



第2章 作业管理

在计算机发展过程中,作业曾经是个使用非常广泛的概念,但对于 PC 用户来说,作业则是一个概念上意义宽广但很少接触的名词。作业概念的广泛性是从历史上延续下来的,几乎所有操作系统都有作业管理功能(最早的操作系统就是作业监控程序)。对用户来说,他们所关心的不是操作系统的内部实现细节,而是操作系统的外部特性。以用户观点研究操作系统,要求操作系统能为用户提供更多的服务,以方便用户对计算机的使用,这就是操作系统的作业管理功能。操作系统的作业管理模块主要用于解决作业的建立、调度与控制问题。因此本章主要介绍操作系统与用户的接口、作业的建立、调度与控制问题。首先从操作系统与用户接口入手,依次介绍作业管理、作业的建立与调度,最后介绍作业的控制。

本章要点:

- 掌握作业与作业管理的概念。
- 理解作业状态及其转变。
- 领会作业调度与作业控制。

2.1 操作系统与用户的接口

人们花费大量的精力去研究设计操作系统,其目的之一就是为了方便用户使用计算机,不需要操作员过多干预,系统就能顺利运行。操作系统不仅是系统资源的管理者,也是用户服务提供者。通常,用户使用计算机时,必须通过一定的方式和途径,将自己的要求告诉计算机。计算机配置操作系统的目的之一是为了方便用户,也就是说,在操作系统的协助下,用户能够简便、灵活、安全可靠地使用计算机系统资源来解决问题。因此,操作系统为了提供有效的服务,必须支持与用户的通信。这个通信包括双向的信息传送:用户请求系统给予特定的服务,而系统将服务的结果返回给用户。操作系统负责管理这种通信的部分称为用户接口或用户界面。用户通过操作系统使用和控制计算机,不再与裸机发生直接关系,因而操作系统便成了用户和计算机之间的接口。该接口通常是以命令或系统调用的形式呈现在用户面前的,前者直接提供给用户在键盘终端上使用,后者提供给用户在编程时使用,通常分别将它们称为命令接口和程序接口。

操作系统是用户与计算机之间的接口,用户是通过操作系统来使用计算机的。而用户使用计算机解决问题的方式有两种:一种是用编写计算机程序的方式;另一种是让计算机上已有的软件为之服务,两者都需要操作系统的支持。操作系统正是针对这两种方式,为用户提供了相应的两类接口:一类应用于程序一级,称为程序接口(也称编程接口);另一类应用于用户作业控制一级,称为命令接口。在较晚出现的操作系统中,又向用户提供了图形接口。操作系统向用户提供的接口如图 2-1 所示。

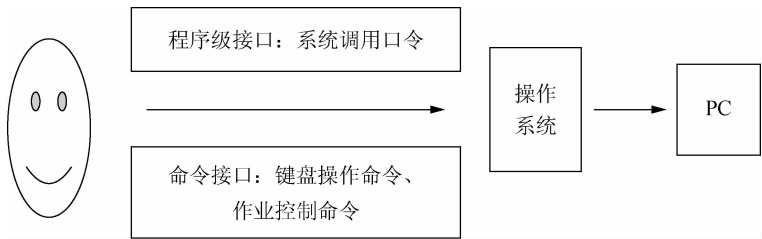


图 2-1 操作系统向用户提供的接口

2.1.1 程序级接口

程序级接口在程序、系统资源及系统服务之间实现交互作用。程序级接口通常由一组系统调用命令(又称为广义指令)组成,用户可以在程序中直接或间接地使用这些系统调用。系统调用命令可以看成是机器指令的扩充,因为从调用形式上看,执行一条系统调用命令相当于执行了一条功能很强的机器指令。它与机器指令不同之处在于系统调用命令由操作系统核心解释执行。

系统调用是操作系统向用户提供程序一级的服务,用户程序借助于系统调用命令来向操作系统提出各种资源要求和服务请求。例如,用 C 语言编写程序时,可在程序中直接使用系统调用命令 `getchar(void)`,以从标准输入设备中读取下一个字符。

不同的操作系统所提供的系统调用命令的条数、调用格式和所完成的功能都不尽相同。例如,在汇编一级,IBM 360/370 计算机中系统调用命令(“访管”指令)的格式是“SVC N”,IBM-PC 计算机提供几十到几百条系统调用命令。操作系统内则事先编制好实现这些系统调用功能的子程序或过程。

从用户程序进入系统调用的执行过程大致为:首先,把系统调用命令所需的参数或参数区首选首地址装入指定的通用寄存器;然后设置一条调用指令(如“访管”指令或“软中断”指令);当用户程序执行到该条调用指令时,就转到系统调用的处理程序。其处理过程如图 2-2 所示。

