

计算机网络 习题与解答

Schaum's Outlines of Computer Networking

最佳的复习资料，实用的辅助教材

与国外高校计算机水平保持同步

为考研和出国深造奠定坚实基础

(美) Ed Tittel 著
陈亚华 译

93-44
81

**全美经典
学习指导系列**

计算机网络 习题与解答

Schaum's Outlines of Computer Networking

(美) Ed Tittel 著

陈亚华 译

吴时霖 审校

本书介绍了计算机网络的基础知识和基本概念,涉及数据通信、网络技术、交换、命名和寻址、路由、应用和服务以及网络安全等诸多内容。通过阅读本书,读者能迅速了解网络技术的相关知识,并将之应用于实际的网络开发和管理中。本书内容全面,包含了大量的实例和习题,是计算机网络学科一本极佳的教辅材料。本书适合计算机专业的本、专科生及研究生使用,也可作为急需了解计算机网络知识的相关技术人员的入门书籍。

Ed Tittel: Schaum's Outlines of Computer Networking (ISBN:0-07-136285-1).

Copyright © 2002 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and China Machine Press.

本书中文简体字翻译版由机械工业出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有McGraw-Hill公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。

本书版权登记号:图字:01-2003-5134

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络习题与解答 / (美)蒂特尔(Tittel, E.)著;陈亚华译.-北京:机械工业出版社,2003.10

(全美经典学习指导系列)

书名原文:Schaum's Outlines of Computer Networking

ISBN 7-111-12793-5

I. 计… II. ①蒂… ②陈… III. 计算机网络-解题 IV. TP393-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第068438号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:朱 劼

北京中加印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003年10月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·15.25印张

印数:0 001-4 000册

定价:35.00元

凡购本书,如有倒页、脱页、缺页,由本社发行部调换

本社购书热线电话:(010) 68326294

译者序

本书是全美经典学习指导系列中的一本讲述计算机网络的教辅书籍。

本书共分9章，主要内容包括数据通信、通信网络、网络技术、多路访问、交换、命名与寻址、路由、服务和应用、安全等。每章精选与之相关的计算机网络的主要概念和关键技术，并在每章之后提供了丰富的、实用的复习题和思考题，有利于读者深入理解网络相关知识，便捷地检验学习效果。另外，本书可以和计算机网络的教材相配合，根据个人实际情况安排学习进度，有助于迅速牢记知识要点，掌握计算机网络原理以及求解计算机网络问题思路与方法，提高分析与解决问题的能力。

本书内容翔实，适合各类想了解计算机网络技术的读者阅读。对于计算机专业的专科生、本科生及研究生，本书可作为相关课程的教辅材料。对于那些从事网络工程、技术服务及使用网络的工程技术人员、用户来说，本书也是一本很好的参考读物。同时，本书也是一本优秀的计算机网络专业考试的补充读物。

本书涉及的内容广泛，而译者水平有限，书中难免有疏漏或错误，欢迎广大读者批评指正。

译校者简介

陈亚华，1970年生，复旦大学计算机科学与工程系博士研究生，研究方向为网络协议与分布式软件。在国内专业核心期刊上发表多篇论文，曾参加多项科研项目。目前，正在从事企业应用集成、数据建模、信息系统规则等方面的研究工作。

吴时霖，1935年生，毕业于复旦大学。复旦大学计算机科学与工程系教授，博士生导师。全国Petri网专业委员会委员。长期从事网络与通信技术研究，着重Petri网理论以及宽带高速网络技术的研究。主持多项国家重点项目，在国内外权威、核心期刊上发表论文40多篇。

前言

今天, 计算机网络这门学科包含的知识越来越多, 所涉及的功能和性能也越来越广泛, 从用于支持计算机交换数据的信令和电路, 到用于从发送端向接收端传输数据的电缆或无线广播技术均包含在计算机网络的范畴中。

网络也包含了发送者和接收者在各种抽象层次上进行数据交换所需的一系列通信规则。这些规则涉及从发送者向接收者发送数据使用的简单的、有限的比特流, 到当消息通过各种不同网络媒介时, 为识别、编址、路由和处理消息而需要的各种机制。同样, 协议也可以应用于多种服务和活动, 这些服务和活动促使数据通过网络传输, 如交换电子邮件消息, 访问远程文件或文件系统, 访问多种类型的分布式数据库, 甚至管理和监控用于通信的网络行为和特性。

刚开始学习网络知识时需要掌握基本的术语和概念。手头要有一份基本词汇表, 把网络分解成一系列独立的、互相依赖的任务和技术后, 理解网络这个“大问题”时就变得容易多了。在这个学习阶段, 理解网络的各种模型是很必要的, 如国际标准化组织的开放系统互连 (ISO/OSI) 参考模型以及其他和特定网络协议相关的模型。同样, 也必须消化和理解重要的网络标准和技术。

解决网络中固有的难题和怎样将网络分解为相互关联的层有关 (但各层在技术和术语上截然不同), 因此就应该深入探究一些网络工作的原理。此时就需要了解有关网络命名和寻址方案、网络路由模型和行为以及网络应用和服务的信息。因此, 这促使本书和大多数网络教材 (本书试图对其进行补充) 不断涌现。

所有学生对于技术科目都有或多或少的知识和了解。一些人会努力掌握基本概念和术语, 而另一些人会花更多时间和精力理解吸收本书所展示的各种网络模型的结构和功能。但所有读者不论其专业知识和背景如何, 都会从下面的在线网络资源中受益。

