

跨平台 C/C++解释计算平台 Ch 的教学魅力

特约主持人：程 辉

专题策划人：奚春雁 张 玥

Ch 平台国际研讨会(Ch Workshop, <http://www.asmemesa.org/chworkshop/>)于 2008 年 10 月 12 在北京召开,来自国内外著名高校和工业界的专家、学者及相关部门领导莅临并作了精彩发言。本次国际性 Ch 研讨会由国际电气与电子工程师学会(IEEE)和美国机械工程师学会(ASME)主办,国家自然科学基金委员会和国家教育部高等教育司协办,旨在研讨 C/C++解释计算平台(Ch)的功能,交流美国及中国高校如何利用 Ch 平台提高 C 程序设计课程的教学质量,以及 Ch 在高校工程类课程教学科研及工业中的应用等。清华大学张尧学院士参与了本次研讨会的组织工作;教育部理工处领导吴爱华作了关于教学改革及教学创新的重要讲话;美国加利福尼亚大学戴维斯分校程辉(Harry H. Cheng)教授、浙江大学谭建荣院士等作了专题报告;中国科学院计算技术研究所倪光南院士在总结性发言中指出,Ch 平台是一个适合于中国计算机程序设计教学的优秀平台。

Ch 平台是程辉教授在美国加州大学戴维斯分校从事 16 年 C 语言程序设计教学和科研实践中,针对 C 语言的众多难点,积累开发的一种跨平台嵌入式 C/C++程序解释器。Ch 平台抛弃了传统的抽象教学方式,由面向底层内核的交互式命令外壳和教学专用且界面友好的集成开发环境两大模块构成,从而形成了一种新的 C 程序设计教学平台和新的教学模式。教师可以使用这个平台,在课堂上开展直观的程序交互式演示教学,帮助学生形象化地理解 C 语言指针、结构体、数组、编程逻辑、编程调试等学习难点,同时这个平台也是学生有效自学和课后实践的工具。该平台具有强大的高级数值计算、二维/三维绘图功能和底层硬件连接与工业控制功能,可以形象而又便捷地展示和协助教师讲解 C 语言在解决较复杂工程和科学问题中的应用,从而提高教学的实用性,激发学生的学习积极性。Ch 跨平台的特点使

C/C++程序可以在Linux、Unix、Windows等多种操作系统上跨平台解释执行，无须经过繁琐且与平台相关的编译过程。此外，Ch也是一个可嵌入的脚本引擎，可以无缝地嵌入到已编译的程序中，实现脚本的柔性化编程，可方便地实现诸如移动计算等的新计算范式。目前，该平台已被全球各高等院校及工业界广泛应用于教学和解决各种科学与工程问题中，取得了显著效果，得到了各界专家学者的高度评价。

美国国家标准学会C标准委员会主席汤姆·麦克唐纳说：“Ch首次实现了跨平台、复数、可变长数组以及IEEE浮点计算等C99的标准功能。我不得不说Ch在质量和开发环境的完整性上给我留下了极为深刻的印象。”

法国巴黎大学计算机科学教授杰姆·菲特评价说：“教师和学生都非常欣赏Ch。在我的教学生涯中，第一次能够将指针如此清晰地讲授给对C程序设计完全陌生的初学者，并让他们自然地接受和理解。”

美国加州大学伯克利分校戴维·奥斯兰德教授指出：“Ch是一个教学和研究的优秀平台，我用它来做机电和控制方面的教学和研究。对我来说，一个解释器的最重要优点是跨平台、可移植，Ch使C程序能够跨平台执行。另外，Ch有非常友好的数学和图形功能，而在C、C++或Java中实现此类功能则需要装载大量资源函数库，而每一个都有各自的使用规范，使用起来很繁琐。我对Ch中提供的绘图功能印象尤为深刻，这对工程科学应用非常有用，使用也很方便。”

随着大学教育的普及化，C语言已成为最普及的程序设计教学语言之一。提高大学生C/C++的程序设计能力和实际动手能力，对他们的专业发展及今后的就业具有非常重要的意义。清华大学和浙江理工大学在利用Ch开展大学生程序设计基础教学中已经取得了良好的成效。例如，在2005年浙江省计算机二级考试中，浙江理工大学采用Ch平台学习C程序设计的学生在“C程序设计”考试中的平均通过率达到96.7%，其中二本学生的通过率更是达到了100%，教学效果非常显著。

《计算机教育》杂志始终关注本领域的教育教学改革和创新。我们特别约请了部分参会的专家、学者，为读者详细介绍研究和使用的C/C++解释计算平台(Ch)的经验和体会。我们希望通过Ch平台全面而详细的介绍，不断提高C程序设计课程及相关课程的教学质量，进一步促进计算机教学的创新和计算机教育培训体系的改革。Edu

适合中国计算机程序教学的跨平台 C/C++解释计算平台 Ch

中国科学院计算技术研究所 倪光南院士



美国加利福尼亚大学戴维斯分校程辉教授所设计和开发的 C/C++解释计算平台(Ch)是一个适合于中国计算机程序设计教学的解释计算平台。

首先, Ch 支持跨平台执行 C/C++程序, 它可以在 Linux、Unix、Windows 等多种操作系统上运行, 特别适合中国的国情。众所周知,《国家中长期科

学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》所部署的“核高基”重大专项研究中, 中国将大力发展“基础软件产品”, 其中最重要的就是操作系统。在该专项研究的支持下, 中国将发展基于 Linux 等开源软件的操作系统, 或基于自主开发并与 Linux 兼容的操作系统, 因此, 中国今后的操作系统平台将不再是 Windows 一统天下, 而是朝着 Linux、Windows 等多种操作系统多元化发展的方向迈进。与此相适应, 中国的程序设计语言教学也不应当只教 VC、VB 这类依赖于 Windows 平台的语言, 而是应当教一些跨平台语言, 在像 Ch 这样的平台上流畅运行, 这是落实国家软件发展战略的需要。

其次, Ch 平台既可编译执行, 又可解释执行, 具有良好的交互性。过去, 很多学校将 BASIC 语言作为程序设计的入门语言, 就是考虑到解释执行的 BASIC 语言比一般编译执行的语言更容易学。可是 BASIC 语言的用途有限, 不宜作为程序设计语言的首选, 而 C/C++语言的功能强、应用广, 但却难教、难学。现在, Ch 语言平台支持了 C 语

言的所有特性和 C++语言的大部分特性, 又具有解释执行语言易教、易学的优点, 很适合作为程序设计语言教学的首选。一些学校的教学实践表明, 采用 Ch 教学的效果比较明显, 老师和学生的反映良好。

此外, Ch 还是一个可嵌入的脚本引擎, 可以无缝地嵌入到已编译的程序中, 因此可以用 C/C++脚本做柔性编程, 这使 Ch 特别适合应用于嵌入式系统。目前中国已成为一个制造大国, 但中国制造业的附加值和利润大多很低, 缺乏竞争力。为了优化我国制造业的产业结构, 就要大力发展嵌入式系统提升制造业的竞争力, 因此我国迫切需要大批掌握嵌入式系统核心技术的人才。如果学生掌握了 Ch, 就会比较适合承担与嵌入式系统相关的工作, 较好地适应人才市场的需求。这是因为, 一方面, 大多数嵌入式系统是用 C/C++编程的, 另一方面, Ch 作为一个可嵌入的脚本引擎, 可以提高嵌入式系统的效能。

最近的“黑屏”事件促使人们重新审视中国的信息安全问题和计算机的教育培训问题。人们发现, 过去中国的计算机教育培训体系过分倾向于微软一家公司的产品, 而其他大国都不是这样。如美国排名靠前的十多所名牌大学的大多数计算机系都配备 Unix 或 Linux 实验室, 许多大学只有 Unix 或 Linux 实验室, 只有极少数只配备 Windows 实验室; 俄罗斯信息技术和通信部长要求, 到 2009 年, 俄罗斯所有学校都安装 Linux(Russian OS)。近年来, 我国有关部门也已着手改革(如在 40 所重点大学建立 Linux 技术培训与推广中心等), 但要完全纠正上述倾向, 还要继续努力。我们相信, 在程序设计语言教学中推广 Ch 平台, 将会有助于推进计算机教育培训体系的改革。Edu

Ch: 面向交互式教学的跨平台 C/C++解释计算环境*

程 辉

(美国加州大学戴维斯分校)

摘 要: C 语言是计算机程序设计入门教学中最流行也较难学的编程语言之一。本文介绍的 Ch 是一个面向交互式教学的跨平台 C/C++解释计算环境, 是一个完整的 C 语言解释器, 支持最新 C 语言标准 C99 中大部分的新增特性以及 C++ 的类, 由交互式命令外壳(command shell)和教学专用且界面友好的集成开发环境(ChIDE)两大模块构成。Ch 支持计算数组(computational array), 提供了图形绘制库和高级数值函数库, 能够方便快捷地解决许多工程和科学方面的复杂问题。在 Windows 系统中, Ch 计算环境支持常用的 Unix 和 Linux 命令, 帮助学生在熟悉的 Windows 环境中学习 Unix 和 Linux。Ch 还可以作为引擎脚本无缝地嵌入到编译的程序中, 实现柔性编程。本文最后概括性地介绍了笔者在美国加州大学戴维斯分校多年教学实践中开发并使用的一套基于 Ch 的 C 程序设计教学平台。教学实践表明, 使用这个平台在相当程度上提高了计算机程序设计教学的实用性、授课效果和学生学习的积极性, 帮助学生充分理解和掌握计算机程序设计这一工程和科学领域的重要基本技能。