具体表述如下。

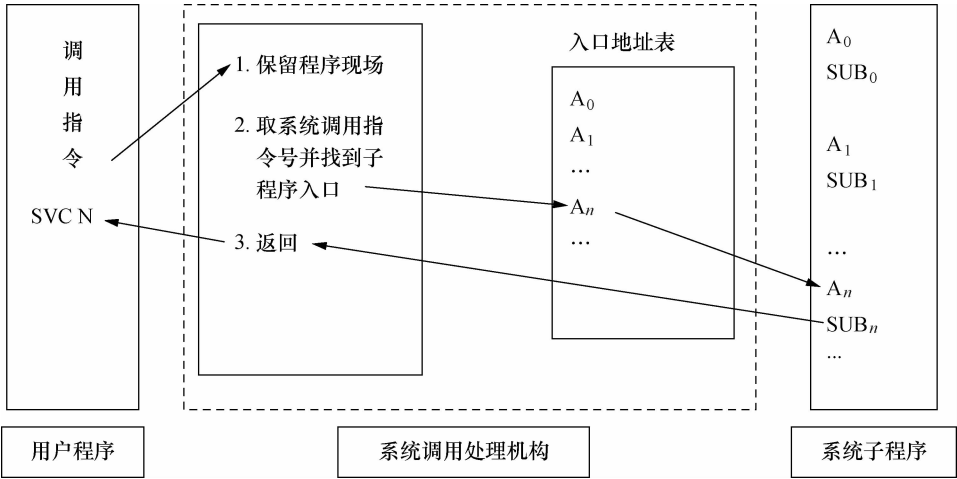


图 2-2 系统调用处理过程

- (1)保留用户程序的现场,将系统调用的命令号等参数放入指定的存储单元。
- (2)根据系统调用命令号,访问系统调用入口表,找到相应子程序的入口地址,然后转去执行该子程序。
- (3)恢复现场,并把系统调用命令的返回参数或参数区首地址放入通用寄存器中,供用户程序使用。

2.1.2 命令接口

命令接口是系统为用户作业一级请求操作系统服务而设置的,用户可利用这类接口组织作业的工作流程和控制作业的运行。命令接口根据作业控制的方式不同,又分为联机命令接口和脱机命令接口。

1. 联机命令接口

联机命令接口由一组键盘操作命令组成,是用户以交互方式请求操作系统服务的手段。用户通过终端或控制台输入操作命令,向系统提出服务请求。

用户每输完一条命令,控制就转入操作系统的命令解释程序,系统对该命令解释执行,完成指定的操作。执行完毕,控制又转回终端或控制台,用户可接着输入下一条命令。如此反复,直到作业完成。

键盘操作命令的作业控制方式灵活方便,用户可根据运行情况随时干预自己的作业,但是,系统的资源利用率不太高。

2. 脱机命令接口

脱机命令接口由一组作业控制命令(又称作业控制语言)组成,供脱机用户使用。所谓脱机用户,是指用户不能直接干预其作业的运行,而是事先把对系统的请求作业控制语言写成一份作业说明书,连同作业的程序和数据一起提交给系统。

当系统调度该作业执行时,由操作系统对作业说明书上的命令逐条执行,直到遇到“撤离”命令而停止该作业为止。

这种接口主要用于批处理方式操作系统,尤其是作业的操作过程由操作系统自动调度或由系统管理员干预,因而系统资源利用率高。其不足是用户与系统隔离,由于用户不能干预其作业的运行,用户作业的调试周期增长。

所有计算机的用户都是通过上述接口与操作系统发生联系的。作业管理涉及的是作业控制级接口的管理。

3. 图形用户接口

图形用户接口是近些年一种比较流行的交互式接口。

图形用户接口采用了图形化的操作界面,用非常容易识别的各种图标来将系统的各项功能、各种应用程序和文件直观地表示出来。用户可通过鼠标、菜单和对话框来完成对应用程序和文件的操作,此时用户已完全不必像使用命令接口那样去记住各种子命令名及格式,从而把用户从繁琐且单调的操作中解放出来,使计算机成为一种非常有效且生动有趣的工具。

图形用户接口可以方便地将文字、图形和图像集成在一个文件中。可在文字型文件中加入一幅或多幅图像,也可以在图像中写入必要的文字,而且还可进一步将图像、文字和声音集成在一起。

4. 用户接口的发展

随着个人计算机的不断普及,缺乏计算机专业知识的用户越来越多,如何不断更新技术,提供形象直观、功能强大、使用简便、容易掌握的新一代用户界面,便成为操作系统领域的一个热门的课题。多媒体、多通道及智能化技术的发展与应用,加速了新一代用户界面的开发进程,取得了较大的成功。例如,具有沉浸式和临场感的虚拟现实(virtual reality)应用环境已走向实用。有理由相信,在不久的将来,人们可以用语音、自然语言、手势、面部表情、视线跟踪等更加自然和方便的手段进行输入,而计算机的输出也会给用户带来立体视觉、听觉和嗅觉等。总之,新一代用户界面具有以用户为中心,自然、高效、无地点限制等特点。

2.2 作业管理概述

作业管理的主要功能是作业控制和作业调度。作业控制包括作业的建立、运行、故障处理,以及作业的输入/输出,也就是说,作业管理的任务是建立作业,使之执行,并在完成任务后将其撤消。作业的输入/输出过程是在操作系统提供的有关命令控制之下完成的。

