

基于 ARM 的嵌入式飞行控制计算机系统设计

Design of Embedded Flight Control Computer System based on ARM

(哈尔滨工程大学自动化学院) 于秀萍, 王超
YU Xiu-ping, Wang Chao

摘要: 给出基于 ARM 内核处理器 S3C44B0X 为核心的飞控计算机系统硬件平台, 介绍嵌入式实时操作系统 uC/OS-2 在系统硬件平台上的移植和应用。通过对移植过程的详细说明及模数转换程序开发实例, 介绍了操作系统移植和应用程序开发的方法。

关键词: ARM; 实时操作系统; uC/OS-2; 移植

中图分类号: TP316.2 文献标识码: A

Abstract: The paper introduces the RTOS transplantation and application design in UAV's control system which is based on embedded processor S3C44B0X(ARM kernel). Through the detailed description of the process of transplantation and sample of A/D conversion process, the methods of transplantation and development are presented.

Keywords: ARM; RTOS; uC/OS-2; Transplantation

作为无人机的核心, 飞行控制系统的设计决定了无人机的性能。飞行控制系统的飞行控制包括: 飞行姿态保持、航向保持及高度保持、控制律解算及飞行控制、飞行模态管理及优化、任务规划及管理、设备管理、故障诊断等方面。

信息吞吐量大、功能多、逻辑时序关系复杂, 特别是实时性要求高, 是飞控计算机软件的主要特点。传统的嵌入式系统设计中, 多采用单任务的顺序机制。与时间相关性较强的事件靠定时中断来保证, 这种编程方式的优势在于程序直观, 但系统的稳定性、实时性较差。尤其当系统功能较复杂, 同时对实时性要求较严格时, 单任务机制的弱点便暴露无遗。采用具备实时性能的嵌入式控制系统作为无人机的核心, 对无人机的资源进行调度管理是目前主流的设计方案之一。本设计中采用了嵌入式实时操作系统 uC/OS-2 保证控制程序能够对外部事件快速响应, 同时借助操作系统的管理功能, 使得设计时可以将主要精力集中在应用程序的实现上。

1 飞行控制计算机系统硬件结构设计

1.1 硬件结构

作为广泛使用的一款嵌入式处理器, 以 S3C44B0X 为核心的嵌入式设备在市场上已有许多成熟的产品和开发平台, 但这些产品都是以丰富的接口功能为卖点, 某些功能上不能满足无人机控制的要求, 因此我们针对微型无人机的应用环境设计了专用的硬件平台, 系统硬件组成如图 1。

系统硬件以基于 ARM7TDMI 内核的嵌入式处理器 S3C44B0X 为核心, 包括存储器模块, 通信模块, 模数转换模块三部分。其中, 存储器部分包括 4MB 容量的 Flash (放置 BIOS, 引导系统启动并作为程序的存储空间), 16MB 容量的 SDRAM 芯片 (程序运行时的内存空间); 通信模块则采用处理器提供的两个独立的异步串行 I/O 口, 使用中断请求的方式在 CPU 和 UART

之间传输数据，44B0X 处理器内部提供的每个 UART 通道包含两个用于接收和发送数据的 FIFO，最高可支持 115.2kb/s 的数据传输率，在使用中提供无人机修正航路需要的 GPS 数据，并且当连接采用 RS232C 接口的通信设备时提供在无人机和地面站之间的通信功能；模数转换模块采用一片 ADS8364 模数转换芯片，提供最高速度 250kHz 速度的 6 通道 AD 转换，数据精度达 16 位，对无人机在计算导航参数时需要的速度和加速度共计六路模拟信号进行模数转换。

