

高 等 学 校 计 算 机 课 程 规 划 教 材

计算机网络技术

王 畅 张天伍 主 编
金建刚 杨学颖 副主编



清华大学出版社



计算机网络技术

王 畅 张天伍 主 编
金建刚 杨学颖 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分为12章,内容包括计算机网络概述、数据通信基础、计算机网络体系结构、OSI数据链路层、局域网技术、无线网络技术、接入网技术、Internet网络层、路由选择算法和路由协议、Internet传输层、Internet应用层概述、网络构建,本书的附录提供了与理论内容相关的8个实验,可作为课内实验开设。

本书可作为本科生和应用型本科生的计算机网络教材,书中内容涵盖了计算机网络考研大纲的所有内容,可作为考研同学的参考教材,也可作为相关技术人员的参考书。

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

计算机网络技术/王畅等主编. —北京:清华大学出版社,2011.9

(高等学校计算机课程规划教材)

ISBN 978-7-302-25791-2

I. ①计… II. ①王… 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(2011)第113227号

责任编辑:汪汉友 顾 冰

责任校对:时翠兰

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

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:185×260 印 张:22.75 字 数:553千字

版 次:2011年9月第1版 印 次:2011年9月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:36.00元

产品编号:041287-01

出版说明

信息时代早已显现其诱人魅力,当前几乎每个人随身都携有多个媒体、信息和通信设备,享受其带来的快乐和便宜。

我国高等教育早已进入大众化教育时代。而且计算机技术发展很快,知识更新速度也在快速增长,社会对计算机专业学生的专业能力要求也在不断翻新。这就使得我国目前的计算机教育面临严峻挑战。我们必须更新教育观念——弱化知识培养目的,强化对学生兴趣的培养,加强培养学生理论学习、快速学习的能力,强调培养学生的实践能力、动手能力、研究能力和创新能力。

教育观念的更新,必然伴随教材的更新。一流的计算机人才需要一流的名师指导,而一流的名师需要精品教材的辅助,而精品教材也将有助于催生更多一流名师。名师们在长期的一线教学改革实践中,总结出了一整套面向学生的独特的教法、经验、教学内容等。本套丛书的目的就是推广他们的经验,并促使广大教育工作者更新教育观念。

在教育部相关教学指导委员会专家的帮助和指导下,在各大大学计算机院系领导的协助下,清华大学出版社规划并出版了本系列教材,以满足计算机课程群建设和课程教学的需要,并将各重点大学的优势专业学科的教育优势充分发挥出来。

本系列教材行文注重趣味性,立足课程改革和教材创新,广纳全国高校计算机优秀一线专业名师参与,从中精选出佳作予以出版。

本系列教材具有以下特点。

1. 有的放矢

针对计算机专业学生并站在计算机课程群建设、技术市场需求、创新人才培养的高度,规划相关课程群内各门课程的教学关系,以达到教学内容互相衔接、补充、相互贯穿和相互促进的目的。各门课程功能定位明确,并去掉课程中相互重复的部分,使学生既能够掌握这些课程的实质部分,又能节约一些课时,为开设社会需求的新技术课程准备条件。

2. 内容趣味性强

按照教学需求组织教学材料,注重教学内容的趣味性,在培养学习观念、学习兴趣的同时,注重创新教育,加强“创新思维”,“创新能力”的培养、训练;强调实践,案例选题注重实际和兴趣度,大部分课程各模块的内容分为基本、加深和拓宽内容3个层次。

3. 名师精品多

广罗名师参与,对于名师精品,予以重点扶持,教辅、教参、教案、PPT、实验大纲和实验指导等配套齐全,资源丰富。同一门课程,不同名师分出多个版本,方便选用。

4. 一线教师亲力

专家咨询指导,一线教师亲力;内容组织以教学需求为线索;注重理论知识学习,注重学习能力培养,强调案例分析,注重工程技术能力锻炼。

经济要发展,国力要增强,教育必须先行。教育要靠教师和教材,因此建立一支高水平的教材编写队伍是社会发展的关键,特希望有志于教材建设的教师能够加入到本团队。通过本系列教材的辐射,培养一批热心为读者奉献的编写教师团队。