2.2.1 作业、作业步、作业流

所谓一个作业,就是指用户在一次上机算题过程中或一次事务处理过程中,要

求计算机系统所做工作的总和,它是用户向计算机系统提交一项工作的基本单位。一般来说,作业可分成几个独立的子任务,每个子任务称为作业步。例如,用户用 C 语言编写了一个 C 程序(取名 user),它将通过计算机系统完成如图 2-3 所示的工作。

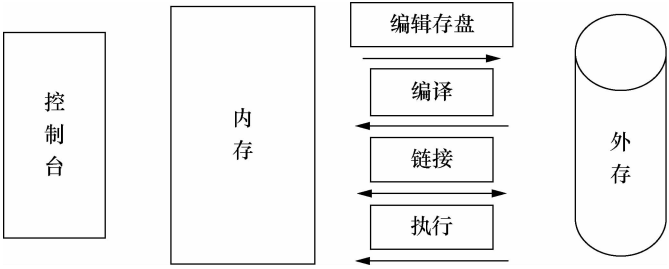


图 2-3 作业、作业步

图 2-3 中的相关步骤说明如下。

- (1)编辑:由控制台在 C 语言的编辑环境下编写一个名为 user. c 的源程序,并将其存到磁盘上。
- (2)编译:在 C 语言的编辑环境下对 C 源程序进行编译,生成相应的目标程序 (user. obj)并存到磁盘上。
- (3)连接:在 C 语言的编辑环境下,对目标程序连接装配,生成一个可执行程序 (user. exe)并存到磁盘上。
- (4)执行:执行可执行程序 user. exe,并输出结果。

以上几个步骤的总和就是一个作业,其中每个步骤就称为一个作业步,这个作业由 4 个作业步组成。作业在完成每个作业步后,可创建一个或几个进程来执行。一个作业一般可以分成若干个作业步,各作业步之间相对独立,又相互关联。作业步之间的关系表现为如下几点。

- (1)前一个作业往往产生下一个作业步运行时所需要的数据(文件),如图 2-4 所示。

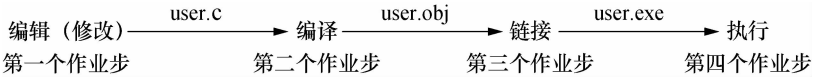


图 2-4 作业步之间的关系

用户用 C 语言编写程序的源程序,通过编辑形成一个 user. c 源程序,它是第二个作业步编译的对象,而编译产生的目标块 (user. obj)则是第三个作业步的链接对象,链接装配好的可执行文件 (user. exe)装入内存后才是执行的对象。

- (2)往往只有前一个作业步运行成功,才能继续下一个作业步。

若源程序有错编译必定不会成功,且系统会列出编译中的错误。这时,需要返回编辑状态进行修改,修改正确后再进行编译,只有编译的错误条数为零时才能进行下一个作业步;只有当链接成功后,程序才能执行。

系统在完成每一个作业步时,可以建立一个或多个进程,作业步所完成的工作是这些进程的执行结果(有关进程的执行结果将在第 3 章学习)。

作业流是指在批处理系统中,把一批作业安排在输入设备上,然后依次读入系统进行处理,从而形成了作业流。

2.2.2 作业管理的任务

用户怎样将其作业提交给操作系统,操作系统又是怎样组织、调度它们运行的,这些都属于管理的范畴。作业管理的主要任务是作业调度和作业控制。

1. 作业调度

作业调度是指根据一定的算法,从输入到系统的一批作业中,选出若干个作业,分配必要的资源,如内存空间、外部设备等,为它们建立相应的用户作业进程和为其服务的系统进程,然后把这些作业的程序和数据调入内存,等待进程调度执行。

作业调度的目标是使作业运行最大限度地发挥各种资源的利用率,并保持系统内各种活动的充分并行。

2. 作业控制

作业控制是指在操作系统的支持下,用户如何组织其作业并控制作业的运行。作业控制包括如下两个方面。

(1)从用户角度来说,作业控制就是用户通过作业控制级接口,组织和控制其作业在计算机上的运行,即作业控制就是用户在操作过程中对作业的各种干预。

(2)从系统管理的角度来说,作业控制就是系统接受、分析并执行用户发出的控制命令,对作业的运行进行管理和控制。

作业控制方式有如下两种。

(1)脱机作业控制:也称为作业的自动控制方式,它是为脱机用户服务的。脱机作业控制方式在批处理系统中提供。

(2)联机作业控制:也称为作业的直接控制方式,它是为联机用户或终端用户服务的。在分时系统中一般提供联机控制方式。

2.3 批处理方式下的作业管理

在分时系统中,一般没有作业的概念,因而也无作业管理,但在批处理系统中,作业管理是很必要、很重要的一个功能。

2.3.1 作业的构成

作业由 3 部分组成,即程序、数据和作业说明书。程序和数据完成用户要求的业务处理工作,作业说明书则体现用户所对其作业的控制意图。例如,程序采用何种语言书写,是否需要进行修改、编译,程序运行出错时怎么处理,运行作业需要哪些资源等。

