

29-32

嵌入式系统设计的模型与方法学*

Model and Methodology for Embedded System Design

郭晓东 陈定君 余克清 刘积仁

(东北大学软件中心 沈阳 110006)

TP338

摘要 本文首先简要叙述了嵌入式系统的发展现状以及智能技术在嵌入式系统中的应用,并在此基础上着重讨论了嵌入式系统开发支撑环境及协同设计技术和虚拟系统集成技术在构造嵌入式系统开发环境中的应用。

关键词 嵌入式系统、嵌入式软件、协同设计、虚拟系统集成

计算机系统 方法学

一、嵌入式系统与嵌入式软件的发展状况

嵌入式系统是用来控制处理外部世界各种中断信号的计算机系统,由硬件和软件两部分组成。简单的嵌入式系统由微控制器或单片机及嵌入式软件等组成。比较复杂的嵌入式系统由微处理器、实时操作系统(RTOS)、嵌入式软件等组成。嵌入式系统通常作为一个控制系统嵌入在一个比较大的系统中,例如,飞机上的飞行控制系统。嵌入式系统的主要应用领域如图1所示。

八十年代以来,嵌入式工业在嵌入式应用程序的数量、软件的长度及复杂程度等方面都有了很大程度的提高。运行于嵌入式系统中复杂的16位和32位微处理器上的应用程序以每年40%的速度递增。1997年预计达到2.66亿套,将获得4亿美元的利润。很多大的微处理器销售商在嵌入式市场上占有很大份额。例如,Hitachi, NEC, Toshiba, Motorola, Intel。

Computer Design[1994]估计嵌入式软件的平均长度已由最初的4,000行增长到1993年的1,000,000行以上。除了应用程序的数量和程序长度的增长,系统复杂度的需求导致了多线程嵌入式系统的应用。嵌入式应用程序增长的动力来源于微处理器及计算机等硬件能力的提高。但是硬件设计的发展只占业界增长的10%,而其它90%的发展

则得益于软件的设计与发展。伴随着硬件能力的不断变化,软件开发者需要开发出更大、更有效的应用程序来满足市场的需求。

应用领域	相关设备
远程通讯	电话交换机
计算机设备	磁盘驱动器
移动计算	PDA's
娱乐	电视置顶盒
网络	路由器
导航	GPS
医疗仪器	CT
工厂自动化	工业机器人
生活设施	照相机

图1 嵌入式系统的主要应用领域

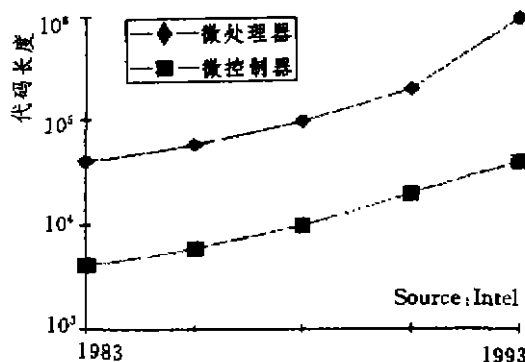


图2 嵌入式软件的发展

*) 本文得到“863”项目资助。郭晓东 博士生,研究方向为嵌入式系统模拟与仿真技术,陈定君 博士生,研究方向为嵌入式系统模拟与仿真技术,余克清 副研究员,主要研究领域为嵌入式技术,刘积仁 博士生导师,主要研究领域为嵌入式技术、分布式多媒体技术、CSCW、组件技术等。

二、智能技术在嵌入式系统中的应用

随着硬件性能的不断提高,智能技术在嵌入式领域中发挥着越来越重要的作用,其中模糊技术、人工智能(AI)是与嵌入式系统联系比较紧密的智能技术的两个分支。

微控制器(即单片机)技术近年来已经有了很大的发展,它已广泛应用于数字信号处理、计算机网络、并行处理等大型系统中。嵌入式系统与模糊技术相结合反映在两个方面。一是产生了模糊微控制器这种新型的微控制器;二是产生了用于模糊控制的各种模糊开发软件和开发系统。

