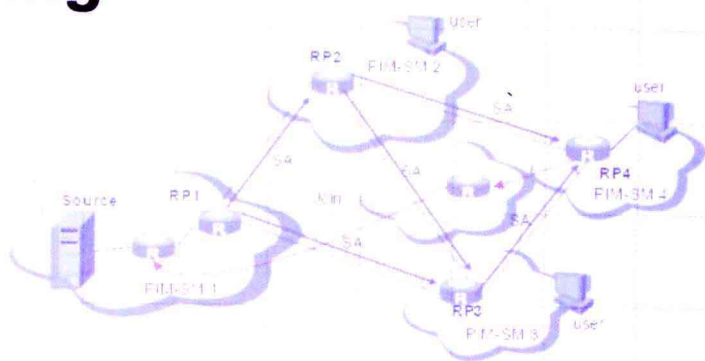


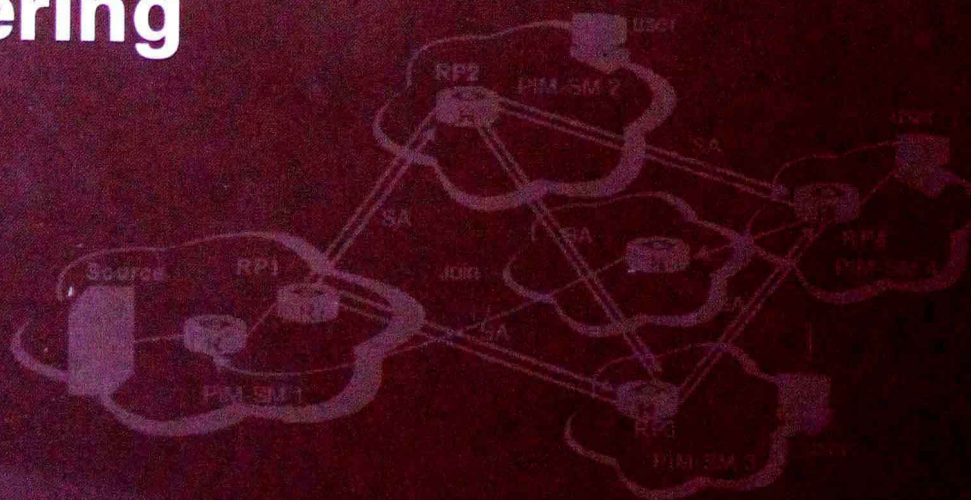
Telemetry and Control Computer Systems Engineering



测控计算机系统工程

Telemetry and Control Computer Systems Engineering

王宗陶 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

测控计算机系统工程

Telemetry and Control Computer Systems Engineering

王宗陶 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书介绍了计算机技术在导弹和航天领域的应用理论与应用实践。全书共分 11 章:第 1 章为概论,界定了测控计算机系统及其组成和特点;第 2 章至第 10 章介绍了测控计算机系统设计是实现相关原理、技术与方法;最后一章总结了测控计算机系统设计实现中应遵循的原则与实施要点。

本书可供从事导弹与航天测控系统建设的测控计算机系统总体设计技术人员和测控软件研制技术人员参考,也可作为有关院校计算机应用专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

测控计算机系统工程/王宗陶编著. —北京:国防工业出版社,2013.6

ISBN 978-7-118-08862-5

I. ①测... II. ①王... III. ①计算机控制系统
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 116043 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)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 17½ 字数 311 千字

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 52.00 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

测控系统是服务于导弹飞行试验、卫星发射与运行以及载人航天工程,实现飞行器跟踪、测量与控制功能的技术系统。测控系统中的计算机系统习惯上称为测控计算机系统。测控计算机系统一般有广义测控计算机系统和狭义测控计算机系统两种理解,广义测控计算机系统包括支持星载、箭载测控设备的计算机系统(一般为嵌入式系统),以及支持地面测控设备、测控站和测控中心的计算机系统;狭义测控计算机系统特指支持地面测控设备、测控站和测控中心的计算机系统。本书未涵盖嵌入式系统的内容,因此,文中所出现的测控计算机系统仅是狭义测控计算机系统的一个子集,也就是说,测控计算机系统在本书中的含义是:测控站和测控中心所使用的非嵌入式计算机系统。