关键词: 计算机程序设计教学; C 语言; C 解释器; C++解释器; 数字计算; 嵌入式脚本计算

中图分类号: G642

文献标识码: A

1 引言

编写计算机程序解决复杂的工程和科学问题是工程师和科学家的基本技能之一。C 语言是在工程和科学方面应用最广的编程语言之一, 事实上, 它是很多工程师和科学家的首选。C 语言可以在各种计算机上运行, 其中包括微控制器、微型计算机、手持设备、个人电脑、工作站乃至超型计算机。在 2005 年制造的 90 亿个微处理器中, 只有不到 2% 的处理器用于新的个人电脑和工作站中, 剩余

的 88 亿个则用于工业机器、医疗设备、交通灯控制器和家用电器等的嵌入式系统中。C 是编写诸如此类嵌入式系统硬件接口程序的标准语言, 同时也是计算机编程入门教学中应用最广的计算机语言之一。但众所周知的是, C 语言较难学, 熟



* 特别鸣谢: 该项工作得到美国加州大学戴维斯分校大学外联和国际合作项目 (University Outreach & International Programs) 的资助, 在此特别表示感谢。

作者简介: Harry H. Cheng (程辉), 博士, ASME 会士, IEEE 高级会员。现为美国加州大学戴维斯分校机械与航空工程、计算机科学教授, 集成工程实验室主任 (<http://iel.ucdavis.edu>)。Ch 平台的设计者、开发者和使用者, 曾参加 C 语言国际标准的修订工作, 最新的 C 语言国际标准 C99 采用了多项 Ch 功能。

联系方式: hhcheng@ucdavis.edu

练掌握更需要相当长的时间。本文介绍的 Ch 是跨平台的 C/C++解释计算环境,对于提高计算机编程入门教学具有良好的效果。

2 背景

在过去的十多年中,编程范例发生的转变包括从非移植性特定语言编程到可移植性快速应用开发,从私有语言到开放语言,从系统编程语言到脚本语言。当初设计和开发 Ch 的主要目的是为了更有效地进行 C 语言计算机程序设计入门教学,同时兼顾智能机电系统方面的科研和工程应用^{[1][2]}。经过十多年的教学实践和工程应用并不断完善,Ch 现已从一个简单的教学和科研工具演变为一个可移植跨平台且通用简便的计算环境^[3],并得到教师、学生、科研人员和工业界的广泛认可。经过十多年教学经验的积累,目前已经形成了以 Ch 为核心的 C 语言程序设计课程的教学平台^[4]。

然而,Ch 并不是什么全新的语言,Ch 设计严格遵循了 C 语言标准,是 C 语言的超集。作为一个完整的 C 语言解释器,Ch 支持 1990 年通过的 ISO C89 标准^[5]的所有特性。在基于对象的编程方面,Ch 也支持 C++中的一些主要特性。我们为数值计算而扩展 C 语言的工作与 ANSI C 语言标准委员会为修改 C 语言标准所做出的努力是一致的。自从我 1993 年参与 ANSI X3J11 和 ISO S22/WG14 C 语言委员会修订 C99 后,Ch 受益匪浅。很多诸如复数(complex number)^[6]和可变长数组(variable length arrays, VLAs)^[7]等原先在 Ch 中实现的新特性都添加到了的最新 C 语言标准 C99^[8]中。与其他大部分 C 语言编译器相比较,Ch 支持更多 C99 的新增特性。我们鼓励 C 程序员使用这些新特征,诸如复数、可变长数组、IEEE 754 浮点运算和泛型数学函数(type generic mathematical functions),因为它们可以极大地简化很多编程任务。

C 语言最初是为系统编程而设计开发的,因此它在工程和科学应用方面存在一些缺陷。Ch 是一个 C/C++解释器,可用于跨平台脚本、高级数值计算和图形绘制、shell 编程和嵌入式脚本。Ch 借鉴了很多其他语言和软件包的特

性和创意,它和其他一些语言和软件包的关系见图 1。Ch 的以下主要功能是一般的 C 语言编译器所无法提供的。首先,Ch 可以解释 C 语言程序,在一台机器上开发的 C 语言程序可以在无需编译和链接代码的情况下在另一台机器上由 Ch 解释执行,这对脚本应用来说是非常理想的,比如通用网关接口(Common Gateway Interface, CGI)处理网页上的已填好表格。解释器对 C 语言计算机编程的教与学双方都是非常有帮助的,比如,运行时的出错信息能够更方便地指向源代码,使初学者更容易发现程序中的错误。Ch 还能解释使用面向对象编程特性的 C++程序。其次,一些应用于工程和科学方面的语言(如 MATLAB 和 Mathematica)所具有的高级数值计算和图形绘制特性也被 Ch 扩展到 C 语言上。Ch 中的一些数值计算方面扩展特性已添加到 C99 中。再次,Ch 是一个具有高效的 shell 编程特点的超高级语言(very high-level language, VHLL)。有些需要编写数千行 C 语言代码才能解决的问题,Ch 代码只需寥寥数行即可完成。此外,Ch 还可以无缝地嵌入到用 C 或 C++语言编写的编译应用程序中,使应用程序可以用 C/C++脚本柔性编程,极大地扩展了应用程序的功能。本文将从教学的视角阐述 Ch 的这些独特功能。

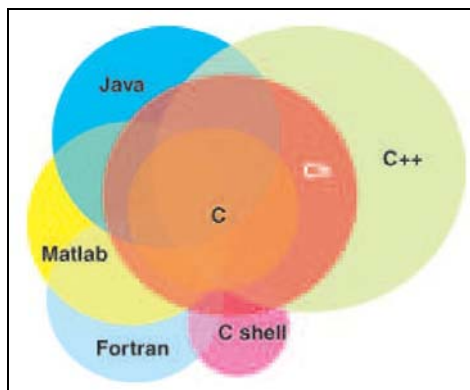


图 1 Ch 和其他一些计算机语言和软件包的关系

3 Ch 是一个跨平台的 C/C++解释器

在处理某些任务时,C 语言功能及其编译/链接/运行/调试等繁琐过程不尽完美且效率不高。随着计算机硬件越来越便宜,计算速度越来越快,Ch 作为跨平台 C/C++解释

器, 其在程序设计效率、柔性及成本方面的优势已被越来越广泛应用, 特别是在 C 语言程序设计教学上。

作为一个完整的 C 语言解释器, Ch 支持 ISO C89 标准的所有语言特性和标准库。通过 Ch 软件开发包(Ch SDK), Ch 可以支持 C/C++ 函数库。比如, Ch 支持 POSIX、TCP/IP socket、Winsock、Win32、X11/Motif、GTK+、OpenGL、ODBC、SQLite、CGI、LAPACK、LDAP、PCRE、Gnome Libxml2、甲骨文公司的 XML XDK、NAG 统计库、用于计算机视觉的 Intel OpenCV、用于图像处理的 ImageMagick、用于信号处理的 SigLib、美国国家仪器有限公司的 NI-DAQ 和 NI-Motion 等。

此外, Ch 被设计成与平台无关, 它可以在配有不同计算机硬件和操作系统的不同类型计算环境中运行, 其中包括 Windows、Mac OS X、Linux(x86、PPC、ARM 架构)、Unix、FreeBSD 和实时操作系统 QNX。Ch 跨平台特点可以使 C/C++ 程序在多种操作系统上跨平台解释执行, 而无须繁琐且与平台相关的编译过程。在一个平台上开发的程序可以在其他任何一个平台上运行。

在辅助初学者学习计算机编程方面, Ch 有很多专门开发的警告和出错提示信息, 而不用如段故障(segmentation fault)和总线错误(bus error)之类含义模糊且令人费解的出错提示信息。

3.1 交互式解释执行 C/C++ 语句和表达式

C 语言的所有语句和表达式都可以在 Ch 命令外壳(command shell)中交互解释执行并即时地显示在屏幕上。如图 2 所示, 使用交互调用函数 printf()得到“Hello, world”的输出。注意, 在命令模式中执行相应语句时, C 语言程序中语句末尾的分号是可省略的。上述执行操作所调用的函数 printf()中没有分号。Ch shell 中的默认提示符是可配置的。为简易起见, 下文关于 Ch shell 的命令行叙述中只显示提示符>, 而不列出完整路径。

