

浅谈实时嵌入式系统*

朱凯 谢敏

(广西大学计算机与电子信息学院 南宁 530004)

摘 要: 本文主要介绍实时嵌入式系统的基本概念以及目前常用工具 uC/OS-II 和嵌入式系统的硬件/软件协同设计技术。文中以 ARM 公司的 ARM7TDMI 为硬件平台, 结合实时操作系统 uC/OS-II 简单介绍了实时嵌入式系统, 并在嵌入式系统设计方法方面扼要地介绍了能使系统综合性能达到最佳效果的硬件/软件协同设计方法。

关键词: 实时嵌入式; 嵌入式处理器; 实时操作系统; uC/OS-II; 协同设计

Abstract: This paper mainly introduce the base conception of real-time embedded system and in common use tool uC/OS-II at present, and hardware/software coordination design technology of embedded system. In the text with the ARM7TDMI of the company of ARM for hardware platform, combine real-time operating system uC/OS-II introduced in real-time operating system, and design in the real-time embedded system method introduced in summary and can make the comprehensive function of system attain the hardware/software of the best result to be in conjunction with to design the method.

Key words: real-time embedded system, embedded processor, real-time operating system, uC/OS-II, coordination design

当今社会, 电子产品已渗透人们生活中的方方面面, 而现在琳琅满目的电子产品大多都采用了嵌入式技术。走在大街上的任何一个普通人都可能拥有各种使用了嵌入式技术的电子产品: 手机、MP3、PDA、电饭煲、电冰箱……这些都还是比较小方面的, 从大的方面来说, 嵌入式系统应用于电信、银行、卫生保健、航空电子、国防等领域, 使这些行业实现自动化。

1 实时嵌入式系统

既然嵌入式系统与我们如此的密切相关, 那么, 究竟什么是嵌入式系统呢? 根据 IEEE (国际电气和电子工程师协会) 的定义, 嵌入式系统是“控制、监视或辅助设备、机器和车间运行的装置”^[1]。不过, 上述定义并不能充分体现出嵌入式系统的精髓。目前国内对嵌入式系统的一个普遍被认同的定义是: 以应用为中心, 以计算机技术为基础, 软、硬件可裁减, 适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。嵌入式系统大致可以分为以下四类: 单机嵌入系统、实时嵌入式系统、网络设备、移动设备。这种分类是依据系统是否必须作为独立单元工作或必须具有网络功能, 是否必须执行实时操作等标准来划分的, 本文着重介绍的是实时嵌入式系统。

何谓“实时嵌入式系统”? 实时嵌入式系统就是在指定的时间内完成特定的任务的嵌入式系统^[2]。例如, 当湿度超过特定阈值时, 必须在 30 毫秒内打开阀门的系统。如果该任务未能在 30 毫秒完成, 跟着可能就会大祸临头。这种必须严格符合实时约束条件的系统被称作“硬实时嵌入式系统”^[3]。与硬实时嵌入式系统相对应的是“软实时嵌入式系统”^[3], 这种实时系统也有实时约束条件, 但对其要求并不严格, 可以允许约束条件偶尔未能被满足。

2 ARM 简述

与其它嵌入式系统一样, 实时嵌入式系统也分为硬件和软件两部分。从硬件方面来讲, 嵌入式系统的核心部件就是嵌入式处理器。据不完全统计, 全世界嵌入式处理器的品种数量已超过 1000 多种。本文将以 ARM 公司的 ARM7TDMI 为例来介绍。

ARM7TDMI 是目前低端的 ARM 核 (并非芯片。ARM 核与其他部件如 RAM、ROM、片内外设组合在一起才构成现实的芯片), 具有广泛的应用, 其显著的应用为数字移动电话。

