

# 多核平台上程序在线评测辅助教学系统<sup>①</sup>

李旻朔, 林 巧

(浙江师范大学 数理信息学院, 金华 321004)

**摘 要:** 选用 LAMP 作为开发环境, 进行了程序设计在线评测辅助教学系统的设计与开发。着重论述了基于多核平台上的多线程或多进程在线评测系统的设计与实现, 与单核系统相比, 解决了单线程或单进程评测效率低的问题。经过与单核串行评测系统比较得出, 多核系统评测速度显著提高, 评测结果和串行评测所得一致, 准确率高。

**关键词:** 程序设计; 在线评测; 多核; 辅助教学系统

## Online Evaluation Teaching-Supporting System for Programming on the Multi-Core Platform

LI Min-Shuo, LIN Qiao

(College of Mathematics, Physics and Information Engineering, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

**Abstract:** With the LAMP as development environment of the software, the double-core CPU as the hardware platform, this paper carries out the research and design of online evaluation teaching-supporting system on the platform. It focuses on the design and implementation of on-line evaluation system on a multi-core CPU hardware platform, which will improve the solo-core system and solve the problem of low efficiency in the single-thread or single-process evaluation strategy.

**Keywords:** programming; online evaluation; multi-core; teaching-support system

### 1 引言

在线评测系统最初使用于 ACM/ICPC 国际大学生程序设计竞赛和 IOI 信息学奥林匹克竞赛中的自动判题和排名<sup>[1,2]</sup>。现广泛应用于世界各地高校学生程序设计的训练、参赛队员的训练和选拔、各种程序设计竞赛以及数据结构和算法的学习和作业的自动提交判断中。

程序在线评测系统解决如何利用计算机自动评测程序及时反馈学生的作业, 自主练习的各种信息, 以帮助学生真正的提高自己的实际编程能力水平, 亦然成为本文解决问题的关键。

程序在线评测辅助教学系统有别于传统的人工评测, 它是学生与教师沟通、互动的一个重要桥梁, 它不受时空的限制, 学生可随时随地接受评测。经过对

近几年程序设计基础课教学方法和对国内外现有教学系统的研究, 对现有的教学方法和方式提出了更高的要求<sup>[3-5]</sup>。本文以多核 CPU 为硬件平台设计实现了程序在线评测辅助教学系统, 利用多核的优势进行多进程(多线程)研究和设计。主要实现程序在线自动评测、在线竞赛和师生互动交流功能。

### 2 体系结构

在设计程序在线评测辅助教学系统时本文结合了 C/S 和 B/S 结构<sup>[6]</sup>。用户通过浏览器查看页面, 需要显示相关的数据, 但不进行复杂的数据处理; 服务器处理用户提交的数据是一个漫长的过程, 不适合即时显示。考虑到以上数据处理过程的特点以及 C/S 和 B/S 结构的优缺点, 前台与用户的交互, 即通过浏览器进

① 基金项目:浙江省教育厅科研项目(Y200909191)

收稿时间:2010-09-28;收到修改稿时间:2010-11-05

行交互，采用了 B/S 结构，后台数据的处理，即自动评测，回写评测结果等操作，则采用了 C/S 结构。

目前 Internet 上流行的网站构架方式是 LAMP (Linux+Apache+MySQL+PHP)，即使用 Linux 作为操作系统，Apache 作为 Web 服务器，MySQL 作为数据库，PHP (部分网站也使用 Perl 或 Python) 作为服务器端脚本解释器。由于这四个软件都是开放源码软件，因此使用这种方式不用花一分钱就可以建立起一个稳定、免费的网站系统。程序在线评测辅助教学系统的开发及运行环境定义如下。

WEB 部分：操作系统是 Ubuntu-8.04 Server LTS，Web 是 Apache/2.2.8 (Ubuntu)，数据库是 MySQL5.0.51a-3ubuntu5 (Ubuntu)，服务器端脚本解释语言是 PHPVersion5.2.4-2ubuntu5.3，开发工具是 Zend Studio for Eclipse。