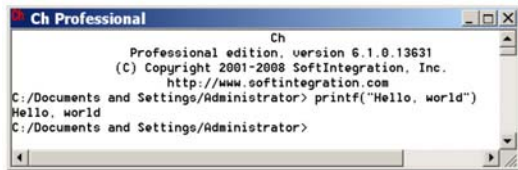


图 2 Ch 命令 shell 用户界面

Ch shell 会对输入的 C 语言表达式直接进行求值, 并将结果显示于屏幕上。比如, 输入表达式 1+3*2, 输出的结果为 7, 如图 3 所示。

```
> 1+3*2
7
```

图 3 Ch shell 对输入的 C 语言表达式直接求值并显示结果

任何有效的 C 语言表达式都可以在 Ch shell 中求值。因此, 把 Ch 当作计算器使用也是相当方便的。再举一例, 在提示符后声明变量, 接着在随后的计算中使用该变量, 如图 4 所示。

```
> int i
> sizeof(int)
4>
i = 30
30
> printf("%x", i)
1e
> printf("%b", i)
11110
```

图 4 把 Ch 当作计算器使用

以上 C 语句中, i 是一个 4 字节的 int 型变量, i 的整数值 30 将以十进制、十六进制和二进制数显示。Ch shell 还可以方便地检查 C 语言结构或 C++ 类的对齐, 如图 5 所示。

```
> struct tag {int i; double d;} s
> s.i=20
20
> s
.i = 20
.d = 0.0000
> sizeof(s)
16
```

图 5 使用 Ch shell 检查 C 语言结构或 C++ 类的对齐

本例中的 int 和 double 虽然分别占 4 和 8 个字节, 但为了对齐, 结构体 s 的 int 和 double 两个字段共占 16 个字

节，而不是 12 个。

3.2 交互式解释执行 C/C++ 函数和程序

除了 C 语句和表达式之外，C 语言的函数和程序也可以在 Ch shell 中进行交互式解释执行。C 语言标准库中的所有函数都可以进行交互式执行，也可以在用户自定义的函数中使用。比如，在交互式解释执行如图 6 所示的代码：

```
> srand(time(NULL))
> rand()
4497
> rand()
11439
> double add(double a, double b) {double c; return a+b*sin(1.5);}
> double c
> c = add(10.0, 20)
30.9975
```

图 6 交互式解释执行代码

在随机数值生成函数 rand() 中种入时间值 srand(time(NULL))。在命令行中定义并调用的函数 add() 依次调用了泛型数学函数 sin()。

函数文件中定义的函数也可被其他程序和表达式在命令外壳直接调用。Ch 的函数文件是一种扩展名为.chf 的文件，此类文件只含有一个函数定义。函数文件名和函数定义名称必须是相同的。

```
/* File: addition.chf */
int addition(int a, int b) {
    int c;
    c = a + b;
    return c;
}
```

图 7 函数文件 addition.chf

比如图 7 中的程序 addition.chf 就是函数 addition() 的函数文件。函数 addition() 可以用于程序或如图 8 所示的命令外壳中。

C/C++ 程序无需编译即可直接进行交互式执行。比如，

要运行图 9 中的“hello.c”程序，只要在 Ch 命令 shell 中输入命令“hello.c”，得到的结果就是“Hello, world”，如图 10 所示。

```
> int i = 10
> i = addition(10, i)
20
```

图 8 函数 addition() 用于命令外壳中

```
/* File: hello.c */
#include <stdio.h>
int main() {
    printf("Hello, world\n");
    return 0;
}
```

图 9 “hello.c” 程序

```
> hello.c
Hello, world
```

图 10 C 程序“hello.c” 运行结果

3.3 使用 ChIDE 编辑和调试 C/C++ 程序

Ch 由上述命令外壳(command shell)和一个集成开发环境(Ch Integrated Development Environment, ChIDE)两大模块构成。ChIDE 允许用户在 IDE 中编辑、调试或运行 C/C++ 程序，其用户界面支持包括中文在内的 30 多种语言。ChIDE 中含有现代 IDE 中常用的大部分功能。比如，它具有自动语法高亮显示，可帮助用户发现程序的一些语法错误。用户可设置断点，单步运行程序，在程序运行过程中监视变量和表达式值并修改变量值。ChIDE 操作简便，是专门为教师授课和学生学习而开发的。ChIDE 的特征和布局都是针对那些没有任何编程经验的初学者而设置的。比如，如图 11 所示，程序 func.c 连续或单步运行停在第 9 行时，可以在 ChIDE 中间的调试窗格内监控局部变量和全局变量的值。变量 a 和 i 以及表达式 2*g 的值可以通过将相应命令输入右下角的调试窗格中获取。教师课堂演示时，还可以方便地改变 ChIDE 中程序的字体大小。

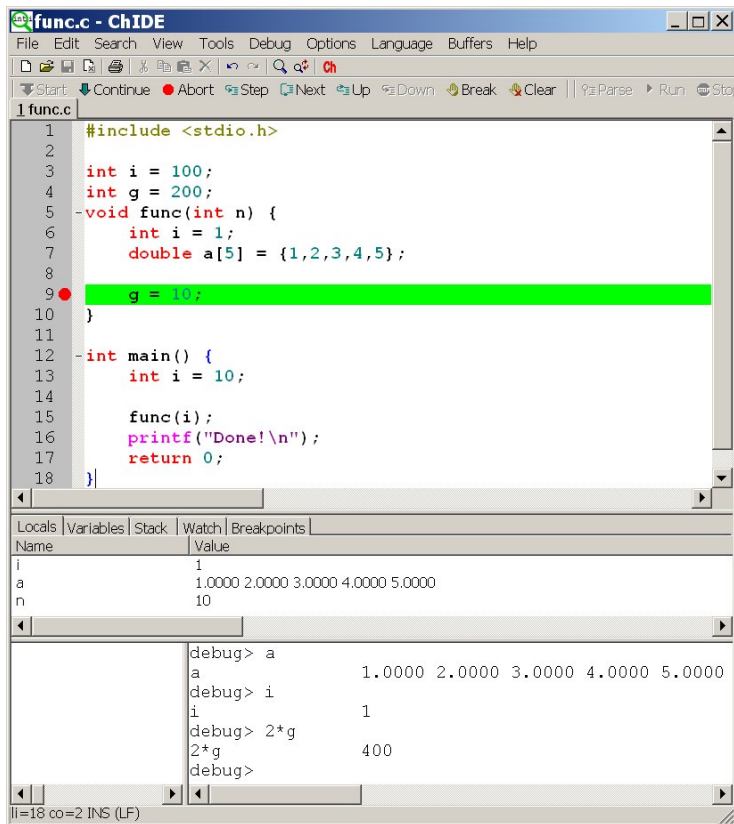


图 11 用 ChIDE 单步执行、监控变量并在调试
命令窗格中使用调试命令

4 Ch 的高级科学计算功能

科学数值计算并不是 C 语言设计的最初目的。比如，在 C89 中就很难处理多维数组。C99 为 C 语言添加了可变量数组和复数，使得数值计算得到极大简化。Ch 进一步扩展了 C99 的数值计算功能。在 Ch 中，数值分析方面的复杂问题往往只需调用一个函数即可解决。本部分将阐述 Ch 在科学计算方面对 C 语言进行的扩展。这些数值扩展极大地简化了工程和科学中复杂问题的编程。很多工程和科学上的实际问题都可以在课堂演示，在课后练习和项目训练中轻松解决，提高了教学的实用性，并极大地激发学生对计算机编程的兴趣和学习的积极性。

4.1 高级数值计算

Ch 支持作为一类对象(first-class)的计算数组(computational array)。计算数组可以由类型声明符 array 进行声明。一维的计算数组作矢量处理，而二维数组则作为线性代数矩阵

处理。对计算数组进行运算的操作符重载遵循线性代数的运算规则，如图 12 所示。

```
> array double a[2][3] = {1,2,3,4,5,6}, b[2][2]
> b = a*transpose(a)
14.0000 32.0000
32.0000 77.0000
> b*inverse(b)
1.0000 0.0000
0.0000 1.0000
> a = 100*a + 5
105.0000 205.0000 305.0000
405.0000 505.0000 605.0000
```

图 12 由类型声明符 array 声明计算数组

本例中，函数 transpose()和 inverse()分别用于计算转置矩阵和逆矩阵。对关键词 array 的处理方法跟 C99 中关键词 complex 的相同。在程序中使用计算数组时，应该包含头文件 array.h。如果程序中没有包含头文件 array.h，那

么标识符 array 仍可作为变量名使用。

Ch 含有针对科学数值计算的高级数值分析函数库。比如，线性方程组 $Ax=b$ ，其中：

$$A = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 6 \\ 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 2 \\ 13 \\ 25 \end{bmatrix} x$$

通过图 13 中的程序 linsolve.ch 调用函数 linsolve() 进行求解，输出结果如图 14 所示。

```
/* File: linsolve.ch */
#include <numeric.h>
#include <stdio.h>

int main() {
    array double a[3][3] = {3, 0, 6,
                           0, 2, 1,
                           1, 0, 1};
    array double b[3] = {2, 13, 25}, x[3];

    linsolve(x, a, b); /* find x based on a and b */
    printf("x = %.4f", x);
    printf("A*x = %.4f", a*x);
    return 0;
}
```