ARM7TDMI 是从 ARM6 核发展而来的^[4]。ARM6 核（在 ARM 体系结构中）最早实现了 32 地址空间编程模式（早期的 ARM 为 26 位地址），但现在已被取代。ARM6 所使用的电路技术使它很难稳定在低于 5V 的电源下工作。ARM7 弥补了这一不足，且在短时间增加了 64 位乘法指令（带 M 后缀）、支持片上调试（带 D 后缀）、高密度 16 位的 Thumb 指令集扩展（带 T 后缀）和 EmbeddedICE 观察点硬件（带 I 后缀），形成了 ARM7TDMI。ARM7TDMI 处理器具有优异的性能，但功耗却很低，使用门的数量也很少。ARM7TDMI 结构是基于精简指令集计算机（RISC）原理而设计的。指令集和相关的译码机制比复杂指令集计算机要简单得多。这样的简化实现了高的指令吞吐量、出色的实时中断响应、小的且高性价比的处理器宏单元。ARM7TDMI 处理器使用流水线来增加处理器指令流的速度。这样可使几个操作同时进行，并使处理和存储器系统连续操作，能提供 0.9MIPS/MHz 的指令执行速度。流水线使用 3 个阶段，因此指令分 3 个阶段执行，即取址、译码、执行。在正常操作过程中，在执行一条指令的同时对下一条指令进行译码，并将第三条指令从存储器中取出。ARM7TDMI 处理器使用了冯·诺依曼（Von Neumann）结构，指令和数据共用一条 32 位总线。只有加载、存储和交换指令可以对存储器中的数据进行访问。数据可以是 8 位字节、16 位半字或者 32 位字。字必须分配为占用 4 字节，而半字必须分配为占用 2 字节。

下面介绍软件部分。嵌入式系统的软件一般由嵌入式操作系统和应用软件组成。操作系统是连接计算机硬件与应用程序的系统程序。因此我们以 uC/OS-II 为例，重点介绍嵌入式操作系统。

3 uC/OS-II 简述

和其它操作系统一样，uC/OS-II 操作系统应该具备两个基本功能^[5]：使计算机硬件便于使用；高效组织和正确地使用计算机的资源。操作系统有 4 个主要任务：进程管理、进程间通信与同步、内存管理和 I/O 资源管理。嵌入式操作系统可以分为实时操作系统和分时操作系统，uC/OS-II 操作系统属于实时操作系统。实时操作系统是指具有实时性，能支持实时控制系统工作的操作系统。实时操作系统的首要任务是调度一切可利用的资源完成实时控制任务；其次才着眼于提高计算机系统的使用效率，其重要特点是通过任务调度来满足对于重要时间在规定的时间内作出正确的响应。实时操作系统主要任务是对事件进行实时的处理，虽然事件可能在无法预知的时刻到达，但是软件必须在事件随即发生时，在严格的时限内做出响应（系统的响应时间）。即使是系统处于尖峰负荷下，也应如此，系统时间响应的超时就意味着致命的失败。另外，实时操作系统的重要特点是具有系统的可确定性，即系统能对运行的最好和最坏情况做出精确的估计。Stankovic 给出了实时系统的定义，“实时系统是这样一种系统，即系统执行的正确性不仅取决于计算的逻辑结果，而且还取决于结果的产生时间。”

uC/OS-II 是源代码公开的实时嵌入式操作系统，它的主要特点如下^[6]：公开源代码、可移植性、可固化、可裁剪、抢先式、多任务、可确定性、任务栈、系统服务、中断管理、稳定性与可靠性。再有，uC/OS-II 的源代码绝大部分是用 C 语言写的，经过简单的编译，读者就能在 PC 机上运行，边读书、边实践。仅有与 CPU 亲密相关的一部分是用汇编语言写成的。该实时内核已经被移植到几乎所有的嵌入式应用类 CPU 上。移植典范的源代码可以从因特网上下载。最重要的是，uC/OS 历经 8 年的实践发展成至今的 uC/OS-II，许多行业上都有成功应用该实时内核的实例，这些应用的实践是该内核实用性、可靠性的最好证据。由于 uC/OS-II 仅是一个实时内核，这就意味着它不象其他实时操作系统那样提供给用户的只是一些 API 函数接口，有很多工作往往需要用户自己去完成。把 uC/OS-II 移植到目标硬件平台上也只是系统设计工作的开始，后面还需要针对实际的应用需求对 uC/OS-II 进行功能扩展，包括底层的硬件驱动、文件系统、用户图形接口（GUI）等，从而建立一个使用的 RTOS（实时操作系统）。

4 嵌入式系统的硬件/软件协同设计技术简介

传统的嵌入式系统设计方法将硬件和软件分为两个独立的部分，由硬件工程师和软件工程师按照拟订的设计流程分别完成。这种设计方法只能改善硬件/软件各自的性能，而有限的设计空间

