解析》(第2版)
- 《数据结构习题与解析》(第2版)
- 《数据库原理习题与解析》(第2版)
- 《操作系统习题与解析》(第2版)
- 《编译原理习题与解析》(第2版)
- 《计算机网络习题与解析》(第2版)
- 《计算机组成原理习题与解析》(第2版)
- 《计算机系统结构习题与解析》
- 《汇编语言习题与解析》
- 《软件工程习题与解析》

本套丛书除保留原有丛书的体例风格外,还强化了如下特点:

☑ 以典型题目分析带动能力培养

本丛书注重以典型题目的分析为突破口，点拨解题思路，强化各知识点的灵活运用，启发解题灵感。所有例题不仅给出了参考答案，还给出了详细透彻的分析过程，便于读者在解题过程中举一反三，触类旁通，从而提高分析问题和解决问题的能力。

☑ 全面复习，形成知识体系

本丛书以权威教材为依托，对各知识点进行了全面、深入的剖析和提炼，构成了一个完备的知识体系。往往在各类考试中，一个微小的知识漏洞，就可能造成无法弥补的损失，因此复习必须全面扎实。

☑ 把握知识间的内在联系，拓展创新思维

把握知识点之间的关系，这样，掌握的知识就能变“活”。本丛书通过对知识点的分解，找出贯穿于各知识之间的内在联系，并配上相关的例题，阐明如何利用这些内在联系解决问题，从而做到不仅授人以“鱼”，更注重授人以“渔”。

本套丛书由长期坚持在教学第一线的教授和副教授编写，他（她）们结合自己的教学经验和见解，把多年的教学实践成果无私奉献给读者，希望能够提高学生素质、培养学生的综合分析能力。

如果说科学技术的飞速发展是 21 世纪的一个重要特征的话，那么，教学改革将是 21 世纪教育工作不变的主题，也是需要我们不断探索的课题。要紧跟教学改革，不断更新，真正满足新形势下的教学需求，还需要我们不断地努力实践和完善。本套教材虽然经过细致的编写与校订，仍然难免有疏漏和不足之处，需要不断地补充、修订和完善。我们热情欢迎使用本套丛书的教师、学生和读者朋友提出宝贵意见和建议，使之更臻成熟。

本丛书出版者的电子邮件：info@khp.com.cn

2004 年元月

前 言

就学科而言, 计算机网络涉及的内容比较广泛, 它是计算机和通信密切结合的产物, 正在成为迅速发展并在信息社会中得到广泛应用的一门综合性学科。计算机网络是计算机专业学生学习的一门重要课程, 也是从事计算机、通信相关领域的研究和应用人员必须掌握的重要知识。

正是由于计算机网络知识的集成性和综合性, 使得初学的人感到概念繁多、算法复杂、协议和标准也是五花八门, 在解计算机网络的习题上往往感到无从下手。本书的目的就是通过对典型习题的解答和分析, 使他们充分掌握计算机网络的原理以及求解计算机网络问题的思路与方法, 深化对基本概念和关键技术的理解, 提高分析问题与解决问题的能力。

本书结合计算机网络的基本原理和技术发展, 主要按照自底向上的层次结构编写, 内容共分9章: 第1章“基本概念和体系结构”, 包括ISO开放系统互连的7层协议模型和TCP/IP协议体系; 第2章“物理层”, 包括数据传输的基础知识、物理介质、数据编码技术、多路复用技术、电话线路及相关的数字化技术等内容; 第3章“数据链路层”, 涉及异步传输、同步传输、差错检测和纠正、流量控制、自动重复请求、HDLC协议和PPP协议; 第4章“局域网和介质访问协议”, 讨论多路访问机制、局域网体系结构、逻辑链路控制协议、令牌控制局域网、CSMA/CD以太网、桥接器和局域网交换机、半双工和全双工以太网以及无线局域网等; 第5章“网络层”, 讨论交换技术、路由选择算法、流控制、拥塞控制、资源分配以及X.25、ISDN、帧中继和ATM网络; 第6章“IP网络”, 涉及IP地址、IP分组、IP路由选择、ICMP、子网划分、可变长子网掩码、CIDR、移动IP、IPv6、组播、集成服务、差分服务和多协议标记交换等内容; 第7章“运输层”, 包括OSI运输协议、因特网传输控制协议(TCP)、因特网用户数据报协议(UDP)以及用于宽带网络环境的运输协议的发展; 第8章“面向应用的协议和软件”, 讨论OSI上三层、因特网应用层、SNMP协议、动态主机配置协议、因特网典型应用和多媒体等内容; 第9章“网络安全性”, 涉及传统加密技术、公开密钥加密法、身份验证、数字签名、报文鉴别、报文摘要、IPv6对网络安全性的支持、无线局域网的有线等价加密(WEP)和网络安全技术的应用。