系统工程是组织管理的技术。我国著名科学家钱学森在《组织管理的技术——系统工程》一文中对系统工程的定义是:“把极其复杂的研制对象称为系统,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成具有特定功能的有机整体,而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。……系统工程学则是组织管理这种系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。”

测控计算机系统工程是用系统工程的原理、方法来指导测控计算机系统的论证规划、工程设计、研制开发以及运行维护管理工作的一门工程技术学科。测控计算机系统工程可以看作系统工程的一个分支,或者说是关于系统工程原理在测控计算机领域的应用与实践的一门学科。

本书从工程实践和应用的角度出发,首先对测控计算机系统建设过程中涉及的技术、方法和原理进行了一般性的阐述,最后从系统设计、开发与过程管理的角度,对测控计算机系统建设过程中的技术运用进行了讨论与总结。

由于作者水平有限,加之工作繁忙,时间仓促,错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

2013年3月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 测控系统与测控计算机	1
1.2 测控计算机系统的组成	2
1.3 测控计算机系统的特点	3
第 2 章 计算机体系结构	5
2.1 计算机系统的功能和结构	5
2.1.1 计算机系统的层次结构	5
2.1.2 计算机系统结构的定义	7
2.1.3 计算机系统结构的分类	7
2.2 计算机性能评价	10
2.2.1 CPU 的速度	10
2.2.2 系统运行速度	11
2.3 流水线技术	15
2.3.1 流水线的概念	15
2.3.2 流水线的种类	15
2.4 先行控制技术	16
2.5 指令系统设计风格	18
2.5.1 CISC 的设计思想	19
2.5.2 RISC 设计思想的产生	19
2.5.3 RISC 设计风格的特点	20
2.6 总线结构	21
2.6.1 总线的分类	22
2.6.2 总线通信方式	22
2.6.3 总线仲裁	26
2.7 计算机系统中的并行性	27
2.7.1 并行性的概念	27
2.7.2 单机系统中并行处理的发展	28

2.7.3	多机系统中并行处理的发展	30
2.7.4	并行程序设计模型	32
2.8	多处理机系统	33
2.8.1	多处理机的结构	34
2.8.2	多处理机系统的特点	37
2.8.3	多处理机系统中的 Cache 一致性问题	38
2.8.4	多处理机的互连网络	39
2.8.5	多处理机的程序并行性分析	40
2.8.6	多处理机的并行程序设计语言	41
2.9	集群系统	41
2.9.1	集群系统的特点	42
2.9.2	集群系统通信技术	43
2.9.3	集群系统并行政程序的设计环境	45
2.9.4	集群系统中的负载平衡	47
2.9.5	实现负载平衡的主要技术因素	48
第 3 章	计算机操作系统	50
3.1	操作系统的主要功能	50
3.1.1	处理机管理功能	50
3.1.2	存储器管理功能	51
3.1.3	设备管理功能	53
3.1.4	文件管理功能	54
3.1.5	用户接口	55
3.2	操作系统结构	56
3.3	进程管理	57
3.3.1	进程的基本概念	57
3.3.2	进程控制与调度	58
3.3.3	进程同步	59
3.3.4	进程通信	60
3.4	实时调度	61
3.5	死锁的产生条件与处理方法	62
3.6	多处理机操作系统	63
3.7	网络操作系统	64
3.8	分布式操作系统	65

