

3C—OS分布式战术实时操作系统

彭 思 鹏

摘 要

本文介绍一个由三台小型计算机为基础的分布式战术应用系统的实时操作系统。它用于舰载武器的综合指挥与控制系统。除了完成舰载武器的指挥任务外，还可控制多种舰载武器对多个目标进行射击。本文将叙述3C-OS战术实时操作系统的设计思想、功能、作业与进程的设计和计算机间通讯机制。文中提出了周期进程和“邮局”转发方式的机间通讯的设计方法。

3C—OS战术实时操作系统是一个以三台 Y16-2 计算机为基础的，旨在完成舰载武器指挥与控制的分布式系统的实时操作系统。它完成多机管理、通讯管理和多种不同类型的外围设备的管理，为战术实时指挥控制系统的应用程序提供必要的实时环境。它也可以用于由一台、二台或多台 Y16-2 计算机组成的其他实时控制系统中。

由于3C—OS是一个为分布式系统研制的实时操作系统，各处理机的内存不能共享，就使得操作系统的结构复杂化。它除具有一般实时操作系统的高实时性要求（特别态周期进程从就绪至调度运行的时间在0.8毫秒以下）和高可靠性高安全性要求外，还必须解决不同处理机内的进程同步互斥和通讯问题，以及系统的外来数据资源的共享问题和交换问题。在3C—OS系统中，这些问题均得到较好的解决。系统从1981年起开始研制，共花费了约14个人年。经过一年多的调试和试运转，系统的性能良好。系统可以同时处理13批目

标的航迹数据，能同时控制五种武器对付五批目标。操作员在各武器控制台上能同时与系统进行会话，命令的响应时间在0.5秒以下。另外，还允许计算机外部设备（如打印机、磁带机等）并行工作。

一、系统概貌

图1是3C-OS的硬系统示意图。图中C是用于计算机间进行通讯的接口。来自

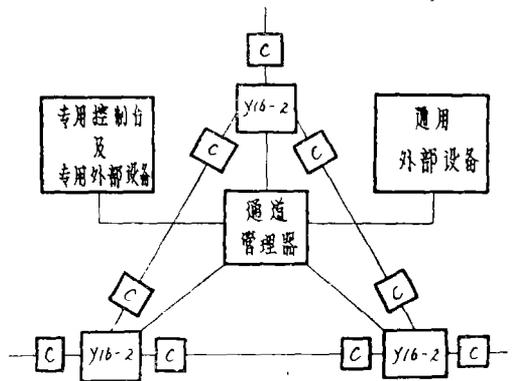


图1 硬系统配置示意图

三台计算机的对控制台和通用外部设备的请求由通道管理器管理。在系统初创之

1984年6月收到 (17)

后,专用控制台作为某台计算机专用设备连接于一台计算机。而系统的A/D、D/A以及计算机的通用外部设备则为三台计算机的共享资源。这种共享资源的管理要求,增加了通道管理器和软件系统的复杂性,但节省了外部设备,且为重组系统提供了方便。

设计战术计算机系统总是把系统的可靠性和安全性放在最重要的位置。在本系统设计时,充分考虑了这些方面。具体体现在:(1)系统具有重组功能。在某一环节损管(指自然故障与战时损坏)可以脱离系统,系统可重新组合;(2)冗余设计。如当一台计算机损管时,可以组成双机系统,而系统的主要功能不受损害;(3)在系统的设备损管较严重时,可降功能运行,即使只有一台计算机运转,仍可组织三种武器火力对付三批目标。

3 C-QS采用了层次模块结构设计方法,把系统分成核心、设备管理、用户、作业与通讯管理四层。从里到外,逐层把计算机扩充成多个虚拟机。把与硬件有关的模块放在最里层,并使它局限于少数模块中,使系统便于修改和移植。设计中采用了自顶向下的功能设计和自底向下的调试相结合的方法。

为了达到高可靠性和高安全性的目标,除采用层次模块结构设计方法外,还采取了下列措施:

(1)在保证实时性能的前提下,尽量减少模块(过程或中断)嵌套深度。因此,系统的大部分内核模块是在封中状态下执行的;

(2)各计算机上的操作系统具有类似的结构,有相同的内核,所以是相对独立的。这样既简化了设计,提高系统的可靠性,同时也为系统的重组提供方便;

(3)合理分配计算机功能,尽量减少

计算机间的通讯量;

除可靠性和安全性外,高的实时性也是本系统的主要设计目标。对于实时数据处理系统一般要求响应时间为秒级,对于实时过程控制系统则要求响应时间为毫秒级。赋予本系统的指挥与控制功能,既具有过程控制性质,又有实时数据处理性质,而对过程控制的实时性要求则较之一般系统更高更严,一般要求响应时间在1毫秒以下。

此外,系统的可维性、可修改性和对不同环境的适应性也作为系统的设计指标之一。

从系统结构看,系统可以分成核心、设备管理、用户、作业管理与通讯管理四层,从系统功能看,系统可以有处理机管理功能,存贮管理功能,设备管理功能,命令管理功能与作业、通讯管理功能。

二、系统的功能划分 与作业调度

分布式系统的功能划分因不同系统的要求而不同。本系统遵循尽量减少计算机之间的信息交换的原则划分系统功能,因为计算机间的信息交换的增加将使系统开销大大增加,甚至会破坏系统的实时性。在正常情况下,我们用一台计算机作为指挥处理机,另两合作为武器控制处理机。在损管情况下,则减少一台武器控制处理机,而把原由它完成的功能分别转移给另两台处理机。这样,在计算机间就只要交换指挥命令和少量反馈信息,系统花在机间通讯方面的处理机时间开销降到极低的程度,约占0.3%左右。

作为一个实时过程控制系统,一般是不允许用户去编写新的程序或去修改程序

的。但是，为了概念上清晰，我们仍把整个系统的软件中面向于应用问题的程序部分叫做应用程序。并把服务于一种过程控制或一类数据处理的程序的运行作为一道作业。因此系统中的每一台计算机可以有多个作业运行。

作为一个实时控制系统的应用程序都是不能修改的，在运行时，都是常驻内存的。我们把这一类作业叫专用作业。但为了能兼顾临时用户作一些计算或调试程序用，也考虑临时用户作业，即后台作业。

系统用作业表来描述用户作业的状态和它的外部特征，它是一道作业的实体。与运行状态无关的信息，如作业名、程序入口等，均预先填入作业表，并把它链入作业表队列。作业表中还记录作业的运行状态、类型、作业工作区地址及其他有关信息。对于临时用户作业，系统提供一条作业提交命令，以便把作业表链入作业表队列。

专用作业调度任务由指挥处理机承担。指挥处理机上运行的作业调度进程根据实时战术环境来决定建立或撤消哪些作业。因此，作业调度策略实质上是战术指挥策略，它涉及到舰载武器的配置、战术行动思想等一系列战术问题，这里就不详细叙述了。

临时用户的后合作业为联机作业，用户通过控制台打字机控制后合作业的运行。3 C-OS为这类作业提供了一组控制命令，包括建立作业、启动作业、停止作业、撤消作业等。

后合作业是非常驻内存的作业。只有在用户要求建立作业的时候，才从光电输入机或磁带上装到主存。用户程序运行完毕，用户用撤消作业命令消去内存中的作业，并让出占用的空间。每台计算机最多可同时接纳4个临时用户作业，而对整

个系统而言，可以接纳12个后合作业同时运行。

实时过程控制系统的专用作业与一般通用系统的作业不同，它可以建立多个子进程。而这些子进程可反复活动，直到该作业撤消为止。为了能识别进程的宗族关系，子进程名将包含一个父进程作业名的后缀。

在通用系统中，作业之间是不会有有什么通讯要求的。而在本系统中，作为控制两个不同控制对象的两个作业，有时却有信息交换的要求。为此，系统提供了两个作业间利用对方工作区的指定区域进行通讯的机构。

