

MRTOS——一个适用于过程控制的小型实时操作系统

陈宝根

(南京工学院自动化研究所)

MRTOS——A SMALL REAL-TIME OPERATING SYSTEM FOR PROCESS-CONTROL COMPUTER SYSTEM

CHEN BAOPEN

(*Nanjing Institute of Technology Research Institute of Automation*)

Abstract The MRTOS is a small Real-Time Operating System for DJS-130, 131 computer systems. In this paper, design principles and features of MRTOS are briefly introduced. It has been proved in practice that design of this system is successful.

摘要 MRTOS 是一个与 DJS-130、131 小型机相配的实时操作系统。本文扼要介绍了 MRTOS 的设计原则及其主要特点。运行表明,本系统的设计是成功的。

一、引言

MRTOS 是与 DJS-130、131 小型机相配的适用于过程控制的一个小型实时操作系统。用户既可不加变更地直接应用 MRTOS,也可方便地添加用户所特有的功能,以形成满足特定用户所需要的高效率操作系统。

MRTOS 的最小机器构成为:

中央处理机一台,16K 主存,64K 磁鼓,TTY,实时时钟,页面分配保护部件和乘除部件。

MRTOS 的最大机器构成为:

中央处理机一台,32K 主存,128K 磁鼓,TTY 二台,PTR 一台,PTP 一台,实时时钟,页面分配保护部件,乘除部件,X-Y 绘图仪,A型制表机四台,快速打印机二台,屏幕显示控制器二台,高速模拟量输入通道,低速模拟量输入通道,模拟量输出通道,开关量输入通道,开关量输出通道,常显示和过程控制台。此外,还可扩充磁带存贮器、磁盘存贮器,QTY 多路传输以及用户的自驱动设备。

MRTOS 系全部驻留内存,约需 10~12K 主存。

本文 1984 年 8 月 6 日收到。

二、MRTOS 系统结构

1. 结构设计目标

在进行操作系统的结构设计时,必须首先确定结构设计目标,据此才能确定结构方案。

MRTOS 系统的结构设计目标是:

(1) 高可靠性 即使是运行时间较长的操作系统,也仍然会存在着某些错误或弊病,特别由于系统的并发性和共享等特性的影响,这些错误往往是不易重演的,因而也就增加了系统调试的困难。实践证明,一种良好的结构方案可以减少系统错误,也便于系统的调试。

(2) 系统性能好 结构设计必须保证 MRTOS 系统功能的正确实现,能满足专业用户对生产过程实时控制的基本要求,同时也使系统的各项资源得到高效的利用,较好地发挥计算机系统的并行性和共享能力。

(3) 适应性强又易于实现 各专业用户对操作系统的要求,既有共同点,又会因对过程控制的要求、方式之不同而有差异。这就要求 MRTOS 应具有较强的适应性,以利扩充、修改。同时也要求系统能容易实现。