- 要获得术语和技术的较好描述, 请访问 www.whatis.com, 该网站提供了各种信息技术术语, 包括在本书及其相关书籍中将碰到的术语。
- 要获得更为详细的指导和对一般网络主题、工具及技术的概述, 请访问 www.techfest.com, 该网站提供了大量的网络主题, 从局域网 (LAN)、网络电缆, 到网络管理的各个主题均有所涉及。
- 要想了解更高水平的内容和信息, 以及其他一些有关网络术语和概念的资源, 请访问 www.techweb.com/encyclopedia。

因特网上有很多其他网络资源和信息。你可以使用喜爱的搜索引擎, 如Yahoo、Google、AskJeeves、AltaVista等等, 发现更多有益的信息。

Ed Tittel

目 录

译者序

前言

第1章 数据通信.....1

1.1 多路复用.....1

1.1.1 频分多路复用.....1

1.1.2 波分多路复用.....2

1.1.3 时分多路复用.....3

1.2 信令.....5

1.3 编码和译码.....6

1.3.1 振幅调制.....7

1.3.2 频率调制.....8

1.3.3 相移调制.....8

1.3.4 多级信令.....8

1.3.5 NRZ-L.....9

1.3.6 NRZI.....9

1.3.7 曼彻斯特编码.....10

1.3.8 差分曼彻斯特编码.....10

1.3.9 4B/5B.....10

1.3.10 MLT-3.....11

1.3.11 8B6T.....12

1.3.12 8B/10B.....12

1.3.13 4D-PAM5.....12

1.4 错误检测和恢复.....12

1.4.1 奇偶校验.....13

1.4.2 校验和.....15

1.4.3 循环冗余检验.....16

1.4.4 纠错.....17

1.5 流量控制.....18

1.6 滑动窗口.....18

1.7 拥塞管理.....20

1.7.1 通信量整形.....21

1.7.2 负载丢弃.....21

1.7.3 抖动控制.....22

复习题.....22

思考题.....23

复习题答案.....23

思考题答案.....24

第2章 通信网络.....25

2.1 网络概述.....25

2.1.1 电话网络.....25

2.1.2 网络的OSI模型.....26

2.1.3 因特网.....28

2.1.4 ATM.....30

2.2 网络组件.....32

2.2.1 电缆.....33

2.2.2 集线器.....34

2.2.3 网桥.....34

2.2.4 交换机.....35

2.2.5 路由器.....35

2.3 网络拓扑.....36

2.3.1 共享媒介.....36

2.3.2 对等拓扑结构.....37

2.3.3 混合型拓扑结构.....38

复习题.....39

思考题.....40

复习题答案.....40

思考题答案.....45

第3章 网络技术.....47

3.1 局域网技术.....47

3.1.1 以太网技术.....47

3.1.2 以太网版本.....50

3.1.3 以太网的工作模式.....53

3.1.4 令牌环技术.....54

3.2 广域网技术.....57

3.2.1 帧中继.....57

3.2.2 交换式多兆位数据服务.....59

3.2.3 综合业务数字网.....59

3.2.4 同步光网络.....59

3.2.5 点到点协议.....60

3.2.6 高级数据链路控制	60	5.1.2 空分交换	89
3.2.7 逻辑链路控制	61	5.1.3 时空交换	90
3.3 无线网络	62	5.1.4 时-空-时交换	90
3.3.1 无线电频率	62	5.2 分组交换	90
3.3.2 微波频率	63	5.2.1 端口映射器	91
3.3.3 红外波段	63	5.2.2 拥塞	92
复习题	63	5.2.3 ATM交换	92
思考题	64	5.3 交换结构	93
复习题答案	64	5.3.1 纵横结构	93
思考题答案	65	5.3.2 广播	93
第4章 多路访问	67	5.3.3 交换结构组成单元	94
4.1 有关设计的问题	67	5.4 网桥	94
4.1.1 分布式和集中式设计	68	5.4.1 透明网桥	95
4.1.2 电路模式和分组模式的设计	69	5.4.2 生成树算法	98
4.2 有关实现的问题	69	5.4.3 源路由网桥	100
4.3 性能因素	70	5.4.4 其他可选网桥	101
4.4 基础技术	71	5.4.5 虚拟局域网	101
4.4.1 频分多路访问	71	5.5 交换机	101
4.4.2 时分多路访问	71	5.6 将交换机和集线器结合使用	103
4.4.3 码分多路访问	72	5.7 将交换机和路由器结合使用	103
4.5 集中式访问	72	复习题	103
4.5.1 电路模式访问	72	思考题	104
4.5.2 轮询或分组模式访问	73	复习题答案	105
4.5.3 基于预约的访问	73	思考题答案	106
4.6 分布式访问	74	第6章 命名和寻址	107
4.6.1 非集中式轮询	74	6.1 层次命名法	107
4.6.2 载波侦听多路访问	74	6.2 寻址	109
4.6.3 载波侦听多路访问/冲突避免	75	6.2.1 电话网	112
4.6.4 载波侦听多路访问/冲突检测	75	6.2.2 因特网	112
4.6.5 忙音多路访问和多路访问冲突避免	76	6.2.3 IPv4	113
4.6.6 令牌传递	77	6.2.4 用标准子网掩码为IPv4网络划分子网	116
4.6.7 ALOHA系统	79	6.2.5 IPv4的无类域间路由	117
4.7 硬件寻址	80	6.2.6 用非标准子网掩码为IPv4网络划分子网	119
复习题	82	6.2.7 私有网络	122
思考题	83	6.2.8 IPv6	123
复习题答案	83	6.2.9 异步传输模式	124
思考题答案	84	6.3 名字解析	125
第5章 交换	87	6.3.1 查表法	127
5.1 电路交换	88	6.3.2 相近形式计算	127
5.1.1 时分交换	89		

