

文章编号: 1007-9432(2004)01-0070-02

# 嵌入式实时操作系统中的调度问题

郭江鸿, 董祥和

(太原理工大学 信息工程学院, 山西 太原 030024)

**摘 要:** 介绍了在嵌入式实时系统中调度所面临的限制以及克服这些限制的调度技术。在分析 RMS 和 EDF 算法的基础上, 混合利用它们的优点, 提出了一种新的优化算法。

**关键词:** 嵌入式; 调度; 优先级; 算法

**中图分类号:** TP316.2      **文献标识码:** A

嵌入式实时系统具有嵌入式和实时两个特点。嵌入式系统一般是单处理器, 有特殊用途, 用户不可编程。这意味着操作系统和应用可以部分地共享地址空间相互通信, 而且一般没有文件系统或标准外设。实时系统按严格的时间限制, 进一步分为硬实时和软实时系统。硬实时系统一般指实时控制系统, 任务必须在规定的时间内完成。软实时系统一般指实时信息处理系统, 其时限以用户可以接受的程度为准。

调度是指在有限的处理单元上对具有某些已知特征的任务集执行顺序的设计。在嵌入式实时系统中任务的执行要面对两个限制: 时间限制和资源限制。实时任务要求系统有良好的响应时间以满足截止时间, 在嵌入式系统中只有有限的 RAM, CPU 等资源, 所以调度器的好坏很大程度上决定了系统的性能。本文主要讨论与 CPU 相关的调度原理和算法。一般来说, 操作系统中的调度器以公平的原则进行工作。

## 1 调度原理

### 1.1 静态调度

静态调度指任务的执行顺序在进入系统前由截止时间、紧急程度、周期等指标决定, 其优点是执行任务调度时开销小。嵌入式实时系统的静态调度经常意味着单调重复的设计过程, 其原因是现存的调度器缺乏表达力和灵活性, 给系统的模块化和最优化带来了困难。主要有以下两种调度方法。

1) 循环法(Round-robin method)。循环法是最简单的静态方法, 就绪任务以预先规定的顺序获得

CPU 的使用权。此方法除了简单外没有其他优点。紧急任务不得等待非紧急任务的完成。

2) 静态循环调度(Static cyclic scheduling)。此法中任务也是以预先规定的顺序被检查, 就绪任务可以执行。但是依据任务的紧急程度, 一个任务可以在一次循环中被检查多次。静态循环调度要比循环法好, 但是频繁地检查任务是否就绪带来了额外的开销, 而且一个任务的开始执行依赖于另一个任务的完成。

### 1.2 动态调度

在嵌入式实时系统中动态调度依赖于任务的优先级。优先级可以静态分配或者依据不同的规则, 如截止时间、周期、紧急程度等进行动态分配。动态调度可以是剥夺型或非剥夺型的。前者用优化的标准动态调动任务, 从而减少因超过截止时间而失败的任务数, 后者检查系统中每一个任务, 看是否有新任务可以加入调度列表, 从而满足其截止时间的要求。任务调度的主要目标就是利用少的资源, 获得高的 CPU 利用率和时间利用率。非剥夺型内核或剥夺型内核都可以满足这些要求。非剥夺型内核易于分析、实现, 它利于保存额外的上下文切换, 节省了剥夺型内核中由于互斥带来的开销, 其缺点是可能使某些任务不能满足其截止时间的要求。调度器可以包括两极调度队列, 一个包含高优先级、不可剥夺型任务, 另一个包含可剥夺型任务。

## 2 调度算法

本文在分析 RMS 和 EDF 算法的基础上, 混合利用他们的优点, 提出了一种新的优化算法。

\* 收稿日期: 2003-09-02

作者简介: 郭江鸿(1975-), 男, 山西长治人, 在读硕士, 主要从事系统与网络研究。

### 2.1 RMS 算法

RMS (rate monotonic scheduling) 算法将最高优先级赋予最高执行频率的任务, 以单调的顺序对余下的任务分配优先级。Liu 和 Layland 的理论证明了下列公式, 即用 RMS 调度的独立的周期性任务总能满足其截止时间的要求。

$$C_1/T_1 + \dots + C_i/T_i + \dots + C_n/T_n \leq U(n) = n(2^n - 1).$$

式中:  $C_i$  为任务  $i$  的最坏执行时间;  $T_i$  为任务  $i$  的周期。

例如:  $U(n) = n$  个任务的利用率见表 1。

表 1  $U(n) = n$  个任务的利用率

任务	执行时间/ms	周期/ms	截止时间/ms
任务 1	20	100	100
任务 2	40	150	150
任务 3	100	350	350

表 1 中,  $20/100 + 40/150 + 100/350 \leq U(3) = 3(2^3 - 1)$ ; 总的利用率是 75.3%。

### 2.2 最早截止时间优先的 EDF 算法

最早截止时间优先意味着最紧急的任务赋予最高优先级。在 EDF (earliest deadline first) 算法中没有处理器空闲级。Liu 和 Layland 证明了对于一个  $m$  个任务的集合, 截止时间驱动的调度算法在下列条件成立时是可行的:

$$C_1/T_1 + \dots + C_m/T_m \leq 1.$$

任务的最坏响应时间  $R$  是可测的, 只有  $R$  小于截止时间时, 任务才能被调度。

$$R_i = S_i + B_i + C_i + E [ R_i / T_k ] C_k.$$

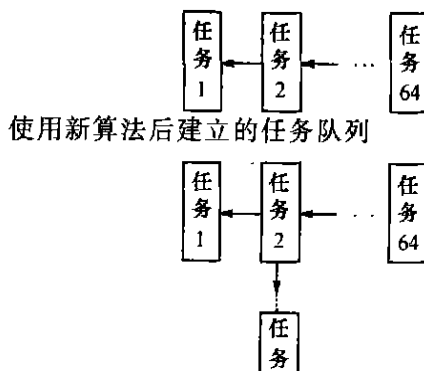
式中:  $S_i$  为任务  $i$  的调度开销;  $T_k$  为任务  $k$  再次就绪的时间;  $B_i$  为任务  $i$  的闭锁时间;  $C_i$  为任务  $i$  的执行时;  $[\ ]$  为取上限函数 ( $[ 1.2 ] = 2$ );  $R_i / T_k$  为发生任务  $i$  被高优先级任务剥夺的冲突的数量;  $[ R_i / T_k ] C_k$  为被高优先级任务占用的总时间。

### 2.3 混合解决方法

RMS 和 EDF 调度算法的问题在于它们的开销: 运行开销和调度开销。因为在嵌入式实时系统中资源非常有限, 所以开销要尽可能减小。运行开销与队列分析和从调度队列中增加、删除任务相关。每个任务在一个调度周期内至少被阻塞和唤醒一次, 所以调度器在一个周期内不得不对一个任务进行两次选择。RMS 算法根据任务的执行频率设置优先级, 有较小的运行开销, 但执行频率最高的任务不一定是重要的。EDF 算法中则是对整个任务列表的调度开销进行全面比较, 选择最高优先级任

务进行调度, 有较小的调度开销, 但对多个任务具有同一优先级的情况考虑不足。所以可以混合 RMS 和 EDF 的优点, 采用 RMS 较小的运行开销和 EDF 较小的调度开销, 得到一个优先级分配的优化算法, 在多个任务要求调度时, 选择截止时间最短(即优先级最高)的任务运行; 若任务的优先级相同时, 则选择运行频率最高的任务运行。

本文以 UCOSII 系统为例。因为 UCOSII 设置了 64 个优先级, 每个优先级只允许一个任务, 所以先对 UCOSII 的内核进行修改, 也就是对优先级相同的任务建立散列表, 在散列表中按执行的频率排序。这样就允许在一个优先级上建立多个任务, 并且该优先级散列表中的第一个任务就是在该优先级上执行频率最高的任务。原 UCOSII 任务队列为



在对某优先级任务执行调度的时候, 首先看该优先级上是否有其他任务。如果有, 则找到执行频率最高的进行调度。建立任务和调度任务的伪码如下。

建立任务:

```

建立任务控制块;
if(在该优先级上有任务存在)
{比较执行频率;
在散列表中找到合适的位置并插入;
}else
{新任务是优先级散列表上的第一个任务;
}

```

任务调度:

```

if(在该优先级上有任务存在)
{if(任务数大于 1)
{在该优先级散列表中找到执行频率最高的任务进行调度;
}else{执行任务调度;}
}else
{返回错误, 任务不存在}

```

(下转第 79 页)

## Anaerobic Pretreatment of Tar-containing Wastewater from Gasification of Biomass with UBF Reactor

LI Ya-xin<sup>1</sup>, WU Chuang-zhi<sup>2</sup>, HAN Zhi-ying<sup>1</sup>

(1. Environment Engineering Department of TUT, Taiyuan 030024, China;

2. Guangzhou Institute of Energy Conversion of Chinese Academy of Science, Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** An anaerobic pretreatment of tar-containing wastewater from gasification of biomass was studied in a upflow blanket filter (UBF) at ambient temperature of 16 ~ 36 °C, and the suspended microbe in the UBF reactor was also analysed. Under stable processing condition, the removal of COD was about 26 % in the UBF reactor with HRT of 66.9 h and OLR of 0.65 ~ 0.75 kg/m<sup>3</sup>·d. The treatment efficiency of UBF was low, which showed that anaerobic treatment can do only as pretreatment and other treatment processes were needed to meet the requirements of water recycle use in the production.

**Key words:** gasification of biomass; tar-containing wastewater; anaerobic pretreatment; upflow blanket filter (UBF)

(编辑: 任万森)

(上接第 71 页)

### 3 结束语

本文在分析 RMS 和 EDF 算法的基础上, 结合

两者优点, 提出了一种混合算法, 具有较小的运行开销和调度开销。并以 UCOSII 为例提出了实现方法, 是对嵌入式系统调度问题的一次有意义的探索。

#### 参考文献:

- [1] Abraham Silberschatz, Peter Galvin. Applied operating system concepts[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 141-165.  
[2] Jean J Labrosse. 嵌入式系统构件[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 53-60.

## Scheduling in Embedded Real-Time Operating Systems

GUO Jiang-hong, DONG Xiang-he

(College of Information Engineering of TUT, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** This paper introduces the scheduling constraints faced by embedded real-time systems and present scheduling techniques that can efficiently meet these constraints. A new optimized algorithm based on RMS and EDF algorithm is suggested.

**Key words:** embedded; scheduling; priority; algorithm

(编辑: 张红霞)