清华大学出版社

前 言

计算机网络是网络工程专业、通信工程专业、计算机科学与技术专业、电信工程等专业的专业基础课。近年来,随着网络应用的普及,大部分理工科专业甚至文科专业也开设了计算机网络课程,计算机网络大有成为理工科院校的公共基础课的趋势。计算机网络到底应该讲些什么,这是近年来网络教学改革探讨的重要课题。

本书的作者都是长期从事网络教学的骨干教师,本书的内容和编写理念反映了教学改革的最新成果,能满足新形势下提升高等教育质量的迫切需求。本书的作者认为计算机网络是一门理论和实践并重的课程,没有深厚的理论基础,学习者很难理解网络通信的具体过程,同样,如果理论和实践脱节,学习者很难解决网络应用中出现的实际问题。所以,本书既系统地讲解了计算机网络的基本理论和基本方法,又深入阐述了实用的网络技术,反映了网络技术的发展状况和最新的研究成果,特别地,本书对 Internet 协议栈作了十分详尽的研究和论述,最后,给出一个网络构建实例,特别突出了网络工程实践的综合性和重要性。本书的附录部分提供了与教学相关的 8 个实验,以循序渐进的方式训练读者解决实际问题的能力。

本书的第 1 章由薛素静编写,第 2、第 4 章由金建刚编写,第 3、第 10 章由张天伍编写,第 5、第 11 章由杨学颖编写,第 6、第 9 章由张治国编写,第 7 章由马斌编写,第 8 章和实验部分由王畅编写,第 12 章由于海鹏编写。全书由王畅、张天伍负责统稿。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在缺点和不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 7 月

目 录

第 1 章 计算机网络概述	1
1.1 计算机网络的形成与发展	1
1.1.1 单处理机联机系统阶段	1
1.1.2 计算机通信网络阶段	2
1.1.3 分组交换技术的诞生	2
1.1.4 计算机网络体系结构的形成	4
1.1.5 Internet 的快速发展	5
1.2 计算机网络的组成	6
1.2.1 计算机网络的硬件组成	6
1.2.2 计算机网络的软件组成	9
1.2.3 通信子网和资源子网	9
1.3 计算机网络的拓扑结构	10
1.3.1 总线型结构	10
1.3.2 星型结构	11
1.3.3 环型结构	11
1.3.4 树型与网型结构	12
1.4 计算机网络协议和体系结构	13
1.4.1 网络协议	13
1.4.2 网络体系结构	14
1.4.3 层次网络体系结构下数据的发送和接收	15
1.4.4 典型的网络体系结构	15
1.5 计算机网络的分类	18
1.5.1 按连接范围分类	18
1.5.2 按使用范围分类	19
1.5.3 按网络传输方式分类	19
本章小结	20
习题 1	20
第 2 章 数据通信基础	22
2.1 数据通信模型	22
2.2 数据编码	24
2.2.1 数据编码技术	24
2.2.2 数据的同步	27
2.3 多路复用技术	29

2.3.1	时分多路复用	29
2.3.2	频分多路复用	30
2.3.3	波分多路复用	30
2.4	数据交换技术	32
2.4.1	电路交换	32
2.4.2	报文交换	33
2.4.3	分组交换	34
2.5	传输方式	35
2.5.1	异步传输	35
2.5.2	同步传输	35
2.6	传输介质	36
2.6.1	双绞线	36
2.6.2	同轴电缆	37
2.6.3	光纤	37
2.6.4	无线传输介质	37
	本章小结	37
	习题 2	38
第 3 章	计算机网络体系结构	39
3.1	网络协议及体系结构	39
3.1.1	网络协议及体系结构的概念	39
3.1.2	接口和服务	42
3.1.3	面向连接的服务和无连接的服务	43
3.1.4	相关的标准化组织	45
3.2	OSI/RM 参考模型	47
3.2.1	OSI/RM 结构	47
3.2.2	OSI/RM 各层的功能	49
3.3	TCP/IP 参考模型	52
3.3.1	TCP/IP 的产生与发展	53
3.3.2	TCP/IP 参考模型	53
3.3.3	TCP/IP 各层的功能	53
3.4	OSI/RM 与 TCP/ICP/IP 的比较	55
3.4.1	两个模型的相同之处	55
3.4.2	两个模型的不同之处	55
3.4.3	OSI 模型和协议的缺点	56
3.4.4	TCP/IP 模型和协议的缺点	57
3.4.5	具有 5 层协议的体系结构	58
	本章小结	58
	习题 3	59