第4章 计算机网络技术	67
4.1 网络技术基础	67
4.1.1 计算机网络的概念	67
4.1.2 协议分层、接口与服务	67
4.1.3 面向连接的服务和无连接的服务	69
4.1.4 服务原语	71
4.1.5 服务与协议的关系	73
4.1.6 流量控制	73
4.1.7 拥塞控制	74
4.2 参考模型	77
4.2.1 OSI 参考模型	77
4.2.2 TCP/IP 参考模型	82
4.3 局域网交换技术	100
4.3.1 三层交换技术	100
4.3.2 VLAN	101
4.3.3 VLAN 中继协议	102
4.3.4 VTP 协议	103
4.3.5 生成树协议	103
4.3.6 HSRP 和 VRRP	106
4.3.7 PIM 协议	107
4.3.8 IGMP	109
4.3.9 IGMP Snooping	110
4.3.10 MSDP	111
4.3.11 Anycast RP	111
第5章 网络管理技术	114
5.1 网络管理功能概述	114
5.1.1 故障管理	115
5.1.2 配置管理	115
5.1.3 性能管理	116
5.1.4 计费管理	116
5.1.5 安全管理	116
5.2 网络管理体系结构	116
5.2.1 管理者/代理模型	116

5.2.2	网络管理协议	117
5.2.3	管理信息模型	118
5.2.4	SNMP	120
5.2.5	CMIS/CMIP	121
5.2.6	CMOT	122
第 6 章	软件体系结构	124
6.1	软件体系结构的定义	124
6.2	软件体系结构描述方法	125
6.3	软件体系结构建模	126
6.3.1	软件体系结构模型	126
6.3.2	软件体系结构建模概述	127
6.3.3	“4 + 1”视图模型	127
6.4	软件体系结构风格	129
6.4.1	软件体系结构风格概述	129
6.4.2	经典软件体系结构风格	130
6.4.3	客户/服务器风格	133
6.4.4	三层 C/S 结构风格	133
6.4.5	浏览器/服务器风格	135
6.4.6	正交软件体系结构	136
6.4.7	MVC 风格	137
6.5	UML	139
6.5.1	用例和用例图	141
6.5.2	状态图	144
6.5.3	活动图	146
6.5.4	顺序图和协作图	148
6.5.5	类图与对象图	150
第 7 章	软件复用与组件技术	157
7.1	软件复用概念	157
7.2	组件技术	158
7.3	基于组件的软件开发	159
7.4	主要组件模型	161
7.4.1	COM /DCOM	161
7.4.2	EJB	163

7.4.3	CORBA	165
7.4.4	组件模型比较	167
第 8 章	软件可靠性设计与评估技术	169
8.1	软件可靠性基础	169
8.1.1	软件可靠性的基本概念	169
8.1.2	软件可靠性的特点及其与硬件可靠性的区别	171
8.1.3	软件可靠性模型的作用及意义	173
8.2	软件可靠性模型	175
8.2.1	Jelinski - Moranda 模型	175
8.2.2	G - O 非齐次泊松过程模型	176
8.2.3	Musa 执行时间模型	178
8.2.4	Littlewood - Verrall 模型	180
8.2.5	Seeding 模型	181
8.2.6	Nelson 模型	181
8.3	软件可靠性分配	182
8.3.1	软件可靠性快速分配方法	183
8.3.2	可靠性分配的一般方法	185
8.4	软件可靠性评估	190
8.4.1	软件可靠性增长测试	190
8.4.2	软件可靠性度量	190
第 9 章	软件工程与软件质量管理	192
9.1	软件的基本特征	192
9.2	软件工程	193
9.2.1	软件工程的过程、方法和工具	194
9.2.2	软件工程的一般视图	195
9.2.3	软件工程原理	196
9.3	软件工程范型	198
9.3.1	线性顺序模型	199
9.3.2	原型实现模型	200
9.3.3	RAD 模型	201
9.3.4	演化软件过程模型	202
9.4	软件质量管理	208
9.4.1	软件质量	208

9.4.2	质量管理思想	210
9.4.3	质量管理体系	211
9.4.4	软件质量策划	212
9.4.5	软件质量控制与保证	214
9.4.6	软件质量的度量和验证	215
9.4.7	软件质量改进	216
9.4.8	软件能力成熟度模型	217
9.4.9	ISO 9000 和 CMM 的关系	220
9.4.10	软件组织如何建立质量管理体系	222
9.5	软件配置管理	225
9.5.1	软件配置项	225
9.5.2	基线	226
9.5.3	SCM 过程	226
9.5.4	软件配置中对象的标识	226
9.5.5	版本控制	227
9.5.6	变更控制	228
9.5.7	配置审核	228
9.5.8	配置状态报告	229
第 10 章	软件测试技术	230
10.1	软件测试基础	230
10.1.1	测试目标	230
10.1.2	测试原则	231
10.1.3	可测试性	231
10.2	软件测试策略	232
10.2.1	单元测试	235
10.2.2	集成测试	236
10.2.3	确认测试	238
10.2.4	系统测试	238
10.3	软件测试方法	240
10.3.1	测试与调试	240
10.3.2	白盒测试	240
10.3.3	黑盒测试	243

