

# 决定中断优先顺序的策略\*

李华春

(黑龙江大学计算机系, 哈尔滨 150080)

**摘要** 本文指出“以优先层为准则的优先级策略”存在问题和结论错误的基础上, 提出一种三层混合式中断优先级策略. 它兼顾了系统的应变能力、系统复杂性、系统开销和灵活性等重要性能指标, 是一种理想的中断优先级策略.

**关键词** 操作系统, 中断优先级策略.

目前几乎所有的计算机都配有中断系统, 给各种事件与 CPU 之间的通信提供良好的环境和手段. 一个好的中断优先级决定策略, 对紧急重要事件即能迅速处理, 有很强的应变能力, 又不过份地增加系统开销和复杂性, 同时也给各种用户决定中断优先级以较大的灵活性.

针对纯粹可中断优先级措施系统开销较大、纯粹不可中断优先级措施系统应变能力不强, 以及混合式优先级措施<sup>[1]</sup>缺乏灵活性和应变能力也较差的各自不足, 有人主张采用“以优先层为准则的优先级策略”<sup>[2]</sup>. 该文在中断优先级策略模拟作图和结论中都有错误之处, 而且低层中的中断请求等待时间过长, 当优先层增加时, 复杂性也随之增加, 而系统开销较混合式中断优先级措施并不减少.

本文分析了“以优先层为准则的优先级策略”<sup>[2]</sup>, 指出了文献[2]在中断优先级策略模拟作图和结论中的错误之处, 以及这种策略的不足. 在此基础上, 提出一种“三层混合式中断优先级策略”. 它兼顾了系统应变能力、系统复杂性、系统开销和灵活性等重要性能指标, 是一种较理想的决定中断优先级的策略.

## 1 分析“以优先层为准则的优先级策略”

文献[2]将以优先层为准则的优先级策略定义为: 将系统中全部  $N$  个中断源称为  $N$  种优先级, 再将它们划分为  $M$  个优先层, 规定同一层中各优先级不得中断, 其优先权按自然序列排队, 但曾中断过的程序优先. 各  $M$  层之间按纯粹可中断措施处理. 在定义之后, 它给出了下面的例子, 设一个小系统共有 8 个中断源, 可分为 8 个优先级, 再将它们分为 3 层, 如图 1 所示.

\* 本文 1992-02-09 收到, 1993-01-11 定稿

作者李华春, 1938 年生, 教授, 主要研究领域为操作系统, 过程控制应用软件.

本文通讯联系人: 李华春, 哈尔滨 150080, 黑龙江大学计算机系

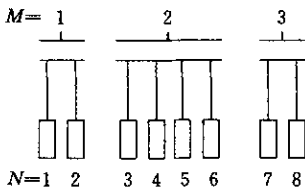


图1

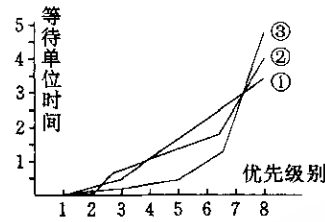


图2

该文应用马尔可夫过程函数等概念,给出递推公式,并做计算机模拟计算,给出图2中的曲线①,为了比较,在图2中又画上了纯粹可中断措施曲线②和纯粹不可中断措施曲线③. 根据图2,文献[2]说:由模拟曲线的比较可以清楚地看到“以优先层为准则的优先级策略”对于处在高层的中断请求,等待时间极短,这可以提高应变能力.而其它各层的中断请求的等待时间较另外几种中断措施时间都短,也就是说中断源的时间损失系数很小.因而结论说“以优先层为准则的中断优先级策略可以使系统的应变能力大大提高,系统开销大为降低”.

本文给出计算各级中断的中断请求等待时间公式,用中断请求的动态剖析图和采用公式计算两个方面,指出文献[2]的曲线作图及由此得出的结论的错误之处,同时指出这种优先级策略的不足.

从图2可以看出,中断级7和中断级8的等待时间,纯粹不可中断措施的要比以优先层为准则的优先级策略的长得多.然而结论与此完全相反,纯粹不可中断措施下中断级7和8的等待时间要比以优先层为准则的措施下的短得多.

我们对有八个中断源分为三层的小系统的例子作一动态剖析.图3和图4分别给出了纯粹不可中断措施下和以优先层为准则的优先级策略下,中断级8,1,2,5,3等各级中断的中断请求、中断排队、中断处理和离开系统的整个过程的时间片段,示出了系统的开销情况,依此作为判断系统优劣的依据<sup>[3]</sup>,得出文献[2]的作图和结论的错误.