第 4 章 OSI 数据链路层	60
4.1 数据链路层设计要点	60
4.2 流量控制	61
4.3 差错控制	61
4.3.1 差错控制方法	62
4.3.2 奇偶校验码	62
4.3.3 循环冗余码	64
4.4 数据链路层协议实例	66
4.4.1 停止-等待协议	66
4.4.2 滑动窗口协议	68
4.4.3 连续 ARQ 协议	70
4.4.4 选择重传协议	71
本章小结	71
习题 4	72
第 5 章 局域网技术	73
5.1 局域网概述	73
5.1.1 局域网的特点	73
5.1.2 局域网的分类	73
5.2 局域网体系结构	75
5.2.1 局域网参考模型	76
5.2.2 IEEE 802 标准	77
5.3 共享信道的介质访问控制方法	78
5.4 以太网技术	79
5.4.1 以太网技术概述	79
5.4.2 CSMA/CD 介质访问控制法	81
5.4.3 以太网的物理实现	88
5.5 局域网的扩展	90
5.5.1 在物理层扩展以太网	90
5.5.2 在数据链路层扩展以太网	91
5.6 交换式局域网	93
5.6.1 交换式局域网的基本结构	93
5.6.2 局域网交换机的工作原理	94
5.7 高速以太网	98
5.7.1 快速以太网技术	98
5.7.2 千兆位以太网技术	99
5.7.3 万兆位以太网技术	101
5.8 虚拟局域网	102

5.8.1	虚拟局域网概念	102
5.8.2	虚拟局域网使用的以太网帧格式	103
5.8.3	虚拟局域网的优点	104
5.8.4	虚拟局域网的组网方法	105
5.8.5	VLAN 数据帧的传输	106
5.8.6	VLAN 间的互连方法	107
本章小结		108
习题 5		109
第 6 章	无线网络技术	110
6.1	无线局域网络 WLAN	110
6.1.1	无线局域网的构成	110
6.1.2	802.11 局域网的物理层	112
6.1.3	802.11 网络的 MAC 层	114
6.1.4	802.11 局域网的 MAC 帧	119
6.2	无线个人区域网 WPAN	120
6.2.1	蓝牙系统	120
6.2.2	低速 WPAN	121
6.2.3	高速 WPAN	122
6.3	无线城域网 WMAN	122
6.4	3G 和 4G 通信技术	125
6.4.1	3G 定义	125
6.4.2	GSM、CDMA 和 3G 比较	126
6.4.3	3G 时代	127
6.4.4	4G 通信技术	127
6.4.5	4G 系统网络结构	128
6.4.6	4G 的主要优势	129
本章小结		130
习题 6		130
第 7 章	接入网技术	132
7.1	接入网概述	132
7.1.1	接入网基本概念	133
7.1.2	接入网发展历程	133
7.1.3	V5 接口	134
7.1.4	拓扑结构	134
7.1.5	发展趋势	135
7.2	Internet 接入技术	135
7.2.1	铜缆接入技术	136

7.2.2	HFC 接入技术	145
7.2.3	光纤接入技术	147
7.2.4	无线用户接入技术	150
7.2.5	以太网接入技术	153
7.3	PPP 协议	155
7.3.1	PPP 帧格式	155
7.3.2	比特填充	156
7.3.3	PPP 协议内容	156
7.3.4	PPP 会话过程	156
7.3.5	PPP 验证机制	157
7.4	PPPoE 协议	159
7.4.1	PPPoE 概述	159
7.4.2	PPPoE 帧格式	159
7.4.3	PPPoE 会话过程	160
	本章小结	161
	习题 7	161
第 8 章	Internet 网络层	162
8.1	网络互连	162
8.1.1	路由器的硬件结构	162
8.1.2	路由器的功能	163
8.1.3	虚拟互连网络	164
8.2	两种网络服务	165
8.3	Internet 网络层协议栈	167
8.3.1	IP 协议	167
8.3.2	ARP 协议	174
8.3.3	ICMP 协议	178
8.3.4	IP 多播	180
8.4	子网与超网	184
8.4.1	子网划分	185
8.4.2	超网及其编址	189
8.5	IPv6 协议	190
8.5.1	IPv6 的基本首部	191
8.5.2	IPv6 的扩展首部	192
8.5.3	IPv6 的地址空间	193
8.5.4	IPv4 向 IPv6 过渡	195
	本章小结	196
	习题 8	196