评测部分：服务器和客户端的开发语言是 C++。开发工具是 VIM。

### 3 需求分析

程序在线评测辅助教学系统是多核 CPU 为硬件平台，利用多核的优势进行多进程（多线程）研究和设计。主要实现程序在线自动评测、在线竞赛和师生互动交流功能。此系统将提供一个可不断扩展的练习题库供学生练习和教师讲授，同时该类课程教学的教师能够自主地管理课程讲授内容，布置作业，平时测试以及各学年的期中，期末的考试，还可以有效跟踪学生学习情况。程序在线评测辅助教学系统的主要的工作流程如图 1。

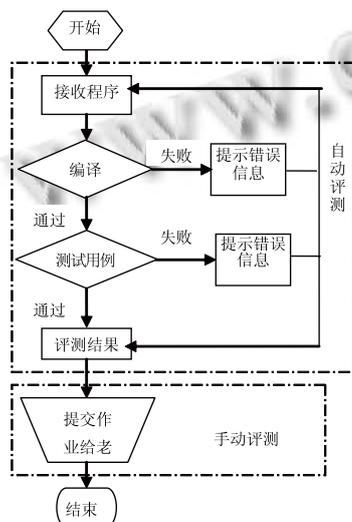


图 1 工作流程图

将主要实现：可自动对用户提交的源程序进行编译、运行并评判其程序的正确性（通过网上的实时评判结果显示评判信息），可进行日常训练、网上实时竞赛、站内交流（包括论坛交流和站内信件交流）和站内全文检索（包括对题目、论坛及用户程序代码的全文检索）等功能。评测部分以多核 CPU 的多进程技术进行研究和设计。

### 4 功能描述

(1) 可以进行程序在线评测，即实现程序设计类课程，如 C、C++和 JAVA 等语言，自动评测学生的程序，并实时反馈信息给学生的教学辅助功能。

(2) 可以设置网上竞赛和各学年的期中，期末的在线考试。

(3) 教师可以管理和查看学生程序的源代码，同时添加试题和学生。

实现功能：

① 一般用户：学生和普通用户。学生：登录后直接进入当前用户已选的课程，进而可以直接提交当前课程教师布置的试题或练习题，甚至是教师布置的考试等；普通用户：登录进入一般竞赛模式。

② 管理员：系统管理员和一般管理员。一般管理员：主要针对教师，教师可以管理考试，添加试题和学生，打包学生的源代码等。系统管理员：最高权力的管理员。

③ 设置网上竞赛和在线考试：网上竞赛：主要针对面向网赛。在线考试主要针对期中（期末）考试，当在线考试设置后，只有选课的学生和讲授该课程的教师能看到，其他用户不可见；选课学生开始考试时首先要安装系统指定的控件，之后才可考试，否则不能登录。

④ 及时反馈，系统评测运行结果分为以下 8 种<sup>[7]</sup>：

Accepted (AC)：程序得到了正确的结果！

Presentation Error (PE)：虽然程序的结果是正确的，但是输出结果的格式不对，应该是在某些位置多输出了空格或者空行。

Wrong Answer (WA)：程序并没有得到正确的输出结果。

Runtime Error (RE)：在程序的执行过程中，可能出现了以下情况：非法的文件访问，堆栈溢出，或者是非法访问了内存单元，数组越界，计算中 0 作为除数等导致异常结束的情况。

**Time Limit Exceed (TLE):** 程序没有在限定时间内执行完。

**Memory Limit Exceed (MLE):** 程序所使用的内存空间超过了题目的限定。

**Output Limit Exceed (OLE):** 程序产生了过多的输出。如果产生的输出达到了标准输出文件的两倍大小会有这样的结果, 一般是由于死循环导致的, 注意: 死循环也有可能导致 TLE。

**Compile Error (CE):** 程序有语法错误, 没有通过编译, 请仔细检查。

某些时候, 程序可以同时出现几种错误。对于这样的情况, 系统会根据错误优先级的高低返回结果。一般情况优先级为: CE>RE>MLE>TLE>OLE>WA>PE>AC。

