

通用嵌入式系统模拟软件在 MCU 教学中的应用

陈耀, 陆杰, 陆华, 徐安

(同济大学电子与信息工程学院 上海 200092)

摘要: 模拟器是计算机学习、研究和开发的有力工具。本文介绍了一个通用多目标嵌入式系统模拟软件—ProEmulator, 探讨了该模拟软件在 MCU 教学中的应用, 结果表明通用嵌入式系统模拟软件在 MCU 教学实践中的重要作用。

关键词: 微控制器, 模拟软件, 嵌入式系统, ProEmulator

一、引言

微控制器 (Micro Controller Unit, 简称 MCU) 诞生于 20 世纪 70 年代末, 是微型计算机的一个重要分支, 特别适用于嵌入式系统。被广泛应用在通信、家电、智能仪表、医疗设备、工业过程控制等诸多领域, MCU 技术开发和应用水平已成为一个国家工业化发展水平的标志之一。

《微控制器原理与应用》是高等工科院校中电子信息、通信工程、电气工程及其自动化等电类专业的重要专业基础课, 是一门理论紧密联系实践、原理充分结合应用、知识先进性与系统性统一的课程。如何以学生为中心, 通过这门课程的学习使学生掌握 MCU 的基本原理, 培养学生 MCU 应用系统的分析、设计、调试等工程应用能力, 为学生将来从事各种智能化产品的开发设计提供技术支撑, 增强学生的实践能力、就业能力、创新能力, 是众多电子信息类专业教学中最需要着重研究的一项教改课题。本文结合通用嵌入式系统模拟软件 ProEmulator 在 MCU 课程教学中应用的探索与实践, 对课程行之有效的教学改革方式方法和有益经验进行了阐述。

二、通用多目标嵌入式系统模拟软件简介

模拟器, 指一种用于模仿其它硬件的行为的软件或者硬件。现在我们提及模拟器时, 多半是指能够运行于某种硬件系统下的一种软件, 这个软件可以模仿另一种硬件系统对数据的处理过程, 并最终得到相同或者相似的结果。

在计算机领域, 对于不同的处理器、平台和系统, 已有很多相关模拟器软件的研究和实现方案, 如用于 ARM 处理器的 ArmSim[1]、用于 PowerPC 处理器的 MOOSE [2]、用于 x86 处理器的 PTLSim[3]、一个能模拟多种处理器的全系统模拟器 SkyEye [4]、Proteus VSM (Virtual System Modeling) — 著名的结合了混合模式 SPICE 电路和微控制器的协同模拟软件[5]等。

MCU 种类繁多, 厂商提供开发工具一般只支持某一系列的 MCU, 有些开发环境甚至不具有模拟功能。为方便教学、学习和研究, 迫切希望有一款能支持多种处理器的通用模拟器。为此, 同济大学开发了一款基于插件机制具有开放结构的通用多目标嵌入式系统模拟软件—ProEmulator, 它可以模拟多种类型的处理器(如 Intel 8051、Freescale M68HC08、Microchip PIC12、AVR、ARM7TDMI 等)及外围设备(如键盘、LED、LCD 等), 支持汇编、C、C++等多种编译器, 提供系统时钟和引脚信号级的高精度模拟。作为一款通用模拟器, 它提供了非常友

好和方便的用户界面，具有丰富的调试功能和代码管理功能。它允许不同的 MCU 芯片和多种编译器的选择，可快速实现对新器件、新设备的模拟，并搭配现有设备构成一个新的系统，从而可以成为非标准处理器、基于 FPGA 的软 CPU 和 SoC 系统的模拟器，是学习、研究和开发 MCU 的有效工具。

目前，ProEmulator 已经在世界最大的开放源代码软件项目网站 SourceForge[6]以及国内的共创软件联盟上注册，一些国内外的技术人员正在不断地为它开发插件，它的架构正在被广泛地应用到业界以及教育培训领域。