6.3.3 消息交换	128	8.9.2 其他标记语言	188
6.3.4 地址解析协议	128	8.10 RPC和中间件	188
6.3.5 反向地址解析协议	130	复习题	189
6.3.6 ATM地址解析协议	130	思考题	189
复习题	130	复习题答案	190
思考题	131	思考题答案	190
复习题答案	131	第9章 网络安全	193
思考题答案	132	9.1 威胁	193
第7章 路由	135	9.1.1 安全策略问题	194
7.1 路由信息	135	9.1.2 拒绝服务攻击	195
7.1.1 路由表	136	9.1.3 保护技术	195
7.1.2 路由过程	136	9.2 加密/解密	196
7.2 路由协议	137	9.2.1 替换加密	196
7.2.1 基于行为的协议	138	9.2.2 移位加密	197
7.2.2 管理分类	142	9.2.3 数据加密标准	198
7.3 分级路由	144	9.2.4 RSA	198
7.3.1 汇聚	144	9.2.5 公共密钥加密	199
7.3.2 默认路由	148	9.2.6 数字签名	201
7.4 多播路由	149	9.2.7 公共密钥加密与数字签名	201
7.4.1 源树	150	9.2.8 虚拟私有网络	201
7.4.2 共享树	151	9.2.9 隧道技术	201
7.4.3 反向路径转发	151	9.3 防火墙	202
复习题	152	9.3.1 分组过滤	204
复习题答案	155	9.3.2 应用网关	205
第8章 服务和应用	163	9.4 IPSec	205
8.1 文件传输协议	163	9.5 Web安全性	207
8.2 TFTP	170	9.6 e-mail安全	209
8.3 域名系统	170	9.6.1 PGP	209
8.3.1 DNS服务器层次结构	171	9.6.2 增强型加密邮件	210
8.3.2 DNS数据库记录的结构	174	9.7 威胁	210
8.4 动态主机配置协议	175	复习题	211
8.5 简单网络管理协议	176	思考题	211
8.6 电子邮件	178	复习题答案	212
8.6.1 e-mail消息格式	179	思考题答案	213
8.6.2 邮件传输	181	附录A 术语表	215
8.7 万维网	182	附录B 在线因特网和网络标准	219
8.8 HTML	183	附录C 二进制算法与IP地址计算	221
8.9 HTTP	185	参考文献	233
8.9.1 浏览器	187		

第1章 数据通信

在计算机之间进行数据通信时使用的技术涉及许多组件和方法。数据通信的基本目标是使不同的硬件和操作系统能互相通信和彼此理解。要实现这个目标，数据通信所用的传输媒介必须满足一定的硬件规范，计算机操作系统用来访问传输媒介的软件也必须符合一定的标准。这些正是使数据在设备之间进行传输的组件的两个例子。本章介绍电话网到因特网中的数据通信所用的一些术语和技术。

1.1 多路复用

传输媒介（media）或链路是指将信息从一个设备传送到另一设备的设备。例如，提供电话服务的电话线或电缆是传送声音的传输媒介，在住宅和电信公司之间可能还有很多不同的传输媒介。住宅的电话线一般都使用外面包有保护材料的铜线，通过这根电话线发送和接收信号。住宅周围的每一户人家均有一根独立的电缆实现电话通话。假如住宅周围有50户人家，那么就需要电信局安置一个连接盒或交换盒。交换盒用来连接到电信中心的物理线路或路径上相邻的连接盒。例如，一个区域中有50户人家，那么电信局必须在连接盒之间安置50根电缆，以确保每户人家可与电信中心通话。另外，如果在住宅和电信中心之间有一新用户要用同一个连接盒的话，那么需要再增加一根电缆来处理用户的通话。按照这种方法，连接到电信中心的电缆可能有成千上百根。先不说所有这些电缆的成本有多大，当新房需要安装电话时，或者有一根或几根电缆出故障时，需要的工作量就可想而知了。为了节省这些电缆及其成本，几户电话的通话可以多路复用，或者捆绑处理，这样可以在两个连接盒之间用单根电缆传送信息。

多路复用技术可用在计算机网络上，特别适用于广域网（WAN）的信息交换。在计算机网络中，不同的载波频率通过同一传输媒介能够同时进行多个计算机会话。不同的载波频率传送不同的信号时，它们在同一传输媒介中不会互相干扰。这种为不同的频率调制载波的技术类似于电视台的载波调制广播视频。下面将详细介绍电视台如何在同一时间处理多个频道，以完成传输工作。

发射信号的电视台均有一个频道，电视台通过该频道来广播信息。频道实际上是电视台载波振荡频率的简称。为了接收电视信号，接收硬件必须选择或调谐到同一频率或频道。当改变电视机频道时，实际上是正在改变电视机接收装置的频率。使用不同的频道或频率，几家电视台可以在同一区域同时发射信号。通过电缆线传输而不是空中传输的有线电视使用了相同的基本原理。每家有线台分配一个不同的频率，很多不同的频道信号能够在同一传输媒介中同时传输。计算机网络也使用了相同的基本原理，即使用不同的频率或信道在同一传输媒介中进行多路会话。

