

文章编号: 1007-757X(2009)2-0040-02

对基于 Cortex-M3 内核嵌入式系统的仿真

林恒杰 唐黎寅

摘要: 提出了一种对基于 Cortex M3 内核嵌入式系统的仿真平台的设计方案。通过对现有几种嵌入式系统仿真方案以及具体仿真平台的比较研究, 提出选择对 Thumb-2 指令集进行解释型仿真的理由, 并且介绍了该仿真平台的具体仿真过程。在文章的最后, 对该仿真平台下一步的改进与提高进行了展望。

关键词: 嵌入式系统; 指令集仿真; Cortex-M3 核; Thumb-2

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

0 引言

软件仿真相对于计算机体系结构验证的其他方法而言, 具有不可比拟的优势。首先, 嵌入式系统的硬件开发周期较长, 而且通常价格昂贵, 软件仿真可以在硬件开发完成之前先模拟出硬件环境供软件开发者使用; 其次, 仿真平台可以从较高抽象级别上逐步细化, 有利于系统的快速建模和验证, 从而在系统设计早期就对算法级别的行为进行预测; 最后, 从理论上来说, 仿真平台可以无限接近真实硬件, 软件开发人员可以查看和调试程序中的任意参数, 从而对系统的细化和设计提供进一步的数据。

指令集仿真器 (Instruction Set Simulator, ISS) 是用来在一台计算机上模拟另一台计算机上程序运行过程的软件工具。前者称为宿主机, 后者称为目标机, 目标机通常是当时不可用的, 运行在宿主机上的仿真器通过模拟每条指令在目标机上的执行效果来模拟目标机程序。目前, 大部分嵌入式软件集成开发环境都提供处理器的指令集仿真器, 使开发者在没有硬件环境的情况下, 即可在 PC 机上完成大部分的软件调试工作。

Cortex-M3 处理器^[1]是基于 ARMv7-M 架构的第一款 ARM 处理器内核, 专门设计用于在对功耗和成本要求严格的深度嵌入应用中提高系统性能, 采用了 Thumb-2 指令集架构。本文将介绍一种支持 Cortex-M3 内核的嵌入式系统仿真平台的设计方案。

1 嵌入式系统仿真平台介绍

对于一个嵌入式系统, 仿真可以在系统应用级、指令功能级和指令周期精确级三个级别上进行。

系统应用级别上的仿真, 抽象级别最高, 设计也最为简单, 只需要提供上层算法程序所调用的底层函数接口。应用级仿真可以提供算法设计者验证上层算法思想的正确性并且以最直观的图形界面方式呈现算法执行结果。然而应用级别的仿真提供的平台代码可移植性差, 上层用户所写的程序代码并无法直接移植到真实硬件上使用。

指令功能级仿真 (ISS) 抽象级别其次, 可以仿真 ISA

级别的行为, 复杂度与指令数目成正比, 可以保证处理器所有指令的语义正确, 没有时序精确的要求。指令功能级仿真类似早期单周期处理器的设计, 所有指令串行执行, 每条指令从取指、运行到完成都不会与其他指令并行。在其上可运行的程序可以直接移植到真实硬件上。

指令周期精确级仿真^[2]则是对指令功能级仿真的细化, 不仅保证程序串行执行时语义的正确性, 还精确刻画处理器在每个周期的行为。这意味着如果处理器具有并行行为如三级流水线, 那么仿真器必须能够在每个周期并行执行取指、译码和执行的周期。周期精确级仿真实质上是将处理器内所有部件描述成为并发的进程, 通过进程间通讯来刻画部件间的数据流动行为。然而实现程度相当复杂。

所以指令功能级仿真是在仿真的复杂性和精确性之间的一个最佳权衡点。以下将比较研究目前常用的两个功能级指令仿真器 ARMulator 和 SkyEye^[3]。

1.1 ARMulator

ARMulator 是一个在 ARM 公司推出的集成开发环境 ADS (ARM Developer Suite) 中提供的指令集模拟器。ARMulator 与运行于通用计算机上的调试器相连接, 模拟 ARM 处理器的体系架构和 ARM 指令集, 提供了开发和调试 ARM 指令集的软件仿真环境, 而且还可以仿真存储器和处理器外围设备, 如中断控制器和定时器等。不过它并不支持 Thumb-2 指令集的仿真。

