

孟庆余 著

电子数字计算机实时操作系统

国防工业出版社

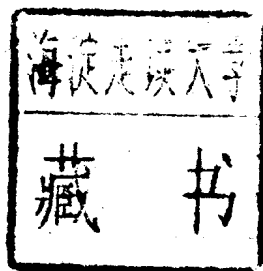
0.2

/1

1167/1

电子数字计算机实时操作系统

孟庆余 著



国防工业出版社
0020859

内 容 简 介

本书较详细而又具体地介绍了实时操作系统的特点及其设计和实现中的关键技术。它是在丰富实践经验的基础上从理论上加以综合而成的。

本书共分八章，其内容为：实时操作系统概论，实时操作系统的需求分析，实时操作系统的硬件环境，实时操作系统的总体设计，实时操作系统的内核，实时操作系统的系统任务、作业控制语句，实时应用软件的开发。其中，二、四、五、六、七章是本书的主体，它们各有特点和独到之处。

本书既可供从事实时操作系统研究的科技人员、高等院校的教师参考，又可作为研究生、高年级本科生有关课程的教材或参考书。

JS401/18

电子数字计算机实时操作系统

diànzǐ shùzì jìsuànjī shíshí

cāozuò xìtǒng

孟庆余 著

责任编辑 周烈强

*

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 100044)

新华书店经售

北京昌平长城印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张11¹/₈ 285千字

1991年7月第1版 1991年7月北京第一次印刷 印数：0001-4 000册

ISBN 7-118-00806-0/TP·106

定价：9.80元

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分，又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展，加强社会主义物质文明和精神文明建设，培养优秀科技人才，确保国防科技优秀图书的出版，国防科工委于1988年初决定每年拨出专款，设立国防科技图书出版基金，成立评审委员会，扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是

1. 学术水平高，内容有创见，在学科上居领先地位的基础科学理论图书；在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖，内容明确、具体、有突出创见，对国防科技发展具有较大推动作用的专著；密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值，密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。

4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作，职责是：负责掌握出版基金的使用方向，评审受理的图书选题，决定资助的图书选题和资助金额，以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书，由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就，积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下，国防科工委率先设立出版基金，扶持出版科技图书，这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版，随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物，是对出版工作的一项改革。因而，评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进，这样，才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授，以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来，为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗！

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金

第一届评审委员会组成人员

主任委员：邓佑生

副主任委员：金朱德 太史瑞

委员：尤子平 朵英贤 刘琯德
(按姓氏笔画排列)

何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫梧生

曾 铎

秘 书 长：刘琯德

序 言

实时操作系统是操作系统的一个重要分支，是实时控制计算机软、硬件系统的核心。它随着实时控制计算机系统软件的形成而诞生，随着实时控制系统要求的提高而发展。以数字计算机为中心的实时控制系统，已经在工业、交通、能源、银行、科学研究和科学试验、国防等各个领域发挥了极其重要的作用。

实时操作系统的研制工作，我国开始较早，60年代末就有简单的实时操作系统研制成功；70年代末、80年代初，功能比较强的多任务实时操作系统就已投入运行，并支持了一些国家级试验任务的完成。

近年来，我国进口了一些先进的计算机系统，其中包括与之配套的操作系统。这些操作系统大多数是通用的（或商用的），个别的虽有实时功能，但往往不能完全满足实时控制的需要。为此，需将通用的操作系统加以补充或改造，使之具有某些实时特点，才能成为满足实时任务需要的实时操作系统。其实，国外也不乏这样的实例。

我国是一个大国，在计算机软件方面一定要走出自己的道路，要有自己独立版权的实时操作系统。我们自己研制的实时操作系统应该是一个可剪裁的专用和通用相结合的系统，与已有软件相容性好且能有效地支持网络和汉字。此外，还要重视对下一代实时操作系统的预研。我相信，只要我们重视人材、集中精力研究和发展的，在实时操作系统的研究方面一定能赶上国际先进水平。

本书作者孟庆余教授在近30年的时间内先后参与研制了441-B I、I、II型计算机，151-I、II、III、IV型计算机，银河-I亿次计算机。孟教授亲自主持了151-III/IV型机的多机实时操作

系统(GX73)和银河-I亿次机操作系统(YHOS)的研制工作;另外,还研制了一些实时控制计算机的专用实时操作系统。这些操作系统在不同的工作环境下都分别经历了长期运行的考验。实践表明这些操作系统的研制工作都是成功的。