每章开头都列出学习重点; 接着是基本知识点, 给出所涉及的计算机网络的主要概念、算法、协议和关键技术。每章的习题都分为基本练习题和综合应用练习题两个部分。其中的选择题和填充题是一些基本概念方面的题目, 所以只给出答案而没有解析; 而对于问答题和计算题, 则给出每道题的解题思路或解答的完整过程。

本书是笔者在中国科学院研究生院连续11年讲授计算机网络课程的经验基础上编写

的，习题覆盖面较广，既收集了一些比较容易的题目，也收集了大量难度适中和少数较高难度的题目。因此，本书不仅可以作为计算机专业研究生、大学高年级学生计算机网络课程的学习参考书，同时也适合于计算机网络课程自学者和计算机等级考试者研习。

由于习题较多，解答上可能存在不准确或不完整之处甚至难免有错误，内容编排上的错漏之处也在所难免，敬请广大读者批评指正。

作者
于中科院计算所
2005年8月

目 录

第1章 基本概念和体系结构	1
1.1 基本知识点	1
1.1.1 典型的网络应用	2
1.1.2 服务质量	3
1.1.3 网络成分和性能特征	5
1.1.4 协议的分层结构	6
1.1.5 OSI参考模型	8
1.1.6 TCP/IP协议体系	10
1.1.7 一个基于OSI的修改模型	11
1.2 基本练习题	12
1.3 综合应用练习题	17
第2章 物理层	28
2.1 基本知识点	28
2.1.1 数据传输的基础知识	28
2.1.2 传输介质	30
2.1.3 数据编码技术	33
2.1.4 多路复用技术	34
2.1.5 电话线路及相关的数字化技术	35
2.2 基本练习题	37
2.3 综合应用练习题	44
第3章 数据链路层	61
3.1 基本知识点	61
3.1.1 异步传输和同步传输	61
3.1.2 差错检测和纠正	62
3.1.3 自动重复请求	63
3.1.4 数据成帧方法	64
3.1.5 面向比特的链路控制规程HDLC	65
3.1.6 面向字节的协议PPP	66
3.2 基本练习题	68
3.3 综合应用练习题	72
第4章 局域网络和介质访问协议	99
4.1 基本知识点	99
4.1.1 多路访问机制	99

4.1.2 局域网的体系结构	101
4.1.3 逻辑链路控制协议	102
4.1.4 令牌控制局域网	103
4.1.5 CSMA/CD以太网	104
4.1.6 桥接器和局域网交换机	105
4.1.7 半双工和全双工以太网	106
4.1.8 无线局域网	107
4.2 基本练习题	108
4.3 综合应用练习题	115
第5章 网络层	150
5.1 基本知识点	150
5.1.1 交换技术	150
5.1.2 路由选择算法	152
5.1.3 流控制、拥塞控制和资源分配	154
5.1.4 X.25公用数据网络	156
5.1.5 ISDN和帧中继	158
5.1.6 宽带ISDN和ATM	162
5.2 基本练习题	165
5.3 综合应用练习题	174
第6章 IP网络	201
6.1 基本知识点	201
6.1.1 IP地址	202
6.1.2 地址映射	202
6.1.3 IP分组	203
6.1.4 IP路由选择	205
6.1.5 互连网控制报文协议	207
6.1.6 可变长子网掩码	208
6.1.7 无类别域间路由选择	209
6.1.8 移动IP	209
6.1.9 IPv6	210
6.1.10 组播	212
6.1.11 集成服务和差分服务	214
6.1.12 多协议标记交换	214
6.2 基本练习题	215
6.3 综合应用练习题	221
第7章 运输层	241
7.1 基本知识点	241
7.1.1 运输层服务	242
7.1.2 运输层寻址	244