1.2 SkyEye

SkyEye 是国内的一个开源项目, 基于 ARMulator 提供的 ARM 指令集仿真器的内核上开发, 目前可以支持基于 ARM7TDMI 内核的多种 CPU, 模拟了多种硬件外设, 如串口, 网络芯片, 内存, 时钟以及 LCD 等。在 SkyEye 上可以运行多种操作系统, 不过目前也并不支持 Thumb-2 指令集架构。

通过对上面的论述, 可以看出实现支持 ARMv7-M 架构的嵌入式系统仿真平台, 其核心在于对 Thumb-2 指令集的仿真, 这部分也是占整个工程 80% 以上的代码量。

2 仿真平台设计与实现

基金项目: 973 项目(2006CB303007)

作者简介: 林恒杰, 上海交通大学软件学院, 硕士研究生, 上海 200240
唐黎寅, 上海交通大学软件学院, 本科生, 上海 200240

本节将着重介绍对 Cortex-M3 内核嵌入式系统仿真平台的设计与实现方案。

2.1 仿真框架与测试

根据嵌入式系统仿真平台的要求,整个仿真平台自下而上可以分为如图1所示的4大模块:处理器仿真模块,存储器仿真模块,外设仿真模块以及用户调试模块。

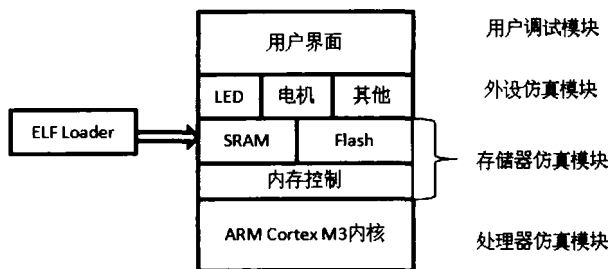


图1 仿真平台的组成模块

测试是用 C 程序代码通过 ARM 公司的编译器 Crossworks 编译后生成的 elf 文件, ELF 装载器(即 ELF Loader)将该 elf 文件的各程序段装载到仿真平台的内存中进行测试。

2.2 处理器仿真模块

处理器的仿真是整个仿真平台的核心部分,也包含了整个平台的大部分代码。处理器仿真模块包括寄存器堆以及指令取指、译码、执行的三级流水过程的仿真。

指令集仿真是处理器 ISA (Instruction Set Architecture) 层次模型,按照实现方法的不同可以分为解释型和编译型两种^[4]。前者如图2所示,在 PC 机上建立一个代表目标处理器状态的数据结构,根据目标处理器的指令集定义以解释的方式“执行”目标机程序,执行结果就是修改处理器的状态(即代表处理器的寄存器、内存、PC 值的变量),从而完成对目标机的模拟。下

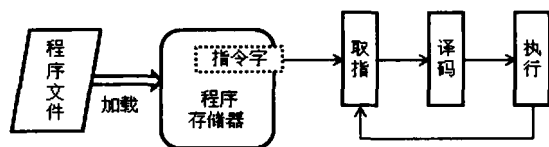


图2 解释型指令集仿真器工作原理

由于在仿真过程中需要花大量时间用于指令译码,解释型仿真器速度有限,为了克服其不足,有人采用如图3所示的编译型技术构造指令集仿真器来提高仿真速度。编译型技术通过将目标指令翻译为用于操作目标状态机的 PC 机指令来降低运行时间,然而其实现复杂度也比较大。笔者采用解释型进行仿真。



图3 编译型指令集仿真器工作原理

2.2.1 寄存器堆的仿真

和 ARM7TDMI 的 7 组寄存器相比, Cortex M3 的寄存器则简单得多,只有两种模式和一个分组寄存器。有通用寄

存器 r0~r12, 分组的堆栈寄存器 r13 (SP_main 和 SP_process), 链接寄存器 r14 (LR), 程序计数器 r15 (PC) 以及一个程序状态寄存器 xPSR, 用数组的方式就可以清晰地将其表示出来。