不可能对系统做出较好的性能综合优化。20 世纪 90 年代初,国外有些学者提出“这种传统的设计方法,只是早期计算机技术落后的产物,它不能求出适合于某个专用系统的最佳计算机应用系统的解”。因为,从理论上来说,每一个应用系统,都存在一个适合于该系统的硬件、软件功能的最佳组合,如何从应用系统需求出发,依据一定的指导原则和分配算法对硬件/软件功能进行分析及合理的划分,从而使系统的整体性能、运行时间、能量损耗、存储能量达到最佳状态,已成为硬件/软件协同设计的重要研究内容之一。

系统协同设计与传统设计相比有两个显著的特点^[7]:描述硬件和软件使用统一的表示形式;硬件/软件划分可以选择多种方案,直到满足要求。显然,这种设计方法对于具体的应用程序而言,容易获得满足综合性能指标的最佳解决方案。传统方法虽然也可改进硬件、软件的性能,但由于这种改进是各自独立进行的,不一定能使系统综合性能达到最佳。

传统的嵌入式系统开发采用的是软件开发与硬件开发分离的方式,其过程可描述如下:(1)需求分析;(2)软硬件分别设计、开发、调试、测试;(3)系统集成:软硬件集成;(4)集成测试;(5)若系统正确,则结束,否则继续进行;(6)若出现错误,需要对软、硬件分别验证和修改;(7)返回(3),继续进行集成测试。虽然在系统设计的初始阶段考虑了软硬件的接口问题,但由于软硬件分别开发,各自部分的修改和缺陷很容易导致系统集成出现错误。由于设计方法的限制,这些错误不但难于定位,而且更重要的是,对它们的修改往往会涉及整个软件结构或硬件配置的改动。显然,这是灾难性的。

为避免上述问题,一种新的开发方法应运而生——软硬件协同设计方法。首先,应用独立于任何硬件和软件的功能性规格方法对系统进行描述,采用的方法包括有限态自动机(FSM)、统一化的规格语言(CSP、VHDL)或其他基于图形的表示工具,其作用是对硬件/软件统一的表示,便于功能的划分和综合;然后,在此基础上对硬件/软件进行划分,即对硬件/软件的功能模块进行分配。但是这种功能分配不是随意的,而是从系统功能要求和限制条件出发,依据算法进行的。完成硬件/软件功能划分后,需要对划分结果做出评估。方法之一是性能评估,另一种方法是对硬件、软件综合之后的系统依据指令级评价参数做出评估。如果评估结果不满足要求,说明划分方案选择不合理,需要重新划分硬件/软件模块,以上过程重复直到系统获得一个满意的硬件/软件实现为止。以上过程可归纳为:需求分析;软硬件协同设计;软硬件实现;软硬件协同测试和验证。这种方法的特点是在协同设计(Co-design)、协同测试(Co-test)和协同验证(Co-verification)上,充分考虑了软硬件的关系,并在设计的每个层次上给以测试验证,使得尽早发现和解决问题,避免灾难性错误的出现。

通过上述的介绍,我们大致了解了实时嵌入式系统的大体框架。我们相信,在科技快速发展的今天,嵌入式产品将会越来越多地被广泛应用。只要遵循嵌入式产品的开发规律,适应市场的需求,就一定能开发出越来越多优秀的嵌入式产品。

参考文献

- [1] 《详细定义嵌入式系统》ZDNet China 编著 2003 年
- [2] 《嵌入式系统设计》北京航空航天大学出版社 作者:[美]Frank Vahid Tony Givargis 著 骆丽译 2003 年
- [3] 《嵌入式系统实时概念》北京航空航天大学出版社 王安生译 2004 年 6 月
- [4] 《2004 年全国第五界嵌入式系统学术交流会文集》北京航空航天大学出版社 中国计算机学会微机专业委员会 2004 年 9 月
- [5] 《uC/OS-II 实时嵌入式系统设计》北京航空航天大学出版社 王田苗 主编 2003 年
- [6] 《嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II (第 2 版)》北京航空航天大学出版社 作者:[美]J.Labrosse 著 邵贝贝等译 2003 年 5 月
- [7] 《嵌入式系统设计与实例开发》清华大学出版社 王田苗 主编 2003 年

*本文得到广西大学科研基金和广西大学第二批创新学分实践项目的资助

作者简介：朱凯，本科生；谢敏，讲师，指导教师