第 9 章 路由选择算法和路由协议	198
9.1 路由选择算法	198
9.1.1 路由选择算法概述	198
9.1.2 路由选择算法的分类	201
9.1.3 典型的路由选择算法	203
9.2 Internet 路由选择协议	208
9.2.1 自治系统与路由选择协议	209
9.2.2 内部网关协议	210
9.2.3 外部网关协议	217
本章小结	219
习题 9	219
 第 10 章 Internet 传输层	 221
10.1 传输层概述	221
10.1.1 传输服务	221
10.1.2 传输层和网络层的关系	223
10.1.3 传输层中的两个协议	225
10.1.4 传输层中的端口	226
10.2 Internet 传输协议 UDP	228
10.2.1 UDP 概述	228
10.2.2 UDP 报文段的格式	230
10.3 Internet 传输协议 TCP	232
10.3.1 TCP 概述	232
10.3.2 TCP 报文段的格式	233
10.3.3 TCP 传输连接建立与释放	236
10.3.4 TCP 流量与拥塞控制	239
10.3.5 TCP 差错控制	243
10.3.6 TCP 的计时器	245
本章小结	247
习题 10	247
 第 11 章 Internet 应用层概述	 248
11.1 主要的应用层协议	248
11.2 域名系统	249
11.2.1 Internet 的域名结构	249
11.2.2 域名服务器	251
11.2.3 域名解析过程	252
11.3 电子邮件	254
11.3.1 电子邮件系统的基本知识	254

11.3.2	电子邮件的工作原理	255
11.3.3	电子邮件系统组成构件	256
11.3.4	简单邮件传送协议	257
11.3.5	多用途 Internet 邮件扩充协议	261
11.3.6	邮件读取协议 POP3 和 IMAP	265
11.4	文件传输服务	266
11.4.1	文件传输的概念	266
11.4.2	FTP 工作原理	267
11.5	万维网	269
11.5.1	万维网的特点	269
11.5.2	统一资源定位地址	271
11.5.3	超文本传送协议	272
11.5.4	万维网文档	274
	本章小结	277
	习题 11	277
第 12 章	网络构建	278
12.1	网络构建设计	278
12.1.1	网络需求分析	278
12.1.2	网络系统方案设计	279
12.2	结构化布线系统	291
12.2.1	结构化布线系统的基本概念	291
12.2.2	结构化布线系统的组成	292
12.2.3	结构化布线系统的设备和部件	295
12.2.4	结构化布线系统的测试	296
12.3	交换机的基本配置	297
12.3.1	交换机的配置方式	297
12.3.2	交换机端口的配置	299
12.3.3	交换机配置文件管理	302
12.3.4	IOS 文件管理	304
12.3.5	虚拟局域网概述	305
12.3.6	VLAN 配置	306
12.3.7	VLAN 中继配置	307
12.3.8	VTP	310
12.3.9	VLAN 间路由	313
12.4	路由器的基本配置	315
12.4.1	路由器硬件概述	315
12.4.2	路由器软件概述	317
12.4.3	路由器启动过程概述	319

12.4.4	配置路由器	319
12.4.5	配置路由器路由功能	322
12.5	网络管理	330
12.5.1	网络管理的基本概念	330
12.5.2	网络管理的基础设施	332
12.5.3	简单网络管理协议	334
	本章小结	340
	习题 12	341
附录	实验	342
实验一	使用网络命令	342
实验二	双绞线的制作	342
实验三	交换机和路由器的基础配置	343
实验四	VLAN 配置	343
实验五	使用 Sniffer 分析 Internet 数据包	344
实验六	FTP 服务器的配置和使用	345
实验七	网页制作	345
实验八	网络构建综合实验	345
参考文献		347