2.2.2 取指仿真

取指就是在 Flash 存储器中(将在 3.3 节中介绍)取出下一条将要执行的指令。指令地址有三种方式得到: 1.正在执行的指令地址加上指令长度(有 16 位的 Thumb 指令或 32 位的 Thumb-2 指令); 2.跳转指令给出的跳转地址; 3.异常发生逻辑给出的异常地址。

2.2.3 译码仿真

译码阶段所做的工作就是判断取得的指令,并跳转至相应的指令仿真函数入口地址。对于有几百条指令的 Thumb-2 指令集而言,采用逐项比较的方式并不明智,因此设计了指令译码表将译码过程分成四步。

首先,译码仿真由于译码阶段会根据取得指令字的前几位判断该指令是 16 位的 Thumb 指令还是 32 位的 Thumb-2 指令,分别送入各自的译码操作函数。

其次,在相应的译码函数中都有一张译码表。译码表被设计成一个二维数组,其表项内容如下所示:

```
typedef struct{
    int mask; //每一大类或小类的掩码
    int value; //该类指令与掩码相与后 所得到的值
    void *point; //对应的大类表项指针或小类入口函数指针
}
```

以 32 位的 Thumb-2 指令集为例,该指令集可以分为 7 大类指令,每一大类指令下又有许多小类。进入 Thumb-2 指令译码阶段后,将该指令与译码表中的表项进行逐项比较,若和某一表项 mask 进行相与操作后所得的值等于 value,则可确定该指令属于这个表项指针所指向的大类。

然后,将该指令再次在译码表进行第二次逐项比较,即与上步骤取得的相对应大类的表项指针所指向的各小类表项进行比较。同样的,若和某一表项 mask 进行相与操作后所得的值等于 value,则可确定该指令属于这个表项指针所指向的小类。

最后就进入所取得的小类入口函数进行判断,跳转到该指令的执行函数指针。

2.2.4 执行仿真

执行仿真是在每条指令相对应的指令仿真函数中进行的,仿真结果是修改存储器、寄存器值等操作。每个指令仿真函数完全根据 ARM v7-M 白皮书^[5]所提供具体指令的伪代码编写而成。

2.3 内存仿真

如图4所示, ARM Cortex M3 采用了一种架构指定的内存映射方式。也就是说,每一部分的映射地址是固定的,并不像 MMU 那样需要动态分配虚存映射地址。因此只需要根据具体芯片型号所支持的 SRAM 和 Flash 存储器大小来进行分配两个整型数组代表两段内存(图4中灰色的部分),分别存放代码和变量。对外设地址空间(0x40000000~0x60000000)的访问也是根据仿真平台所支持的不同外设封装成对一个整型数组的访问,具体将在第3.4节介绍。

(下转第34页)

(1) 细分在现有的数据基础上得出, 决定理财金账户的初步筛选在于人民币存款量。

(2) 客户的消费忠诚度在决定理财金账户的判定上起到很大的作用, 得出的这个结果是非常符合银行开展业务的基本要求的。客户的信用质量对于银行是否能够健康发展起到至关重要的作用。

(3) 月收入对判定理财金账户起到一定作用, 但不是绝对的。因为从现有的数据可以得知, 居民的存款不完全来自于其月收入。

(4) 教育程度和年龄可以作为判定理财金账户的参考因素。

3 结束语

本文利用个人客户的海量信息数据, 并根据客户对银行贡献度和忠诚度的大小, 从数据挖掘的角度对个人客户的细分提出了一种可行、有效的解决方案。本研究的下一步工作

是在此模型之上继续把客户细分参变量进一步细化和准确化, 并且针对不同的客户细分群指定不同的营销策略, 个性化营销和服务, 以达到留住利润源, 增强商业银行在金融市场中的竞争力的目的。

参考文献

- [1] 夏大方. 银行 CRM 中数据挖掘及其 CRC 方法的应用研究[D]. 东南大学, 2005.
- [2] Jiawei Han, Micheline Kamber. Data Mining: Concepts and Techniques[M]. China Machine Press, 2005.
- [3] 刘英姿, 吴昊. 客户细分方法研究综述[J]. 管理工程学报, 2006, 20(1): 53-57.
- [4] 周颖, 吕巍, 井淼. 基于数据挖掘技术的移动通信行业客户细分[J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(7): 1142-1145.
- [5] 马辉民, 卢益清, 尹汉斌. 基于客户份额的客户细分方法[J]. 武汉理工大学学报, 2003, 25(3): 184-187.

