

文章编号: 1005-0523(2006)01-0106-03

# 嵌入式操作系统 uC/OS-II 在 DSP 上的移植研究

刘海峰, 刘百芬

(华东交通大学 电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:** 主要研究了源代码开放的嵌入式实时操作系统 uC/OS-II 在目前比较流行的 DSP(TMS320LF2407A) 上移植的方法, 解决了在 uC/OS-II 移植过程中的重点和难点, 并对移植后的系统进行了裁剪. 该移植在 TMS320LF2407A 实验板上实现, 在该环境下的多任务运行结果表明: 该系统稳定可靠. 经测试, 其多项性能指标均达到设计要求.

**关键词:** uC/OS-II; DSP

**中图分类号:** TP316

**文献标识码:** A

## 1 嵌入式实时操作系统 uC/OS-II 简介

uC/OS-II 是一款源代码开放的嵌入式实时操作系统内核. 目前, uC/OS-II 已经应用在很多领域, 比如工业机器人、医疗设备、引擎控制、ATM 机、网络适配器、智能仪器等.

uC/OS-II 最大的特点就是它的源代码开放, 这是其它商业实时内核所无法比拟的. 它是针对嵌入式应用而设计的, 而且, 在设计之初就充分考虑了它的可移植性, 它的大部分源代码都是用高可移植性的 ANSI C 编写的. uC/OS-II 可以移植到很多的处理器上, 它可以运行在大部分的 8 位, 16 位, 32 位, 甚至 64 位的微处理器和 DSP 上.

## 2 uC/OS-II 在 DSP 上移植的意义

步入 21 世纪之后, 社会也进入了数字化时代, 而数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)正是这场数字化革命的核心. 从 20 世纪 60 年代数字信号处理理论的崛起, 到 80 年代数字信号处理器的产生以来, 数字信号处理器的发展异常的迅猛. 今

天, 可以说 DSP 是现代信息产业的基石, 它在网络时代的地位与 CPU 在 PC 时代的地位一样. DSP 已经广泛的应用到社会的各个领域, 也渗透到我们的生活当中, 正改变着我们的生活方式. 数字产品将代替模拟产品, 其中 DSP 发挥着至关重要的作用. 但是, 随着系统的复杂度和实时性要求的提高, 软件开发已经成为 DSP 系统开发的难点和瓶颈, 制约着 DSP 的应用. 引入 uC/OS-II 实时内核的目的, 是要以很小的系统代价, 大大降低 DSP 系统软件开发的难度, 又使系统的实时性得到保证, 缩短应用开发的周期, 有很高的实用价值. 本文就是基于此而进行的研究.

## 3 uC/OS-II 在 TMS320LF2407A 上的移植

嵌入式操作系统的移植就是使一个实时内核能在某个微处理器或微控制器上运行. 为了方便移植, 大部分的 uC/OS-II 代码是用 C 语言编写的; 但仍需要用汇编语言写一些与处理器相关的代码, 这是因为 uC/OS-II 缺少专门的强大的调试工具和对于不同硬件结构的支持. 所以对于用户使用还具有一定的难度. 第一, 必须得首先清楚嵌入式操作系

收稿日期: 2005-10-08

**作者简介:** 刘海峰(1981-), 男, 黑龙江海伦人, 华东交通大学在读硕士研究生, 主要研究领域: 嵌入式操作系统、电力电子、智能仪器、开关电源.  
<https://www.cnki.net>

统 uC/OS-II 的基本调度原理;第二,必须得清楚所使用硬件平台的编程结构.基于以上两点才能开发针对你所使用的硬件平台的底层驱动程序,实现嵌入式操作系统在硬件平台的正常运行.

移植 uC/OS-II 需要一个 C 编译器,并且是针对用户的 CPU 的,因为 uC/OS-II 是一个占先式内核,用户只有通过 C 编译器来产生可重入代码;C 编译器还要支持汇编语言程序.所用的 C 编译器还必须提供一个机制来从 C 中打开和关闭中断.对于 TMS320LF2407A 而言,TI 公司提供的集成开发环境 CCS '2000 完全满足嵌入式开发的要求.