2. 全序式层次结构方案

依据预定的结构设计目标, MRTOS 决定采用全序式层次结构方案,除人机联系命令

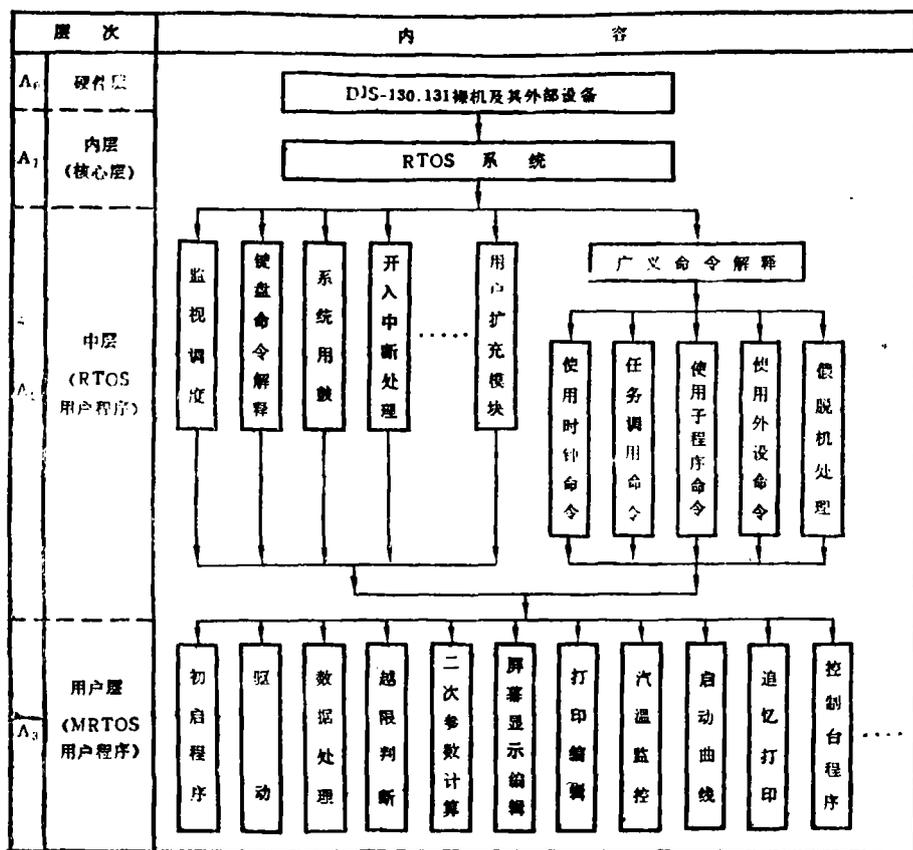


图 1 MRTOS 结构方案示意图

采用复盖外,其余全部留驻内存。MRTOS的宿主系统是配有RTOS的DJS-130、131虚拟机。

图1是MRTOS结构方案示意图。它共分为三层(除硬件层 A_0)。内层 A_1 (核心层),用于实现对中层中的各项进程(对RTOS言,即为用户任务)进行调度、控制,并实现I/O设备的高级管理。中层 A_2 ,用于实现对各用户进程(为区分起见,此处也可称为MRTOS的用户程序)的调度管理;进程间的通讯、控制;主存的动态分配与解配;系统用鼓处理以及进程状态的转换等功能。外层 A_3 ,即为用户层,乃是本系统的用户程序。显然,用户层只与中层发生关系,直接受中层的管理与控制,而与核心层RTOS系统无关。因此对各专业用户来讲,毋须了解RTOS的内部结构和RTOS的命令功能,仅需熟悉MRTOS系统所提供的各类命令即可。

简言之,中层可谓用户程序与RTOS虚拟机之间的“接口”。因而对本系统来说,唯有中层才是系统的关键所在,才是研究的核心。

在MRTOS系统中,内层与中层均由许多模块组成,可谓高度模块化。为了有效地实现对设备的I/O管理,节约内存资源,在中层的“使用外部设备命令”处理程序中采用了重入式结构。

三、用户和MRTOS的通讯

用户和MRTOS的通讯是以三种方式进行的:一是在用户程序中凭藉系统调用命令(广义命令)与MRTOS直接通讯的程序模式;二是通过键盘命令解释程序的键盘模式;三是通过过程控制台操作解释程序的控制台模式。

1. 系统调用命令

MRTOS的系统调用命令均用统一格式书写:

·SYSM

COMMAND(命令字)

出错返址

正常返址

助忆码“·SYSM”和系统命令字“COMMAND”只有使用MRTOS所提供的扩展汇编程序才能汇编。

系统命令字的形式有两种:

COMMAND和COMMAND n

一般说来,n是表示I/O通道号的八进制数。系统命令字有多种类型,主要有:使用时钟命令类;用户程序调用命令类;使用子程序命令类和使用外部设备命令类等。用户如有需要,还可方便地进行扩充或修改。

系统共有约60条系统调用命令,从而进一步扩展了RTOS功能,大大方便了用户程序的编制。

2. 键盘命令解释程序

键盘命令解释程序(CLI)是供程序员通过键盘(TTY)同MRTOS进行对话而设计的服务程序。可以认为,CLI是以TTY为中介的、用户与MRTOS间的接口。就结构言,CLI

是MRTOS的一个组成部分。利用CLI可以实现:MRTOS和设备间的信息传输;改变用户程序的状态和运行方式;时钟信息的提供或修改;系统状态信息的输出;在线调试程序的投入或解除以及疏通方式的选择和阻塞设备的恢复。

3. 过程控制台操作解释程序

MRTOS作为一个实时操作系统,它可配备包括过程控制台在内的一整套为监督、控制生产过程所必需的过程通道。因此,MRTOS应响应过程控制台的请求;反过来,系统也可向控制台等外部设备输出相应的信息以通知运行人员。