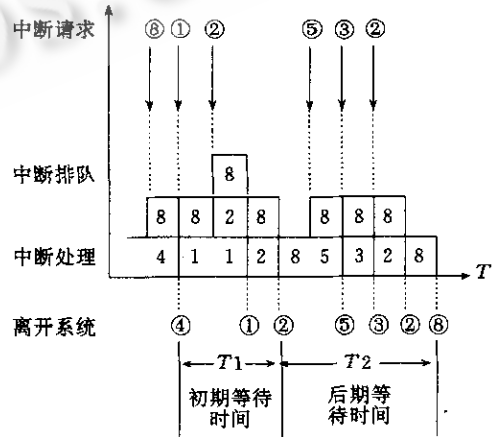
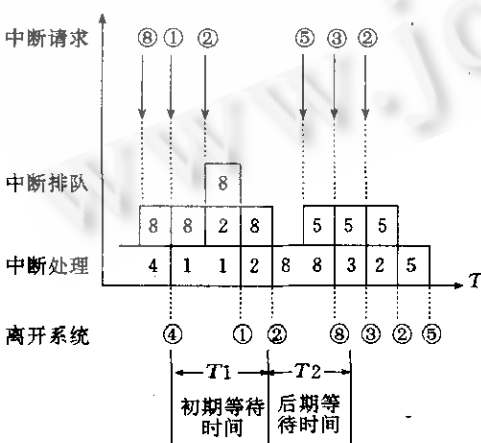


图3 纯粹不可中断措施下的中断处理过程

图4 以优先层为准则的优先级策略下的中断处理过程

我们由图3和图4清楚地看到,在各级中断请求和它们到达时间完全相同的情况下,中

断级 8 的中断请求在两种策略下的初期等待时间相同, 但后期完成时间长短不同, 离开系统的时间自然也不一样. 纯粹不可中断措施下, 因为在后期等待时间中, 不会发生优先级高于 8 的中断请求来“插队”现象, 因此中断请求离开系统的时间要比以优先层为准则的优先级策略的为早. 因此我们得出结论, 对于中断级 8, 在任何情况下都成立

$$T_{\#}^8 \leq T_{\#}^8$$

其中  $T_{\#}^8$  为纯粹不可中断措施下, 中断级 8 的中断请求等待时间,  $T_{\#}^8$  为以优先层为准则的优先级策略下, 中断级 8 的中断请求的等待时间.

下面给出公式. 设系统有  $N$  个中断优先级, 在任何中断优先级策略下, 中断级  $X$  ( $X \leq N$ ) 中断请求的等待时间  $T^x$  满足如公式:  $T^x = T_0 + \sum_{i=1}^q T_v^i + \sum_{j=1}^g T_w^j + T_x$  (1)

其中  $T_0$  为中断优先级  $X$  提出中断请求时, CPU 正在执行的程序(它不能被  $X$  中断)还需时间,  $\sum_{i=1}^q T_v^i$  为中断级  $X$  中断请求被处理之前, 已经排队等待的中断级高于  $X$  的  $q$  个中断请求所需处理时间,  $\sum_{j=1}^g T_w^j$  为中断级  $X$  的中断请求在处理的整个过程中, 中断级高于  $X$  的能来“插队”的所有  $g$  个中断请求所需处理时间,  $T_x$  为中断级  $X$  中断请求的所需处理时间.

公式(1)对任何中断优先级策略都适用. 对以优先层为准则的策略来说, 应用公式(1)计算图 4 中的

$$T_{\#}^8 = T_4 + (T_1 + T_2) + (T_5 + T_3 + T_2) + T_8$$

即公式(1)中的  $T_0 = T_4$ ,  $\sum_{i=1}^q T_v^i = T_1 + T_2$   $q=2$ ,  $\sum_{j=1}^g T_w^j = T_5 + T_3 + T_2$   $g=3$ ,  $T_x = T_8$ .

在纯粹不可中断措施下, 中断级  $X$  的请求被处理过程中, 不允许出现高于  $X$  的中断级来“插队”, 即  $\sum_{j=1}^g T_w^j$  项为 0. 因此公式(1)变为  $T^x = T_0 + \sum_{i=1}^q T_v^i + T_x$  (2)

应用公式(2)计算图 3 中的  $T_{\#}^8 = T_4 + (T_1 + T_2) + T_8$

此时不会发生中断级 5, 3, 2 来“插队”的现象.

现在, 我们应用公式来比较两种中断优先级策略中, 中断级  $X$  等待时间的大小. 我们看

公式(1)和(2), 因为成立  $T_0 + \sum_{i=1}^q T_v^i + \sum_{j=1}^g T_w^j + T_x \geq T_0 + \sum_{i=1}^q T_v^i + T_x$

所以, 永远成立  $T_{\#}^x \geq T_{\#}^x$

对上述的小例子来说  $T_{\#}^8 = T_4 + T_1 + T_2 + T_5 + T_3 + T_2 + T_8$ ,  $T_{\#}^8 = T_4 + T_1 + T_2 + T_8$

成立  $T_{\#}^8 > T_{\#}^8$ .