7.1.3 Internet运输协议TCP	246
7.1.4 Internet运输协议UDP	248
7.1.5 Internet关于端口号的约定	249
7.1.6 运输协议的发展	250
7.2 基本练习题	251
7.3 综合应用练习题	255
第8章 面向应用的协议和软件	271
8.1 基本知识点	271
8.1.1 OSI应用层概念	271
8.1.2 表示层概念	272
8.1.3 1号抽象语法标记	273
8.1.4 OSI会话层概念	277
8.1.5 Windows NT网络和NetBIOS	278
8.1.6 Internet中的应用层	279
8.1.7 文件传送协议	280
8.1.8 远程上机协议	281
8.1.9 电子邮件	282
8.1.10 DNS	284
8.1.11 HTTP	285
8.1.12 动态主机配置协议	287
8.1.13 多媒体	287
8.1.14 简单网络管理协议	291
8.2 基本练习题	294
8.3 综合应用练习题	300
第9章 网络安全性	318
9.1 基本知识点	318
9.1.1 传统加密技术	319
9.1.2 公开密钥加密法	320
9.1.3 身份验证和数字签名	321
9.1.4 报文鉴别和报文摘要	323
9.1.5 IPv6对网络安全性的支持	325
9.1.6 无线局域网的有线等价加密 (WEP)	329
9.1.7 网络安全技术的应用	330
9.2 基本练习题	334
9.3 综合应用练习题	341
参 考 文 献	358

第1章 基本概念和体系结构

本章学习重点

- 典型的网络应用
- 网络服务质量
- 网络成分和性能特征
- 网络协议的分层结构
- 开放系统互连（OSI）参考模型
- 互连网的TCP/IP协议体系
- 基于OSI的修改模型

1.1 基本知识点

在现代社会中，通信网络使得用户能够以话音、视像、电子邮件和计算机文件的形式传递信息。用户使用有线电话或蜂窝电话机、电视机的机顶盒或在计算机上运行的应用程序，通过简单的操作规程，就可以请求得到他们所需要的服务。

由通信网络所提供的服务是广泛的：用户通过电话网络可以互相交谈，通过计算机网络可以传送数据，通过电视网络可以看电视节目。因为用户总是通过某种终端设备跟网络交互，所以准确地讲，网络服务是被用户应用例程（运行在终端设备上的进程）所使用的。

网络设计人员在构建一个网络的时候要互连两种类型的硬件（或称网络元素）：传输链路和路由/交换机。链路从一个地方向另一个地方传输位串。路由/交换机是存储、路由和操作这些位串的计算机。这种硬件支持网络的承载服务，即以某种标准的格式从一个源或用户向一个或多个网络目的地传输位串。承载服务的性能特征跟一些参数有关，它们包括可接受的格式、连接性、从源到目的地路由的选择，以及位串的传输速度、延迟和错误等。

一个网络仅当其承载服务具有必需的特征时才能有效地支持一个特别的用户应用。例如，为了支持话音服务，端到端的延迟应该不大于200毫秒。为了支持数据传输，错误率应该不大于 10^{-4} 。要求条件很高的应用，比如X射线照影的实时传送（要求具有高的保真度和放射科医师为诊断病案可接受的显示速率）和交互式视频会议，则需要一个高性能的网络。

当用户通过终端设备互相交换信息的时候，所涉及的过程可能是相当复杂的。作为例子，我们考察在两台计算机之间是如何传送一个文件的。首先，在这两台计算机之间必须有一条数据通路，可以是一条直接连接的链路，也可以通过一个通信网络。但是仅此还不够。需要执行的典型任务包括：