表 1 给出了 ProEmulator 和其它两个通用系统模拟软件 Proteus、SkyEye 的主要特性比较。

表 1 ProEmulator 和 Proteus、SkyEye 特性比较

特性	Proteus	SkyEye	ProEmulator
是否开源软件?	否	是	是
是否商业软件?	是	否	否
支持处理器	PIC, 8051, MSP430, AVR, HC11, ARM7/LPC2000 等	ARM, Coldfire, MIPS, PowerPC, SPARC, x86, Blackfin DSP 等	8051, M68HC08, PIC12, AVR, x86, ARM7 等

三、ProEmulator 在 MCU 教学中的应用

除软件开发、结构设计、程序测试和硬件验证外，计算机教育是模拟器的一个传统应用领域。作为一个支持工具，模拟器的最大优点是：基本上无基础建设的成本；学生可随意控制机器内部状态，灵活选择学习细节；有助于快速理解真实的机器。开发适用教育教学的模拟软件，应用和发挥模拟器强大的教学和培训功能，对提高学生的工程综合应用能力、探索 MCU 课程的教学改革意义重大。

微控制器和嵌入式系统的教学已经在高校广泛地开展起来。传统的模式，往往是在课程初期进行大量的理论教学，由于一般没有可能让每一个学生自己拥有一套完整的开发环境，学生的实践学习只能在有限的几次到实验室的上机机会来进行。有了模拟器，每一个学生都能在自己的 PC 上拥有一套开发和运行环境。

另外，真实的嵌入式设备往往比较脆弱容易损坏，但在模拟器中进行学习就可以完全不用担心这点。而且指令的执行、存储器和寄存器的变化、I/O 的动态都非常直观，并能任意修改，这对于微控制器和嵌入式系统的教学、学习来说是非常有效的。

从 2004 年起，ProEmulator 模拟器软件就开始应用在同济大学电子与信息工程学院电子信息工程等专业 MCU 课程的课堂教学演示和学生实践教学等环节，ProEmulator 在课堂和实践教学中的成功应用，也使《微控制器原理与应用》的课程改革取得了良好的效果。

1. ProEmulator 在 MCU 课堂教学中的应用

在《微控制器原理与应用》课程教学中，通过使用 ProEmulator 模拟软件创设情境教学可以给学生留下深刻印象，激发学生的学习兴趣，充分提高课堂效率，有效地提高 MCU 课程的教学效果。模拟器是一种形象化的直观教学，能使教材上复杂的程序功能一目了然，能将抽象的知识形象化。有利于学生实践能力和创造思维的培养，将理性认识上升到感性认识。

如定时器溢出中断部分，按传统的教学方法进行课堂理论讲授，学生往往难以理解和掌握。而借助 ProEmulator 模拟器结合典型例程，利用单步、跟踪、断点等调试方法，可以使基本理论与实际应用有机结合起来，方便学生直观理解定时器溢出中断的工作原理和过程。ProEmulator 模拟软件运行 8051 MCU 定时器溢出中断例程的界面如图 1 所示。