三、进程描述

1. 进程分类与描述

系统的程序并发的执行过程称为进程。我们把进程分成四类：

(1) A类进程。它是一类优先级高的非周期运行的系统进程或用户作业进程。在四类进程中，它具有最高的优先级；

(2) B类进程。它是周期运行的任务进程。按照它的运行调度次数，又把B类进程分成两种状态：特别态和一般态。特别态B类进程采用不可抢占CPU方式运行，一般态B类进程则不同，它可以被其他进程打断；

(3) C类进程。它是一类优先级低的系统进程和用户作业进程；

(4) D类进程。它是后合作业进程。

系统用进程控制块(PCB)来描述进程。每一个进程均有一个进程控制块，它用来存贮系统所关心的进程的外部特征以及它与外界的联系。当建立进程时，就建立一个PCB；当撤消一个进程时，就撤消它的PCB。所以，PCB是进程的唯一实

体。

进程控制块一般包含下列内容：

- 进程名
- 进程的类型、优先数
- 进程的状态
- 进程工作区首地址
- 进程工作区大小
- 周期进程时钟及重复周期
- 专用外部设备名
- PCB队列指针
- 就绪（挂起）队列指针
- 消息信号量
- 消息链指针
- 进程的现场保留区

对于设备处理进程，PCB的内容则有所不同。而用户作业进程，还有指明进程宗族关系的父进程名。

进程现场保留区用来保存进程的运行现场。每当进入调度程序在调度其他就绪进程运行之前，都要把原运行进程的现场放入该进程保留区保留起来。而把调度上的进程的现场从它的进程现场保留区中恢复。

现场保留区包括三部分：通用寄存器保留区、通用变址器保留区和运行堆栈区。为使运行堆栈区不致过大，系统的内核模块是在封中下运行，所有外设的中断处理也是在封中下执行的。为了保证有足够的实时性，所有的中断处理程序及内核模块都足够地短。这样做，不仅能保证系统的实时性要求，也减少了系统程序的中断嵌套深度。

将进程分成四类，并把它们PCB分别链入不同的PCB队列，虽然增加了队列管理及进程调度程序的复杂性，但却大大缩短了进程队列长度和调度程序、进程挂链摘链程序的运行时间。从而获得了较短的响应时间，保证了较高的实时性。

进程表队列，包括全队列、就绪队列、挂起队列、均采用单向环形链队列。每一队列均从一专门指示器（或信号量指示器）开始，而最后一个PCB又指向这一指示器。

2. 进程状态及其转换

进程可有停止、就绪、运行和挂起四种状态。对于不同类型的进程转换方式也有所不同。引起进程状态转换的原因可以多种多样，但归结起来可分成两类：直接方式，即“进程——进程”方式和间接方式，即“进程——资源——进程”方式。

进程——进程方式有两种表现形式：一是某进程通过系统提供的进程控制原语强制改变某一进程的状态；二是某进程通过系统提供的“信息通讯原语”与另一进程进行信息通讯，协调它们之间的关系。

“进程——资源——进程”关系则是由操作系统中各种资源管理程序进行协调控制的。例如，当一个进程申请内存资源，而得不到满足时，存贮管理程序将把该进程改为挂起态，并标明它在“等内存”；当另一进程释放内存时，则内存管理程序将唤醒“等内存”的进程，即把“等内存”的进程改为就绪态。