第 11 章 测控计算机系统设计	248
11.1 测控计算机系统设计任务综述	248
11.2 测控计算机系统任务要求分析	249
11.3 测控计算机系统结构设计	249
11.4 通用计算机选型	250
11.4.1 计算机硬件选型	251
11.4.2 操作系统选型	251
11.4.3 操作系统实时性分析	253
11.5 网络系统设计	256
11.5.1 分层网络设计	256
11.5.2 VLAN 划分	257
11.5.3 生成树协议的使用	257
11.5.4 路由冗余的规划	258
11.5.5 组播协议配置	258
11.6 测控计算机系统的中间件设计	259
11.6.1 双机管理中间件设计	260
11.6.2 多机管理中间件设计	261
11.6.3 消息中间件设计	261
11.7 测控软件体系结构设计	263
11.7.1 测控软件体系结构设计的重要性	263
11.7.2 测控软件体系结构设计的原则	264
11.7.3 组件技术的应用	267
参考文献	269

第 1 章 概 论

1.1 测控系统与测控计算机

测控系统是服务于导弹飞行试验、卫星发射与运行以及载人航天工程,实现飞行器跟踪、测量与控制功能的技术系统。典型测控系统组成示意图如图 1-1 所示。

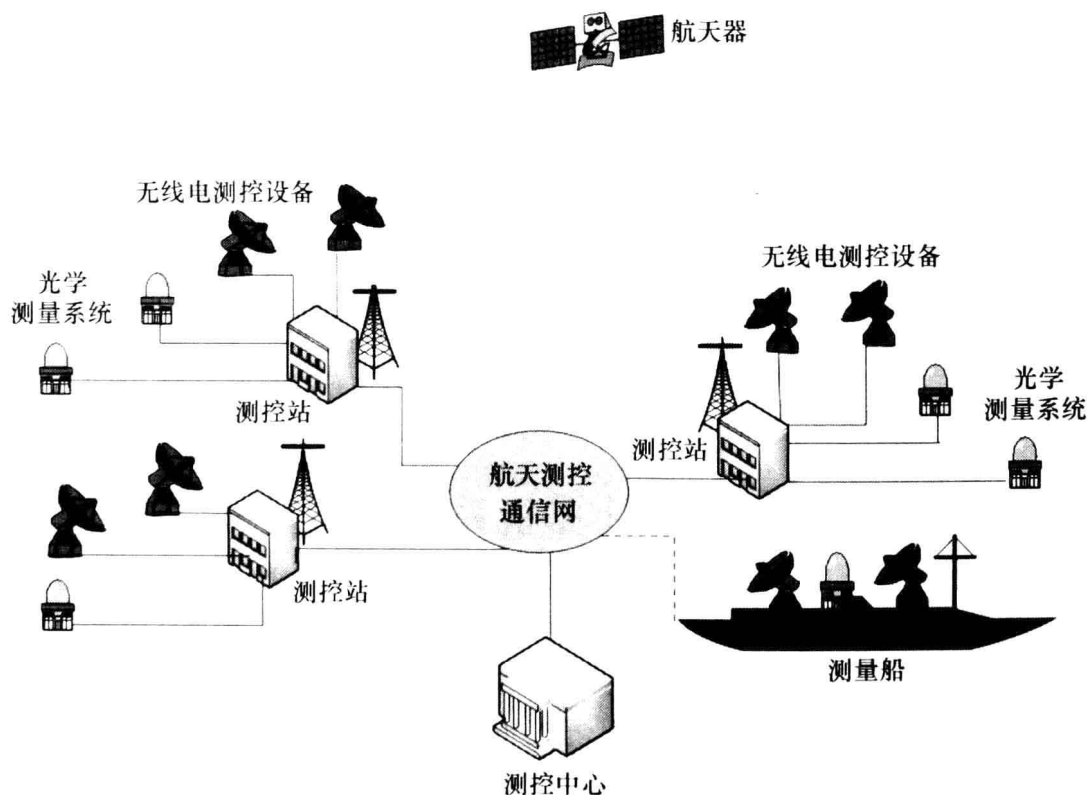


图 1-1 典型测控系统组成示意图

组成测控系统的基本单元为测控设备,测控设备包括光学测量设备、无线电外测设备、遥测设备和遥控设备。其中,光学测量设备和无线电外测设备用于获取弹、箭、航天器的弹(轨)道参数和物理特性参数,拍摄和记录导弹、运载火箭的飞行状态(含姿态)图像;遥测设备主要用于获取飞行器的工作状态参数和环境数据,有些飞行器载仪器的测量数据也可通过遥测链路下传;遥控设备用于导

弹、运载火箭发射时的安全控制和航天器的轨道控制、姿态控制及航天器所搭载仪器设备的工作状态控制,或向航天器控制计算机注入数据。

在测控系统中,计算机是无处不在、不可或缺的。首先,对于测控设备而言,计算机尤其是微型计算机(微机)或嵌入式计算机已经成为测控设备的一个组成部分。目前,测控设备中的终端机(如测量雷达的终端机和遥控设备的控制系统)采用微机作为逻辑部件已成为系统设计的惯例。其次,对于测控站(包括地面测控站、船载测控站、机载测控站和车载测控站)和测控中心(包括任务控制中心和发射控制中心)而言,计算机可以看作是其大脑和中枢神经。