本书从理论与实践两个方面系统地总结了我们自己研制操作系统特别是实时操作系统的经验,其中有他本人在理论方面的创造,也有集体的智慧和成就,因此很有参考价值。类似的著作在国内尚不多见。可以期望,本书的出版将对我国实时操作系统的发展起一定的推动作用。

慈云桂 1989年12月1日

前 言

20多年来,我一直从事计算机操作系统的研制工作,很想总结一下操作系统特别是实时操作系统的研制经验和体会。1980年之后,连续几次重大的实时控制任务成功地完成了,这就从客观上检验了我们的工作,肯定了我们的系统。在操作系统的研制过程中,虽然也借鉴了一些国外的经验,但更重要的是,从理论基础研究、结构设计、功能设计,一直到工程实现,这条路是我们自己一步步走出来的。在这个过程中,既有成功经验,又有不少挫折和教训。正是这些挫折和教训培养了我们,使我们的认识不断深化。我现在把系统的成功之处记载下来,供从事这方面研究工作的人员参考;同时把研制过程中的挫折和教训也记载下来,使同行们在研究工作中少走弯路。研究书本知识固然重要,通过自己几十年如一日的劳动换来的知识更具有实用性,更应不断地总结和提高。以上就是写这本书的动机。

实时控制是计算机应用的一个重要方面。近几年来,随着国民经济和科学研究的发展,在工业部门、航天航空部门以及军事部门,对实时控制计算机的需求都在不断地增长。由于计算机的硬件基础愈来愈好,性能/价格比日益提高,可靠性问题已经解决或基本解决,所以,对软件的要求愈来愈高,对实时操作系统需求的呼声也愈来愈强烈。

本书的中心内容是介绍实时操作系统的特征及其设计与实现方法,既描述它的软、硬件环境,又侧重研究它的功能特点和性能特点、结构设计、功能分布、内核以及各系统任务的实现要点等。由于实时操作系统是操作系统的一个分支,它们之间有比较紧密的关系,因此在一些章节中,描述实时操作系统的同时,也附带介绍了通用操作系统的有关内容。编写时,对各章节采用由

上而下，由总体要求到具体实现技术，由内层到外层的逐步展开方法。

本书所用材料，除很少一部分引自国内、外的文献外，绝大部分是包括作者本人在内的集体科研成果。这些成果有的在学术会议上以论文的形式报告过，有的在方案审定会或成果鉴定会上以各种形式汇报过，也出版过一些专题性的文章和用户手册，但未系统成书。我写的这本书，当然不是科研成果的直接说明，所以在内容上要展开一些，理论抽象所覆盖的面要宽一些。我想对内容做这样的取舍和处理是必要的。

1989年国防科工委发行了一部电视片《祖国不会忘记》，虽然我们20多年的工作在其中只有几分钟的镜头，但我感到很欣慰，因为它与全国人民的大事业紧密地联系在一起。我们研制操作系统的这个集体到现在为止已换了几代人，虽然不少同志已天各一方，但都怀念着我们共同奋斗的岁月，让这本书作为我们共同工作的纪念吧！

我们的一切研究工作，都是在学部委员慈云桂教授的领导和指导下完成的。本书的出版得到了各级首长、机关和很多同志的关心和帮助。北京理工大学计算机系副主任彭一苇教授仔细地阅读了全稿并提出了很多宝贵意见；国防科工委指挥技术学院王重霄副教授等帮助做了文字整理工作。作者在此一并表示感谢。

由于本人知识的深度和广度有限，从事研究和实践工作的面也很有限，书中可能有提法不妥和论述不充分之处，望读者指正。

孟庆余于北京怀柔国防科工委
指挥技术学院计算机系

1989年9月30日

目 录

第一章 实时操作系统概论	1
1.1 实时操作系统	1
1.2 实时操作系统的环境	6
1.3 实时操作系统的特点和分类	15
1.4 卫星地面站实时操作系统简介	18
第二章 实时操作系统的需求分析	24
2.1 时间管理	25
2.2 输入/输出操作	30
2.3 特殊设备的管理	35
2.4 实时任务的分类	36
2.5 实时任务的调度	41
2.6 任务的驱动方式	45
2.7 任务间的通信	49
2.8 任务间的同步方式	54
2.9 信息的接收与发送	58
2.10 实时程序常驻内存	61
2.11 实时操作系统的性能需求	62
第三章 实时操作系统的硬件环境	67
3.1 计算机系统	67
3.1.1 集中式系统	67
3.1.2 多机复合系统	69
3.1.3 分布式系统	70
3.1.4 计算机网络	73
3.2 系统性能	75
3.3 计算机系统的内部处理能力	77
3.4 计时系统	84