(1) 源系统必须激活该数据通信通路, 或者通知通信网络希望与之通信的目的地系统的标识。

(2) 源系统必须确定, 目的地系统已经准备好接收数据。

(3) 在源系统上的文件传送程序必须确定, 在目的地系统上的文件管理程序已经准备好为这个特别的用户接收并存储文件。

(4) 如果在两个系统上的文件格式不兼容, 一个或另一个系统必须执行格式翻译功能。

当你浏览WWW时, 你启动了一系列的文件传输。

比较复杂的服务可以由具有较少复杂性的服务以层次结构的形式组建。显然, 在上述两个计算机系统之间必须有高度的合作。该任务不是实现成单个模块, 而是被划分成若干个子任务, 每个都单独实现。在协议体系结构中, 模块被安排成一个垂直的栈。在协议栈中的每一层都执行为了跟另一通信系统通信所需要功能的一个相关子集。为了执行比较原始的功能, 它需要依赖下一个较低层次, 并且遮蔽那些功能的细节。同时, 它向上一个较高层次提供服务。在理想情况下, 层次的划分应该使得在一个层次中的修改不需要改变其他的层次。

当然, 层次的划分应该让位于不同系统中的两个进程能够通信, 因此, 这两个系统必须具有同一组层次功能。交流是通过让两个系统中的对应(或对等)层进行通信而得以实现的。对等层次借助遵从一组规则或约定的格式化数据块进行通信, 这组规则或约定就叫做协议。协议主要由语义、语法和定时三部分组成: 语义规定通信双方准备“讲什么”, 亦即确定协议元素的种类; 语法规则通信双方“如何讲”, 确定数据的信息格式、信号电平等; 定时则包括速度匹配和排序等。

1.1.1 典型的网络应用

WWW是一种分布式的应用, 它允许我们浏览一系列通过超级链接的称作Web页面的文档。每个Web页面可以包含正文、图像、音频片段、视频片段以及可能的链接。一条链接指定同一文档中的一个位置或者另一个Web页面的位置和名字。位置表示同一个计算机中或连接到Internet的另一个计算机中的另一个文件。当你点击一条链接(通常表现为突出显示的, 例如加亮的或带有下划线的条目)的时候, 应用程序会去显示在该文档中的新位置或传输并显示新的Web页面。

Web页面的大小典型地是从几K字节到几百K字节。如果链接指向一个视频片段或指向一个大的文件, 那么就可能要传输几兆字节。你可能已经经历过, 某些Web页面需要等待很长的时间才会显示出来。这种延迟是不难理解的。例如, 如果所请求的页面大小为100K字节, 而传送速率只有8Kbps, 那么传输要花大约两分钟的时间。传输速率不仅受到你的Modem的限制, 而且也受到跟你的传输共享某些关键网络链路的其他连接的影响。我们不仅期望Web页面的传送能够快一些, 而且要求是无错的。因此, 可能发生的传输差错应该得以纠正。

在通过网络传输期间, 分组可能遭遇可变的延迟, 某些分组还可能丢失。作为例子, 在开始再现一个音频或视频流之前, 目的地需要缓存几个分组。缓存可以吸收掉延迟的波动。就缓冲而言, 所有分组面临的最小延迟等于通过网络延迟的最大值。确实, 为了能够

以进入网络时同样的恒定间隔输出分组来实现流的再现,所有的分组必须有相同的总延迟。因此,较快的分组必须被延迟,使得它们有跟最慢分组相同的延迟。这类应用的传输速率取决于节目的质量。声频传输的速率典型地是从8Kbps到30Kbps。初级视频则有一个从40Kbps到80Kbps的速率。对于声频和视频,有一些传输错误是可以接受的,这些差错体现为噪音或图像的失真。好在每秒传送若干帧,只要错误持续的时间不太长,用户的感受就不会很明显。