作业说明书主要包括 3 方面内容,即作业的基本情况、作业的控制描述、作业的资源要求描述。其主要内容如图 2-5 所示。

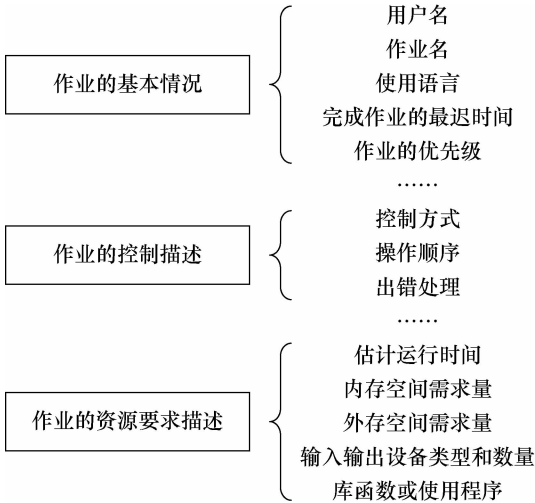


图 2-5 作业说明书的主要内容

2.3.2 作业控制块

当建立一个作业时,操作系统必须为每个作业创建一个作业控制块(JCB)。JCB 包含了对作业进行管理控制所必需的信息,它是作业存在与否的唯一标识,体现了一个作业的生命周期。JCB 在作业整个运行中始终存在,且内容不断变化,当作业完成后,系统会撤消其 JCB,同时释放作业占用的资源。JCB 中所包含的信息因系统而异,但所包含的主要内容是一样的。

JCB 中的信息主要根据用户提供的作业控制信息及系统为作业分配资源的情况来填写,并且根据作业运行情况动态改变。JCB 内容是作业调度的依据。一般 JCB 包含以下内容。

- (1)描述信息:包括作业名、作业状态、作业的优先级和作业类型等。
- (2)资源要求:包括运行的时间、最迟结束时间、需要的主存空间、外设的种类和数量等。

(3)使用信息:包括作业进入系统的时间、开始运行时间、已经运行时间和内存的地址等。

2.3.3 作业进入系统和作业建立

计算机系统一旦接收到一个作业后,就会依据加工步骤所规定的动作完成对作业的处理。我们把这种加工步骤称为作业说明书。作业说明书体现用户对作业的控制意图。作业说明书主要包含 3 方面的内容:作业的基本信息,如用户名、使用的编程语言名、作业的优先级及允许的最大处理时间等;作业的资源信息,如需求内存的大小、外设的类型及数量等;作业的控制信息,如作业的控制方式、作业的状态、作业的操作顺序及出错处理等。当然,不同的操作系统对作业说明书的格式和内容有不同的要求,但基本上都包含上述 3 个主要内容,且都是根据不同的系统提供的控制命令或控制语言及相关参数按照一定的格式进行编写的。

当系统操作员在输入设备上将各个用户提交的作业准备好时,输入“START”命令,启动操作系统的预输入工作。

预输入程序从输入设备上接收作业信息(包括作业说明书、程序、数据),把作业组织成文件传送到磁盘上的特定空间(称为输入井);同时,根据作业说明书的内容和有关信息为该作业建立一个 JCB。此时,作业建立完成。

2.3.4 作业状态的变迁

每个作业都有一个从建立到撤消的过程,一个作业从进入系统到运行结束,一般要经历提交、后备、运行和完成 4 个阶段,相应地,作业也有 4 种状态。

1. 提交状态

用户将自己的作业提交给计算机系统,通常通过各种输入设备将作业从外部送入计算机系统的辅助存储设备(如磁盘)中。这个输入过程称为作业的提交,也叫作业收容。提交状态是作业还没有进入计算机系统之前,用户正在向系统提交作业时所处的状态。

2. 后备状态

作业提交完成后,作业便处于后备状态。此时作业的全部信息都已输入,且由操作系统将其存放在输入井中,并为该作业建立一个 JCB。

系统将所有处于后备状态的作业的 JCB 组成后备作业队列,等待作业调度程序的调度。

3. 运行状态

一个后备作业被调度程序选中,并分配给它必要的资源,然后调入内存运行,并为其创建了进程。这时称作业处于运行状态。

实际上,被作业调度程序选中的作业,虽然得到了必要的系统资源,获得了在处理机上运行的资格,但不一定真正占用处理机运行,只有当被处理机调度程序选

中后,才能真正占用处理机运行。所以从微观上讲,处于运行状态的作业,有的处于真正运行状态,有的处于就绪状态,有的阻塞正等待某事件的发生。但从宏观上讲,它们都在运行。

4. 完成状态

当作业正常运行完毕或因发生错误非正常关闭时,作业进入完成状态。此时,系统将收回该作业所占用的全部资源,并清理有关 JCB 和 PCB(进程控制块将在第 3 章学习)。然后系统将作业运行情况及作业结果(存放在磁盘的输出井中)输出到输出设备(如打印机)。