图 13 用数值分析函数 linsolve() 求解线性方程组

```
x = 49.3333 18.6667 -24.3333
A*x = 2.0000 13.0000 25.0000
```

图 14 求解结果

头文件 numeric.h 包含头文件 array.h 和数值函数的函数原型。函数 linsolve() 的算法基于广为应用的开源 LAPACK，直接调用了 LAPACK 中的相关函数。用户无需担心用快速精确的数值算法进行的潜在的优化。通过高级数值分析函数库，用户只需调用一个函数就能解决诸如 LU 分解、QR 分解、伪逆、奇异值分解、矩阵的特征值和特征向量、非线性方程、常微分方程等复杂数值分析问题。

这些高级数值函数对解决工程和科学类后续课程的

复杂问题也是非常有用的。

4.2 二维和三维图形绘制

图形绘制对数值结果的可视化和解释是极为重要的。C 语言默认不支持图形绘制，C 语言程序员往往用程序先生成一个数据文件，再使用如 Excel 之类的软件包，用数据文件中的数据绘制图形，这一过程对算法开发来说很不方便。Ch 在 C/C++ 的框架下，为二维和三维图形绘制提供了几乎最简捷的方案。使用图形库(graphical library)的绘图函数(plotting functions)或绘图类(class CPlot)成员函数(member functions)，可以在 Ch 中方便地生成二维和三维图形。Ch 可以用数据数组、数据文件或函数生成图形，将其显示于屏幕，保存为不同格式的图片文件，或以适当图片格式输出到标准输出流，并使用 Web 服务器在 Web 浏览器上显示。

下面三个例子分别展示了在 Ch 中绘制二维曲线、三维曲面和三维曲线的简捷功能。

图 15 所示为函数 sinc(x) 的二维曲线图形：

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(x)}{x}$$

x 的取值范围为[-10,10]。该图形是如图 16 所示的 Ch 程序 sinc.cpp 通过调用绘图函数 fplotxy() 实现的。

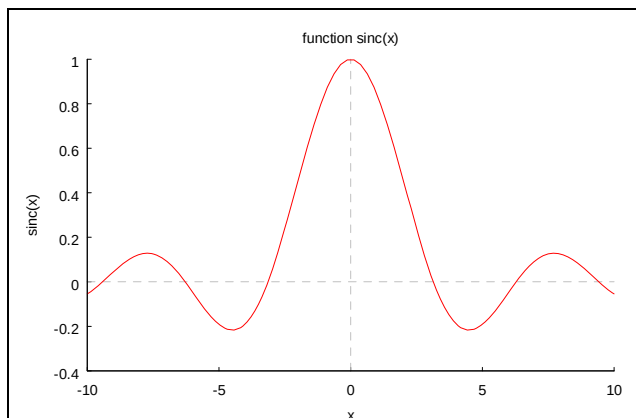


图 15 由程序 sinc.cpp 调用绘图函数 fplotxy() 产生的二维曲线

```

/* File: sinc.cpp
   Plot function sinc(x)= sin(x)/ x for -10<=x<=10 with 80 points */
#include <math.h>
#include <chplot.h> /* for using fplotxy() in the plotting library */

/* function definition for sinc() to be plotted */
double sinc(double x) {
    double retval;

    retval = sin(x)/x;
    return retval;
}

int main() {
    double x0 = -10.0, xf = 10.0; /* initial and final values for x */
    int num = 80; /* number of data points for (x, y) for plotting */

    fplotxy(sinc, x0, xf, num, "function sinc(x)", "x", "sinc(x)");
    return 0;
}

```

图 16 绘制 sinc(x)二维曲线的 Ch 程序 sinc.cpp

绘图函数 fplotxy()的函数原型为:

```

Int fplotxy(double func(double), double x0, double xf, int num,
char *title, char *xlabel, char *ylabel);

```

其中变量 func 是拟绘图的函数, 其自变量区间为[x0, xf], num 为绘图取点数, title 为图形名称, xlabel 和 ylabel 分别为 x 坐标轴和 y 坐标轴的标识。

Ch 的绘图函数是通过绘图类(class CPlot)实现的。比如二维曲线绘制函数 fplotxy()调用方式:

```
fplotxy(func,x0,xf,num, title, xlabel, ylabel);
```

可以用绘图类及其成员函数实现如下:

```

CPlot plot;
plot.func2D(func,x0,xf,num);
plot.title(title);
plot.label(PLOT_AXIS_X, xlabel);
plot.label(PLOT_AXIS_Y, ylabel);
plot.plotting();

```

很多别的 Ch 绘图类的成员函数可以用来绘制不同的图形并达到各种各样的功能。

同样地, 三维曲面也可以由 Ch 绘图函数简捷地生成。

图 17 为数学函数 sinr(x, y) 形成的曲面, sinr(x, y)为:

$$\sin r(x, y) = \frac{\sin(r)}{r}, \text{ 其中 } r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

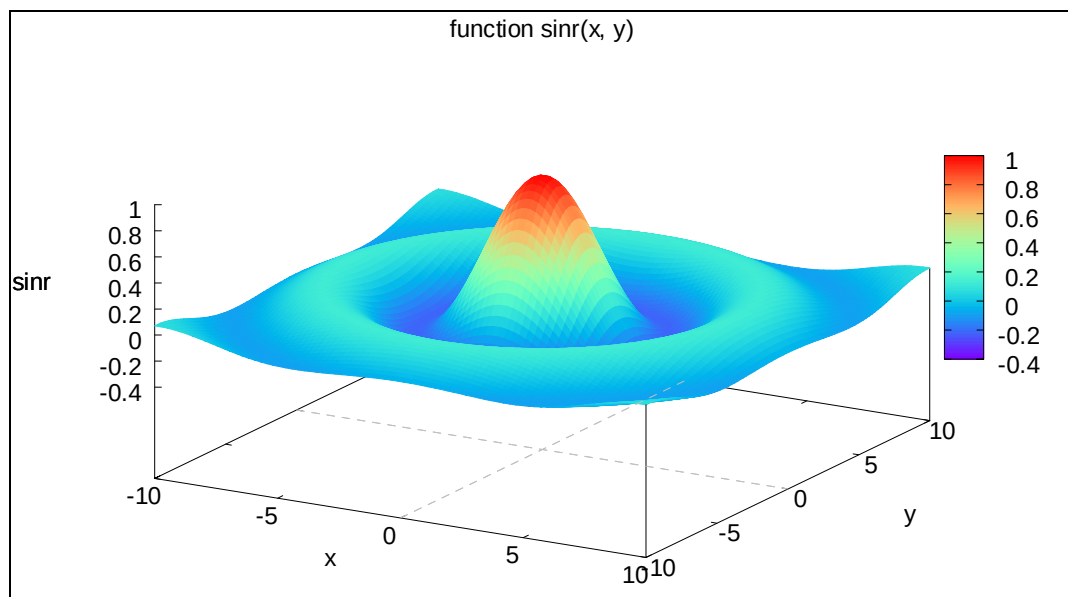


图 17 由程序 sinr.cpp 调用绘图函数 fplotxyz() 产生的三维曲面

该曲面绘制可由如图 18 所示的 Ch 程序 sinr.cpp 通过调用绘图函数 fplotxyz()来实现, 其中 x 在区间[-10, 10]取点数为 80, y 在区间[-10, 10]取点数为 100。

```
/* File: sinr.cpp
Plot a 3D surface for
sinr(x,y)=sin(sqrt(x*x + y*y))/sqrt(x*x + y*y). */
#include <math.h>
#include <chplot.h> /* for 3D plotting function fplotxyz() */

/* function sinr() with two variables to be plotted */
double sinr(double x, double y) {
    double r, retval;

    r = sqrt(x*x + y*y);
    retval = sin(r)/r;
    return retval;
}

int main() {
    /* plotting with -10<=x<=10, -10<=y<=10 */
    double x0 = -10.0, xf = 10.0, y0 = -10.0, yf = 10.0;
    /* use 80 points for x-coordinate,
    100 points for y-coordinate */
    int numx = 80, numy = 100;

    fplotxyz(sinr, x0, xf, y0, yf, numx, numy,
        "function sinr(x, y)", "x", "y", "sinr");
    return 0;
}
```

图 18 绘制 sinr(x,y)三维曲面的 Ch 程序 sinr.cpp

图 19 所示的三维曲线是根据参数 t 的以下参数函数绘制而成。

$$\begin{cases} x=\sin(t) \\ y=\cos(t) \\ z=t \end{cases}$$

绘图函数 plotxyz()可以用来绘制三维曲线或表面。图 19 是由如图 20 所示的 Ch 程序 helix.cpp 调用 plotxyz()生成的, 其中 t 从 0 到 10π 的曲线段上含有 300 个点。在绘图函数 plotxyz()中, 前三个数组变量与参数函数 x、y 和 z 相对应, 第四个变量为三维曲线取点数, 其他变量与函数 fplotxy(), fplotxyz()相同。