1.1.1 频分多路复用

要使不同载波频率在同一传输媒介中同时传输，必须使用一定的技术来实现。可以使用一

种叫做频分多路复用 (Frequency Division Multiplexing, FDM) 方法, 即使用多个载波频率使互相独立的几个信号通过同一传输媒介传输。因为传输媒介的带宽 (bandwidth) 超过单个信号所需要的带宽, 所以FDM就利用了这种带宽差异。FDM技术主要用于通过有线、无线或光纤发送信号的网络中。产生要传输的数据的网络终端使用了一个叫复用器 (multiplexor) 的硬件设备, 该设备可以混合不同的频率, 以便它们能沿单一信道传输。在目标端, 解码器 (demultiplexor) 设备分离不同的频率, 把它们传送到适当的接收端。对于每个终端既能发送又能接收信号的双向通话来说, 每个终端都需要一对复用器和译码器。复用器还需要一个能够产生载波的硬件, 载波将沿着传输媒介传播。虽然多路复用技术提供在同一时刻发送不同频率信号的能力, 但是如果使用的频率太相近的话, 或者是另一频率的倍数的话, 就会出现干扰。在这种情况下, 不同信号间存在干扰, 使发送数据无效。为防止这类问题, 设计FDM网络的工程师规定了不同载波间的最小频率间隔。这个最小频率间隔也用于电台广播和电视台广播。

在调幅 (AM) 无线电广播中, 普遍使用FDM技术。调幅无线电广播的频率范围为500KHz~1500KHz。不同的逻辑频道或发射站分配了不同的频率。不同的频率之间要有足够的间隔, 以防止不同发射站之间互相干扰。FDM的另一个使用领域是语音级电话信道。每个语音级电话信道的可用带宽大约为3000Hz, 这一限制由滤波器控制。当几个语音级电话信道复用时, 需要给每个信道配4000Hz带宽, 以保证有足够的间隔, 信道间不会发生干扰。在传输前, 每个语音级信道的频率以4000Hz间隔增加。世界上广泛使用的FDM方案进行了一定的标准化, 即12个4000Hz的语音信道复用成60KHz~108KHz带宽。一定频率范围的语音信道合在一起称为“组”。12个语音信道的每个语音信道包含用户的3000Hz带宽和 2个500Hz的保护带宽。这些保护带宽有助于减少如尖峰信号等的干扰, 因为滤波器不会产生带有尖边的波。在某些环境下, 组也有12KHz~60KHz带宽的。5个组 (或60路语音信道) 复用在一起就构成一个超组。主组是超组的集合, 按CCITT标准, 5个超组构成主组; 按贝尔系统标准, 10个超组构成主组。另外还有高达230 000路语音信道的其他标准。

使用FDM的另一个目的是在传输媒介上提供高吞吐量。为了具有更高的吞吐量, 硬件使用了大部分的电磁频谱, 这样可以产生较大的带宽, 为信号的传输提供更大的空间。术语宽带 (broadband) 通常用于定义使用电磁频谱的较大部分的技术方法。基带 (baseband) 技术是指运用电磁频谱的很小部分和在某一时刻仅仅允许一个信号通过媒介的方法。

电话系统是FDM的一个实例, 电话系统使用全双工频移键控 (Frequency-Shift Keying, FSK) 传输。FSK传输用载波频率相邻的不同频率对二进制值进行编码。全双工 (full-duplex) 是指在一个传输媒介上可以同时进行双向通话的一种方式。

1.1.2 波分多路复用

波分多路复用 (Wave Division Multiplexing, WDM) 是一个在光传输系统中使用多路复用技术的术语。在同一传输媒介上, 不同信号使用的不是不同的频率, 而是不同的光波长。和电信号一样, 不同光波或不同频率的光信号彼此是不会相互干扰的。当有许多不同光波同时使用时, 就使用密集波分多路复用 (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM)。工程人员在WDM系统中工作时, 有时候会使用一个叫“色分多路复用”的专业术语, 风趣地用红色、紫色、橙色和其他一些颜色表示载波。使用这些非正式的术语是因为人能够看见的可见光可表现为颜色。WDM可以实现在单根光纤中发送多个光波。在传输源端, 一个棱镜或衍射光栅

混合不同的光波，再在光纤光缆上传送这个混合信号。在接收端，用另一个棱镜把光分离成独立的光波长，然后再将其传给接收者。

可靠性是多路复用系统的关键问题之一。在传输信号时，有一些频率会受到干扰，但不是所有的频率都会受到干扰。例如，无线电广播可能会受发送者和接收者间大物体运动的影响。收音机广播信号频率中，有些时候某个频率在一天中比较好，而在其他时间另一些频率比较好。这种使用多载波或多频率的FDM技术传送数据的特殊方法称为扩展频谱（spread spectrum）。这些使用扩展频谱的发射者以不同的频率发射相同的信号，接收者则对不同频率进行检波，并选择一个当前工作频率。扩展频谱技术可用于一些模拟调制解调器，以改善它的可靠性。这些调制解调器使用一定范围的载波频率，在所有频段上发送数据。接收者使用其中一个频率，如果有干扰的话，那么就从其他频率“读取”这些数据。

WDM 在长距离的光纤中受欢迎的原因之一是，它一般仅使用几个GHz宽度。另外，因为单个光纤的带宽大约有25 000GHz，所以可以在长距离的传送中复用多个频道。图1-1是一个典型的WDM系统图。