作业状态的转换如图 2-6 所示。

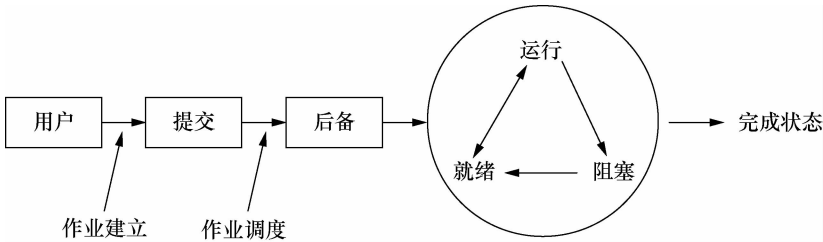


图 2-6 作业状态及其转换

2.3.5 作业调度

由于内存空间有限,在系统中等待的作业不能全部同时被装入主存中,操作系统根据允许并发执行的作业道数和一定的算法,从作业后备队列当中选取若干作业装入内存,使它们可以获得处理器运行,这项工作称为作业调度,完成这项工作的程序称为作业调度程序。

1. 作业调度的概念

作业调度又称为高级调度,它的功能是按照某种原则从后备作业队列中选取若干作业进入主存,并为作业做好运行前的准备工作和作业完成后的善后处理工作。作业调度工作具体由作业调度程序负责完成。作业调度程序的主要功能是审查系统是否能满足用户作业的资源要求,以及按照一定的算法来选取作业。其主要工作如下。

- (1)记录系统中各个作业的情况。
- (2)按照某种调度算法从后备作业队列中选取作业。
- (3)为选中的作业分配内存和外设等资源,并为选中的作业建立相应的进程。
- (4)作业结束后进行善后处理工作。

作业调度程序本身被一个系统进程执行,该进程在系统初始化时被创建。在进行作业调度时,作业调度程序应公正合理地对待所有作业,使每个设备都有较高的利用率。确保每次运行尽可能多的作业来提高系统的吞吐量,同时应有较高的

响应时间。

2. 作业调度算法

系统调度性能的好坏与采用的调度算法有关。作业调度算法的主要任务是按照某种调度算法,从后备作业队列中挑选一批合理搭配的作业进入运行状态;同时,为选中的作业分配内存和外部设备资源为其建立有关的进程;当作业执行结束进入完成状态时,做好释放资源等善后工作。

作业调度算法决定选择哪一个后备作业进入运行状态,因此是作业调度的关键,其好坏直接影响到系统的效率。

选择调度算法要考虑的因素很多,而且这些因素往往是相互矛盾的。一般应考虑以下若干个情况。

(1)尽量提高系统的作业吞吐量,即尽可能多的处理作业。

(2)尽量使 CPU 和外部设备保持繁忙状态,以提高资源利用率。

(3)对各种作业公平合理,使所有用户都满意,不能无故或无限制地拖延某个作业的执行。

(4)平衡系统和用户要求。用户的满意程度与系统的效率是一对相互矛盾的因素,每个用户都希望自己的作业立即投入运行,并很快获得运算的结果,而系统有时难以满足用户的要求。对于外部设备也可能出现类似情况,所以系统不应该无原则地迁就用户。

实际上,对于一个具体系统来说,如果考虑的因素过多,必将导致调度算法复杂化从而增加系统开销,反而不利于提高系统效率。因此大多数操作系统都采用比较简单但有效的作业调度算法。

3. 评价作业调度算法优劣的性能指标

不同的作业调度算法有不同的性能,评价作业调度算法优劣的性能指标主要有以下几个。

(1)周转时间。某作业 i 从进入时刻 T_s 到完成时刻 T_c 所经历的时间称为该作业的周转时间 T_i ,有

$$T_i = T_c - T_s$$

(2)作业平均周转时间 T 。平均周转时间是指所有作业的周转时间的平均值。假定作业 i 的周转时间定义为 T_i ,进入系统的作业数为 n ,则 n 个作业的平均周转时间 T 定义为

$$T = (\sum_{i=1}^n T_i) / n$$

(3)作业平均带权周转时间 W 。作业 i 的周转时间 T_i 与实际运行时间 T_r 之比称为作业 i 的带权周转时间 W_i ,有

$$W = T_i / T_r$$

则 n 个作业的平均带权周转时间为

$$W_i = (\sum_{i=1}^n W_i)/n$$

通常,用 T 来衡量不同调度算法对同一作业流的调度性能;用 W 来衡量同一调度算法对不同作业流的调度性能; T 和 W 越小,系统对作业的吞吐量越大,系统的性能越高,因此, T 和 W 越小越好。

(4)处理机利用率。处理机利用率是处理机有效运行时间与总的运行时间之比。

(5)吞吐量。吞吐量是指单位时间内平均完成的作业数。

4. 作业调度算法

下面介绍一些常用的作业调度算法。

1)先来先服务

先来先服务(first come first serve,FCFS)算法的基本思想是按照作业进入后备队列的先后顺序进行调度。该算法按照作业建立时间的先后次序来选择作业,先进入系统的作业优先调度。该算法的特点有利于长作业,不利于短作业。需注意的是,作业的长短不是指作业的物理长短,而是指其执行时间的长短。