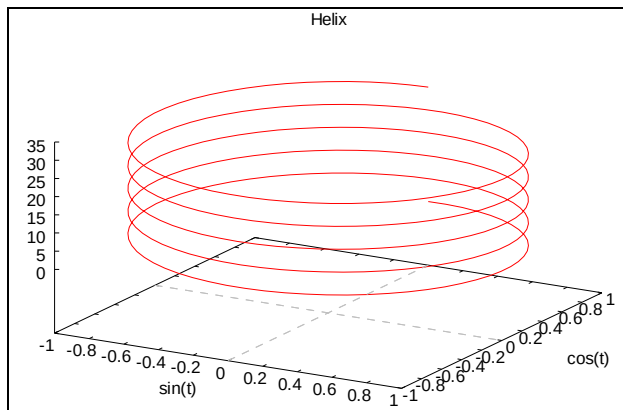


图 19 由程序 helix.cpp 调用绘图函数 plotxyz()产生的三维曲线

```
/* File: helix.cpp
Plot 3D curve using plotxyz() */
#include <math.h>
#include <chplot.h> /* for plotxyz() */
#define N 300 /* number of data points for the 3D curve */

int main() {
    /* declare arrays for plotting, t is for coordinates in z-axis */
    double t[N], x[N], y[N];
    int i;

    /* fill the array with the data based on the formula for a helix curve */
    for(i=0; i<N; i++) {
        t[i] = 10*M_PI*i/(N-1); /* data in time for z-axis */
        x[i] = sin(t[i]); /* data in x-axis */
        y[i] = cos(t[i]); /* data in y-axis */
    }

    /* plot 3D curve using plotxyz() */
    plotxyz(x, y, t, N, "Helix", "sin(t)", "cos(t)", "t");
    return 0;
}
```

图 20 绘制三维螺旋形曲线的 Ch 程序 helix.cpp

使用绘图函数的程序也可以用 C++ 图形库 (SoftIntegration Graphical Library, SIGL)^[9]在 C++ 编译器中进行编译和链接。比如, 图 16、18 和 20 所示的程序可用微软的 Visual C++ 来编译、链接 SIGL 图形库产生可执行的文件。ChIDE 集成开发环境不但可以直接解释执行这些

调用绘图函数的程序,而且还能够通过编译和链接的方式产生可执行的文件来执行这些程序。

以高级图形绘制和数值函数为基础,大量教学和工程应用工具包可被开发出来。现已开发的工具包包括控制系统工具包^[10]和机构设计和分析工具包^[11]。图 21 所示动画是一位学生为机构设计课程项目训练所开发的快速回归机构^[12],只需短短 34 行代码即可实现该机构的数值和图形输出以及仿真。

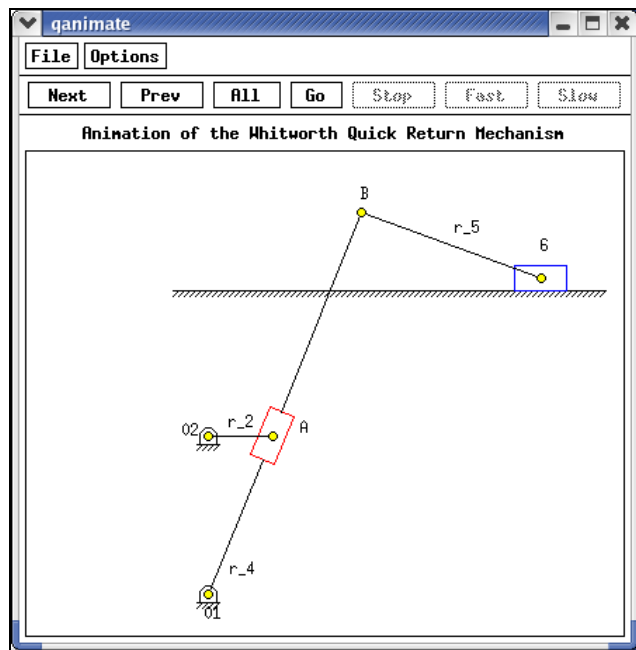


图 21 快速回归机构仿真

5 Ch 命令外壳(Command Shell)和 Shell 编程

随着计算平台的日趋多样化,为学生提供除 Windows 的更多跨平台实践的机会就显得越来越重要了。Unix 和 Linux 也是学生需要学习的重要操作系统。计算机的图形用户界面(graphical user interface, GUI)固然好用,但是在命令 shell 中却可以更简便地完成一些诸如建立多个目录之类的任务,而在处理多平台任务时更是如此。不同平台采用的图形用户界面往往是不同的。此外,shell 编程的脚本可以高效地自动执行重复任务,比如系统管理、回归测试、快速编程。常见的 Windows MS-DOS 和 Unix shell(包括 Bourne shell, C shell 和 Korn shell)的语法都是非常繁杂

的。和低级汇编语言的符号记忆形式类似,MS-DOS 和 Unix shell 元字符组(metacharacters)的特殊含义很难被记住。因此,用 MS-DOS 和 Unix shell 编程语言编写的大篇幅 shell 脚本较难读懂,也不容易进行修改和维护。再者,MS-DOS 和 Unix shell 编程语言的功能也十分有限。

Ch 是一个无需中间字节码(bytecode)的解释器,它也是一个命令外壳(command shell)。Unix 系统下,处理 Ch shell 命令的方法与 Bourne shell 和 C shell 之类的常规 Unix shell 采用的方法是相同的。跟其他 Unix shell 一样,Ch 也能当作 login shell 使用。大部分 Unix 命令都是用 C 语言编写的。Ch 为 C 语言和 shell 进行了几乎天衣无缝的衔接。在 Windows 系统下,Ch 支持 Unix 和 MS-DOS 规范。作为一种可移植命令 shell,Windows 系统下的 Ch 包含了 Unix shell 中常用的 200 多个 Unix 命令,比如 vi、ls、mv、grep、find、awk、sed 和 wget 等。这样有 Windows 操作经验的学生可以在熟悉的环境中学习 Unix 和 Linux,自然地过渡。Ch 可用于交互式命令解释和 shell 编程设计。从 shell 编程的角度看,Ch 是一种超高级语言(very high-level language, VHLL),并同时保留了 shell 的特性,比如命令行编辑、命令替换和别名等。作为命令外壳,Ch 的大部分特性与常规的 Unix shell 相同。在命令 shell 和 shell 编程方面,Ch 被设计得尽量接近 C shell,但不完全相同。Ch shell 是一种真正意义上的 C shell,并且在 Windows、Unix 和 Linux 中都可以使用,因为 Ch 是 C 语言的超集,用 Ch 编写脚本更高效,而且易于维护。

Ch 具有现代命令 shell 该拥有的大部分特性,其中包括历史替换、快速替换、文件名替换、管道、输入和输出重定向、别名、后台运行命令、敲 tab 键补全文件名和命令,以及使用键盘上的方向键重现命令。这些特性大部分都与 C shell 和 Bourne shell 兼容。

在 Ch shell 中,用户可以在 shell 的提示符后面输入命令。这些命令包括编译的可执行文件、shell 脚本、C 语言程序。例如,图 22 所示的这条命令便可建立 dir1 和 dir2 两个目录。

```
> mkdir dir1 dir2
```

图 22 建立两个目录的命令

如果要在其他脚本诸如 Bourne shell 中执行 Ch 脚本，可以在 Ch 程序首行含有以下组织行：

```
#!/bin/ch
```

如图 23 所示为 Ch 脚本 script1，该脚本的文件名为 script1。在 Ch 脚本中主函数 main() 可省略。该脚本由替换命令 'uname' 生成的字符串与程序预定义的字符串 "Linux" 和 "windows32" 相比较来决定程序运行在什么操作系统上，字符串变量 s1, s2 的值 "dir1" 和 "dir2" 则作为 mkdir 命令的变量。如果该脚本在 Linux 或 Windows 操作系统中运行，就会建立 dir1 和 dir2 两个目录；如果运行在其他操作系统，则会产生出错信息。

```
#!/bin/ch
/* File: script1 */
Create directories 'dir1' and 'dir2' in Linux and Windows */

char *s1 = "dir1", *s2 = "dir2";
if(!strcmp('uname', "Linux") || !strcmp('uname', "windows32"))
{
    mkdir $(s1) $(s2)
}
else {
    printf("Error: platform %s not supported\n", 'uname');
}
```

图 23 可在 Linux 和 Windows 系统上建立两个目录 dir1 和 dir2 的 Ch 脚本 script1

6 Ch 作为嵌入式脚本引擎

设计软件系统时采用嵌入式脚本柔性编程已越来越流行。在嵌入式脚本的编程范例中，解释器或脚本引擎被嵌入到编译的应用程序中。应用程序可以通过嵌入的解释器执行脚本代码，该脚本代码还能依次调用应用程序和其他函数库中编译的函数并与其共享数据。虽然强大的可嵌入解释器可以极大加快软件开发和部署的速度，但这种柔性编程规范的方法和功能还有待进一步开发和充分利用。