廉价的视频照相机和音频设备可用来在PC之间建立电话呼叫或视频会议。对于会话,单向延迟如果小于100毫秒,那么就不会被明显地感觉到。该延迟如果达到350毫秒以上,那么就会使会话感到很不舒服。话音的小延迟需求意味着话音采样必须放在小的分组中传输。为了说明这一含义,我们假定话音以64Kbps的位流编码。比如说,我们把话音比特放进1 600位长的分组,则收集装满一个分组的比特时间为 $1\,600/64\,000 = 25$ 毫秒。分组化引入一个25毫秒的延迟,该延迟加到通过网络的最大延迟。一般说来,允许传输错误所引起的失真要强于通过重传错误的分组来纠正错误所需要的过量延迟。

许多网络应用,从数据库到分布式的日程安排表,到共享的文件服务器,都按照客户/服务器的模型组织。在客户/服务器应用中,服务器被用来回答来自客户的查询。典型地,客户给服务器发送一个查询,等待回答。当回答到达时,客户继续执行自己的程序。对于服务器或网络的故障,客户必须能够检测到,并作出反应。服务器则必须能够处理来自许多个客户的请求。实现这一目标的普遍规程是让服务器成为无状态的,这就意味着服务器不必记住有关先前进行过的查询的任何信息。在实践中,服务器很少是无状态的。然而,应用设计人员总是试图限制服务器必须记住的信息数量。这类应用的网络需求取决于可以接受的响应时间。

1.1.2 服务质量

用户通过应用程序交换信息。信息传送的特征描述应用产生的交通,也描述在投递这些交通的过程中可以接受的延迟和丢失。

应用产生的信息可以取多种形式:正文,话音,声音,数据,图形,相片,动画和视像。而且,信息传送可以是单工,双工,广播或多投点。

交换的信息可以是模拟的或数字的。例如,有线电视网络投递模拟视频信号给电视机,电话网络在电话机之间传输模拟或数字话音,计算机网络传送比特文件或表示正文、数据、静态图像、声频或视频信号的位流。大多数网络在传送模拟信号时都是先把它们转换成位流。

我们把讨论限于信息的数字传输,因此用户应用最终需要通信网络传输比特文件或位流。我们把这些比特文件或位流称作由用户产生的交通。为了支持用户应用,网络必须能够以满意的方式传输由应用产生的交通。

需要注意的是,由视频信号产生的位流依赖于所采用的压缩方案,可能变化很大。把一页正文编码成ASCII字符串仅产生一个2K字节的串;当该页被数字化成像素并且以传真的方式压缩时,它将产生一个50K字节的串。一幅彩色相片的高质量数字化(类似于好的彩色激光打印机的质量)产生33.5M字节串;一幅黑白相片的低质量数字化产生0.5M字节

串。

我们可以把所有的交通划分成3种类型。用户应用可能产生一个恒定位速率(CBR)流,一个可变位速率(VBR)流,或一个具有不同时序特征的报文序列。

为了发送话音信号,电话网络设备先把它转换成一个恒定的64Kbps速率的位流。一些视频压缩标准也把视频信号转换成具有恒定位速率的位流。例如,MPEG1就是把视频压缩成一个恒定位速率流的标准。压缩位流的速率取决于为压缩算法所选择的参数,例如视频窗口的大小、每秒帧数以及量化级的数目。MPEG1使用1.5Mbps产生较差质量的视频图像,使用3Mbps产生好的图像质量。

话音信号的速率范围是从大约4Kbps(重型压缩和低质量)到64Kbps。声音信号的速率范围是从8Kbps到大约1.3Mbps(CD质量)。对于具有可接受的质量的音频或视频应用,网络必须以短的延迟和少遭破坏的条件(至多有一小部分的位被破坏)传输位流(被破坏的部分称作位错率即BER)。

对于实时视频和语音会话,端到端的延迟应该小于200毫秒,因为大的延迟会使人感到不舒服。对于交互式视频和点播信息这类非实时的交互应用,延迟可以是几秒。对于诸如视频或声频节目分发这样的非交互应用,延迟不是关键的因素。