第 1 章 计算机网络概述

计算机网络是计算机技术与通信技术相融合的产物。随着半导体技术、磁记录技术的发展和软件的开发,计算机技术的发展异常迅速,微机技术的发展使计算机在各个领域得到广泛普及和应用,从而加快了信息技术革命,使人类进入信息时代。信息的获取、传输、存储和处理之间的孤岛现象因计算机网络的出现和应用而逐渐消失,计算机网络和中间技术的出现有效地屏蔽了操作系统和计算机硬件之间的差异,为用户提供了统一、友好的使用环境和操作界面,使用户可以在网络环境下能够享受到丰富的信息资源。

1.1 计算机网络的形成与发展

计算机网络是计算机技术和通信技术高度发展、密切结合的产物,计算机网络技术的迅速发展又进一步推动了计算机网络及其相关技术的应用进程,目前计算机网络已经遍布社会的各个领域,计算机网络的广泛应用彻底改变了人们的工作和生活方式,极大地提高了社会生产率。计算机网络的形成大致分为以下几个历史阶段。

1.1.1 单处理机联机系统阶段

20 世纪 60 年代中期,计算机技术处于发展初期,计算机主机价格昂贵,数量少,只能集中管理和使用,使远程用户使用起来非常不方便,另一方面通信线路和通信设备价格较低,人们尝试采用通信线路将处于不同地理位置的智能终端与远程计算机相连,可以通过智能终端提交作业给远程计算机,提交的作业和计算机处理结果通过通信线路进行传输,处理结果显示在用户的本地终端上。这种以单计算机为中心的联机系统如图 1-1 所示。

在单处理机联机系统中,已涉及多种通信技术、多种数据传输设备和数据交换设备等。从计算机技术上来看,这是由单用户独占一个系统发展到分时多用户系统,即多个用户分时占用主机上的资源,这种结构称为第一代网络。在该系统中主机既要承担通信工作又要承担数据处理,因此主机负荷较重,效率低。每一个分散的终端都独占一条通信线路,线路利用率低。因此为了提高通信线路的利用率并减轻主机的负担,使用多点通信线路、集中器以及通信控制处理机。

多点通信线路就是在一条通信线路上连接多台终端,如图 1-2 所示,多个终端可以共享

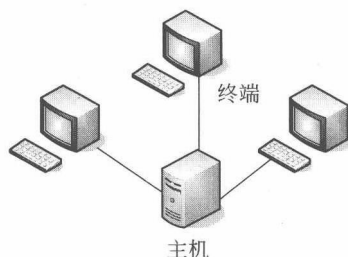


图 1-1 单机联机系统

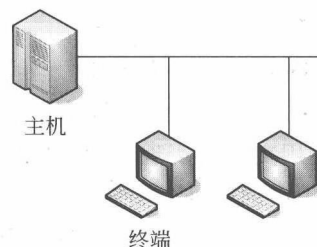


图 1-2 多点通信线路

同一条通信线路与主机相连,多个终端与主机可以分时使用通信线路进行通信,这种多点线路能极大地提高信道的利用率。

通信控制处理机(Communication Control Processor,CCP)的作用就是要完成全部的通信任务,让主机专门进行数据处理,从而提高数据处理效率,如图 1-3 所示。



图 1-3 使用通信控制处理机和集中器的通信系统

集中器主要负责从终端到主机的数据集中以及从主机到终端的数据分发,放置在终端相对集中的位置,其一端用多条低速线路与各终端相连,收集终端数据,另一端用一条高速线路与主机相连,实现高速通信,以提高通信效率。

单机系统的典型代表是美国航空公司 20 世纪 60 年代投入使用的航空订票系统 SABRE-1,该系统由一台中央计算机与全美 2000 个终端组成,这些终端采用多点线路与中央计算机相连。

1.1.2 计算机通信网络阶段

随着计算机技术的发展,计算机的应用得到快速的普及,用户希望分布在不同区域的计算机能够进行通信和交换信息。于是,将各台计算机通过通信线路连接起来,组成计算机通信网,这种网络以数据通信为主,资源共享能力有限。

因特网(Internet)起源于美国国防部高级研究计划署(Advanced Research Projects Agency,ARPA)的 ARPAnet,而该网络的设计初衷就是解决 4 个结点间的通信问题,20 世纪 70 年代问世的以太网最初也是为了解决有限范围内计算机之间的信息交换问题,这些都是典型的计算机网络。