## 5 基于多核平台的研究

### 5.1 单核和多核在多线程技术上的比较

在单核处理器上, 多线程的概念已经存在了数十年。目前, 大多数的现代应用程序都以这样或者那样的方式使用多线程技术。因此, 许多开发人员都已经对多线程的概念非常熟悉, 并且很多人还可能经常与采用多线程技术的应用程序打交道。但是, 当开发人员在面向多核处理器开发应用程序时, 需要对以下几个非常重要的方面加以特别考虑<sup>[8]</sup>。

(1) 在面向多核体系结构开发应用程序的时候, 只有有效地采用多线程技术并仔细分配各线程的工作负载才能够达到最高的性能。目前, 许多单核平台上的应用程序都采用多线程技术来改善程序对用户的响应时间。当用户请求一个非常耗时的数据库查询或者磁盘访问操作的时候, 应用程序一般会创建一个新的线程来处理该用户的这一请求, 而不阻塞用户界面 (User Interface, UI) 操作。因此, 主调度程序就能够继续调度主控制循环任务来响应其他的用户界面事件, 同时调度数据处理任务去执行数据库查询操作, 从而避免了在处理某个用户请求的时候必须禁用用户界面的问题。在这种模式中, 开发人员依靠提高指令吞吐率的方法提高了应用程序的性能。但是, 这也正是单核处理器上的多线程技术的一个非常明显的局限性。实际上, 因为单核处理器只能将多个指令流交错执行, 并不能真正将它们同时执行, 所以, 单核结构上的多线程应用程序的性能就受到了限制。在单核平台上, 多线程一般都被当作是一种能够实现延迟隐藏的有效

编程手段。

单核平台上的这种性能瓶颈在多核体系结构中就不存在了。在多核平台上, 各线程根本不需要为了得到某种资源而挂起等待, 因为各线程都是在相互独立的执行核上并行运行的。多核平台为开发人员提供了一种优化应用程序的渠道, 那就是通过仔细分配加载到各线程 (或者各处理器核) 上的工作负载 (也就是实现各线程的负载均衡) 就能够得到性能上的提升。并且, 开发人员也可以对应用程序代码加以优化, 使其能够更加充分地使用多个处理器资源, 进而达到提升应用程序性能的目的。

(2) 在面向多核平台设计多线程应用程序的时候, 开发人员必须采取与面向单核平台时不同的设计思想。在单核平台上, 为了简化多线程应用程序的编写和调试, 开发人员可能会作一些假设。但是这些假设可能不适用于多核平台。对于这两种平台, 设计思想的不同之处主要体现在存储缓存 (memory caching) 和线程优先级 (thread priority) 两个方面。

在存储缓存方面, 多核平台上的每个处理器核都拥有自己的 cache。在某个时间点上, 一个处理器核上的 cache 与另一个处理器核上的 cache 可能会出现不同步的现象。但是在单核平台上, 因为只有唯一的 cache 供各线程共享, 所以就不存在 cache 同步问题。

在单核与多核平台上采用相同的线程优先级策略也会导致不同的程序行为。例如, 假设一个应用程序有两个进程, 这两个进程的优先级不同。在进行性能优化的时候, 开发人员会假定优先级较高的线程可以一直享用执行资源, 而不会受到优先级较低线程的干扰。这在单核平台上是正确的, 因为操作系统的调度程序不会为优先级较低的线程分配 CPU 资源, 而对于多核平台而言, 因为调度程序是在不同的执行核上调度这两个线程, 所以两个线程是同时执行的, 也就是说在这种条件下, 线程的优先级不起作用。如果开发人员仍然遵循优先级较高的线程不会受到优先级较低线程的干扰的思想对代码进行优化, 这样的代码在多核和多处理器系统上运行就会非常不稳定。

### 5.2 在多核 CPU 平台上的设计

针对单个提交或多用户并发提交程序源代码时, 评测服务器启动评测服务。评测步骤如下。

步骤 1: 启动守护进程;

步骤 2: 等待一定的间隔时间;

步骤 3: 如果有程序源代码提交, 启动评判进程;