作为实时应用的一个具体示例,我们考虑一个音频应用的过程。在话音输入端,使用模数转换器(A→D)从拾音器收集采样,数字化后产生源数据。该数字采样被放进分组,然后通过网络传送,在另一端被接收。在接收端主机上,数据必须以某个适当的速率重放。例如话音采样是以每125微秒1个采样的速率收集的,它们就应该以同样的速率重放。因此,我们可以认为每一个采样都有一个特别的回放时间,即需要在此之前到达接收主机的一个时间点。在这个话音示例中,每一个采样都有一个比相继的前一个采样晚125微秒的重放时间。如果数据在网络中被过度延迟了,或者由于被丢弃随后又重发,那么迟到的数据基本上是无用的。这种迟到数据全无价值的属性是实时应用的主要特征。

一个高质量的实时应用解决方案应该从3个方面进行努力,即保证带宽、使时延最小,并使时延变化也最小。

对于声频和视频传输,在不压缩的情况下最大可接受的位错率是 10^{-4} 。然而,当压缩声频和视频信号时,在被压缩信号中的差错会引起解压缩信号的一系列差错。因此,传输压缩信号能够容忍的差错要比 10^{-4} 小得多。

一些信号压缩技术把信号转换成具有可变位速率的位流。例如,MPEG2就是针对视频信号可变位速率压缩的一个系列标准。当压缩电影的场景快速移动时,其位速率就要比慢速移动时大。直接广播卫星(DBS)使用MPEG2,其平均位速率等于4Mbps。

为了描述VBR流的特征,网络工程师需要指定平均位速率,并说明该位速率的波动情况。相关应用可以接受的延迟和位错率类似于CBR应用。

网络上的许多应用都通过交换报文的进程来实现。我们可以把报文看成是一个可变长度的位串。例如,当浏览Web时,用户向服务器发送一个Web页面、声频/视频片段或文档请求。服务器通过给用户发送所请求的记录进行应答。作为另一个例子,分布式计算应用产生远地过程调用,然后远地机器返回该过程执行的结果。

由各种用户应用产生的报文交通可以具有一个广大范围的特征。一些应用,例如电子邮件,产生分离的报文。另一些应用,例如分布式计算,产生长的报文流。不同应用和设备所产生的报文速率可能差别很大。

为了刻画由一个产生报文流的应用所形成的交通量,网络工程师可以像在VBR规范中所做的那样,指定平均交通速率和该速率的波动值。

网络必须以可接受的延迟传送报文,并且只可以破坏报文的一小部分。可接受的典型延迟值,对于实时应用是200毫秒,对于交互式服务是几秒,对于诸如电子邮件这样的非交互式服务则是时间更长。可接受的部分报文被破坏的比例,对于数据传输可以是1:10~1:8,而对于诸如邮件分发这样的非关键应用,其值可以大得多。

在交换报文序列的应用中,我们还可以区分两种应用。一种是希望报文按照正确的顺序到达目的地,另一种则不在乎报文到达的顺序。

应用对网络的其他需求主要有可靠性和安全性。当一条或多条链路或交换机失效时,网络将不能在源和目的地之间提供连接,直到这些故障被修复为止。可靠性是指这类故障发生的频率和持续时间。某些应用,例如发电厂的控制、医院生命支持系统和关键的银行操作,需要非常可靠的网络服务。典型地,我们希望在几个指定的源和目的地之间提供比较高的可靠性。较高的可靠性可以通过在指定的节点对之间提供互不重叠的路由取得。

像以太网这样多路访问的网络中,每个计算机都“听到”在网络上传输的每个分组。无线电话传输的情况也类似。在这些网络中,为保证传输的保密要求,需要对传输加密。一般说来,安全性关心为防止对数据或信息传送的非授权访问所采取的步骤。随着钱币和其他财富采取在网络上传送的电子单据形式,安全性问题变得越来越紧迫。