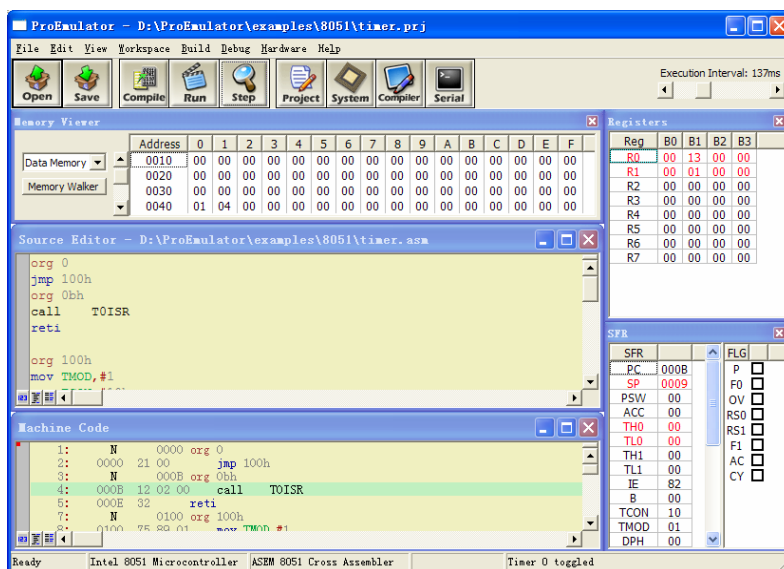


图 1 ProEmulator 模拟软件运行定时器溢出中断例程界面

同济大学电信学院 2006 年开始探索一种全新的 MCU 教学模式，不同于以往只围绕某一型号或系列的传统方法，新模式以三种典型的 MCU 为代表，从 MCU 的共性出发来讲授 MCU 的原理与应用[7]，取得了良好的教学效果。但在课堂教学演示中，教师经常要在不同类型的 MCU 的集成开发环境（如 Keil C51、CodeWarrior、MAPLAB 等）之间转换，十分不便。ProEmulator 的多目标特性可以让教师在同一集成开发环境中演示不同类型 MCU 的例程，大大提高了教学的效率。图 2 为 ProEmulator 处理器设置界面。

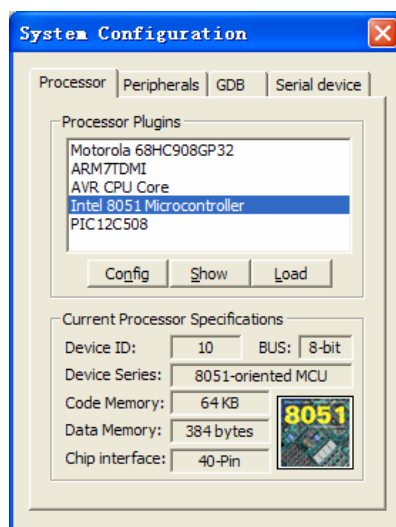


图 2 ProEmulator 处理器类型选择界面

一个完整的 MCU 应用系统一般会包含诸如键盘、LED 等外部设备，但并不是所有模拟器都能模拟外设，对外设的模拟是衡量模拟器性能的一个重要指标。外设模拟功能可以让用户在 PC 上体验到几乎跟真实硬件上完全一致的人机交互效果。ProEmulator 可以模拟键盘、LED、LCD 等外部设备。图 3 给出了 M68HC908GP32 MCU 驱动八个七段 LED 显示器外设的模拟界面。