比如，如果将 C/C++ 解释器嵌入到一个自控程序中，对硬件和软件进行测试，则质保工程师就能用 C/C++ 测试脚本调用编译的 C 函数和 C++ 成员函数。编译的应用程序

仅通过调用不同脚本就可用来测试不同产品，这些调用的脚本可以从图形用户界面输入或从文件调入。再如，嵌入式解释器可以为不同客户和应用定制产品，在不改变标准产品的情况下，可根据客户的具体需要给应用程序加入额外功能。应用程序在特定的点调用和执行脚本就能实现客户期望的具体行为。

用于嵌入式脚本的可嵌入解释器有好几种，但最理想的情况是，应用程序的编译代码和脚本代码使用同种编程语言。否则，在编译的二进制空间和脚本空间之间共享数据就会困难而复杂。

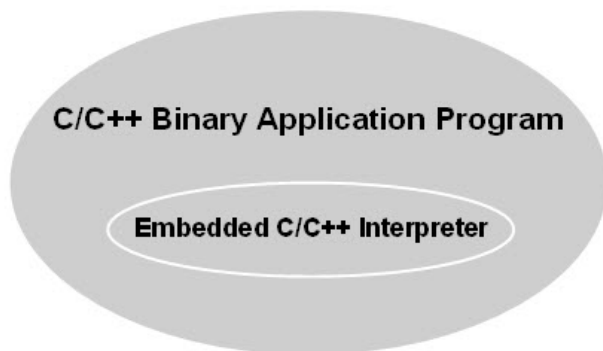


图 24 Ch 作为 C/C++ 脚本引擎嵌入应用程序

C 和 C++ 是最常用的编译应用程序开发语言。对于用 C/C++ 编写的应用程序来说，嵌入一个 C/C++ 解释器是最合逻辑的选择，如图 24 所示。用 C/C++ 编写的应用程序和 C/C++ 脚本均可无缝地共享内存、函数和头文件。

嵌入式 Ch 具有大量可用于嵌入脚本的应用编程接口 (Application Programming Interface, API)，比如可在编译的应用程序中跟踪和分析 C/C++ 脚本代码。单个嵌入的解释器就能处理多个 C/C++ 脚本，多个解释器也可嵌入到单个进程中，多个解释器还能嵌入多线程应用程序的不同线程。

虽然如何嵌入脚本引擎到编译的应用程序没有包括在计算机编程入门课程中，但是图 11 所示用于教学的 ChIDE 中嵌入了 Ch 解释器，用来解释执行在编辑窗格中的 C 和 C++ 程序。解释器执行 C 和 C++ 源代码可以为程序调试提供更多明确的出错信息，而简单明确的出错信息对初学者调试程序尤为重要。再如，Ch 解释器嵌入到 Mobile-C (一个 multi-agent 平台)，用以支持 mobile C/C++ agent，而这

种基于 agent 的移动计算可应用到各种智能机械电子和嵌入式系统中,用动态柔性编程来提高各项性能^[13]。

很多龙头企业都在使用嵌入式 Ch,如 Agilent Technologies 公司用嵌入式 Ch 调控仪器仪表,Lockheed Martin 公司用嵌入式 Ch 做飞机的设计和仿真,ABB 公司用嵌入式 Ch 作自动控制,LG Electronics 公司用嵌入式 Ch

检测生产的电子产品。FunctionBay 公司为处理 C/C++脚本,将 Ch 嵌入到其拳头产品 RecurDyn(这是一款用于多体动力学分析的软件程序)中。图 25 显示的是嵌入式 Ch 和基于 mobile C/C++ agent 的移动计算在工业机器人、移动机器人、嵌入式系统、智能交通和机电系统设计和仿真中的应用。

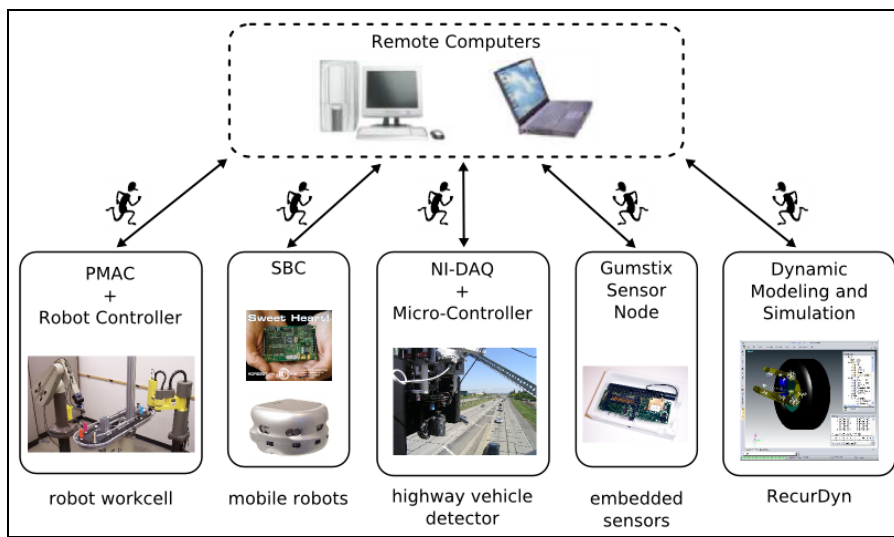


图 25 嵌入式 Ch 和基于 mobile C/C++ agent 的移动计算在工程中的应用

基于标准语言的可靠的嵌入式脚本引擎可以免掉开发人员在开发和维护私有脚本语言或解释器上的负担,而开发和维护一个跨平台的基于私有语言的嵌入式引擎在人力、硬件、软件、开发、测试、维护、系统管理、培训和技术支持等方面的成本是非常昂贵的。

7 基于 Ch 的 C 程序设计教学平台

自从 1992 年以来,我在加州大学戴维斯分校每年教授工程类学生 C 语言计算机编程的入门课程。在课堂讲学中,我在笔记本电脑上以交互的方式使用 Ch。Ch 使我能够快速演示 C 语言特征和编程原理,特别是在回答学生问题时。学生们可以快捷地体验 C 语言的不同特征,无需进行冗长的编译/链接/运行/调试的循环操作。经过 10 多年教学经验的积累,目前已形成了以 Ch 为核心的 C 语言程序设计课程的教学平台^[4],体系结构如图 26 所示。它包括 Ch 计算环境(由 Ch 命令外壳和 ChIDE 集成开发环境两大

模块组成)、C 语言教材和课件(含 350 有详细注释的完整实例源程序、1400 多页课堂授用 PPT、500 多道习题)、讨论训练素材(含 200 多页课堂讨论用 PPT)、教师指南(含教学目标、计划、试题库)和习题题解手册(含每章习题答案及相关源程序)。以上四部分内容是我们长期教学和科研经验的积累和不断完善的结果。

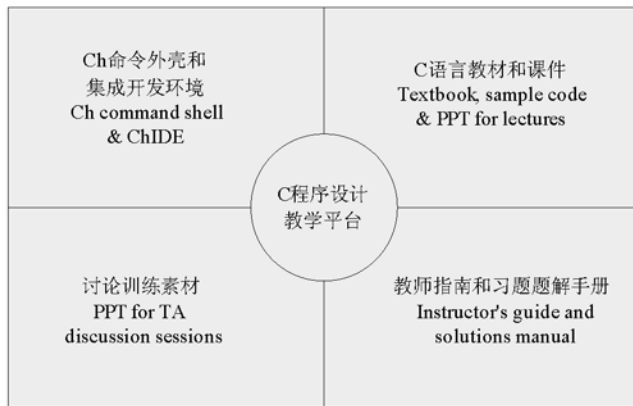


图 26 基于 Ch 的 C 程序设计教学平台体系结构

该教学平台主要面向没有任何编程经验的初学者,通过教与学,帮助学生理解和掌握 C 语言程序设计原理、编程与调试方法以及工程与科学计算算法程序实现,并能够用 C 编程来解决工程和科学实际问题。

该教学平台已被世界各国越来越多的高等院校所接受和采用。教学实践及反馈表明,该教学平台具有以下主要特征:

(1) 实现了 C 语言的直观交互式的教学方式,降低了 C 语言的学习难度

C/C++语句、表达式、函数和程序都可以在 Ch 命令外壳和 ChIDE 中解释执行。因此,教师可以在课堂上对 C/C++语句、表达式、函数和程序等进行直观的交互式的演示教学,帮助学生形象化地理解 C 语言指针、结构体、数组、编程逻辑、编程调试等学习难点,让学生能像学习 BASIC 语言一样学习 C 语言。

(2) 使用高级数值计算、图形绘制功能以及工程用例,增强了 C 语言学习的生动性和实用性

该平台具有强大的高级数值计算、二维/三维绘图功能和底层硬件连接与工业控制功能,并附有丰富的工程及科学实际编程应用案例,可以形象而又便捷地展示和讲解使用 C 语言解决较复杂的工程和科学问题中的应用,有利于激发学生学习的积极性,提高教学的实用性。

(3) 支持跨平台功能,可帮助学生了解和熟悉不同操作系统下的 C 编程特点及方法

在美国、俄罗斯、欧洲、日本、中国等国家,Windows、Linux、Mac OS X、Unix 等操作系统均被广泛使用,而在工业控制、嵌入式系统及 Web 服务器等领域, Linux 操作系统占有更重要的地位。Ch 具有跨平台的特点,可以帮助学生了解和熟悉 C 语言在不同操作系统中进行程序设计和执行的特点,有助于他们在今后工作和学习中适应不同操作系统环境下的程序设计、开发和应用。

(4) 此外,Ch 教学平台中的 Ch 命令外壳、ChIDE 以

参考文献:

- [1] H. H. Cheng, "Scientific Computing in the Ch Programming Language", *Scientific Programming*, Vol. 2, No. 3, pp. 49-75, Fall 1993.