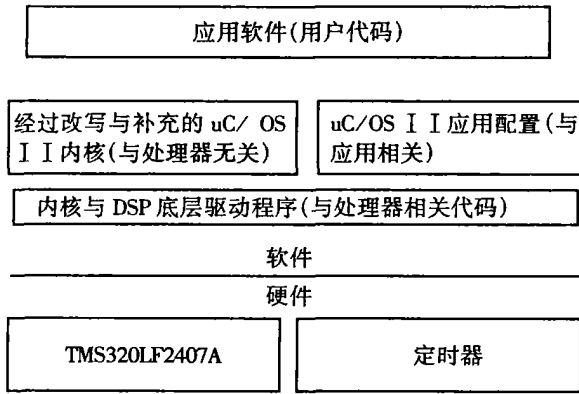


图 1 uC/os - II 的硬件和软件体系结构

uC/OS-II 的移植集中在三个文件:OS \_\_CPU .H,OS \_\_CPU \_\_C .C,OS \_\_CPU \_\_A .ASM.其中 OS \_\_CPU .H 主要包括与编译器相关的数据类型的定义、堆栈类型的定义及几个宏定义和函数说明.而 OS \_\_CPU \_\_C .C 中则包含与移植有关的 C 函数,包括堆栈的初始化和一些接口(hook)函数的实现.OS \_\_CPU \_\_A .ASM 则包含与移植相关的汇编语言函数,包括开/关中断、上下文切换、时钟中断服务程序等.

### 3.1 TMS320LF2407A 硬件编程结构

TMS320LF2407A 主要包括以下一些功能模块:

- 1) 一个 32 位的中央算术逻辑单元(CALU);
- 2) 一个 32 位的累加器(AAC);
- 3) CALU 的输入和输出定标移位器;
- 4) 一个 16×16bit 的乘法器;
- 5) 一个乘积定标移位器.

另外,TMS320LF2407A 还包括一个辅助寄存器运算单元(ARAU),该模块提供了灵活而强大的间接寻址能力;CPU 还有两个状态寄存器 ST0 和 ST1,它们包含有决定处理器工作方式、页地址指针值以及指示处理器不同条件和算术逻辑运算结果的位.

TMS320LF2407A 共有 11 个寄存器:ACC,ST0,ST1,AR0-AR7.

此外,TMS320LF2407A 具有 8 级硬件堆栈.当子程序调用或中断发生时,程序地址产生逻辑把堆栈用于存储返回地址或其它的一些参数.当子程序调用或中断服务子程序完成时,返回指令将从栈顶返回地址或参数送到 CPU 寄存器中去.

在嵌入式操作系统应用中,每个任务都是相互独立的,而且会发生频繁的任务切换,为了使任务能够返回到原来的断点,所以必须得把与任务运行环境密切相关的各种寄存器和变量全部保存起来.ACC,ST0,ST1,AR0-AR7,TREG,PREG,还有 8 级硬件堆栈都与任务的运行环境有密切的关系,所以必须都得进行保存.

为了保证嵌入式多任务操作系统的正常运行,最重要的就是为任务构造一种堆栈结构,这种堆栈结构保存了与各个任务运行环境密切相关的所有寄存器变量,而且所有任务的堆栈结构必须完全一致,这样才能用统一的任务切换程序在任务之间作频繁的任务切换,而且还不会破坏各个任务的实时运行环境.

### 3.2 在程序中实现开/关中断

uC/OS-II 和其它的所有实时内核一样,在访问操作系统的临界区之前必须关闭中断,访问之后再开中断.对于不同的处理器和编译器,实现开/关中断的方法可能不一样.所以,为了方便移植,uC/OS-II 提供了两个宏定义,OS \_\_ENTER \_\_CRITICAL()和 OS \_\_EXIT \_\_CRITICAL(),用这两个宏定义来实现开/关中断.