图2、图3和图4是系统的A、B、C、D四类进程的状态转换图。

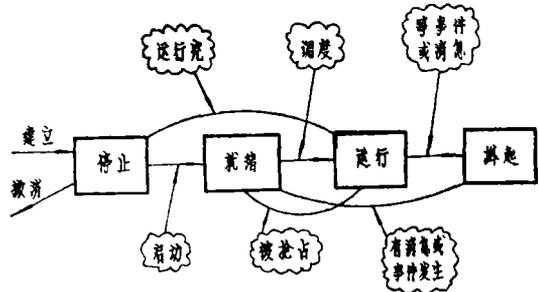


图2 A类进程状态转换图

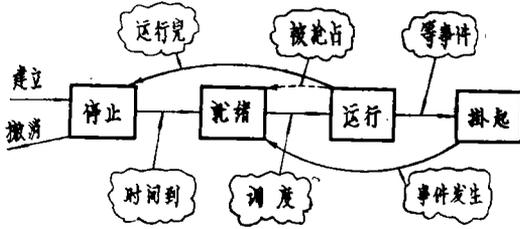


图3 B类进程状态转换图

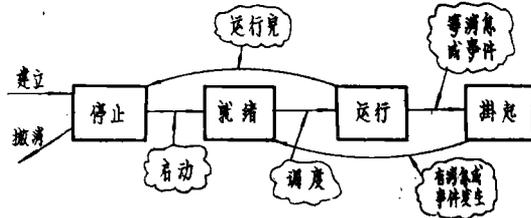


图4 C、D类进程状态转换图

从进程状态转换图中可以看出，B类进程是由时钟启动的。但如果需要，用户也可在建立后立即启动它，使B类进程提前运行。

3. 周期进程设计

在实时过程控制系统中，往往有大量的周期的并发事件。如何处理这些周期的并发事件就成为实时操作系统的—个主要问题。在3 C-OS系统中，专门设计了一类进程——B类进程，即周期进程来处理这些周期发生的并发事件。

周期进程定义作按一定周期反复投入运行的这一类进程。在进程表中，设置了一个专用的计时器和一个存放该周期进程的重复周期值单元。每次时钟中断都要检查所有的周期进程，进行计时，将到时的周期进程投入就绪队列，并接着用重复周期值去更新专用计时器的值。

几个周期进程可以使用时钟来进行同步。在建立一个周期进程时，在参数表中可以指出与它同步的周期进程名和应延迟的时间。建立进程程序将把延迟时间加上

同步进程的计时器值作为新建立的周期进程的计时器初值，以达到同步的目的。

为了使周期进程实时调度运行，系统还提供了一种周期进程的整步手段。使用它可以保证在每一次时钟中断中只有一个特别态周期进程就绪(当然是有条件的)。在转入调度程序时，除非有A类就绪进程，将必能使该就绪的周期进程调度运行。这样保证了这一类实时性要求高的周期进程的响应时间在800微秒以下。

4. 进程通讯

从进程的概念上说，所有的进程都是并发的，异步前进的。但是为了完成一个计算任务，特别实时过程控制任务，要求若干个进程必须按照一定的规律协同动作，即进程之间有一定的相互制约关系。进程相互制约的一种方式直接方式，也就是通讯方式。进程的通讯又可以分为互斥和同步两大类。但严格说来，互斥也是一种同步。3 C-OS系统提供多种进程通讯手段，其中主要的有：

- (1) P, V操作；
- (2) 发消息与读消息；
- (3) 写缓冲与读缓冲。

前面已经提到，周期进程还可使用时钟来进行同步。对于实时过程控制系统，这种同步方法是十分有效的。众所周知，发读消息和读写缓冲这类通讯方式，会造成极大的开销，而且同步的机理也不适于周期进程的同步。

5. 进程调度

完成对CPU的管理，一般都有两级调度管理组成，即作业调度和进程调度。前面已经提到本系统的作业调度算法实质上是一种指挥算法，与系统所面临的战术任务和作战环境密切相关。本系统的每一台计算机可以有多到四道作业运行。每道作业又可能有多个进程。运行作业过多，

自然会严重影响系统的实时响应性，甚至完全破坏系统的实时性。而实时系统的进程调度算法，对系统的实时性影响也是至关重要的。因此，系统的进程调度算法也是以保证实时性为主要前提。本系统的进程调度原则是：