(收稿日期: 2008-10-06)

(上接第 41 页)



图 4 Cortex M3 的存储器映射

此外在内存仿真部分还需要做一个 ELF 文件装载器^[6], 将 elf 格式的测试程序文件根据其程序头部表进行分解, 将代码部分放进 PC 机上仿真的 Flash 存储器, 将变量部分放进 SRAM 存储器。

2.4 外设仿真

外设是嵌入式系统中很重要的部分, 对它进行仿真可以给用户呈现最真实的程序运行结果。由于外设总类繁多, 可以把每种外设做成一个软件构件, 需要的时候, 再加载到仿真环境中, 这样会给系统带来很大的灵活性。

外设仿真首先要做的就是分配对应的 IO 地址空间, ARM Cortex M3 是对外设的控制寄存器和内存统一编址, 通过读写 IO 地址, 就可以做到对外设的控制。从图 4 可以看得出来, 外设的地址映射都在 0x40000000~0x60000000 这部分空间里。然而, 根据不同的型号, 实际上有效的外设映射地址通常都在 0x40000000~0x40050000 这 5M 空间内, 因此只要分配一个 5M 大小的数组就可以控制所有外设的映射。

其次就是根据外设的具体功能来实现和主机的交互操作, 比如要做电机驱动的仿真, 就是宿主机操作系统中开启一个窗口, 根据对电机驱动所连接的具体 GPIO 口的读写操

作来判断设备的运动方向和速度, 并在仿真窗口中以图形界面的方式显示出来。

2.5 用户调试模块

用户调试模块所要做的工作就是将执行每条指令时 CPU 状态和存储器的值都可以被直接取得。而且开发者可以完全控制整个系统的运行过程, 随时让 CPU 暂停, 实现单步调试功能。同时对于系统的每一步执行过程, 仿真环境都可以将其记录下来, 放在日志文件中。这是真实硬件所无法做到的, 对于软件开发者有着非常重要的意义。

3 总结与展望

目前, ARM Cortex M3 核的单元测试结果理想, 下一步就是对更多的外设进行仿真。就如上文所说, 仿真可以任意接近真实硬件环境, 如果增加了对更多外设的支持, 将会提供给上层开发者更加真实的硬件仿真环境。

参考文献

- [1] ARM 公司. ARM Cortex-M3 技术参考手册[EB/OL]. <http://www.arm.com>, 2005.
- [2] 张量, 张尧弼. 嵌入式系统的周期精确级仿真[J]. 微型电脑应用, 2005, (9).
- [3] 李明. 两种嵌入式软件仿真环境的分析与比较[J]. IC 与元器件, 2003, (11).
- [4] Achim Nohl, Gunnar Braun, Andread Hoffmann. A universal technique for fast and flexible instruction-set architecture simulation[A]. Proceedings of DAC[C]. 2002.
- [5] ARM 公司. ARM v7-M Architecture Application Level Reference Manual[EB/OL]. <http://www.arm.com>, 2006.
- [6] ARM 公司. ARM ELF File Format[EB/OL]. <http://www.arm.com>, 1998.

(收稿日期: 2008-10-20)

Design and Implementation of Linux Thermal-aware Scheduler (21)*XIA Liang, ZHU Yong-xin (School of Microelectronics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)*

Abstract: To the issue of temperature management on microprocessor, a round robin scheduling algorithm as well as an improved threshold-based algorithm at OS level are proposed and implemented in Linux Kernel. SPEC2K benchmarks are classified and combined into different kinds of workload according to their thermal behavior and are tested on an Intel dual core processor. The results show that Linux baseline scheduler lacks effective thermal management in scheduling. Threshold-based scheduling algorithm migrates hot tasks to cool cores so as to alleviate peak temperature on processor. Round robin algorithm regularly rotates tasks to each core for equal amount of time, therefore, it balances temperature between cores more effectively. Moreover, it has little impact on throughput.