例如,假定有 3 个作业,它们的提交时间和运行时间如表 2-1 所示。

表 2-1 3 个作业的提交与运行情况表

作业号	提交时间/点钟	估计运行时间/小时
1	10:00	2
2	10:06	1
3	10:25	0.25

按照先来先服务的原则,可以计算出它们各自在系统中的开始运行时间、完成时间及周转时间。其计算结果如表 2-2 所示。

表 2-2 3 个作业的 FCFS 调度结果

作业号	开始运行时间/点钟	完成时间/点钟	周转时间/小时
1	10:00	12:00	2.00
2	12:00	13:00	2.90
3	13:00	13:15	3.00

3 个作业平均周转时间 T 和平均带权时间 W 分别如下:

$$T=[(12:00-10:00)+(13:00-10:06)+(13:15-10:25)]/3=2.63(h)$$

$$W=[(12:00-10:00)/2+(13:00-10:06)/1+(13:15-10:25)/0.25]/3=5.3(h)$$

显然,对于短作业 3 而言,它本来只需运行 15 分钟,但因为稍来迟一些,就需

要在系统中待 2 小时 45 分钟后才得到运行,等待时间远远大于实际运行时间。因此它对这种算法很不满意。这种调度算法的优点是实现简单和看似公平;其缺点是没有考虑到系统中各资源的充分利用;对此,短作业用户不满意,因为短作业等待处理的时间可能比实际运行时间长得多。

针对此不足加以改进,就出现了短作业调度算法。

2)短作业优先调度算法

该算法总是优先选择估计运行时间最短的作业。

例如,假定还是如表 2-1 所示的 3 个作业,现在按照短作业优先原则进行调度,调度结果如表 2-3 所示。

表 2-3 3 个作业最短作业优先算法

作业号	开始运行时间/点钟	完成时间/点钟	周转时间/小时
1	10:00	12:00	2.00
2	12:00	12:15	2.00
3	12:15	13:15	3.15

3 个作业平均周转时间 T 和平均带权周转 W 分别为:

$$T=[(12:00-10:00)+(12:15-10:25)+(13:15-10:06)]/3=2.38(h)$$

$$W=[(12:00-10:00)/2+(12:15-10:25)/1+(13:15-10:06)/0.25]/3=4.05(h)$$

显然,不论是 T 还是 W ,短作业优先调度算法的值都小于先来先服务调度算法的值。

实践证明,由于系统中所有作业是同时间到达的,所以采用短作业优先算法可以得到最短的作业周转时间。

但是,由于该算法只考虑作业运行时间而完全忽略了作业等待时间的长短,因此有可能发生一种情况,即一个长作业进入系统后,由于不断有较短作业进入系统,使它一直得不到机会运行。这种现象被称为“饥饿”,显然,该算法对长作业不公平。

说明:作业的平均周转时间和带权平均周转时间是衡量作业调度算法的两个重要指标。通常,使用前者来衡量不同调度算法对同一作业流的调度性能;使用后者来衡量同一调度算法对不同作业流的调度性能。作业的平均周转时间和带权平均周转时间越小越好。

3)响应比最高者作业调度算法

先来先服务算法与最短作业优先算法都是比较片面的调度算法。先来先服务算法只考虑作业的等待时间而忽略了作业的运行时间,而最短作业优先算法恰好与之相反,它只考虑用户估计的作业运行时间而忽视了作业的等待时间。响应比高者优先调度算法是介于这两种算法之间的一种折中算法。它既照顾短作业而又

不使长作业的等待时间过长,响应比 R 定义为系统对作业的响应时间与作业估计运行时间的比值,即:

$$R = \text{响应时间} / \text{估计运行时间} = (\text{作业等待时间} + \text{估计运行时间}) / \text{估计运行时间} = 1 + \text{作业等待时间} / \text{估计运行时间}$$

该算法优先选择响应比最高的作业运行。例如,假定有 4 个作业按表 2-4 所示的第 2 列提交给系统,它们的估计运行时间长度如表 2-4 中的第 3 列所示。

表 2-4 4 个作业提交与运行情况表

作业号	提交时间/点钟	估计运行时间长度/小时
1	8:00	2.00
2	8:30	0.5
3	9:00	0.1
4	9:30	0.2

按照最高响应比作业优先的原则,可以计算出它们各自在系统中的开始运行时间、完成时间、周转时间。其计算结果如表 2-5 所示。

表 2-5 4 个作业最高响应比作业优先调度的结果

作业号	开始运行时间/点钟	完成时间/点钟	周转时间/小时
1	8:00	10:00	2.00
2	10:00	10:06	1.10
3	10:06	10:36	2.10
4	10:36	10:48	1.30

8 点钟时只有作业 1 提交,因此系统直接调度运行它;在运行完作业 1 后,时间为 10:00 时,其他 3 个作业都已提交,它们在系统中的等待时间分别为 1.5 小时、1 小时和 0.5 小时,此时它们的响应比分别如下:

作业 2: $R=1+1.5/0.5=4$

作业 3: $R=1+1.0/0.1=11$

作业 4: $R=1+0.5/0.2=3.5$

显然,作业 3 的 R 值最高,因此系统选择作业 3 投入运行。

作业 3 完成后,时间为 10:06,剩下的两个作业在系统中的等待时间分别为 1.6 小时和 0.6 小时,此时它们的响应比如下:

作业 2: $R=1+1.6/0.5=4.2$

作业 4: $R=1+0.6/0.2=4.0$

显然,作业 2 的 R 值高,系统选择作业 2 投入运行。

当作业 2 完成后,只剩下作业 4,系统直接将其投入运行即可。

这 4 个作业的平均周转时间和平均带权周转时间 W 分别如下:

$$T=(2.00+1.10+2.10+1.30)/4=1.625$$

$$W=(2.00/2+1.10/0.1+2.10/0.5+1.30/0.2)=5.675$$

从式(2-1)可见,作业的 R 值与作业的估计运行时间成反比,即作业的估计运行时间越短,其 R 值越高,因此短作业会优先被调度;作业的估计运行时间越长,其 R 值越低,同时作业的 R 值会随着等待时间的增加而增加,只要等待时间足够长,该作业总会由于响应比高而被调度,因此长作业也不会发生“饥饿”现象。

显然,该算法是上述两种算法的综合,它克服了上述两种算法的缺点,结合了上述两种算法的优点,但该算法也有不足,即每次调度都需要针对后备作业队列中的所有作业计算响应比并进行比较选择,系统会付出较大的时空开销。

4) 优先级调度

优先级调度算法根据作业的优先级来选取作业,每次总是选取优先级最高的作业投入运行。优先级调度算法是为了照顾作业的轻重缓急情况,使紧急的作业能够及时得到处理。如何确定作业的优先级是个比较重要的问题。作业的优先级可以由用户指定(在 JCB 中),也可根据作业的轻重缓急程度、作业的长短、等待时间的多少,以及资源申请情况等综合确定一个优先级计算公式。

优先级的高低用优先数表示,不同的系统中表示的方法不同。在多数情况下,优先数越小优先级越高。另外,优先数还有静态优先数和动态优先数两种。静态优先数是在调度前设置优先数;动态优先数是在调度时产生,即在作业运行过程中,根据实际情况和作业发生的事件动态地设置优先数。至于采用何种方式确定作业的优先数,应根据系统的设计目标等因素综合考虑决定。通常,在具有前后台作业的系统,前台作业优先于后台作业。

5. 作业调度机制

当磁盘上的输入井中有一道作业建立(可能它的优先级最高),或者内存中的一道作业运行结束时(可能 CPU 空闲),系统就会启动作业调度工作。

2.3.6 作业控制

1. 作业的类型

根据计算机系统的作业处理方式不同,可把作业分成两大类:交互式作业和批处理作业。

1) 交互式作业

交互式作业又称终端作业或联机作业,是指用户直接与计算机系统交互,常用于分时系统或个人计算机系统中。这种作业通过命令方式提供,或直接用会话型语言提供的语句编制程序,由系统对其解释执行。交互式作业的用户独占终端实施交互式控制,特别适合于对程序的动态调试和修改。

2) 批处理作业

批处理作业又称脱机作业,多见于批处理系统中,它要求用户预先把作业的 3 个部分(程序、数据和加工步骤)准备好后交给系统。通过 Spooling 技术,计算机系统一次可以接收多个用户作业并将它们存放在磁盘的输入井中。操作系统根据一定的调度算法来调度作业的运行,当某个作业启动运行后,就不需要用户的干预,系统根据该作业的作业说明书来控制作业的执行过程。

在批处理系统中,系统向用户提供作业控制语言(job control language, JCL),使用户将自己对作业的控制意图写成作业说明书, JCL 是一种特殊的程序语言,通常包括作业描述、资源说明、作业执行、作业流程等作业控制语句。

2. 作业的输入/输出方式

(1) 脱机输入/输出方式。在这种方式下,由于主机的运行速度较快而外部设备的速度较慢,难于实现主机与外设的并行工作,因而对 CPU 资源是一种浪费,系统的工作效率较低。为此在高速的主机和低速的外设之间增加一台卫星机专门用于处理输入/输出信息。数据输入时,用户利用卫星机首先将信息输入大容量的后备存储器(如磁盘)上,然后由用户把装有数据的后备存储器拆卸下来,拿到主机的高速外围设备上,从而在较短的时间内完成作业的输入工作;数据输出时,由主机将输出信息通过高速外设输出到后备存储器上,然后由卫星机的后备存储器将数据从低速的输出设备上输出。

这种处理方式使数据的输入/输出完全独立于主机,使主机的工作不受低速外设的牵制,两者可以并行工作,有效地提高了系统的工作效率。但是,这种方式需人工干预,系统的出错率受人工因素的影响,作业的周转时间较长,不易实现优先级调度算法。