及教材等均支持 ISO C89 标准的所有语言特性和标准库、C99 的大部分新增特性以及 64 位编程功能,是目前关于 C 程序设计知识最为完整的教学工具之一。在编写教材时,我们既考虑到初学者的需要,力求浅显易懂、深入浅出,同时也兼顾 C 语言知识和技能的系统性和实用性,并对一些疑难的高级知识点做了专门的实例化剖析,力求使之成为学生在后续课程学习及今后解决工程和科学领域实际问题时的重要参考资料。

8 结语

Ch 是一个完整的 C 语言解释器,同时支持 C99 新增的大部分特性和 C++类。Ch 的计算数组、高级数值分析函数、二维和三维图形绘制功能是 C/C++框架下最便捷的形式,这些功能可用来方便地解决许多工程和科学中的复杂问题。Windows 下的 Ch 计算环境支持常用的 Unix 和 Linux 命令,使学生能够在熟悉的 Windows 环境中学习 Unix 和 Linux。Ch 可作为一个 C/C++脚本引擎被无缝地嵌入到其他应用程序中。越来越多的应用程序扩展后都具备了 C/C++脚本功能。

基于 Ch 的 C 程序设计教学平台是在美国加州大学十多年教学和科研中不断积累和总结而成的一项重要教学成果,并形成了独特的教学模式。该教学平台包括跨平台的 C/C++解释性计算环境(由 Ch 命令外壳和 ChIDE 集成开发环境组成)、成套的教材及课件、相应的讨论训练素材和完整的教师指南。教学实践及反馈表明,该平台能增强教学的实用性,提高授课效果,降低初学者学习计算机程序设计的门槛,并有助于激发初学者对计算机编程的兴趣和学习的积极性,帮助他们真正理解和掌握如何应用计算机编程这一重要工具来解决工程和科学中的实际问题。Ch 和 Ch 教学平台可从网上下载^{[3][4]},希望它能使您的教学和编程任务更加快乐有趣。Edu

- [2] H. H. Cheng, "Extending C and FORTRAN for Design Automation", *ASME Trans., Journal of Mechanical Design*, Vol. 117, No. 3, pp. 390–395, Sep 1995.
- [3] Ch—an Embeddable C/C++ Interpreter, <http://www.softintegration.com>.
- [4] H. H. Cheng, *C for Engineers and Scientists: An Interpretive Approach*, New York: McGraw-Hill, Inc. March 2009; <http://iel.ucdavis.edu/cfores>; 中文版将由高等教育出版社出版.
- [5] *International Standard: Programming languages – C*, ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 1990.
- [6] H. H. Cheng, "Handling of Complex Numbers in the Ch Programming Language", *Scientific Programming*, Vol. 2, No. 3, pp. 76–106, Fall 1993.
- [7] H. H. Cheng, "Extending C with Arrays of Variable Length", *Computer Standards and Interfaces*, Vol. 17, pp. 375–406, 1995.
- [8] *International Standard: Programming languages – C*, ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 1999.
- [9] SoftIntegration Graphical Library, <http://www.softintegration.com/products/silib/graphlib/>.
- [10] Y. Zhu, B. Chen and H. H. Cheng, "An Object-Based Software Package for Interactive Control System Design and Analysis", *ASME Trans. Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 3, No. 4, pp. 366–371, Dec. 2003.
- [11] H. H. Cheng and D. Trang, "Object-Oriented Interactive Mechanism Design and Analysis", *Engineering with Computers, An International Journal for Simulation-Based Engineering*, Vol. 21, No. 3, pp. 237–246, May 2006.
- [12] M. Campbell and H. H. Cheng, "Teaching Computer-Aided Mechanism Design and Analysis Using a High-Level Mechanism Toolkit", *Computer Applications in Engineering Education*, Vol. 15, No. 4, pp. 277–288, 2007. <http://iel.ucdavis.edu/>.
- [13] Mobile-C: A Multi-Agent Platform for Mobile C/C++ Code, <http://www.mobilec.org>.

Ch: a Pedagogically Effective Cross-Platform Interpretive C/C++ Computing Environment

Harry H. Cheng, Professor

(University of California, Davis, USA)

Abstract: C is one of the most popular languages used to teach introductory computer programming. A pedagogically effective cross-platform C/C++ computing environment called Ch is introduced in this article. Ch is a complete C interpreter. It supports most new features added in C99 and classes in C++. Ch consists of both command shell and user-friendly IDE called ChIDE. In addition, Ch supports computational arrays, a graphical plotting library, and advanced numerical functions for solving complicated problems in engineering and science conveniently. Furthermore, the Ch computing environment in Windows supports commonly used Unix and Linux commands. It allows students to learn Unix and Linux in a familiar Windows environment. Ch can also be seamlessly embedded in other applications as a C/C++ scripting engine for flexible programming. Finally, a Ch-based teaching platform developed and used at the University of California, Davis over the years for teaching introductory computer programming in C will be briefly presented. Experience indicates that this C/C++ interpreter based teaching platform increases the effectiveness of teaching computer programming for real-world problem solving and lowers the barrier for beginners to learn computer programming. It helps students to fully understand and master the working principle of computer program design for solving problems in engineering and science, which is one of the most important and basic skills for engineers and scientists.

Keywords: teaching computer programming; C language; C interpreter; C++ interpreter; numerical computing; embedded scripting

利用交互计算平台加强控制系统学习经验

陈 波

(美国密歇根理工大学)

摘 要: 本文阐述了如何使用 C/C++ 交互计算平台来加强本科控制系统课程的教学工作。课程选择使用 Ch 开发的软件包, 即 Ch 控制系统工具包 CCST(Ch Control System Toolkit) 和基于 Web 的控制系统设计分析系统 WCDAS(Web-based Control System Design and Analysis System)。CCST 工具和 C/C++ 兼容, 并提供了类似 MATLAB 控制系统工具箱的功能。基于 CCST 的 WCDAS 使学生可以在任何时候任何地点通过 Web 学习控制理论和设计原型控制系统, 而不需要写任何代码。使用这些工具有很多优点: 更好的视觉效果、更易理解、学生更有兴趣。

关键词: 控制系统设计分析; 基于网络的控制工具; WCDAS

中图分类号: G642

文献标识码: A

1 简介

自动控制已成为绝大多数工程学科的重点研究内容, 其相关课程也是各类工程课程的组成部分^[1]。随着数学和计算技术的进步, 现代控制工程的设计和分析方法大大扩展了可解决问题的范围。日益发展的计算密集型方法学需要开发新的教学工具, 以提高控制教学的成效。诸如 MATLAB 控制系统工具箱^[2]和 Mathematica 控制系统^[3]之类的软件包已进入市场, 供计算机辅助控制系统设计和分析。随着万维网的广泛普及, 基于 Web 的控制系统设计和分析工具正成为一种很有前景的技术。在教育领域, 该技术能够极大地改善控制系统的教学效果。这些工具使学生更积极地投入到控制课程的学习, 并且具有很好的远程教育效果^{[4][5]}。基于 Web 的交互式计算工具使学生很容易尝试不同的控制方案, 并通过观察 Web 上即时生成的控制结果探索新的控制策略。

本文介绍了开源 Ch 控制系统工具包 CCST(Ch Control System Toolkit) 和面向自动控制系统教学的基于 Web 的控制系统设计分析系统 WCDAS(Web-based Control System Design and Analysis System), 详细说明了这些工具对提高学生学习效率的作用。利用

C/C++ 开发的 CCST 控制系统工具包可以与实时控制软件无缝连接。WCDAS 以 Web 方式调用 CCST 的控制功能。CCST 和 WCDAS 都是开源软件, 学生可以通过阅读它们的源代码来理解控制原理和算法是如何实现的, 也可以通过扩展软件功能来解决新问题, 学习如何用计算机程序实现控制算法。这些软件包可供教师和学生免费使用。