Keywords: Round robin scheduling; Task migration; Thermal aware; Multi-core

Application of Struts and Many Design Patterns in Network Teaching..... (25)*DING Zhen-guo, YAN Bin (School of Computer Science, Xidian University, Xi'an 710071, China)*

Abstract: Adoption of traditional JSP to develop software system has problem of bad structure, unclear logical assignment, high coupling and lower data transmission efficiency. This paper studies on how to combine DAO(Data Access Object) and VO(Value Object) design pattern with the Struts framework based on MVC(Model-View-Controller) pattern, to implement a new idea of organizing layers of Struts framework. Finally, with an online course selection system as an example, the realization of this new method is illustrated, which can apparently shorten the development period, enhance the extensibility and portability, and improve the efficiency of data transmission.

Keywords: MVC design pattern; Struts framework; DAO and VO patterns; Network teaching; Online course selection system

Runtime Monitoring of Distributed Systems Based on D3S.....(28)*ZHANG Fu-yuan, QI Zheng-wei (Embedded System Lab, School of Software, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)*

Abstract: It is well recognized that debugging or testing a distributed system is a great challenge. The author implemented a runtime monitor for distributed systems on the top of D3S infrastructure. This paper introduces the system architecture and implementation of the monitor and the relevant theoretical background. A case study and performance evaluation of our monitor are also provided. The execution of distributed systems is modeled as a trace of consistent global snapshots with global timestamps, and LTL is used for specifying system properties. A finite automaton is constructed from the LTL specification to monitor the execution of the finite trace of the checked distributed system, and the construction of finite automata for LTL specifications is also provided.

Keywords: Distributed system; Runtime monitoring; Linear temporal logic

Application of Data Mining in the Customer Segmentation of Bank..... (31)*WAN Ding-sheng¹, LIU Cong¹, LIU Yuan-sheng² (1. Computer and Information Engineering School, Henan University, Nanjing 210098; 2. Technology School, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 201101, China)*

Abstract: This paper introduces the application of data mining in the customer segmentation of bank's CRM, discusses the way of the segmentation of personal customers, and proves the validity of the method according to the result. The purpose is to establish mining model for analyzing personal customer information by using decision tree algorithm to get customers who meet fiscal accounts by the customer segmentation, and develop different marketing strategies and services. This method has been put into operation and it presented a positive effect on the bank for its practicability and simplicity.

Keywords: Data mining; Customer Segmentation; Decision tree; CRM

Interactive Schoolwork Assignment and Evaluation System Based on Web Mining..... (35)*ZHAO Bao-hua (Information Management Department, Shanghai Finance College, Shanghai 201209, China)*

Abstract: Web mining is the application of data mining technique to discover interesting, latent and non-pedestrian patterns from Web data. Schoolwork is the bridge connecting teaching and studying. A novel interactive schoolwork assignment and evaluation system is then proposed in this paper. The whole process of students' study is monitored by this system, and patterns are further mined out from monitored data by leveraging Web usage technology. The result can help teachers to improve teaching skills and optimize courseware design, help managers to enhance teaching management and help students to study well. The proposed system is a great improvement and complement to the existing ones.

Keywords: Web usage mining; Schoolwork assignment; Distance education

Technical Communication**Simulator of Embedded System Based on Cortex-M3 Processor.....(40)***LIN Heng-jie, TANG Li-yin (Software Engineering School, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China)*

Abstract: The paper describes a simulator platform of embedded system based on Cortex-M3 processor. After comparing some current simulators such as ARMulator and SkyEye, it explains why choose explanation simulation for Thumb-2 instruction set, and then, describes the concrete simulating process. At the last part of the paper, it gives an expectation of the future work about how to improve the simulator.

Keywords: Embedded system; Instruction set simulator; Cortex-M3; Thumb-2

Recognition Method of Image Spam Mail Based on Image Texture (42)*ZHANG Lue (Computer Science and Engineering Department, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)*

Abstract: The current recognition technology of image spam mails has low detection rate in text-embedded image spam mails, furthermore, it's easy to be interfered by background noise in images. A novel method by using Gabor filter with Support Vector Machine (SVM) classification is proposed in this paper. In the experiments, higher anti-jamming rate and detection rate were obtained.

Keywords: Image spam mail; Background noise; Gabor filter; Texture; SVM