否则转步骤2;如果提交程序的数目为1,随机选择一个空闲内核串行执行 Judge Client 进程,转步骤4;如果同时提交数目大于等于2,并行启动多个 Judge Client 进程。采用图2的虚拟机并行工作方式。

步骤4:编译用户程序,如果通过编译,重定向输入输出;否则输出 Compile Error,转步骤2;

步骤5:设置运行的时间和资源限制,判断限制条件是否满足,如果不超出所有限制,运行用户程序;否则判断超限情况,输出相应提示 Time Limit Exceed、Memory Limit Exceed 或者 Output Limit Exceed,转步骤2;

步骤6:用户程序输出数据和测试数据进行比对,如果结果一致,输出 Accepted 以及 Runtime 和 Memory;否则根据运行情况输出 Wrong Answer、Runtime Error 或者 Presentation Error,转步骤2;

为实现 Judge Client 进程的并行化,并在多种并行化方案中选择最优的一种,我们进行多核平台并行处理的自动化分配设计。基本框架和 workflow 如图2。

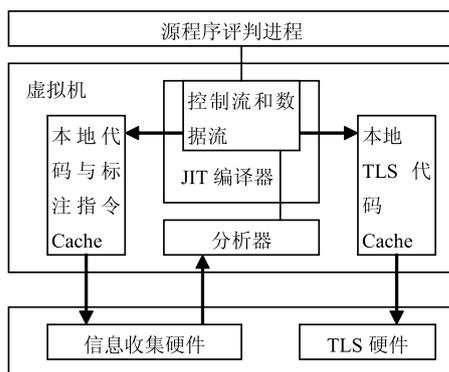


图2 多核并行处理基本框架和流程

(1) 虚拟机中的 Just\_In\_Time 编译器分析字节码,用特殊指令标注出其中的线程,结果代码保存在“本地代码与标注指令”缓存中;

(2) 一个内核串行执行标注后的线程,并收集各线程的执行信息;

(3) 分析器分析收集到的信息,选择能够带来最大性能加速比的线程标注方案;

(4) JIT 编译器根据分析结果向代码中加入线程级前瞻指令(Thread\_Level\_Speculation),完成线程划分,并重新编译,结果保存在“本地 TLS 代码”缓存中;

(5) 在多核平台上运行编译后的 TLS 代码。

## 6 小结

在当前在线评测系统的研究基础上,本文以多核平台,多进程(多线程)为核心,应用现流行的开源 Linux+Apache+MySQL+PHP 为网站开发框架,结合 B/S 和 C/S 体系架构,进行了程序设计在线辅助教学的具体设计与开发。

程序在线辅助教学系统目前在多核 CPU 平台上正常运行,经过与单核多线程评测比较得出:多核测试系统比单核串行评测效率提升,正确性和串行评测的结果一致,准确率高。总体来讲,已经达到了预期的目标。

## 参考文献

- Higgins CA, Gray G, Symeonidis P, Tsintsifas A. Automated assessment and experiences of teaching programming. USA: ACM Journal of Educational Resources in Computing, September 2005,5(3):30-36.
- Derek SM. Automatically grading Java programming assignments via reflection, inheritance and regular expressions. 32nd Asee/Ieee Frontiers In Education Conference, 2002(11):123-128.
- He L. A novel web-based educational assessment system with bloom's taxonomy. Current Developments in Technology-Assisted Education, 2006. 23-26. 1861-1865.
- 王腾,姚丹霖. Online Judge 系统的设计开发. 计算机应用与软件, 2006,23(12):129-130.
- 苑文会,彭四伟. 源代码在线评测系统的设计与实现. 计算机与数字工程, 2006,(9):130-134.
- Andrianoff SK, Levine DB, Gewand SD, Heissenberger GA. A Testing Based Framework for Programming Contests. [2010-9-1]. <http://portal.acm.org/dl.cfm>.
- Manzoor S. Common mistakes in online and real-time contests. The ACM Student Magazine. [2010-9-1]. <http://portal.acm.org/dl.cfm>
- Akhter S, Roberts J, 李宝峰,富弘毅,李韬译. 多核程序设计技术-通过软件多线程提升性能. 北京:电子工业出版社,2007.