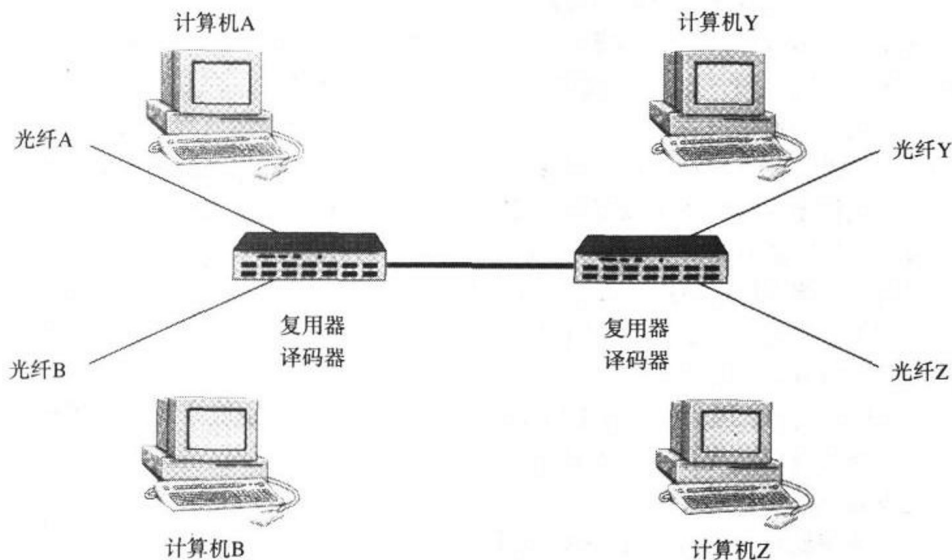


图1-1 典型的WDM系统图

在图1-1中，源端来自光纤A上计算机A的消息和来自光纤B上计算机B的消息复用在一起，传送到共享光纤光缆上。在接收端，计算机A的信号上被提取出来，并且传送到光纤Y；计算机B的信号传送到光纤Z。在这个系统中，从A计算机中发出的信号始终传送给光纤Y；光纤Z始终用于传送从计算机B发出的信号。WDM系统还可以集成一些交换技术。在一个交换式WDM系统中，来自光纤A上计算机A的信号可以在接收端的任一光纤上得到。事实上，来自源端的任一台设备上的任何信号可以发送到任一条输入光纤上，也能传输到任一条输出光纤上。通过多根光纤传输信号可能使信号能量减少。然而，这些类型的交换式WDM系统对需要几百个信道的环境来说是很很有用的。

1.1.3 时分多路复用

时分多路复用（Time Division Multiplexing, TDM）是FDM以外的另一种选择。在TDM

方式中,发送源通过分配时间片轮流使用传输媒介。每个时间片上的每块数据构成一帧。TDM技术利用了传输媒介的比特率比单个信号传输所需的速率要大这一原理。TDM有两种形式,即同步TDM(STDM)和统计多路复用。同步TDM也称为分槽时分多路复用。

在STDM方式中,每条传输线路按特定的时间访问传输媒介,每个时间片的大小是一样的。每个传输设备轮流使用传输媒介,当所有其他设备都使用完时间片时才轮到该传输设备再次使用媒介。例如,假设有三台要发送信息的设备:计算机A、B、C。第一个有权访问传输媒介的设备是A,当A完成传输后,B才能得到时间片进行传输。当B完成传输后,C才能得到时间片进行传输。有时,这类媒介访问的方法也叫做循环(round-robin)。可用比特、字节或数据的其他单位在不同时间片内来进行数据交错传输。TDM多路复用技术很适合于电话,因为在共享传输媒介上的每个电话以同一速率产生数据。STDM的问题之一是,即使A、B没有任何信息要发送,C也必须等待,直到时间片经过A、B后,才能得到时间片发送数据。为了更有效地使用媒介,在某些系统不发送信息时使用统计多路复用。

统计多路复用仍为要传输信息的每台设备分配时间,每台设备必须有序地进行传输。但如果有一台设备无信息发送,则复用器就跳过该台设备而为下一台设备分配时间。统计多路复用对于使用相同传输媒介的多系统来说,是一个性价比很高的方法。多数计算机网络使用某种类型的统计多路复用,这是因为网络设备不必一直发送数据,而且它们可以以不同的速率产生数据。网络的通信设备往往只是在很短时间内发送数据,然后等待响应。因为具有这种突发的传输特性,所以统计多路复用要优于同步多路复用,不发送数据的设备不会花费时间。为确保传输设备允许需传输数据的设备得到时间片,应为在给定时间内传输的数据量设置一个上限。在统计多路复用中,这一有限量的数据称为分组(packet)。

在某些国家,调幅广播使用的方法就使用了TDM。除了使用一个特定的频率外,每个频道还有两个逻辑子频道:一个子频道用于音乐,另一个子频道用于广告。使用TDM方法,两个子频道在同一频道上交替使用。

个人计算机系统中,因为模拟电路的开销问题,TDM不适于铜线或微波频道传输。相反,使用数字电子技术可以实现TDM,并且这种方式已得到广泛的应用。然而,当数字技术用于TDM时,它只能用于数字数据。