模糊微控制器是一种能执行模糊逻辑推理功能的微控制器,模糊微控制器可执行模糊化、模糊推理、反模糊化等一系列操作而无需软件。它不存在程序存储器,只有参数存储器。它是通过参数形成模糊控制器的结构来执行控制的。

模糊逻辑开发软件和开发系统有两类。一类是针对数字微控制器的,它的模糊控制机理要用软件实现,开发软件和开发系统的目的就是要产生能实现预定的模糊控制方式的微控制器软件。另一类是针对模糊微控制器的,它的模糊控制机理要用参数设定,这种开发软件和开发系统的目的则是要产生模糊微控制器的结构参数。

目前,模糊逻辑开发软件和开发系统都是和微型机系统连成一体,模糊控制软件和模糊结构参数一般通过微机系统进行编辑和修正,同时通过附加的开发系统硬件及目标系统进行仿真和校正。

人工智能自其诞生之日起,已经有了很大的发展,在其所应用的领域中发挥了巨大的作用。其中专家系统是人工智能应用研究中最活跃和最广泛的课题之一。

早期的嵌入式系统由于其硬件条件及应用语言的限制,难以编写大型的应用程序,专家系统在其领域中难以推广。随着硬件技术的发展及嵌入式软件的大型化,专家系统已广泛应用于嵌入式系统之中,并且对于构造嵌入式系统中的专家系统已形成了一整套的方法、手段。目前,专家系统已广泛应用于大型的嵌入式系统中,并将为嵌入式系统的智能化作出更大贡献。

三、嵌入式系统及嵌入式软件开发支撑环境

由于嵌入式系统所控制的外部设备环境的复杂性、可靠性及实时性的要求,使得嵌入式系统的开发

及嵌入式软件的调试非常复杂,迫切需要强有力的开发环境作为支撑,与其相关的开发手段及技术分析如下。

1. 简单软件仿真系统

这种方法是在宿主机上只构造虚拟目标机,仿真执行嵌入式软件时,虚拟目标机与外部环境之间的信号交换需通过手工设定并以交互方式进行。这种方法很难描述外部环境的并发性和实时性,离不开对硬件调试设备及手段的依赖。

2. 在线仿真器(ICE)调试方法

这种方法是目前调试嵌入式软件普遍使用的方法。这种方法是在宿主机上交叉汇编生成目标机的目标码,然后通过仿真头将目标机的执行码装入到目标机上实际运行,并通过宿主机和目标机上的监控程序之间的信息传递来控制目标机上的目标码的执行。该方法需要反复调试嵌入式软件及嵌入式系统的硬件环境。

在线仿真器(ICE)在过去的20年里为嵌入式软件的广泛应用起了很大作用,但随着嵌入式处理器的结构越来越复杂,CISC与RISC处理器及更宽的数据总线的出现,使得传统仿真结构遇到了一定挑战。为解决上述问题,缓解复杂处理器所带来的压力,有关厂商提出了分布式仿真解决方案。在分布式仿真解决方案中,大致包括以下几个部分:

- (1)起运行控制作用的仿真头。
- (2)从软件工具销售商获得调试软件,利用它通过仿真头访问外部硬件环境,并执行调试功能。
- (3)由通过LAN连到主机的逻辑分析仪提供实时的分析。

以前作为硬件设计工具的逻辑分析仪,目前在嵌入式设计的不同阶段都可发挥很大的作用。随着LAN以及主机X-WINDOWS界面技术的发展,分析人员利用其可以较容易地发现系统集成过程中所出现的问题。它允许用户在低层的模拟信号级和高层的源代码级等不同级别分析调试嵌入式系统。它使设计者可以较快地了解到软件及硬件设计中所出现的问题。分布式仿真为软件开发者及硬件工程师开发调试以新一代处理器为核心的嵌入式系统提供了一个一致的、灵活的、且具有一定规模的工具。