综上所述,计算机系统是测控系统中信息获取、汇聚、处理分析和实施指挥控制的基础单元,是测控系统的粘合剂、效能倍增剂和中枢神经。习惯上将服务于导弹、航天器飞行试验任务测控的计算机系统称为测控计算机。

测控计算机系统可分为三类。第一类为中心计算机系统,主要包括发射指挥控制中心计算机系统、任务操作控制中心计算机系统;第二类为测控站计算机系统,主要包括地面测控站计算机系统、船载测控站计算机系统、机载测控站计算机系统和车载测控站计算机系统;第三类为测控设备计算机,主要指作为测控设备一部分的微机、单板机、单片机等计算机。虽然测控设备中的计算机正在由嵌入式计算机、独立单机向网络化的分布式计算机系统演变,但计算机对于测控设备而言毕竟仅是一个组成部分而不是全部,计算机需实现的功能也因测控设备的不同而差异很大。为了叙述方便,本书中的测控计算机系统一般指中心计算机系统或测控站计算机系统。

1.2 测控计算机系统的组成

从物理角度来看,测控计算机系统是采用网络互连设备将担负不同任务的独立计算机连接在一起、协同完成测控任务的系统;从逻辑上看,测控计算机系统是由不同功能的子系统组成的系统,因此,也称测控计算机系统为功能分布式系统。在功能分布的意义上,典型的测控计算机系统通常由网络交换子系统、数据收发子系统、数据处理子系统、数据存储子系统等组成。

网络交换子系统一般由千兆核心交换机、汇聚层交换机和接入层交换机等网络设备组成,用于构建测控计算机系统内部的传输平台,是测控计算机系统内部各子系统进行信息交换的枢纽。

数据收发子系统是测控计算机系统对外(与测控网内其他测控计算机系统或国际连网计算机系统)进行信息交换的枢纽。一般由配置有广域网接口卡(对外)和局域网接口卡(对内)的通用计算机系统和相应的数据收发软件共同

实现数据收发功能。

数据处理子系统是测控计算机系统中最主要的子系统,其主要功能是利用数学模型对各种测量信息进行处理(如轨道计算和遥测参数处理等),对计算结果进行输出、存储,进行遥控发令等。数据处理子系统通常由数量不等的(依据处理能力要求而定)、形成双机功能热备份的双机系统组成,在实时性要求不高的情况下,也可由数量不等的通用计算机形成动态备份的多机系统。