当调制解调器通过电话公司的传输媒介在两个不同系统间进行通信时,铜线上的模拟信号必须转换成数字信号,以便使用TDM来复用。复用信号传送到电话公司所使用的两个节点之间的光缆上。模拟信号通过“编码器/译码器”进行数字化。编码器/译码器以每秒8000点采样的速度产生7比特或8比特的数据。奈奎斯特定理表明每秒8000个采样足以获取4kHz电话信道上的信息了。如果采样率低,信息会丢失;如果采样率高,也不会从模拟信号中获取更多的信息。数字化的主要思想是,用一组数字化幅度阈值(量化级)来量化模拟信号的幅值。取量化级间大小的对数来区别量化级,因为这个方案可以使幅值小的信号能有较好的分辨率。表示模拟信号幅值的数字是与采样值最接近的量化级数。每秒8000个采样可产生8比特采样的256个量化级。这能产生64Kbps带宽的标准声音。通常实现量化的方法有两个:美国、日本使用的 μ 律和世界其他国家使用的A律。但是,这使不同量化级方法直接联系起来时比较麻烦,电话谈话必须重新匹配以满足发送者和接收者量化方案。

电话系统中,模拟数据的采样也叫做脉冲编码调制(PCM)。每秒8000个采样可解释为每次采样所需的时间为125 μ s,因此,电话系统内的时间间隔是125 μ s的倍数。随着PCM的发展,

CCITT组织在国际标准方面并没有达成一致意见。不同的国家有不同的PCM实现方案，这使不同的PCM系统间不能实现无缝连接。为了实现国际转播，需要用昂贵的“黑箱”来转换不同PCM系统间的信号。

在北美和日本使用得最多的PCM实现方案是T1。T1载波由24路复合的语音信道构成。在T1完全用于数据时，有23个语音信道用于信息数据，第24个语音信道用于同步，以便在传输失去同步时可恢复信号。在源端，模拟信号以循环方式采样，以产生经过编码器/译码器处理的模拟数据流。循环采样的目的是减少对源端24个编码器/译码器的需要。在循环模拟数据流产生期间，每台设备插入8比特数据，其中7比特表示数据信息，1比特表示控制信息。如果用每秒8000个采样速率乘以7比特，就可以得到56 000bps这个速率值。假设一帧含有192比特（24个信道×8比特）和一个额外比特，即每125μs有193比特。可通过这些值计算得到1.544Mbps（=193比特/125μs）的数据速率。193比特的组帧比特，使用0101010101…模式，接收者周期性检查以保证传输同步。如果发生不同步，接收者能扫描组帧比特并重新同步。组帧比特是由数字电路产生的，因为如果该模式是模拟信号的话，那么它将会在4000Hz处产生正弦波，从而被滤波掉。

CCITT最终在PCM方面达到共识，认为8000的采样率太高。因而，在CCITT 1.544Mbps标准中，每个采样点不是采用前面描述的7比特数据，而是8比特。因为这些差别，所以它们存在两个不兼容的变体。为处理这些差异，使用了一种叫“公共信道信令”的方法，给所有信道的奇数帧加上10101010…，在所有信道的偶数帧上包括信令信息。另一种方法是“信道关联信令”，即每个信道有它自己的信令子信道。通过为信令每6帧分配一个8比特来产生专用子信道。因此，5/6的采样是8比特长，剩余采样是7比特长。

CCITT还指定2.048Mbps PCM标准，即E1。E1标准在日本和北美之外的地区得到广泛的使用。E1载波上的一帧是每125μs有32个8比特采样点。2个信道用于信令，另外的30个信道用于数据。4帧一组提供64个信令比特，其中32比特用于信道关联信令，另外32比特用于每帧的同步或供各国保留使用。

TDM复用也可以把T1载波复用成T2、T3信道。每个T1的24个信道是按字节方式复用，而T1可以按比特方式复用成T2、T3。4个1.544Mbps T1能产生的速率为6.176Mbps，但T2实现时实际上是6.312Mbps，这些差别是由于成帧和同步恢复时使用的额外比特造成的。在美国，T3是由6个T2按比特复用构成的，T4是由7个T3按比特复用构成的。CCITT标准定义4个载波可复用成一级，即4个T2组合成1个T3，4个T3组合成1个T4。CCITT的规格说明可见表1-1。

表1-1 CCITT 信道规格说明

信 道	Mbps
32	2.048
128	8.848
512	34.304
2048	139.264
8192	565.148

1.2 信令

当讨论数据通信时，常常会遇到“模拟”和“数字”这两个术语。模拟信号是连续的，

数字信号是离散的。例如，一个有时针、分针、秒针的模拟钟通过表针的连续移动来指示连续的时间信息。数字钟则用信息离散单元来表示时间。有时针和分针的数字钟在1点29分时会突然变到1点30分。数字钟的分针值在从29到30这个过程中不是逐渐改变，而是离散改变的。

在谈及数据通信时，“模拟”和“数字”这两个术语通常在三种不同的情景下使用，即数据、信令和传输。网络中使用的数据是指传输信息，或对源、接收者来说是有意义的信息。数据蕴含的信息可能是原始信息，或者是对原始数据加工后的信息。数据以某种电子或电磁形式编码产生模拟或数字信号。计算机与网络传输媒介相互作用以及发送信号的过程叫做信令（signaling）。除了要传输的数据外，信令还需要传输网络控制消息。通过数据传输使用的连接，这些控制消息可作为信息单元一起被发送。通常，控制信息的发送是与数据或声音分开的，是以单独的一个信道来发送的。这些控制信号的发送可称为带外信令（out-of-band signaling）。电话网络通常使用这种方式，因此电话网络也叫做公用信道局间信令（CCIS）网络。传输是信号在传输媒介中传播和处理，以进行信息交换。