这两个宏定义有两种实现方法.一种是仅用关中断指令实现宏 OS \_\_ENTER \_\_CRITICAL(),仅用开中断指令实现宏 OS \_\_EXIT \_\_CRITICAL(),这种方法可以减少中断延迟时间,但有一点小问题,就是如果程序在调用 OS \_\_ENTER \_\_CRITICAL()之前,中断已经被禁止,那么在调用 OS \_\_EXIT \_\_CRITICAL()之后,中断被允许,这可能不是程序所期望的,因此这种方法对某些情况不适用.另一种方法是在实现宏 OS \_\_ENTER \_\_CRITICAL()的时候,先将当前程序的中断状态保存到堆栈,然后关中断,而宏 OS \_\_EXIT \_\_CRITICAL()的实现只需将堆栈中的中断状态恢复.这样,就不会破坏程序原来的中断状态,但是这种中断会增加程序的延迟时间.

对于 TMS320LF2407A 而言,可用如下代码实现

开/关中断:

```
#define OS __ENTER__CRITICAL() asm("SETC
INTM"); /* 关中断 */
```

```
#define OS __EXIT__CRITICAL() asm("CLRC
INTM"); /* 开中断 */
```

### 3.3 堆栈的初始化

堆栈的初始化函数用于定义当创建任务时,任务堆栈中上下文的内容,实际上也定义了上下文的保存结构.上下文的保存结构如图2所示.

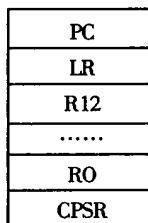


图2 上下文保存结构图

任务堆栈的上下文保存结构与任务切换的实现密切相关,所以,在设计堆栈的上下文结构的时候,必须把能方便和快速地实现任务切换作为一个重要因素来考虑.在堆栈的上下文中,PC应该存放任务执行的第一条指令,LR中存放的是任务的返回地址,R0寄存器存放的是传递给任务的参数,CPSR存放的是任务运行时处理器的初始状态.

### 3.4 任务级上下文切换的实现

任务级上下文切换是由汇编子程序 OSCtxSw() 实现.它是由操作系统的任务调度函数 OSSched() 调用,所有的操作都在用户模式下完成. OSCtxSw() 首先要保存 LR,然后再保存其它的寄存器和 CPSR.接着进入 OSCtxSw() 子程序,它的主要功能是:首先将当前任务的堆栈指针保存到任务控制块,然后调用用户扩展的接口函数 OSTaskSwHook() 来完成扩展功能.接着更新全局变量 OSTCBHighRdy, OSTCBCur, OSPrioHighRdy, OSPrioCur, 将当前任务的指针指向新任务,然后取出新任务的堆栈指针,从新任务的堆栈中恢复寄存器的值,开始新任务的执行.

## 4 嵌入式操作系统 uC/OS-II 的裁剪

uC/OS-II 包括任务管理、时间管理、内存管理、任务之间的通信与同步管理和 I/O 管理五大管理功能.

针对嵌入式硬件平台宝贵和有限的硬件资源,对嵌入式操作系统本身就有可裁剪性这一要求,而

且这一要求对于嵌入式操作系统也是一项很重要的指标.多任务系统中,内核负责管理各个任务,或者说为每个任务分配 CPU 时间,并且负责任务之间的通信.内核提供的基本服务是任务切换,之所以使用实时内核可以大大简化应用系统设计,是因为实时内核允许将应用程序分成若干个任务,由实时内核来管理它们.内核本身也增加了应用程序的额外负荷:代码空间增加了 ROM 的用量,内核本身的数据结构增加了 RAM 的用量.但更主要的是,每个任务要有自己的栈空间,这一块占内存是相当厉害的.内核本身对 CPU 的占用时间一般在 2 到 5 个百分点之间.使用嵌入式操作系统的前提条件就是嵌入式操作系统本身不能占用硬件平台太多的资源,而且还不能影响整个平台的工作.这也正是普通单片机一般不能运行实时内核的原因,单片机的硬件资源是很有限的,而且对各种系统的不同功能应用,各个平台不可能也没有必要使用嵌入式操作系统所能提供的所有功能,所以嵌入式操作系统本身也是具有可裁剪性的.