数据存储子系统主要功能是保存数据,为各类用户和软件提供信息存储、浏览、读取、备份等服务。它通常由两台存储服务器和一台磁盘阵列所组成,再配置相应的数据系统以构成信息的存储服务 and WEB 服务等。

1.3 测控计算机系统的特点

测控计算机系统是通用计算机组成的系统,具有以下特点:

(1) 测控计算机系统是测控系统的大脑和中枢神经。从组成上看,由分布于不同地理位置的若干测控设备(如外测设备和遥测遥控设备)和若干测控计算机系统(测站计算机系统和中心计算机系统)通过广域通信网互连就组成了测控系统。从信息处理的角度来看,测控设备(通过合作方式或非合作探测方式)获取飞行器的弹(轨)道参数和工作参数并传给测控站计算机系统。测控站计算机系统对参数或状态进行初步的信息择优和信息融合后,将信息汇集到中心计算机系统。中心计算机系统完成外测、遥测数据综合处理,计算飞行器的飞行参数和各种控制量,并产生相应的遥控指令和上行注入数据。最后,遥控指令和上行注入通过遥控设备发往飞行器,从而形成一个信息获取、实时处理、实时控制的闭合回路。

(2) 测控计算机系统是功能分布式系统。在测控计算机系统的组成中提到,典型的测控计算机系统通常由网络交换子系统、数据收发子系统、数据处理子系统、数据存储子系统等组成。这些子系统除网络交换子系统是由不同类型的交换机构成外,其余子系统都是由不同数量的通用计算机组成。各子系统具有不同的功能,具有独立性和自治性,在统一的测控计算机软件的调度下合作,完成测控信息的处理、决策分析和控制回馈任务。

(3) 测控计算机系统是强实时系统。实时性是指在限定的时间内完成规定的功能,并能够对外来的异步事件做出正确响应的能力。实时性的基本衡量指标是对事件的响应和处理时间。一般来说,测控计算机系统的强实时性要求体现在两个方面:首先,要求在几十毫秒或更短时间内对事件做出反应;其次,绝对不允许系统错过事件处理时限,因为这可能导致严重甚至灾难性后果的发生。

在导弹和航天器发射的主动段,目标运动速度可达几公里每秒,为了及时进行安全判决和控制,并及时为航区测控站提供引导信息,要求整个测控系统以 50ms 为基本运行周期。这意味着测控系统中的测控计算机系统在收到测量数据后必须在一定的时限内,进行综合处理,完成弹道计算,提供显示信息,帮助安全判决,发出控制命令,引导测控设备并对测控、通信设备工作状态进行连续监视。因此,测控计算机系统在时间同步、事件响应、优先任务抢占调度能力方面一般要达到毫秒级,主频达到典型处理周期不超过 50ms 的标准。

(4) 测控计算机系统是高可靠系统。测控计算机系统是测控网的中枢神经,一旦测控计算机系统出现故障,将导致不可挽回的严重后果。一般来说,测控计算机系统的 MTBF 应高出本级测控系统 MTBF 要求的数倍。测控计算机系统中,在通用计算机单机可靠性的基础上,要采用双机(多机)容错技术(如双工热备份、多机备份)进一步提高系统的可靠性。

第 2 章 计算机体系结构

2.1 计算机系统的功能和结构

2.1.1 计算机系统的层次结构

计算机系统由硬件和软件组成,二者是不可分割的整体。硬件是计算机系统中的实际装置,是系统的基础和核心,一般由 CPU、MEM、I/O 接口、BUS 和外部设备等组成。软件指的是操作系统、汇编程序、编译程序、文本编辑程序、调试程序、数据库管理系统、文字处理系统、诊断程序以及各种应用程序等。