(2) 联机输入/输出方式。脱机输入方式虽然避免了主机直接与低速的 I/O 设备打交道,但装卸磁带或磁盘组还是需要人工的干预,并不方便。后来,实现了多道程序设计技术后,人们在通道和中断的基础上研制了 Spooling 输入/输出系统。Spooling 的含义是外围设备同时联机操作,与脱机方式不同的是,它利用两道程序(预输入程序和缓输出程序)来分别模拟脱机输入和脱机输出时的低档外围机,从而避免了脱机方式下使用低档外围机时的人工操作,实现了联机情况下外围设备的同时处理。因此,Spooling 方式也称为假脱机方式。

Spooling 系统的实现原理是在硬盘中划分为输入井和输出井的区域,在预输入程序的控制下,来自输入设备的多个用户作业随机保存在输入井中。每个用户作业之间相互隔离,互不干扰。当系统要调度用户作业执行时,直接从输入井中提取,而不是从输入设备上获取该作业,这样就缩短了用户作业提交的时间。同样,当需要把执行作业过程中的数据向低速的外部 I/O 设备输出时,不是直接向外部设备输出,而是先写入输入井中,然后在缓输出程序的控制下,从输出井向外部设备输出。在该系统中,由于外部设备的操作与 CPU 对数据的处理可以同时进行,

因而使系统的效率得到了提高。

2.3.7 作业完成

当作业说明书执行完毕后,作业状态转变成完成状态。系统的输出程序负责将该写成作业的运行情况及运行结果输出到输出设备,系统还将收回作业的全部资源。

本章小结

操作系统是用户与计算机之间的接口,用户是通过操作系统来使用计算机的。操作系统向用户提供了两类使用接口:一类用于程序级,由一组系统调用命令(又称广义指令)组成;另一类用于作业控制一级,分为联机接口(由一组键盘操作命令组成)和脱机接口(由一组作业控制命令组成)。

作业管理涉及的是作业控制级的接口管理。所谓一个作业,就是指用户在一次上机算题过程中或一次事务处理过程中,要求计算机系统所做工作的总称。

一个作业一般可以分为若干个作业步。在批处理系统中,把一批批作业安排在输入设备上,然后依次读入系统进行处理,从而形成了作业流。

作业由 3 部分组成,即程序、数据、作业说明书。操作系统根据作业说明书生成一个作业控制块(JCB),系统为每个作业建立一个 JCB,JCB 是作业在系统中存在的标志。

作业有进入、后备、运行、完成 4 种状态。

作业管理的主要任务是解决作业输入/输出问题,即作业调度和作业控制。

作业调度是根据一定的算法,从输入系统的一批作业中,选出若干个作业,分配必要的资源,为它们建立相应的用户作业进程为其服务的系统进程,最后,把这些作业程序和数据调入内存,等待进程调度程序去调度执行。

作业调度算法决定选择哪一个后备作业进入运行状态。作业调度算法是作业调度的关键,其好坏直接影响到系统的效率。评价作业调度算法优劣的性能指标通常有两个,即作业平均周转时间 T 、作业平均带权周转时间 W 。通常有 3 种作业调度算法:先来先服务、短作业优先、最高响应比作业优先。

作业控制是指在操作系统的支持下,用户如何处置其作业并控制作业的运行。作业控制方式有两种:脱机作业控制和联机作业控制。

在批处理系统中,系统向用户提供作业控制语言 JCL,使用户将自己对作业的控制意图写成作业说明书。

当作业说明书执行完毕时,作业状态转变成完成状态。

习 题

1. 操作系统用户接口包括哪几种类型?
2. 什么是作业?
3. 作业由哪几部分组成? 各有什么功能?
4. 作业调度的基本原则是什么?
5. 常用的作业调度算法有哪些?
6. 作业有哪几种状态? 其含义各是什么?
7. 试分析单道批处理系统先来先服务、短作业优先和最高响应比优先作业调度算法的优缺点。

8. 在一个单道程序设计系统中,有 3 个作业 J1、J2、J3,它们到达输入井的时间分别为 8:50、9:00、9:30,各个作业需要执行的时间分别为 1.5 h、0.4 h、1 h。系统在 10:00 按最高响应比优先算法对它们进行调度,请回答:

- (1)作业执行的次序是什么?
- (2)3 个作业被选中时的响应比分别是多少?

9. 在一个单道批处理系统中,现有 3 个作业采用先来先服务算法和最高响应比优先调度算法进行调度。作业提交系统的时间和作业运行的时间如表 2-6 所示。哪一种算法性能较好? 分别求在这两种调度算法下,作业的平均周转时间 T 和作业的带权平均周转时间 W ,并完成表 2-6 中空缺的各项内容。

表 2-6 作业进入系统时间及需要计算时间

作业号	提交时间	运行时间	开始时间	完成时间	周转时间	带权平均周转时间
1	10:00	2				
2	10:10	1				
3	10:25	0.25				

10. 有 3 个作业 A(到达时间 8:50,执行时间 1.5 h)、B(到达时间 9:00,执行时间 0.4 h)、C(到达时间 9:30,执行时间 1 h)。当作业全部到达后,单道批处理系统按照最高响应比优先算法进行调度,则作业被选中的次序是什么?(要求通过表格说明每个作业的到达时间、开始时间、结束时间、周转时间并分析,然后得出答案)