(1) 在四类进程中，A类优先于B类，B类优先于C类，C类优先于D类；

(2) A类进程采用不可抢占CPU的，即一次调度就运行完的调度方法；

(3) B类进程按优先数的大小进行调度。B类进程中可以有特别态和一般态的两种。特别态的B类进程采用不可抢占CPU的调度方法，而一般态B类进程则采用可抢占CPU的调度方法。也就是说，当发生时钟中断而又有特别态B类进程就绪时，若原来运行的是一般态B类进程，则将进入调度程序并调度特别态B类进程运行。相反，若就绪的是一般态B类进程，原运行的是特别态B类进程，则原运行进程状态不变即继续运行；

(4) C类和D类进程采用按优先数大小多次调度的方法。

进程调度的时机可以有：

(1) 发生时钟中断，且有B类进程就绪时；

(2) 当外中断建立了A类进程，有A类进程就绪时；

(3) 在非正信号量上作P操作挂起某进程时；

(4) 当某进程运行终止时（正常的或非正常的终止时）；

(5) 系统初启时。

考虑到在本系统中运行的大部分进程是B类进程，而大部分采用中断方式工作的外部设备对实时性要求并不高，因此外中断处理结束一般都不转入调度程序。这样做，减少了调度程序运行次数，减少了

系统开销，也有效地保证了系统的实时性要求。

四、计算机间的通讯

与进程同步

前面已经提到，3 C-OS 将在三台计算机上运行。这三台计算机所完成的任务各不相同，但有着一定的联系。也就是说，完成这些任务的进程存在着同步、互斥，即通讯问题。众所周知，在前一节所提到的通讯手段，象P、V操作，发、读消息等，只适用于一个共享内存单处理机系统的进程。在这样一个分布式计算机系统中，计算机之间进程的通讯问题必须采用不同于一台计算机内进程的通讯方法来解决。

3 C-OS的宿主系统提供了两计算机间交换数据的高速通路，即从一计算机内存到另一计算机内存的高速通路。这样为不同计算机间进程通讯提供了硬件基础。在此硬件基础上，可以把一计算机内存中的数据传送到另一台计算机的内存中。这种方式，最多也只能为系统程序设计人员使用，但不能用于两计算机间进程的通讯。为此，我们为实时用户设计了一种“邮局”转发方式的机间通讯方法。用户即发信进程将要发出的“邮件”投入本地“邮局”。由“邮局”将发往同一地点（同一计算机）的邮件集中成“邮包”发出。对方“邮局”收到后，再投递给每个收信者（目标进程）。

在机间通讯时，必须遵守一定的通讯协议。本系统的通讯协议分成两部分：低级协议和高级协议。低级协议是面向硬件的。它包括网内（如果把这三台计算机组成的系统看成一个由三个节点组成的局域网的话）主机地址、从机地址（即邮局

名)、信息长度(即信件数目)等内容。它由硬件进行解释执行。高级协议是面向系统软件(即面向邮局)。它包括信息类型、投递方式、收信者名等。至于用户层的通讯协议,可由用户自行约定,不在讨论之列。

根据这种通讯机理,系统在每一计算机内设立一个周期运行的通讯管理进程。它负责机间通讯的信件的分类、收发投递工作。它把请求通讯的进程的信件,集中分类发出;又把另一计算机发来的信件分类,以不同方式投递给目标进程(收信者)。

这样,不同计算机内的两进程的同步手段仍以发消息、读消息为基础,只是发消息的进程不能将消息直接发给目标进程,而是将它组成一封信件,投入当地邮局;由对方邮局将这一组消息发给目标进程;即挂到目标进程的消息链上。

显然,这种通讯方法虽可靠,但速度较慢,不能适应实时要求很高的两个进程的通讯。如果采用专用线路的方法,当然可提高实时性,但增加了硬件软件的复杂性。但是,从实际系统的要求出发,由于在系统功能的划分上已充分考虑到这一问题,使两机间进程的同步实时性要求大大降低,所以这种通讯方法仍可以满足要求。

五、外设管理

系统配备有行印机、控打机、纸带凿孔机及半英寸磁带等多种外部设备。在每一战术控制台上还配置有表页显示器和键盘。战术控制台在系统初创之后为某一计算机所独占。对这类设备的管理由一设备