计算机语言是用以描述控制流程的、有一定规则的字符集合。计算机系统中使用的语言概念已经超出了软件的范畴,有了更广义的含义。例如,微指令是机器内部最基础的一级语言;机器指令称为机器语言,是面向用户的最基础一级的语言;操作系统提供的命令从应用角度来看,也可以视为提供给用户使用的某种“语言”,用以建立用户的应用环境;符号化的机器指令(包括功能扩充的宏汇编)称为汇编语言;再上一级就是用户通用的高级语言;各种应用领域还有适合自己专用的语言。基于对语言广义的理解,可以把计算机系统看作是由多级虚拟计算机所组成的,如图 2-1 所示。每一层次都是一个虚拟计算机,虚拟计算机指这个计算机只对观察者而存在,它的功能体现在广义语言上,对该语言提供解释手段,然后作用在信息处理或控制对象上,并从对象上获得必要的状态信息。对某一层次的观察者而言,只能是通过该层次的语言来了解和使用计算机,至于内层如何工作和实现功能就不必关心了。简而言之,虚拟计算机即是由软件实现的机器。

第 0 级机器由硬件实现(图 2-1 中未表示),第 1 级机器由微程序(固件)实现,第 2 级至第 6 级机器由软件实现。称由软件实现的机器为虚拟机器,以区别于由硬件或固件实现的实际机器。

第 0 级和第 1 级是具体实现机器指定功能的中央控制部分。它根据各种指令操作所需要的控制时序,配备一套微指令,控制信息在各寄存器之间的传送。实现这些微指令本身的控制时序只需要很少的逻辑线路,可采用硬联逻辑实现。

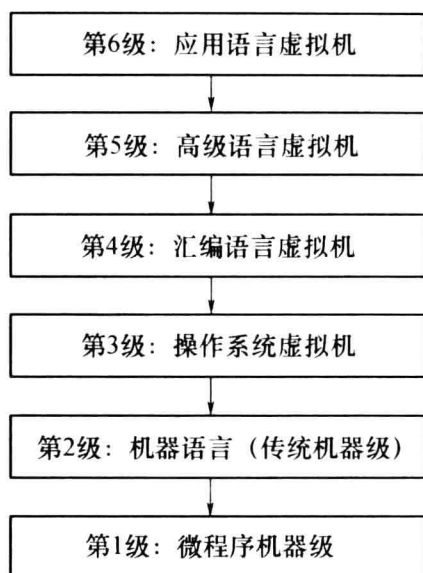


图 2-1 计算机系统层次结构

第 2 级是传统机器语言机器。这级的机器语言是该机的指令系统。用这级指令系统编写的程序由第 1 级的微程序进行解释。

第 3 级是操作系统机器。这级的机器语言中的多数指令是传统机器的指令，如算术运算、逻辑运算和移位等指令。此外，这一级还提供操作系统级指令，如打开文件、读/写文件、关闭文件等指令。用这一级语言编写的程序，传统机器指令直接由微程序实现，操作系统级指令部分由操作系统进行解释。

第 4 级是汇编语言机器。这级的机器语言是汇编语言。用汇编语言编写的程序首先翻译成第 3 级或第 2 级语言，然后再由相应的机器进行解释。完成翻译的程序称为汇编程序。

第 5 级是高级语言机器。这级的机器语言就是各种高级语言。用这些语言所编写的程序一般是由编译程序翻译到第 4 级或第 3 级上的语言，个别的高级语言也用解释的方法实现。

第 6 级是应用语言机器。这级的机器语言是应用语言。这种语言使非计算机专业人员也能直接使用计算机，只需在用户终端用键盘或其他方式发出服务请求就能进入第 6 级的信息处理系统。

总之，要把计算机系统当作一个整体。它既包含硬件，也包含软件，软件和硬件在逻辑功能上是等效的，即某些操作由软件（也可以由硬件）实现，反之亦然。故软、硬件之间没有固定不变的分界面，主要受实际需要及系统性能价格比所支配。例如，第 1 级为物理机（硬件）与虚拟机（软件）界面。一般而言，从用户来看，机器的速度、可靠性、可维护性是主要的硬件技术指标。具有相同功能的计算机系统，其软件、硬件之间的功能分配可以有很大差异。随着组成计算机