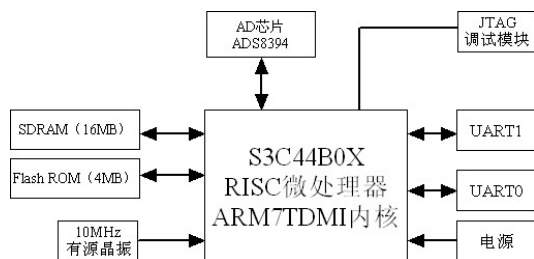


图 1 系统硬件组成

1.2 存储空间分配

S3C44B0X 处理器共有 32 根地址引脚，寻址空间被分为 8 个 bank，每个 bank 的最大空间为 32MB，8 个 bank 既可以连接各种 ROM/RAM 结构的存储器件，也可以与其它功能的器件或设备连接，把外部设备映射到地址空间进行相应操作。在飞行控制计算机中，使用了 Bank0，Bank1 以及 Bank6。其中 Bank0 用于选通 Flash 芯片，系统运行时处理器即从 Flash 的 0x00000000 地址处取得指令开始执行，完成系统的初始化工作；Bank1 用于模数转换芯片 ADS8364 的映射，模数转换时的操作指令则通过地址线发出；SDRAM 芯片则连接在 Bank6 上，即起始地址为 0x0C000000 处，作为系统的数据空间使用。

2 系统软件设计

由于本系统是一个基于 ARM 的嵌入式 uC/OS-2 系统平台，系统最为关键的是实现引导程序，植入 uC/OS-2 操作系统。所以，软件系统的主要任务是实现一个性能优良的引导程序，以使 uC/OS-2 操作系统能够良好地运行起来。事实上，在嵌入式系统中，通常并没有像 PC 机中 BIOS 那样的同样程序，因此，整个系统的加载启动任务就完全由 Boot Loader 来完成。完成硬件检测和资源分配后，只要将闪存中的 BootLoader 读到系统的 RAM 中，然后将控制权交给 Boot Loader 即可。Boot Loader 的主要运行任务是将内核映象从闪存读到 RAM，然后跳转到内核的入口点去运行，也就是开始启动操作系统。

由于 Boot Loader 的实现依赖于 CPU 的体系结构，因此大多数 Boot Loader 都分为阶段一和阶段二两大部分。依赖于 CPU 体系结构的代码（比如设备初始化代码等）通常都放在阶段一中，且通常都用汇编语言来实现，以达到短小精悍的目的。而阶段二则通常用 C 语言来实现，这样可以实现更复杂的功能，而且代码会具有更好的可读性和可移植性。

3 uC/OS-2 的移植

3.1 uC/OS-2 的移植要求

使用 uC/OS-2 之前，首先需要将其移植到所使用的 CPU 上。uC/OS-2 是用 C 语言和汇编语言混合编写的，其中绝大部分代码是用 C 语言编写的，只有极少部分与处理器密切相关的代码用汇编语言编写，所以需要针对具体的使用环境进行修改。

要使 uC/OS-2 正常运行，处理器必须满足以下要求：处理器的 C 编译器必须能够产生可重入代码；在程序中可以打开或者关闭中断；处理器支持中断，并且能产生定时中断（通常在 10~100Hz 之间）；处理器支持能够容纳一定量数据（可能为几千字节）的硬件堆栈；处理

器有将堆栈指针和 CPU 寄存器存储和读出到堆栈(或内存)的指令。S3C44B0X 处理器满足以上所有要求^[2]。

3.2 uC/OS-2 移植工作的内容及实现

uC/OS-2 操作系统具备很好的可移植性, 如果硬件平台的组成发生改变, 则只需要对操作系统代码中与硬件相关的内容进行修改即可, 与硬件无关的应用代码无需修改^[3]。

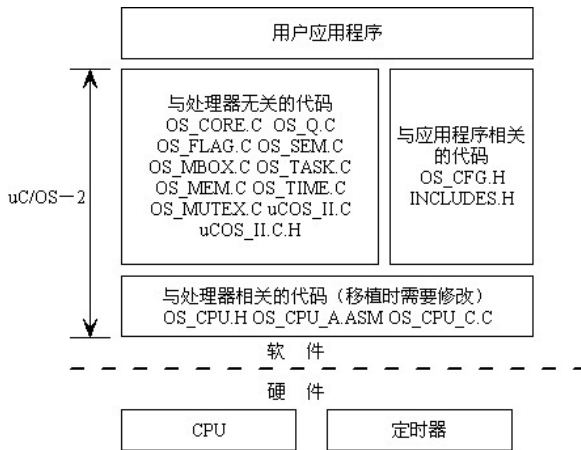


图 2 uC/OS-2 软硬件体系结构

uC/OS-2 的软硬件体系结构如图 2, 从图中可以很清楚地看到, 对 uC/OS-2 的移植实际上就是对处理器有关的代码进行重写或修改。移植工作包括以下几个部分:

1. OS_CPU.H 文件的修改。OS_CPU.H 文件中包括了用 #define 定义的与处理器有关的常量、宏和类型定义。需要进行与编译器有关的数据类型的定义, 包括整数、浮点数的类型声明, 堆栈增长方向的定义; 另外需要采用处理器支持的汇编语言编写禁止中断的函数 OS_ENTER_CRITICAL(), 允许中断的函数 OS_EXIT_CRITICAL() 和任务切换函数 OS_TASK_SW()。

2. OS_CPU_A.ASM 文件的修改。uC/OS-2 的移植要求用户用相关汇编语言编写以下四个函数: OSStartHighRdy(), OSCtxSw(), OSIntCtxSw(), OSTickISR()。OSStartHighRdy() 用于启动当前就绪的优先级最高的任务; OSCtxSw() 用来进行任务间的切换; OSIntExit() 通过调用 OSIntCtxSw() 来执行任务切换功能, OSIntCtxSw() 代码必须写在汇编语言中, 因为用户不能直接从 C 语言中访问 CPU 寄存器; uC/OS-2 要求用户提供一个时钟源来实现时钟节拍的功能, 时钟节拍推荐为每秒钟发生 10~100 次, 时钟节拍中断服务程序 OSTickISR() 的代码就用于完成时钟节拍的功能。

3. OS_CPU_C.C 文件的修改。uC/OS-2 的移植实例要求用户编写以下六个简单的 C 函数: OSTaskStkInit(), OSTaskCreateHook(), OSTaskDelHook(), OSTaskSwHook(), OSTaskStatHook(), OSTimeTickHook()。这六个函数同样用来进行任务的管理调度, 其中惟一必要的函数是 OSTaskStkInit(), 它被函数 OSTaskCreate() 和 OSTaskCreateExt() 调用进行任务堆栈的初始化, 其他 5 个函数需要得到声明但可以不包含具体的代码。

经过上述这些移植工作, uC/OS-2 就可以在 S3C44B0X 处理器系统以及相应的开发平台上工作。

4 uC/OS-2 环境下的应用软件开发

4.1 开发环境

操作系统在根据硬件平台进行移植后, 就可以编写具体的应用程序, 进行仿真调试工作, 最终实现应用。系统采用的 S3C44B0X 处理器是基于 ARM7TDMI 内核, 因此可以使用 ARM 公司提供的 SDT 或 ADS 工具软件完成代码编译的工作。这里使用的是 SDT2.5。SDT 包括两个视窗

开发工具 ADW 和 APM, ADW 用于进行 C, C++和 ARM 汇编语言源程序的调试, APM 则是具有图形用户界面的项目管理工具, 并且集成了编译、链接器可以直接在 APM 中编译、链接项目文件, SDT 的具体使用方法可参考相应书籍。

4.2 飞行控制系统应用软件任务描述

应用程序由主任务 Main () 和多个子任务函数组成。任务 DataCollection () 进行数据的获取和处理, 从机载传感器 (陀螺单元, GPS 等) 定时采样 (周期 10ms) 获得无人机的姿态信息。

任务 DataCom (), 从对应的 UART 通道获得确定飞行模式的控制命令, 并且通过通信的设备发送无人机获得信息。

任务 RemoteControl (), 通过连接在 UART 通道, 采用 RS232 接口的通信器件获得控制无人机的指令数据, 并在外部的控制指令引导下进行遥控飞行。