1.1.3 网络成分和性能特征

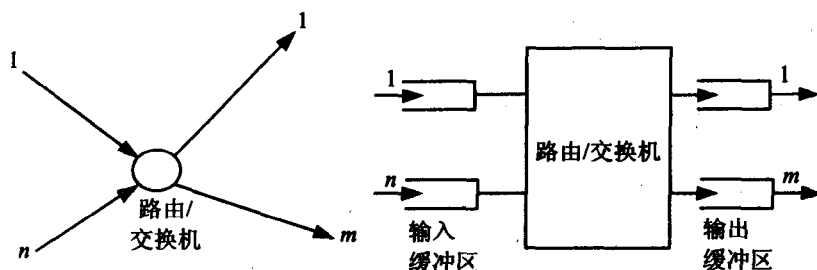
一个通信网络是互相连接在一起并被管理的网络元素的集合,它能够把信息从一个节点上的一个用户传送到另一个节点上的另一个用户。下面我们讨论主要的网络成分,考察这些成分是如何影响它们所实现的服务特征的。

主要的网络成分是传输链路和路由/交换机。链路把位流以某种速率、给定的位错率和固定的传播时间从一端传送到另一端。最重要的链路是光纤、铜线、同轴电缆和微波(或无线)链路。光纤和铜线链路通常是点到点的链路,而无线链路通常是广播链路。多条输入和输出链路都端接到路由/交换机。路由/交换机是把位从其输入链路传送到输出链路的设备。每当输入位速率超过输出位速率时,过量的位就被缓冲在路由/交换机中。

考察和分析通信网络性能的另一个非常重要的方法是使用队列网络模型。考虑一个具有 n 条输入链路和 m 条输出链路的路由/交换机,如图1-1所示,图的右边是队列模型。每条输入链路的接收方都往其输入缓冲区写数据,每条输出链路的发送方都从其输出缓冲区读数据。路由/交换机把位或分组从输入缓冲区传送到适当的输出缓冲区。这种关于路由/交换机和链路的队列网络模型被用来描述和评价网络性能。例如,一个分组在一个输出缓冲区中遭遇的队列延迟跟该缓冲区中排在该分组前面的分组个数成正比。计算队列延迟和分组丢失是一件困难的事情。

由源产生的一个分组在一条链路上传输,在一个路由/交换机处被缓冲,然后选择路由

前往另一条链路, 如此继续下去, 直到它抵达目的地为止。分组通过网络经历的延迟取决于组成网络的元素、通过这些元素的交通以及网络运行的方式。



说明: 每个路由/交换机中对应每条输入和输出链路都有一个缓冲区

图 1-1 路由/交换机和队列网络模型

对通过网络的延迟进行具体分析可能是相当复杂的。现在, 我们可以把总延迟分解成如式 (1-1) 所示的4个部分:

$$\text{总延迟} = \text{发送延迟} + \text{传播延迟} + \text{队列延迟} + \text{处理延迟} \quad (1-1)$$

其中, 发送延迟是发送一个分组所需要的时间, 因此

$$\text{发送延迟} = \text{分组大小} / \text{发送速度} \quad (1-2)$$

例如, 对于一个10 000位的分组和1Mbps的发送速度, 发送延迟等于10毫秒。

传播延迟是信号传播的时间, 因此

$$\text{传播延迟} = \text{从源到目的地的距离} / \text{电或光信号的速率} \quad (1-3)$$

每公里电或光信号的传播时间在3.3微秒到5微秒之间。队列延迟是在路由/交换机中的排队延迟。每当进入路由/交换机的交通的位速率超过输出链路的容量时, 就会发生队列延迟。过量的位在路由/交换机的缓冲区中排队。跟前面的两个延迟因素相比, 队列延迟显著地受网络控制策略的影响。最后, 处理延迟是网络路由/交换机所需要的处理时间。通常, 这种处理时间相对较小, 我们将假定该处理延迟可以忽略。