3.4.1	计算机内部的计时方法	84
3.4.2	统一时间系统	85
3.4.3	间隔时钟	87
3.4.4	时间比对	88
3.4.5	状态控制	89
3.5	输入/输出接口	90
3.5.1	通道类型和工作方式	90
3.5.2	同步通道接口	91
3.5.3	异步通道接口	93
3.5.4	通用通道接口	95
第四章	实时操作系统的总体设计	98
4.1	实时操作系统的结构设计	98
4.1.1	实时操作系统的结构	98
4.1.2	各层分工	101
4.1.3	层次间的通信	103
4.2	实时操作系统的功能设计	105
4.2.1	内核	105
4.2.2	系统任务	107
4.2.3	控制语句处理程序和用户程序	109
4.3	系统任务之间的通信	110
4.3.1	信息结构	110
4.3.2	任务间通信功能设计	113
4.3.3	通信操作	117
4.3.4	运行条件	121
4.4	数据集的结构	121
4.4.1	分块格式	122
4.4.2	不分块格式	125
4.5	系统任务的公共子程序	126
4.5.1	任务的逻辑 I/O 子程序 (TIO)	126
4.5.2	循环 I/O 子程序 (CIO)	130
第五章	实时操作系统的内核	135
5.1	中断	135

5.1.1 中断和异常	135
5.1.2 中断响应	136
5.1.3 多处理机系统中的中断响应	143
5.1.4 中断延迟及其控制	143
5.2 中断的分级	144
5.2.1 中断分级	145
5.2.2 同级中断的优先次序	146
5.3 内核的组成	147
5.3.1 内核的组成	147
5.3.2 中断的分析和控制	150
5.3.3 中断处理	151
5.3.4 通道处理程序	152
5.3.5 任务调度	154
5.3.6 系统请求	155
5.3.7 外围驱动	164
5.3.8 磁盘驱动	165
5.3.9 专用外部设备的管理	170
5.3.10 时间管理	172
5.4 内核的安全	173
第六章 实时操作系统的系统任务	175
6.1 作业调度任务	175
6.1.1 作业管理概述	175
6.1.2 JSH的调度策略	178
6.1.3 系统的调整	193
6.1.4 实时作业的调度策略	196
6.1.5 内存管理	199
6.1.6 作业的状态及其变化	201
6.1.7 JSH和其他系统任务的界面	205
6.1.8 通信请求处理	207
6.2 换道处理任务	212
6.2.1 概述	212
6.2.2 作业调度任务对EXP的请求	215

6.2.3	用户作业的正常出口	216
6.2.4	用户作业的错误出口	224
6.2.5	EXP与其他系统任务的界面	225
6.3	磁盘管理任务	226
6.3.1	概述	226
6.3.2	磁盘空间的分配与去分配	232
6.3.3	I/O排队管理	233
6.3.4	设备管理	234
6.3.5	DQM对内核的请求和内核的回答	235
6.3.6	其他系统任务对DQM的通信请求	236
6.3.7	磁盘访问的优化	237
6.4	外围机管理任务	240
6.4.1	概述	240
6.4.2	信息传输和信息流	243
6.4.3	信件功能码及其含义	246
6.4.4	流控制字	256
6.4.5	SCP对信息流的处理	262
6.4.6	SCP与其他系统任务的界面	264
6.5	记录管理任务	266
6.5.1	概述	266
6.5.2	系统任务的请求和回答	267
6.5.3	系统记录格式	268
6.6	数据集管理任务	270
6.6.1	概述	270
6.6.2	数据集目录表	272
6.6.3	数据集管理任务的主要功能	276
6.6.4	任务执行的主循环	277
6.7	信息接收和发送任务	280
6.7.1	概述	280
6.7.2	基本功能	281
6.7.3	输入/输出缓冲区	281
6.7.4	信息的加工	285
6.7.5	信息的通信	287