任务 DataProcess (), 通过处理获得的姿态数据根据控制算法得到控制量, 并进行导航数据的正确性判断。

任务 Error (), 当无人机系统出现故障时进行相应的错误处理操作。

任务 PWM (), 根据计算得到的控制量操纵舵机等执行机构进行航向的变换。

系统上电开始运行后, 把指令复制到作为内存的 SDRAM 中, 开始运行, 首先进行系统硬件和操作系统的初始化后, 主任务 Main 首先创建任务 DataCollection (), 获得无人机的姿态及位置数据, 然后创建任务 DataCom (), 取得确定飞行模式的控制字, 如为人工方式, 则创建任务 RemoteControl () 进行遥控飞行; 如果是自主方式, 则创建任务 DataProcess () 得到控制量, 如果发现数据出现异常, 则通过任务 Error () 进行相应的处理。最后任务 PWM () 将负责控制系统执行机构的操作。

4.3 程序举例—模数转换的软件实现

根据对无人机飞行过程进行的分析, 需要进行模数转换的数据根据精度要求可分为两类, 一部分要求的精度较低, 主要是无人机的状态数据, 可以使用 44B0X 处理器集成的模数转换 ADC 单元完成; 另一部分的精度要求较高, 来自无人机的姿态传感器, 包括机体的速度、加速度等, 这里使用专门的模数转换芯片 ADS8364 构成专门的采集模块。

S3C44B0X 处理器将存储器和外设统一编址, 不提供专门的指令进行外设的访问, 所有设备均映射到 bank0~bank7 共 8 个块, 通过对其对应块的存储器读写指令进行访问。这里模数转换芯片 ADS8364 映射到 bank1。ADS8364 提供 6 个数据通路, 转换精度为 16 位, 最高数据转换速率可达 250KHz。

在数据转换时, 首先在创建任务时建立保存数据的外部变量, 这里根据 6 路数据的要求, 定义 6 个成员的浮点数组保存数据。ADS8364 芯片选择数据转换通道时, 不同数据通道的切换使用对不同地址的访问指令完成, 任务函数 DataCollection () 中嵌入用汇编语句编写的代码直接访问 ADS8364 芯片映射的 bank1 单元, 将获得的数据暂存在空余的寄存器中, 再存放在浮点数组的制定单元。

以对通道 0 进行模数转换的一段代码为例:

```
float Data[6]=0; //定义外部变量
...
_asm
{
STR 0x0000f7ff, 0x2fffffff //通道 0 进行转换
DELAY 100 //等待转换完成
LDRSH r1, 0xf0ffffff //暂存转换结果
```

```
}  
Data[0]=r1; //保存通道 0 的转换结果  
即完成一次数据转换。其它通路的数据转换以此类似。
```

5 结束语

在嵌入式硬件平台的基础之上,可借助实时多任务操作系统管理硬件资源,进行任务调度,开发人员可以将主要精力集中在应用程序的执行过程上,从而缩短了开发周期,提高了开发的效率。

本文作者创新点:在微型无人机控制系统的应用中,将 uC/OS-2 操作系统为软件部分核心与以 ARM 嵌入式处理器为核心的硬件平台良好地结合起来,不但完全满足无人机导航控制的要求,而且为系统的扩展和未来开发提供了良好的基础。实践证明,以 uC/OS-2 嵌入式操作系统为基础的控制软件,在满足性能要求的同时,简化了开发工作,提高了系统可靠性,方法可行。

参考文献:

- [1] 唐闰晨,王萍. 嵌入式实时操作系统 uC/OS-2 在 ARM 上的移植应用[J]. 河海大学学报, 2003, 17 (3): 77~80
- [2] 杜春雷. ARM 体系结构与编程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] 任哲. 嵌入式实时操作系统 uC/OS-2 原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [4] 王力. 飞行运动控制仿真系统研发 [J]. 微计算机信息, 2007, 10-1: 205-206

作者简介:于秀萍(1963-),女,哈尔滨人,教授,工学博士,主要研究方向为控制理论与控制工程;检测技术与自动化装置。

王超(1976-),男,安徽合肥人,硕士,主要研究方向:控制理论与控制工程

Biography:

Yu Xiu-ping(1963-), Female, the native of Harbin, professor, technology doctor, main research direction: The control theory and the control engineering; Examination technology and automated installment.

Wang Chao (1981-), Male, the native of AnhuiHefei, master, main research direction: The control theory and the control engineering.