假定作为一个粗略的常规, 网络控制的结果是每个进入交换机的分组都要等待平均4个分组的发送时间。那么, 平均队列延迟是4倍的发送延迟, 即

$$\text{总延迟} = 5 \times \text{发送延迟} + \text{传播延迟} \quad (1-4)$$

结合式 (1-2) 和 (1-4), 我们可以看出, 总延迟依赖于发送速率和链路的长度, 也依赖于分组的大小。

1.1.4 协议的分层结构

两个系统中实体间的通信是一个十分复杂的过程, 为了减少协议设计和调试过程的复杂性, 大多数网络的实现都按层次方式来组织, 每一层完成一定的功能, 每一层又都建立

在它的下层之上。不同的网络，其层的数量、各层的名字、内容和功能不尽相同，然而所有的网络中，每一层都是通过层间接口向上一层提供一定的服务，而把这种服务是如何实现的细节对上层加以屏蔽。

更具体地讲，层次结构包括以下几个含义：

- 第 n 层的实体在实现自身定义的功能时，只使用 $(n-1)$ 层提供的服务。
- n 层向 $(n+1)$ 层提供服务，此服务不仅包括 n 层本身所执行的功能，还包括由下层服务提供的功能总和。
- 最低层只提供服务，是提供服务的基础；最高层只是用户，仅使用服务；中间各层既是下一层的用户，又是上一层的服务提供者。
- 仅在相邻层间有接口，且下层所提供服务的实现细节对上层完全屏蔽。

n 层中的活动元素通常称为 n 层实体。不同机器上同一层的实体叫做对等实体。 n 层实体实现的服务为 $n+1$ 层所利用。在这种情况下， n 层被称为服务提供者， $n+1$ 层是服务用户。服务是在服务访问点（SAP）提供给上层使用的。 n 层SAP就是 $n+1$ 层可以访问 n 层服务的地方。每个SAP都有一个能够惟一地标识它的地址。在同样的意义上，我们可以把电话系统中的电话插孔看成一种SAP，而SAP地址就是这些插孔的电话号码。要想和他人通话，就必须知道他的SAP地址（电话号码）。类似地，在邮政系统中，SAP地址是街名和信箱。发一封信，必须知道收信人的SAP地址。

相邻层之间要交换信息，在接口处也必须遵循一定的规则。在典型的接口上， $n+1$ 层实体通过SAP把一个接口数据单元（IDU）传递给 n 层实体。IDU由服务数据单元（SDU）和一些控制信息组成。SDU是要跨越网络传递给远方对等实体然后上交给远方 $n+1$ 层的信息。控制信息被下层实体用来指导其功能任务的执行，但不是发送给远方对等实体的内容。

为了传送SDU， n 层实体可能把SDU分成几段，每一段加上一个头之后作为一个独立的协议数据单元（PDU）送出。PDU被对等实体用于执行对等协议。对等实体根据PDU头部的信息分辨哪些PDU包含数据，哪些PDU包含控制信息，以及哪些PDU提供顺序号和计数等。

下层向上层提供的服务可以划分为面向连接的和无连接的两大类。面向连接的服务类似于打电话。要和某个人通话，我们先拿起电话，拨号码，谈话，然后挂断。同样，在使用面向连接的服务时，用户首先要建立连接，传送数据，然后释放连接。连接本质上像个管道，发送者在管道的一端放入物体，接收者在另一端以同样的次序取出物体。

相反，无连接服务类似于邮政系统中普通信件投递。每个报文（信件）带有完整的目标地址，并且每一个报文都独立于其他报文，经由系统选定的路线传递。在正常情况下，当两个报文发往同一目的地时，通常是先发的先收到。但是，也有可能先发的报文在途中延误了，后发的报文反而先收到。而这种情况在面向连接的服务中是绝不可能发生的。

无确认无连接的服务称作数据报服务。电报服务与此类似，它不向发送者发回确认消息。在某些情况下，可能既希望免除建立连接的麻烦，又要求确保信息传送的可靠。此时，可以选用有确认的数据报服务。这很像寄出的一封挂号信又要求回执一样。当收到回执时，寄信人有绝对把握相信信件已到达目的地而没有在途中丢失。

还有一种服务叫做“请求-应答”服务。使用这种服务时，发送者传送一个查询数据报，