uC/OS-II 在可裁剪性方面做的非常好.它采用了大量的条件编译语句,虽然对于源程序可能在理解方面带来一定的困难,但是却为系统的裁剪带来极大的便利.嵌入式操作系统 uC/OS-II 将内核所有条件编译的条件标识符都集中到了一个文件 OS\_CFG.H 中,通过对 OS\_CFG.H 中各个标识符的定义,就可以决定功能模块是否将参加编译,该功能是否会被包含到内核中去.未经任何裁剪的 uC/OS-II 内核源码达到了 160K 左右,这很难应用到普通的单片系统中,基于 TMS320LF2407A 的硬件平台实际只有 32K 的程序存储区和 32K 的数据存储区,考虑系统程序存储资源的有限,而且内核程序应用中只会用到任务管理、时间管理、任务之间的通信与同步管理和 I/O 管理的一小部分功能,所以对 uC/OS-II 其余的功能进行裁剪优化.经过对内核的优化和裁剪,在不影响所有功能实现的前提下,目前内核本身只有 4K 左右.在实际运行中,该内核已经能比较稳定的运行于该 DSP 的硬件平台之上.

## 5 结论

所有 uC/OS-II 的函数和功能服务的时间都是

(下转第 147 页)

ry.31(1999)101-106.

- [6] Yan Jin. A new result on large independent cycles[J]. International Conference on Mathematical Programming. Preprint
- [7] Xiangwen Li, Bing Wei, Fan Yang. A degree condition of 2-

factors in bipartite graphs. Discrete Applied Math 113(2001) 311-318.

- [8] Moon J, Moser L. On Hamiltonian bipartite graphs[J]. Isr. J Math 1(1963)163-165.

## A Degree Sum Condition of 2-factors with Large Cycles in Balanced Bipartite Graphs

LIU Qiong<sup>1</sup>, LIU Zhanhong<sup>1</sup>, XIONG Li-ming<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>.Institute of Mathematics and Informatics, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022; <sup>2</sup>.Department of Mathematics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081,China)

**Abstract:** Let  $G=(V_1, V_2; E)$  be a bipartite graph with  $|V_1|=|V_2|=n \geq sk+1$ , where  $s \geq 4$  and  $k \geq 1$  are two integers. We define the minimum degree sum of nonadjacent vertices of graph  $G$  to be  $\sigma_2(G) = \min\{d_G(u) + d_G(v) : u, v \in V(G), uv \notin E(G)\}$ . In this paper, we will prove that if  $\sigma_2(G) \geq \mathcal{X}(1 - \frac{1}{s})n^2 + 2$  then  $G$  has a 2-factor with exactly  $k$  vertex-disjoint cycles of length at least  $2s$ .

**Key words:** balanced bipartite graphs; cycles; large cycles; 2-factors

(上接第 108 页)

确定的,这使得执行一个函数或服务所需要的时间是已知的,而且 uC/OS-II 的绝大部分服务程序的执行时间和当前系统的任务数无关,从而满足了操作系统确定性的要求.经过在 TMS320LF2407A 实验板上的测试,移植并经过裁剪后的 uC/OS-II 在多任务的情况下能稳定可靠运行,其中断响应时间为 82 微秒(最坏情况下),满足嵌入式操作系统实时性

的要求.

### 参考文献:

- [1] Jean J. Labrosse, 邵贝贝,等. 嵌入式实时操作系统 uC/OS-II(第 2 版)[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [2] 刘和平,等. TMS320LF240x DSP 结构、原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.

## Research and Implementation of Porting Embedded RTOS uC/OS-II to DSP

LIU Hai-feng, LIU Bai-fen

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** This paper presents mainly the method of porting open source embedded RTOS uC/OS-II to DSP (TMS320LF2407A), which is a popular microcontroller. It solves the most important and difficult problems in the course of porting uC/OS-II, and the system after porting cut out. A porting has been implemented in on TMS320LF2407A experiment board and the system runs steadily and reliably under multitask environment. Many parameters have reached the demand of designing by testing.

**Key words:** uC/OS-II; DSP