管程和设备进程来完成。这里不作详细介绍。而对于通用外设管理,由于它的共享特点,增加了管理它的复杂性。但由于这些设备只作程序调试和战时输出少量信息使用,所以采用共享方式还是可行的。

对这类共享设备,只允许用户动态占用某一设备。当用户需要使用外部设备时,由设备管程提出申请,获准后方可使用。用户使用一旦结束,则立即释放该设备。设备的请求批准排队由通道管理器完成。

在有实时要求的用户使用这些外设时,可以使用假脱机方式。这有利于在实时数据的记录时减少数据丢失,并且采取了防止实时性受到破坏的一些措施。但是,如果用户要求输出的数据过多,仍有可能丢失部分数据。

六、结束语

随着计算机硬件成本的降低,特别是微机技术的发展,分布式系统已成为舰载战术系统的发展方向。因为分布式系统可以灵活地组成各种不同配置的系统,并在受损后重组系统,增加了系统的生命力。

3 C-OS是一个基于小型机的一个分布式系统的操作系统,在分布式战术实时操作系统的设计上作了一种尝试。实践告诉我们,战术操作系统的关键要求是实时性、安全性和可靠性。设计时应该根据战术应用要求,力求简化,不应追求大的通用性,或拘泥于某种结构形式。

参加3 C-OS设计的还有陈双龙、林增媚、邬占山、李国秀、李元鹤等同志。罗志坚同志完成了内核模块的模拟调试工作。

国外兵器

美“鹰”高炮射击控制系统内引入目标机动修正量的分析介绍		
陶辅文	1983.1	67
Falcon坦克火控系统		
王振刚	1983.1	83
磁泡存储器的军事应用		
陆可钦	1983.2	88
幻影2000飞机的武器火控系统		
苏隆清	1983.1	56
小型增强电荷注入器件微光电视摄像机		
孟繁印	1983.1	77
ADGS自行高炮系统		
武宗明	1983.3	85
适用于潜艇作战指挥环境的基于知识的系统——用自然语言对话的人/机指挥控制系统——		
叶自健译	1983.4	8
法国《阿迪巴》炮兵连射击指挥系统		
薛炎华	1983.4	83
机载射击瞄准系统的应用与发展		
张森等译	1984.2	72
对机动目标轨迹的估计和预测		
高守贵译	1984.3	57
美国陆军对火控系统应用集成光学的研究		
李军译	1984.3	54
野猫式自行高炮		
王振刚	1984.3	81

微型计算机讲座四讲

微计算机系统工作原理及其应用（一）		
刘志勤	1983.2	74
微型计算机存储器工作原理及应用（二）		
王兴加	1983.3	68
微计算机的外围接口（三）		
胡仁银	1983.4	65
8080微计算机的应用程序（四）		
陈永德	1984.1	60

工艺研究

试论印制电路工艺技术在国内电子计算机中的应用		
吴庆山	1983.3	50
对SD助焊剂的认识和使用		
周武	1983.3	58

火控电源

YTB—12陶瓷电源变换器在某火控系统中的应用		
陈康健	1983.4	51
500HZ陀螺电源		
侯旭昌	1984.3	82

国内外消息

美国召开火控系统“新开端”专题讨论会		
秦洪生供稿	1983.2	87
高炮电击发定时控制		
孙贤荣	1983.4	50
59式指挥仪成套检测设备方案与特性综述		
侯旭昌	1984.4	71
火控文摘1983年110条；1984年80条		

（上接62页）

参 考 文 献

- [1] Stuart E. Madnick, John J. Donovan: Operating Systems (已有中译本)。
- [2] 张允腊等：“计算机操作系统”。
- [3] “A Survey of Naval Tactical Computer Application and Executives,” AD-Ao2₁074。
- [4] 中山大学数学力学系软件教研室：“HOS-130小型操作系统的设计”，“计算机操作系统学术交流会议论文集”，1978.10。