通过公式计算和动态剖析的结果, 都说明了纯粹不可中断优先级措施下, 较低级的(如 7 和 8)中断请求的等待时间要比以优先层为准则的优先级策略下的中断请求等待时间短. 可见文献[2]中的模拟曲线图是错误的, 由模拟曲线比较得到的结论“以优先层为准则的优先级策略, 高层之外的其它各层的中断请求等待时间较另外三种中断措施的中断请求等待时间都短”是个错误的结论.(文中指三种中断措施为纯粹可中断, 纯粹不可中断, 混合式中断).

实际上, 比其它各种中断优先级措施, 纯粹不可中断优先级措施, 是使较低级中断请求等待时间变得最短, 以及使系统开销减到最少的策略. 它的主要缺点是系统的应变能力差.

以优先层为准则的优先级策略规定高层中曾中断过的程序优先,这就使得比它优先级高的更紧急的事件得不到立即反应,产生了不必要的时间延迟,损失了实时性.这一点对第一层中特殊中断级尤其重要;在这个策略中,各优先层采用纯粹可中断优先级措施,随着优先层的增加,较低层中的中断请求后期等待时间中,中断请求的“插队”现象也随之增加,从而增加了系统的复杂性和开销.

## 2 三层混合式中断优先级策略

针对上述各种中断优先级措施的不足和主要问题,我们提出一种比较理想的三层混合式中断优先级策略.

**定义 1.** 我们把系统中全部  $N$  个中断源(中断级),划分为三个优先层.第一层由不可屏蔽中断源组成;第二层中各级中断按纯粹可中断措施处理,其优先权由硬件的自然优先顺序和软件优先级方法相结合的方式确定;第三层的中断采用纯粹不可中断优先级措施.规定,第二层中的各中断级的中断请求可以中断第三层中的中断处理.因此,中断优先级策略可表示为:  $F: [d_1, d_2, d_3]$

$$N = \sum_{i=1}^3 d_i$$

其中  $d_i$  表示第  $i$  层中中断源的个数.

第一层中的中断源在系统设计时确定,由硬件实现,屏蔽字无效.这层中的中断请求一旦出现,不经任何延迟立即得到系统响应.该层适用那些较特殊中断源,如掉电中断源等.

系统中那些紧急或重要事件的中断源,都安置在第二层.因为该层采用纯粹可中断措施,所以事件的紧急程度越高,中断请求的等待时间越短,实时性越好,并能迅速地离开系统.实际上,紧急的事件得到较快的响应,完全符合实际应用的实时环境.

只要适当控制第二层中的中断源的个数,在保证系统应变能力这个重要性能指标的同时,系统的开销和复杂性比以优先层为准则的优先级策略会大量的减少.

在第三层中采用纯粹不可中断优先级的主要目的是减少中断级较低的那些中断请求的等待时间,使它们尽早的离开系统.

第二、三层的中断级设置,可以根据实际需要,在硬件自然优先权的前提下,用软件手段来实现.这就给用户根据具体环境决定各种事件的中断优先级提供了方便,从而提高了系统的灵活性.三层混合式中断优先级策略中,影响系统开销和复杂性的只有第二层.这比层次较多的优先策略来说,不仅开销少,而且它的设计和实现都比较简单.

## 3 结束语

三层混合式中断优先级策略,兼顾了系统的应变能力,系统的复杂性,系统开销和系统灵活性等重要性能指标.通过对以优先层为准则的优先级策略的分析和比较,可以得出结论,它是各种中断优先级措施中较理想的中断优先级策略,对提高系统的性能指标具有重要意义.

### 参考文献

- 1 Herzog U, Verkehrsthere. Lecture note. University of Erlangen—Nuremberg, Erlangen, 1982.
- 2 陈石城等. 中断优先级顺序的决定策略. 计算机学报, 1987, 10(4): 201.
- 3 Akyildiz I F, Bolch G. Analytic solution techniques for queueing models of computer system. University of Erlangen—Nuremberg, Erlangen, 1981.

## A STRATEGY FOR DECIDING INTERRUPT ORDERS

Li Huachun

(*Department of Computer Science, Heilongjiang University, Harbin 150080*)

**Abstract** This paper introduces a new strategy of three-layered combined interrupt priorities after pointing out the disadvantages of the strategy on the principle of layered interrupt priority. This improved approach satisfies the user with better response ability, flexibility and lower system cost.

**Key words** Operating system, strategy of interrupt priority.