6.7.6 监督设备的工作状态	288
第七章 作业控制语句	290
7.1 作业控制语句	290
7.1.1 作业控制语句的类型	290
7.1.2 系统数据集动词	292
7.1.3 系统的其他支持软件	292
7.1.4 作业步的概念	293
7.2 控制语句的分解	293
7.3 操作原理	295
7.3.1 CSP的装入过程	295
7.3.2 入口和出口条件	295
7.3.3 作业开始运行	296
7.3.4 分解语句	296
7.3.5 处理语句	296
7.3.6 推进作业步	297
7.3.7 错误出口处理	297
7.3.8 结束作业	298
7.4 CSP的执行过程	298
7.4.1 正常执行过程	298
7.4.2 错误处理过程	299
第八章 实时应用软件的开发	300
8.1 概述	300
8.2 系统生存期和软件开发周期	301
8.2.1 定义	301
8.2.2 自顶向下的设计方法	307
8.2.3 结构化程序设计	308
8.3 输入数据的预处理	322
8.3.1 数据合理性的检验	323
8.3.2 量纲的转换和统一	324
8.3.3 数据的分类与记录	325
8.3.4 实时报警	326
8.4 几种常用的数据处理方法	326

XIV

8.4.1 在时间域内进行研究的—般方法	326
8.4.2 最佳拟合准则	327
8.4.3 控制算法	328
8.4.4 两个简单的数据平滑方法	330
8.5 对计算方法选取的要求	331
8.5.1 有限次数的运算	331
8.5.2 没有奇异点	333
8.6 对虚拟存储和ROLL-IN/ROLL-OUT的讨论	335
8.6.1 关于虚拟存储的讨论	335
8.6.2 关于ROLL-IN/ROLL-OUT的讨论	337
8.7 好程序的标准	338
参考文献	339

第一章 实时操作系统概论

1.1 实时操作系统

一、实时操作系统的概念

实时操作系统RTOS(Real-Time Operating System)是操作系统的一个重要分支。因之,从学科划分上,它应隶属于操作系统的研究范畴。实时操作系统与通用操作系统有共同的一面,但在功能、性能、安全保密及环境适应能力等方面,还有其独特的一面。

操作系统是使用计算机的人和计算机硬件之间的桥梁(或者称之为“界面”)。它为用户和用户程序提供了一个工作环境。操作系统的作用概括起来有两条:一是方便用户,二是提高计算机的工作效率。

1. 操作系统

操作系统是计算机系统的一个重要组成部分。任何一个计算机系统主要由四部分组成:计算机硬件,操作系统(系统软件),应用软件,用户及用户程序。计算机硬件提供了最基本的计算机系统资源;应用软件则面向某个方面的具体应用,利用计算机资源解决用户的实际问题;操作系统则控制各个用户程序或应用软件的运行,并协调计算机资源的分配和使用。

研究操作系统的第一种观点是资源管理的观点。这种观点认为,操作系统的主要任务是对计算机的系统资源[●]进行管理,如资源的分配、回收(去分配)、调度、输入/输出控制和数据管理等。操作系统将各种计算机系统资源分配给用户程序或与诸用户

● 计算机系统资源主要包括:CPU时间,内存空间,文件及信息,输入/输出(I/O)设备及通道等。

有关的各个任务。由于系统资源是有限的，因而会引起各用户程序对资源的竞争。操作系统要解决这一竞争中出现的矛盾，以尽量提高整个计算机系统资源的使用效率。

研究操作系统的第二种观点是控制的观点。这种观点认为，操作系统的主要任务是对用户程序及与用户有关的各个任务进行控制，对I/O设备及通道进行控制，对CPU进行控制，甚至对计算机系统本身的某些状态或部件进行控制等等。所以，有些操作系统又称之为控制程序 (control program)，CP/M^①就是一例。

从目前来看，操作系统尚属计算机系统软件的范畴，但从发展来看，它有硬化的趋势。有的可以将全部操作系统固化在集成电路中，软、硬件结合形成一种“固件”；有的可以将操作系统的大部分或一部分功能用硬件实现。

2. 实时操作系统

实时是指物理进程发生的真实时间。实时操作系统是指具有实时特性、能支持实时控制系统工作的操作系统，它可将系统中各种设备有机地联系在一起并控制它们完成既定的任务。

实时操作系统首要的任务是调度一切可利用的资源完成实时控制任务，其次才着眼于提高计算机系统的使用效率。

实时操作系统一个重要特点就是要满足对时间的限制和要求。在实时系统中，时间就是生命，这与通用操作系统有显著的差别。

除个别系统外，实时操作系统都应是多道程序的操作系统。

二、实时操作系统在软件系统中的地位

一般实时控制系统中的软件结构如图1-1所示。图中，最靠近硬件的一层软件（或者说由硬件系统直接外延的一层软件）就是实时操作系统；其次是用于软件开发的支持软件，它包括编译程序、汇编程序、编辑程序、连接和装配程序等，它们与操作系统一起可统称为系统软件。

① CP/M是目前微型计算机通用的操作系统之一。