过程控制台操作解释程序(COI)就是为此而设计的一套服务程序,它供运行人员通过控制台按键同MRTOS进行对话。

由于各专业用户对其被控对象的要求、控制方式等千差万别,因此COI应由用户自行编制,MRTOS则为COI的运行创造了必要的条件和适当的工作环境。

四、输入/输出处理

1. 输入/输出命令

MRTOS中所有输入/输出(I/O)均按系统所提供的使用外部设备类命令进行处理。如前所述,本类命令一般需要在命令字的右边指定通道号n(COMMAND n)。n可在0~77间选择。但其最大的通道号必须在系统生成时决定。

为简化起见,所有I/O设备与通道的连接需在MRTOS系统编制时确定,设备的打开也由系统一次完成。在运行过程中,用户不再干预。

在MRTOS控制下,用户在使用系统设备时,只要简单地用若干“使用外部设备命令”就可以了。因此,从用户角度看,完全没有中断的概念,也不必担心其他用户程序对该设备的竞争,从而方便了用户。

2. 设备分配策略

在MRTOS中,各外部设备原则上均可被多个用户程序所共享。因此,系统必须确定一种合理的分配策略以解决多用户程序对共享设备之竞争。

(1) 用户使用设备的分配策略 MRTOS对于用户程序使用设备的分配策略是:

·先来先做 即按用户程序请求使用设备的先后次序顺次使用设备,并据此组成设备请求链。

·一占到底 即一个用户程序一旦被分配到某个设备,则将一直占有,直到I/O执行完成才将该设备移交给下一个用户程序使用。

(2) 系统使用设备的分配策略 除了用户程序要使用外部设备外,系统本身有时也需要使用设备。这样,就有可能发生系统使用设备与用户使用设备的竞争现象。

在本系统中,系统使用设备时的分配策略可分两种情况考虑:

·TTY的字符回送——“系统”优于“用户”。即一旦系统对该设备有请求,则立即将该设备交付给系统使用而中止原来的工作。

·其他设备——“先来先做”。即将“系统”也平等地看作为该设备的一个“用户”而纳入设备请求链之中。

3. 输入/输出模式 本系统主要有以下几种I/O模式:

i) TTY 模式 用电传打字机输入/输出一个字符的模式。

ii) 行模式 本模式在传送 ASCII 字符串数据时使用。其界符是以 CR、FF 或 NULL 中的某一个作为标志。

iii) 顺序模式 本模式是在传送二进制数据时使用。在本方式下,系统不对数据作任何加工而直接传送之。

iv) 直接段式 本模式在传送连续的外存段串时使用。它以 256 为单位直接向指定存区作输入/输出传送。

v) 硬指令传送模式 本模式在欲直接发送用户指定的设备指令时使用。系统不对从存储单元或设备读入的数据进行加工处理。本模式毋须指定通道号。但须说明本次直接发送的设备指令的数目。该数作为 COMMAND 的变元 n 来指定。

4. 输出的不完全假脱机处理 输出的不完全假脱机处理是一种较为特殊的传送数据方式。在大型操作系统中,假脱机处理(即所谓 Spooling 系统)总与外存储器相联系。鉴于 MRTOS 是一个小型的实时操作系统,因而不能因 Spooling 系统是一个受人欢迎的形式而使得 MRTOS 过分庞大,甚至陡然地增加系统开销时间。

据此, MRTOS 在满足用户实际需要的前提下,采用了为单一输出设备(快速行式打印机)服务的假脱机处理方案。由于本方案不与外存相联系,因此也可称为“不完全假脱机处理”,以别于流行的 Spooling 系统。

用户可以如同使用顺序模式的 I/O 命令那样方便地使用本命令。

MRTOS 不完全假脱机处理方式为:用户程序欲输出的二进制数据从用户区域搬入系统开辟的假脱缓冲区内。用户程序的输出数据一俟全部进入假脱缓冲区,则用户程序即可返回系统调用命令的正常返回地址并可继续处于执行状态。此时,用户可不必考虑数据在打印设备上是否输出完毕。只有当假脱缓冲区容量已满时,用户程序才处于暂停状态(假脱挂起状态)。

由此可见,只要假脱缓冲区的容量适当,那么,快速打印输出信息流的阻塞基本上可由不完全 Spooling 系统所疏通,用户程序处于假挂状态的机率应该是相当低的,从而提高了整个系统的实时性。此外,采用不完全 Spooling 系统,给操作员也带来了方便。操作员可不必再做将全部输出结果按用户程序进行分类的工作,因为系统将依用户程序请求的先后顺序输完其全部信息而不会产生多个用户程序的信息混杂输出的现象。