传输媒介上的数据传输是以模拟或数字能量形式传播的，使用的能量类型可能是电或光的形式。在传输媒介上传输的连续变化的电磁波是模拟信号。例如，在无屏蔽双绞线、同轴电缆、光缆上传输或通过大气传播的变频信号是模拟信号。如果通信硬件上的信号是一系列电压脉冲，那么这种形式的信号就是数字信号。数字信令比模拟信令有更多的优点。数字系统性价比更高，更不易受噪声干扰。然而，数字信号比模拟信号更易衰减。衰减（attenuation）就是信号的强度随它们传输的距离增加而减弱或丢失。而且，高频信号比低频信号更容易衰减。数字信号在媒介中传输得越长，波的强度与最初信号的差距就越大，波形开始变得更圆，这使接收者更难分辨信号高低电平值。

一般来说，模拟硬件传送的模拟数据可表示为在有限频率范围内的时间函数。声音数据就是一个模拟数据的实例。人类声音的频率范围是在20Hz~20KHz之间。不过大多数声音只是这个范围内很小的一部分。一般情况下，用从300Hz~3400Hz的电磁信号传播声音就已足够，在这一频率范围内声音足够清楚，可以让人听懂。这个频率范围是标准电话用于扬声器和麦克风组件的频率范围。数字形式的信息（例如计算机）也能用模拟信号表示。用调制解调器实现模拟信号传送数字数据就是一个很好的实例。调制解调器把计算机的二进制电压脉冲转换成用不同的频率表示数字数据的模拟信号。调制解调器使用的频率占用了载波频率或信道附近的一段范围。因此，在音频级电话线上，调制解调器以人讲话的范围内的频率范围来传输信号。用编码器/译码器方法，也可以用数字信号表示模拟数据。另外，也可以用数字信号来装载数字数据。

计算机网络中的信令技术通常是整个网络中最复杂的一部分。例如，电话系统通过电话交换机分布在全世界，包括会话特性如电话会议、可视电话和计费。其中，要用许多行代码产生所有的特征和功能，这些代码大部分是与处理信令需求有关的。软件必须在快速可靠的环境中提供服务，软件升级需要每天数以百计的计算机程序员来完成。

1.3 编码和译码

当模拟信号和数字信号通过传输媒介传输信息时，这些信号的属性必须以某种方式表示数据。编码的任务是定义信号属性以表示信息。译码由已发送信号的接收者使用，使信号转换成有意义的数据。在计算机网络中，传送数据的最简单的方法之一是使用小的电信号来代

表数据。例如，可改变在连接两套设备的电线的电压，以便用正电压（例如，5V）表示二进制1，用负电压（-5V）表示二进制0。为了能传输二进制1，发送设备在一个很短的时间内在电线上加一个正电压，然后返回到0电压，接收设备检测到正电压后记录二进制1已到达。为了能发送二进制0，发送设备在一个很短的时间内在电线上加一个负电压，然后返回到0电压，接收设备检测到负电压后记录二进制0已到达。图1-2是电线电压随时间变化来表示由发送者发送的二进制信息的一个实例。

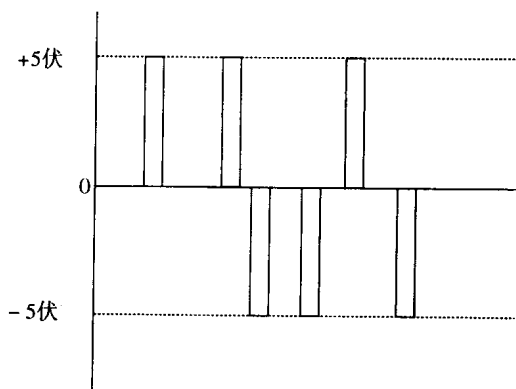


图1-2 用电线上的电压变化表示二进制信息的一个实例

图1-2中显示的电压值图形是一个波形图。除了显示出电压值，图中还显示了电压变化之间的时间长度。为保证放置在传输媒介上的信号能被接收者解释，需要有一个标准来定义一些参数，例如电压的变化的时间间隔，电压改变的最大速率等等。

对信号传输的研究表明：与其他信号相比，一个连续震荡的信号传播得最远。利用这个事实，远距离通信系统大多数是采用连续震荡的载波信号来发送信号的。这些波通常是正弦波，即使没有数据传输，载波也是震荡的。为了能使一个连续信号发送数据，传输者可以稍微改变一下载波以表达不同的信息。载波信号的改变过程称为调制（modulation），这些技术在用于计算机网络之前，已广泛用于无线电通信、电话和电视信号。在计算机网络中，载波信号的调制可以用于铜线、光纤、微波和无线电传输。有很多不同的方法可以调制模拟载波信号来表示数字数据。

1.3.1 振幅调制

振幅调制可用于调幅无线电通信和计算机网络。在振幅调制方式中，用载波的强度变化表示数据或编码数据。例如，一个较高的振幅可以表示二进制的“1”，而较低的振幅可以编码为二进制的“0”。图1-3是调幅载波及其如何表示数据的实例。

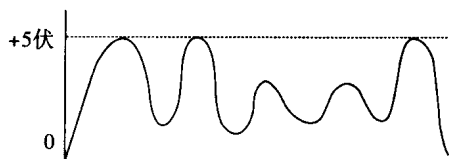


图1-3 调幅载波表示数据

振幅调制易受增益突然变化的影响，因而对于计算机网络来说，不是一个很有效的调制

技术。然而，该技术可用于通过光缆发送数字数据。载波信号的振幅调制也称为幅移键控（Amplitude-Shift Keying, ASK）。

1.3.2 频率调制

频率调制用于调频无线电通信和计算机网络，用载波频率的变化来表示数据。例如，载波频率的增加可编码为二进制的“1”，同样地，载波频率的减少可编码为二进制的“0”。图1-4是频率调制载波及其如何表示数据的一个实例。