3. 协同设计与虚拟系统集成技术的应用

一般,嵌入式系统开发分为几个不同的开发阶段。首先通过需求分析确定嵌入式系统所要实现的功能,并在系统级对所实现的功能进行验证。然后将功能分解为软件实现和硬件实现两个部分。在此之

后系统开发进入两个相对独立的开发阶段。当嵌入式软件及外部硬件环境设计结束之后,进入系统集成及系统测试阶段。在此阶段嵌入式软件运行于目标硬件环境中,以此来调试嵌入式软件并同时验证系统是否实现了预期的功能

随着 32 位微处理器及商用操作系统的发展,嵌入式系统已经成为非常复杂的系统,使得以往嵌入式系统的开发者所面临的矛盾显得更加突出。首先运行于 32 位微处理器上软件的数量及复杂度显著提高,同时用户设计的硬件,例如,ASICs 的数量及复杂度每两年翻一翻,并将继续下去。在以前,建立小规模硬件原型后进行软件测试的方法是合适的,但是现在高速增长的成本和电路系统的复杂性以及市场所带来的时间压力,都迫使设计者在设计期间就开始对系统的性能进行验证。在综合阶段或开发后期发现的一个硬件错误将导致重新设计或重新制造 ASIC,花费巨大且消耗时间长。因此提前发现错误,有利于节省资金,节省时间,增强市场竞争能力。

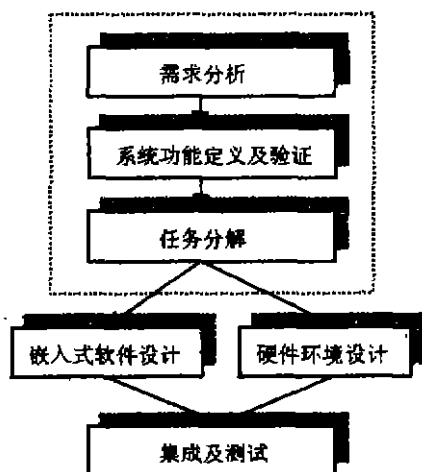


图 3 嵌入式系统的开发过程

解决上述矛盾的一个比较现实的方法是加强嵌入式软件开发及外围硬件设计阶段之间的信息交流,即在功能分解阶段后,借助模拟技术和虚拟原型技术对系统进行集成及测试,以期发现错误并对功能分解进行优化。这种虚拟系统集成(VSI)技术强调协同设计和虚拟环境的构造。下面是几种协同设计方法和利用虚拟系统集成(VSI)技术实现的全系统模拟方案的分析。

1. 利用全功能模型执行目标代码的方法

这种方法是首先利用 HDL 编写微处理器或微控制器的全功能模型及相关外部硬件环境的功能模型,然后将嵌入式软件编译成目标码,并装入微处理器模拟器的内存模块逐条执行。这种方法最大的缺点是模拟时间长,在很多情况下几乎不能使用,并且全功能处理器模型非常复杂,很难构造,同时由于专利的原因,全功能模型很难获得。

2. 利用软件与硬件相结合的方法执行目标代码

一种减少全功能模型执行时间的方法是将处理器及内存模型代之以真实的芯片,这些芯片通过硬件模型接口与外部硬件环境模拟器相连。这种技术允许抛开处理器的复杂性而进行全功能模拟。但是,昂贵的硬件接口并非总能带来模拟速度的提高。这是由于外部硬件环境模拟器并不能实时地处理微处理器所产生的信息。同时,由于程序运行于目标级,嵌入式软件的可见性难以保证。

3. 利用功能函数模拟硬件环境的方法

当一个新项目开始时,最终执行软件程序的目标系统可能并不存在。为测试软件,程序可以交叉汇编到一个已经存在的系统上,硬件的功能可用模型化的函数功能来模拟。这种方法允许在硬件不存在的情况下,测试软件的大部分功能。这种方法的主要问题是它只提供硬件操作的近似仿真。