为了便于操作,系统允许使用相应的键盘命令作假脱机输出。在管理策略上,则采用键盘命令的假脱输出优于用户程序假脱输出的调度原则。当然,已在进行假脱输出的用户程序之级别仍为最高,这是为保持信息输出的完整性所必须采取的防护性措施。

五、多用户程序系统

在实时控制系统中,往往必须将一道程序设计成若干个甚至上百个可并行处理的程序,即组成所谓多用户程序系统。

试图并行地执行多个操作,就给 MRTOS 的设计带来了复杂性。处理并发程序的实质就是分配资源,以满足互争的要求。这里有两个方面是最主要的,即处理能力分配(调度)和存储分配。

1. 用户程序状态

MRTOS 的用户程序,总处于下列状态之一:

- 提交状态 用户程序业已调试完毕,正等待操作员将其纳入系统。仅处于提交状态的用户程序,不受系统的任何控制。

- 登记状态 在确定程序的优先级和分配好外存地址以后,处于提交状态的用户程序可经键盘命令而存入外存。同时,将用户程序的相应信息录入登记表的全字、半字信息中。处于登记状态的用户程序,可听从系统使唤。但如它未被其他用户程序(或 CLI、COI)所激活,则它仍不可能得到处理机资源。

- 请求状态 用户程序一旦被请求运行,则就处于请求状态。这一类程序,仅仅在内存容量许可的情况下才能从外存调入内存。

- 候算状态 系已在内存或者正在进行内外存传输的用户程序所处的状态。要注意,处于本状态的用户程序并非一定处于请求状态,两者不能混淆。显然,只有处于本状态的程序才具有获得 CPU 的初始必要条件。亦即,若用户程序仅处于请求状态而未处于候算状态,这表明它尚未获得内存,因而也不可能去竞争 CPU。

- 服务状态 为提高系统调度效率,MRTOS 为用户程序开辟了服务表。系统只允许处于候算状态的若干用户程序进入服务表。只有处于服务状态的用户程序才真正有资格竞争 CPU。实践表明,服务表最大项数的选取将对系统的实时响应能力会有明显影响。因此,用户在抉择时,必须考虑到操作系统的特点以及用户程序系统的具体组成等因素。

- 执行状态 系享受 CPU 控制、正在执行指令的用户程序的状态。任何时刻,只有一个用户程序能处于执行状态。

- 暂停状态 这是指暂时不能接受 CPU 控制的状态。它包括四种挂起(使用外部设备挂起、通讯挂起、程序强迫挂起和假脱机挂起)和一种关闭。只有当暂停原因消失之后,该用户程序才有可能继续处于活动状态。

- 等待状态 一旦用户程序被高优程序拉出服务表,甚至被滚出内存,则该用户程序就处于等待状态。处于等待状态的用户程序有两个基本特点:一是该用户程序的滚进/滚出是在对应的用户程序副本区进行;二是当该程序重新获得 CPU 时,将从断点处继续执行。

2. 用户程序链

如前所述,各用户程序对 CPU 的同时需求会引起竞争。解决竞争的常用方法是排队。在本系统中,有以下几个用户程序链。

(1) 候算表忙碌链 它由处于候算表状态的诸用户程序所组成。本链的钩链原则为:请求在非请求之前;告急在非告急之前;高优在低优之前。

(2) 服务表忙碌链 它由处于服务表状态的诸用户程序所构成。本队列纯属按各用户程序的优先数高低顺次钩链,而不管该用户程序是处于可执行状态还是处于某种暂停状态。由于服务表的项数通常总小于候算表的数目,因此必有一些程序只处于候算状态而不处于服务状态,此时,其对应的服务表钩链字将置以“0”。

(3) 候算表空闲链 这是那些未处于忙碌状态的空余候算表之集合。它等待用户程序来占用。

3. 处理机的分配

所谓“处理机的分配”(或称为“处理机的调度”)就是选出一个合适的用户程序来投入运

将影响到整个控制系统的实时性。MRTOS 充分考虑了过程控制的特殊要求, 依据硬设备的特点, 采用了页式存储管理方式, 容许用户程序动态地“滚入/滚出”, 以提高系统的实时响应性和内存利用率。

1. 基本表格

为进行存储管理, 有下述表格供 MRTOS 管理:

- 登记表 在登记表的全字、半字信息中, 需注明对应用户程序的程序长度及其在外存的起始存储位置。

- 候算表 在候算表中应注明该用户程序所分配到的内存始页号并复录用户程序之长度。

- 用户页寄表 在每个用户程序的用户工作区开辟有 4 个单元的用户页寄表, 供登录该用户程序当前所占的实际页面号之用。

- 内存分配表 本表仅有 32 个单元, 每一页占用一个字节。本表将当前所有的内存空闲页面钩链起来, 其钩链字用相对字节距的补码表示。当置以“全 0”时, 表示已到链底。

2. 分配与解配策略

在 MRTOS 中, 内存的分配与解配策略可概括为以下几种:

i) 当内存有足够空余容量时, 处于请求态的用户程序将按优先数高低顺序调入内存。

ii) 当内存余量不足又有用户程序需要分配内存时, 则将会产生解配: 首先, 对那些既非常驻、又无请求的用户程序解配, 立即收回它们所占的内存资源。其次, 将那些虽有请求但非常驻又不处于服务状态的低优用户程序实行解配。第三, 对那些虽处于服务状态又处于程序挂起这一暂停状态的用户程序解配。最后, 必要时才对已进入服务状态但未处于暂停状态的低优用户程序实行解配。

iii) 解配后, 如内存容量仍不够高优用户程序的需要, 则该高优程序只好滞留在外存, 但也不允许低优用户程序获得内存资源。

3. 解配技术

按照解配策略, 将用户程序的内存页面收回时, 有两种情况需予区别: 一是仅需按照用户工作区的页寄(YJ)区的内存实际页面号逐一从头钩入内存空闲页链中, 即置好内存分配表, 填好新的内存空页头和内存余量单元即可。这适用于处于非等待状态的用户程序。图 3 为回收页面子程序示意图。二是对处于等待状态的用户程序来讲, 则不允许立即收回内存页面。它必须先将该用户程序写入用户程序在外存的副本区, 然后才能收回内存资源(反之, 欲将处于等待状态的用户程序调入内存时, 也只能从用户副本区调入内存, 而不能从用户程序原本区调入)。

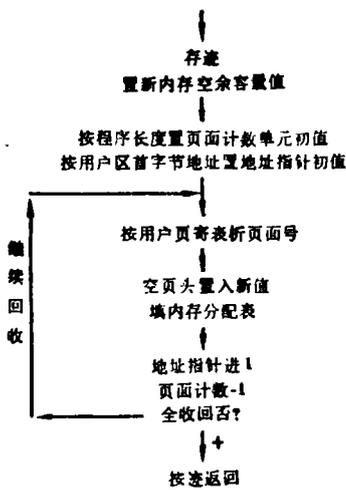


图 3 回收页面子程序框图

等待状态的用户程序调入内存时, 也只能从用户副本区调入内存, 而不能从用户程序原本区调入)。

七、结 语

MRTOS 系统是在实时操作系统 RTOS 的基础上发展起来的。应用实践表明, 该系统 (下转封三)

(上接第 22 页)

运行良好,基本符合预定的设计目标。本系统与 RTOS 相比,主要有以下一些特点:

1. 加入了页式存储管理,具有页面动态分配及保护功能;
2. 扩充了为实现过程控制所必需的系统调用命令和时钟管理;
3. 增加了输出的不完全假脱机处理;
4. 有丰富的人机联系功能,增加了在线查错和疏通处理命令;
5. 实时性强,可扩展性好,使用方便。

参 考 文 献

- [1] D. W. 巴伦,“计算机操作系统”,张允腊、仲萃豪等译,1973 年。
- [2] 张允腊、仲萃豪等,“计算机操作系统”,科学出版社,1979 年。
- [3] D. C. Tsichritzis and P. A. Bernstein,“Operating Systems”, Academic, 1974 年。
- [4] S. E. Madnick and J. J. Domvan,“Operating System”,王世荣等译,《电子计算机参考资料》,1977 年 7~9 期。
- [5] 陈宝根,“过程控制机系统的疏通技术”,《信息和控制》,1984 年第 3 期。
- [6] 陈宝根,“实时在线调试软件设计”《南京工学院学报》,1984 年第 4 期。

计算机应用与软件

(双月刊)

一九八八年五月

第五卷 第三期

编 辑	中国计算机学会 《计算机应用与软件》编辑部
出 版	上海市计算技术研究所 (上海愚园路 546 号)
印 刷	商务印书馆上海印刷厂
国内总发行	上海市报刊发行局
国内订购	全国各邮电局
国外总发行	中国图书进出口公司 (北京 88 信箱)

上海市期刊登记证: CN31-1260

报刊代号: 4-379 ISSN 1000-386X 定价: 0.80 元