1.1.3 分组交换技术的诞生

随着计算机网络技术的不断发展,用户可以通过网络使用其他计算机的软件、硬件和数据资源,以达到计算机资源共享的目的。该阶段的典型代表是 ARPAnet,其核心技术是分组交换技术。

1. 传统的电路交换技术

在电话通话过程中,在所有的用户之间架设直达的线路,对通信线路的资源是极大的浪费,必须使用交换机实现用户之间的互连。电话交换机经过一百多年的更新和发展,其本质上都是采用电路交换(circuit switching)。“交换”就是按照某种方式动态地分配传输线路的资源。电路交换是在通话之前,通过用户的呼叫(即拨号),由网络预先给用户分配传输带宽。若用户呼叫成功,则从主叫端到被叫端建立一条伪物理通路,双方可以相互通话,通话

结束后释放该条物理通路。电路交换技术的关键点是：在通话的全部时间内用户始终占用端到端的固定传输带宽，图 1-4 为电路交换的示意图。

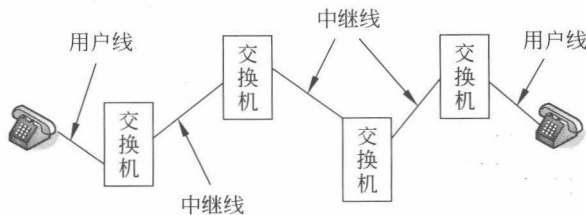


图 1-4 电路交换示意图

由于计算机数据是突发式地出现在传输线路上，当这种通信系统用来传输计算机数据时，线路真正用来传送数据的时间不到 10%，甚至不到 1%，绝大部分时间是空闲的。另外，由于各种终端的传送速率不一样，不同类型、不同规格的终端很难进行相互通信，因此，应该采取一些措施。例如，在通信的计算机和终端设备之间增加缓冲器，经变换后再进行发送和接收。由于电路交换不够灵活，在通信过程中，通路中的任何一点出现了故障，就必须重新拨号建立新的连接，所以必须寻找新的适合计算机通信的交换技术。

2. 分组交换技术

存储转发的概念是在 1964 年 8 月由巴兰(Baran)在美国兰德(Rand)公司的“论分布式通信”的研究报告中指出的。1966 年 6 月，NPL 的戴维斯(Davies)首次提出“分组”(packet)这一名词，1969 年 12 月，美国的分组交换网 ARPAnet 投入运行，从此计算机网络的发展就进入了一个崭新的时代。现在大家都公认 ARPAnet 为分组交换网之父，法国也在 1973 年开通分组交换网 CYCLADES。

图 1-5 是分组的概念图，把将要发送的整块数据称为一个报文(message)。在发送报文之前，先将较长的报文划分成一个个更小的等长数据段，例如每个数据段为 1024 位(bit)。在每一个数据段的前面加一个首部(header)后，就构成一个分组。分组又称为“包”，分组的首部称为“包头”。分组的首部是非常重要的，包含了诸如目的地址和源地址等重要控制信息，分组交换网只有从分组的首部才能获知应将此分组发往何处。

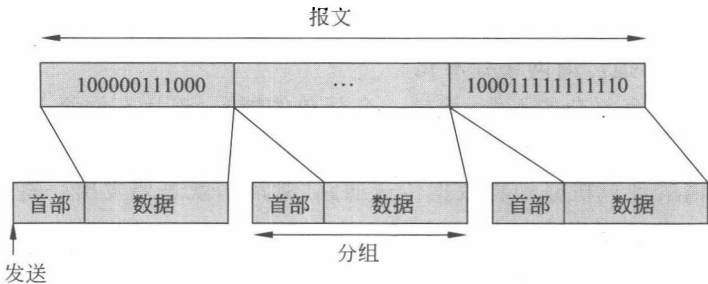


图 1-5 分组的概念图

在分组的传送过程中，由于采用了专门的措施，保证了数据的传送具有非常高的可靠性，这些将在网络协议部分讨论。综合以上所述，采用存储转发的分组交换，实质上是在数据通信过程中采用了动态分配传输带宽的策略。这些适合于传输计算机中的突发式数据，