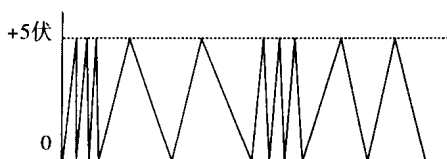


图1-4 表示数据的调频载波

频率调制技术优于振幅调制技术，不易受错误的影响。在高频的无线电传输中得到广泛的使用。载波信号的频率调制也称为频移键控（Frequency-Shift Keying, FSK）。

1.3.3 相移调制

振幅调制和频率调制非常适用于音频信号，但它们至少要用一个完整的周期波来为一个二进制1或0编码。然而，如果想仅仅用一个周期波形来表示多位的数据的话，那么每秒发送的比特数会增加。这种能力可由奈奎斯特定理来描述，在计算机网络中用相移调制来实现。在相移调制中，改变载波的时间来实现编码。一旦发生相移，在一个周期内载波会不断地震荡，然后跳到波形周期一个新的点上。图1-5表示的是有3个相位移动的载波信号。载波信号的相移调制也称为相移键控（Phase-Shift Keying, PSK）。

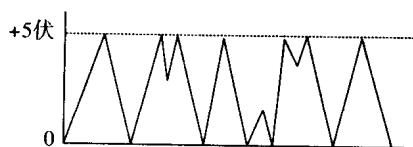


图1-5 载波信号的相移调制

为了在单个周期内为多位信息编码，应计算相移的数目。图1-5中前两个相移数目是一样的，每一个在一个完整周期的一半发生跳变。第三个相移在一个完整周期的3/4内发生跳变。相移调制系统中的相移常常用来表示2的幂值。在一个有8个不同的相位移动的系统，相位编码的比特数是3。用 2^3 表示的十进制8是为相位编码所需3比特的组合数，即000、001、010、011、100、101、110和111。相移调制的最大数据速率是以T、R为基础的（T为相位移动的比特数，R表示每秒信号变化数），最大数据速率是 $2RT$ 。每秒信号变化数R也叫硬件的波特率，每秒传输的比特数是波特率的倍数。

1.3.4 多级信令

幅度、频率和相移调制可以组合使用，形成一种叫多级信令的调制方式。组合不同调制

技术的作用是：允许信号元素表示的比特数更多。最常用的是相移与调幅的组合。在这个组合中，相移能在不同的振幅上发生。

1.3.5 NRZ-L

NRZ-L（不归零电平）编码使用负电压表示二进制 1，用正电压表示二进制 0。图1-6说明了 NRZ-L 编码的一个实例。

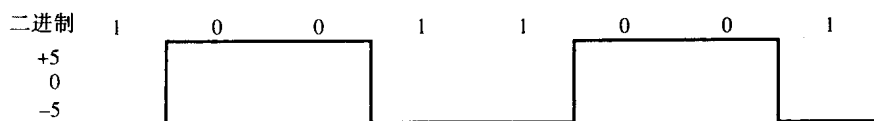


图1-6 表示一个二进制数据的NRZ-L 编码实例

NRZ-L是指电压从不回到零值，在一个比特时间内的电压是一定值。比特时间（bit time）是1比特数据占用的时间。NRZ-L 普遍用在短距离的连接中，例如计算机和外部的调制解调器之间或一个专用终端机到近距离主机的连接。NRZ-L 的问题之一是一长串1或一长串0的传输，信号电压一直要保持正值或负值。这会导致基准电压漂移（baseline wander），使接收者难以正确地解码信息。第二个问题是，发送者和接收者之间要保持同步，信号应该不断发生变化。当有长时间的高或低电压存在时，发送者和接收者的时钟可能开始漂移，以致两个设备可能不再同步。为了避免出现不同步的现象，一个独立的时钟信号可能用另一个信道来发送，但是这会占用宝贵的数据传输空间。为了克服 NRZ-L 的问题，可以使用 NRZI。

注意 在一些参考书目中，NRZ-L定义高或正电压表示二进制 1，低或负电压表示二进制 0。

1.3.6 NRZI

NRZI（不归零反相）方式和NRZ-L方式类似，只是数据编码是根据在比特时间的开始处有无电压跳变来进行的。图 1-7 是 NRZI 编码的一个实例。

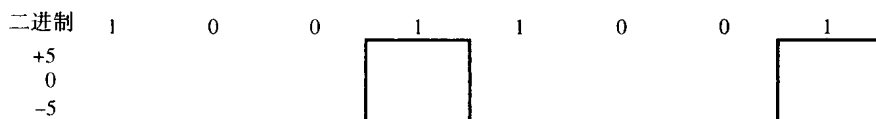


图1-7 NRZI 表示二进制数据实例

当信号从高电压到低电压或从低电压到高电压跳变时，编码为二进制1。若在当前开始的比特时间内的电压与上一个的比特时间内的电压相比没有变化，那么此时编码为二进制0。NRZI数据编码机制是差分编码技术的一个实例。NRZI也可称为“不归零反相”。

在刚刚提及到的振幅和频率调制方式实例中，是用载波信号的变化表示数据，而用振幅和频率值来表示二进制1或二进制0。信息编码也可以用载波信号的变化代替信号的绝对值来完成。一般来说，硬件检测电压值的变化比监测固定值电压更容易。曼彻斯特编码或双相编码使用波形参数变化值对数据编码。