4. 硬件仿真方法

这种技术是利用可编程的逻辑器件(例如, FPGA)构造外部硬件环境,它与微处理器或微控制器芯片一起构成仿真环境,嵌入式软件在此环境中运行调试。这种方法的优点是在外围硬件定型前即可进行目标级调试,缺点是硬件投资大且调试周期长。

5. 基于执行的虚拟系统集成(VSI)

对于一个典型的嵌入式系统,在嵌入式软件运行过程中,很多时间是消耗在处理器与指令存储子系统之间的交互上,取指及指令的执行是这个系统的一个主要活动。一般来说,处理器与其它硬件在总线上的交互活动仅占程序执行时间的一小部分。如果处理器和指令存储子系统被集成成为一个相对独立的模块,则其可作为 HDL 模拟器的加速器。

这种方法是嵌入式软件源代码汇编成宿主机上的可执行代码,而不是嵌入式系统的目标码。当嵌入式软件在宿主机上执行时,对于其所有的 I/O 操作都分别执行与其相对应的总线功能模型代码,通过适当的总线周期与外围的模拟硬件环境进行信息

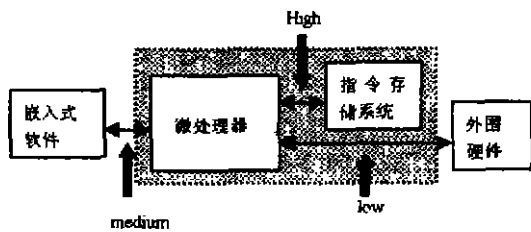


图4 系统内信息交互模型

交汇。这种方法可以很好地将软件与硬件的模拟环境结合起来。

6. 基于指令级模拟器的虚拟系统集成(VSI)

这种方法利用指令级模拟器及硬件逻辑模拟器构成一个VSI环境,这个模拟环境提供目标处理器内部状态的寄存器级信息。指令级模拟器将产生精确的总线操作,并通过它来实现嵌入式软件与外围硬件模拟环境的信息交汇。

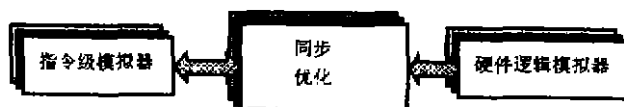


图5 基于指令级模拟器的虚拟系统集成环境

为了实现这种软件及硬件的协同设计,关键在于处理好指令级模拟器与硬件逻辑模拟器之间的关系。同步和优化是保证正确性及提高执行速度的两个关键技术。

结束语 通过对嵌入式系统及嵌入式软件的初步研究,我们认为嵌入式工业具有硬件复杂化(RISC, ASIC技术的广泛应用)及软件智能化两个发展趋势。同时仿真及模拟技术在嵌入式工业中发挥着越来越重要的作用,实用、快速、准确的仿真和模拟技术将为整个嵌入式工业注入新的活力,并推动整个嵌入式工业向前发展。

参考文献

- [1] D. D. Gajski and F. Vahid, Specification and Design of Embedded Hardware-Software Systems, IEEE Design & Test of Computer, Spring1995
- [2] R. K. Gupta and G. D. Micheli, Hardware-Software Cosynthesis for Digital System, IEEE Design & Test of Computer, Sept. 1993
- [3] D. E. Thomas et al., A Model and Methodology for Hardware-Software Codesign, Same to[2]
- [4] B. A. A. Antao, Trends in CAD of Analog ICS, IEEE Circuits & Devices Spet. 1995
- [5] R. Glover, EDA Vendors Advance Toward System-Level Design, Electronic Design July. 1996
- [6] B. Bailey and S. Leef, Making the shift toward integrated system design, Same to[5]
- [7] P. Gorge, Block-based design, creating a system on a chip, Same to[5]
- [8] J. Wilson, A new methodology for co-design virtual system integration, Electronic Engineering Sept. 1995
- [9] 刘积仁、余克清,面向客体的实时嵌入式软件仿真环境,辽宁省计算机应用学会第五届学术会议论文集,1993
- [10] 薛宏熙、边计年、苏明,数学系统设计自动化,清华大学出版社,1996. 10