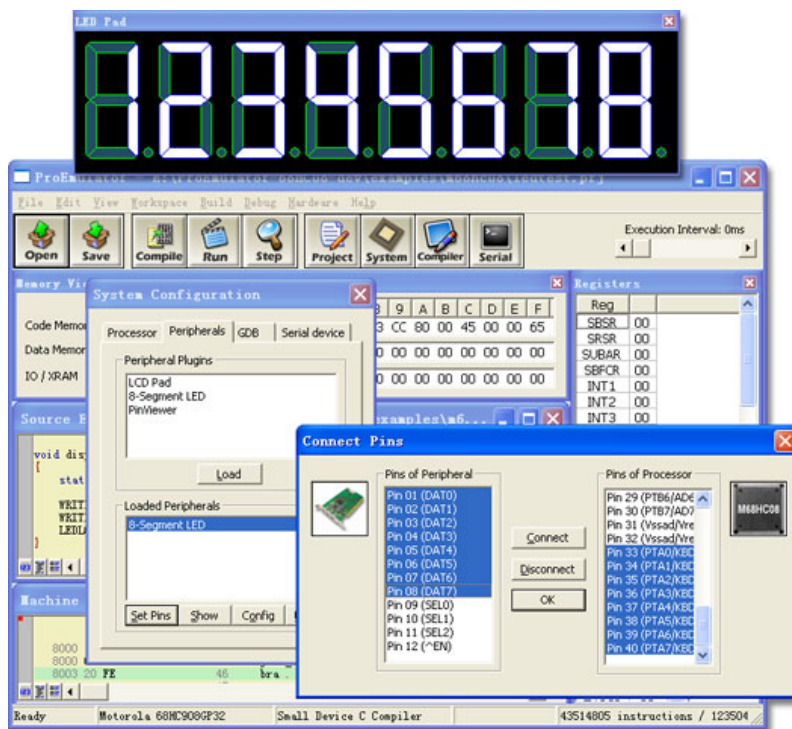


图 3 M68HC908GP32 MCU 和七段 LED 显示器外设模拟界面

2. ProEmulator 在 MCU 实践教学中的应用

MCU 课程的特点是实践性强，对微控制器原理与应用课程来说，读书是学习，使用则是更重要的学习，边学边用是最好最快捷的学习方法。为了提高学生素质，在注重课堂教学质量的基础上，精心设计课程实验、课程设计、毕业设计等实践环节，加强实践环节的教学，培养学生的实际动手能力、创新思维能力和团队合作能力。

(1) MCU 课程实验环节

要求学生在进入实验室前编写好实验程序，在掌握 Keil C51、CodeWarrior、MAPLAB 等 MCU 常用开发工具的基础上，利用 ProEmulator 模拟软件运行调试好实验程序。学生进入实验室后的重点放在程序在实验硬件平台的验证比较，大大缩短常规实验时间，提高实验效率，同时鼓励学生利用多余的时间进行拓展型、创新性实验，在相同的实验时间内丰富了实验内容和增强了实验效果。

(2) MCU 课程设计环节

要求学生除熟练应用 ProEmulator 模拟软件完成设计任务外，掌握 Proteus 等其它系统模拟软件。了解不同模拟器的特点，比较模拟软件的性能。为以后 MCU 应用系统开发设计的工具选择打好扎实的基础。

(3) 毕业设计环节

ProEmulator 模拟器是一款具有开放结构的开源软件, 可通过开发更多类型的处理器、外设和编译器插件, 进一步扩展模拟器的功能。在毕业设计环节, 可以让具有较强程序开发能力的学生参与 ProEmulator 插件的开发设计。其中 AVR、PIC、ARM7 等处理器插件就是有往届毕业设计同学开发设计的。

3. ProEmulator 应用效果

在同济大学多年 MCU 教学实践的应用过程中, ProEmulator 模拟软件以其优秀的性能发挥不可替代的重要作用, ProEmulator 的实用性和灵活性得到了教师和学生的一致好评。

作为一款开放结构的开源软件, 它也受到了国内外的专业人士的关注, 一些技术人员和在校学生也正在不断地为它开发插件, 使得它的功能日趋丰富。

四、结束语

计算机教育是模拟器的一个传统应用领域。本文介绍了一款基于插件机制具有开放结构的通用多目标嵌入式系统模拟软件--ProEmulator, 探讨了该软件在 MCU 课堂教学和多种形式实践教学中的具体应用, 结果表明通过 ProEmulator 可较大幅度地提高教学效率, 增强教学效果, 体现了模拟器在 MCU 教学活动中的重要作用。

参 考 文 献

- [1] Wan Han, Gao Xiaopeng: ArmSim: A Complete System Simulation Environment of the ARM Embedded System. Fifth International Conference on Information Technology: New Generations, pp. 1261 - 1262. Queensland (2008)
- [2] Robinson, L., Whisenhunt, G.: A PowerPC platform full system simulation-from the MOOSE up. IEEE International Performance, Computing and Communications Conferences, pp. 458. IEEE Press, Texas (1999)
- [3] Yourst, M.T: PTLsim: A Cycle Accurate Full System x86-64 Microarchitectural Simulator. IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems & Software, pp. 23 - 34. IEEE Press, California (2007)
- [4] SkyEye: a very fast full system simulator, http://sourceforge.net/projects/skyeye/?_test=b
- [5] Proteus Virtual System Modeling (VSM) co-simulation software,
http://www.labcenter.com/products/vsm_overview.cfm
- [6] ProEmulator-The retargettable embedded system emulator architecture,
<http://proemulator.sourceforge.net/>
- [7] 徐安、陈耀、方春华. 微控制器原理与应用. 北京: 科学出版社, 2006.