作者简介: 陈波, 女, 密歇根理工大学机械工程-工程力学系和电气与计算机工程系助理教授。
联系方式: bochen@mtu.edu

2 Ch 控制系统工具包

Ch 控制系统工具包^{[6][7]}CSST 是一款基于对象的软件包,它是在解释性的 C/C++环境 Ch^{[8][10]}中开发的。CSST 设计了一个 C/C++控制类,提供线性时不变控制系统的建模、分析和设计等函数功能。它包含了控制系统设计和分析中常用的功能模块,如时域响应、频域响应、系统分析、系统设计、模型转换和系统转换等。大部分功能都适用于连续或离散的 LTI 系统,该系统的模型可以是状态空间模型、传递函数模型或零—极点—增益模型。CCST 的成员函数与 MATLAB 的控制函数的对应关系如表 1 所示。CCST 和 MATLAB 控制系统工具箱之间详细的语法对比见参考文献^[11]。此外,参考文献^[12]中的网页以示例形式对比了这两种方法。

表 1 Ch 控制工具包成员函数和等效 MATLAB 函数部分清单

MATLAB 控制工具箱	Ch 控制工具包
<code>sys = tf(num, den)</code>	<code>sys.model("tf", num, den);</code>
<code>step(sys)</code>	<code>sys.step(&plot, NULL, NULL, NULL);</code>
<code>bode(sys, {wmin, wmax})</code>	<code>sys.bode(&plot, NULL, NULL, NULL, wmin, wmax);</code>
<code>sysd = c2d(sys, Ts, method)</code>	<code>sysd = sys.c2d(Ts, method);</code>
<code>rlocus(sys)</code>	<code>sys.rlocus(&plot, NULL, NULL);</code>
<code>sys = feedback(sys1, sys2)</code>	<code>sys = sys1.feedback(sys2);</code>
<code>nyquist(sys, w)</code>	<code>sys.nyquist(&plot, NULL, NULL, NULL, w);</code>
<code>ob = obsv(sys)</code>	<code>sys.obsv(ob);</code>
...	...

传统上,控制系统设计和模拟大都是在诸如 MATLAB 和 Mathematica 之类具有很强计算能力的环境中进行的,但是为这些环境写的代码却无法在实时控制系统中直接使用。虽然这些环境大多都提供了可以将控制代码编译成适用实时控制(很可能是 C 语言)的转换器,但是转化效率低,且转化后的程序代码容易出错。此外,某些情况下,生成的 C 代码缺乏良好的组织,不易理解。因此,维护生成的 C 代码并将其与工程领域现有的大型软件系统集成将会比较困难。而如果用 CCST 来进行实时控制系统的设计和模拟,则会大大减少这方面的困难。由于 CCST 是用 C/C++开发的,CCST 就能更方便地以源代码或二进制形式与现有的 C/C++代码对接,这就消除了代码转换引起的

错误,同时用户也可以只通过一种语言进行建模,分析、设计和控制实时系统。下面用一个简单的实例来说明如何使用 CCST 解决控制问题。

例 1: 利用 CCST 模拟二阶系统的阶跃响应,如图 1 所示。

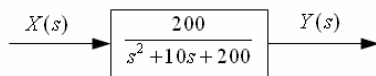


图 1 二阶系统

解决这一问题的计算机程序如下:

```
Example1.cn
#include <control.h>
int main() {
    double num[1] = {200};
    double den[3] = {1, 10, 200};
    class CPlot plot;
    class CControl sys;

    sys.model("tf", num, den);
    sys.step(&plot, NULL, NULL, NULL);
    return 0;
}
```

现在逐行分析这个程序。程序的第一行如下:

```
#include <control.h>
```

它包含了 Ch 控制系统工具包类,使程序可以在本地使用 CCST 成员函数。接下来的几行对程序中随后用到的变量进行了初始化。

```
int main() {
    double num[1] = {200};
    double den[3] = {1, 10, 200};
    class CPlot plot;
    class CControl sys;
```

变量“num”和“den”都是数组,表示传递函数的分子和分母。变量“plot”是 CPlot 类的一个实例(对象),用于生成图形阶跃响应。变量“sys”是 Ch 控制系统工具包类的一个实例(对象)。随后的一行初始化了系统模型。

```
sys.model("tf", num, den);
```


其中第一个参数“tf”表示这个模型类型是传递函数，随后的两个参数“num”和“den”表示传递函数的分子和分母。

下一行生成图形化的阶跃响应：

```
sys.step(&plot, NULL, NULL, NULL);
```

第一个参数“plot”是之前初始化的 CPlot 类的一个实例。最终这个程序生成了如图 2 所示的阶跃响应。

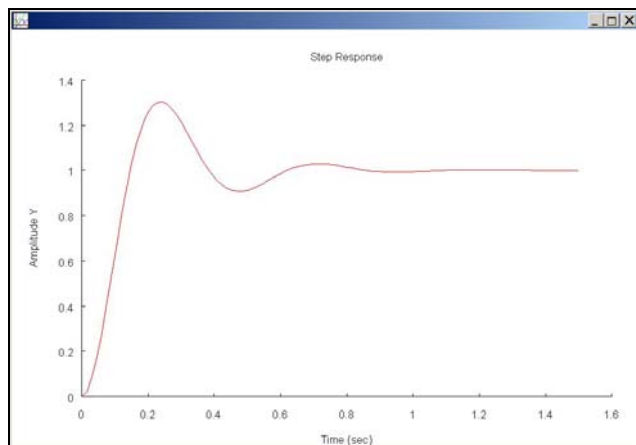


图 2 二阶系统的阶跃响应

3 基于 Web 的控制系统设计和分析

在 CCST 的基础上，开发了基于 Web 的控制系统设计和分析系统 WCS DAS^[13]。这一工具的完整功能见参考文献^[14]所示的网址。图 3 显示了 WCS DAS 索引页面的部分内容。有了 WCS DAS，任何人只要能上互联网，不管其电脑是否内存不足或 CPU 超载，均可以进行控制系统的设计和分析，这就为学生提供了在 Web 上学习控制理论和设计控制系统的好机会。Web 界面简单易用，用户可以在 Web 浏览器中选择设计方法和分析方法，指定系统模型类型、系统类型和系统参数。WCS DAS 对用户的输入进行检查，如果输入信息无效，则会提示用户；接着数据被传送到 Web 服务器进行数值计算，仿真结果通过 Ch 的 CGI 接口反馈给 Web 客户端。基于 Web 控制系统的独特之处在于它的设计、分析和认证控制策略是通过 Internet 来完成的，无需安装软件，也不必进行系统配置和编程。由于计算纯粹在服务器上执行，计算时间就不会受到服务端和客户端连接速度的干扰，用户可以把精力集中到控制系统问题上，并

通过服务器客户端的交互获取结果。

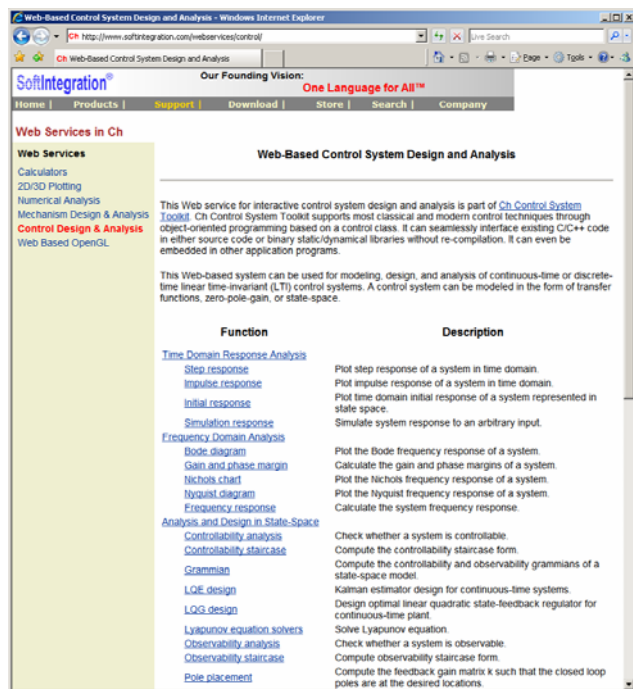


图 3 基于 Web 的控制系统设计和分析系统索引页面的局部视图

下面的例子说明了如何使用 WCS DAS 来解决控制问题。

例 2：绘出图 4 所示系统的根轨迹。

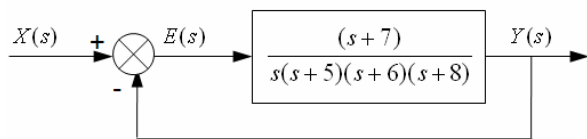


图 4 例 2 的系统

点击图 3 所示索引页面的“根轨迹”超级链接，会弹出如图 5 所示页面。选中“零一极点一增益模型”并点击“继续”按钮，会出现如图 6 所示的控制对象定义页面。可以看到页面所提供的控制对象的零极点数量跟所需要的不匹配，因此必须重新定义控制对象的零极点数量。设定一个零点和四个极点，并点击“提交”按钮，会出现如图 7 所示的新页面，用户可以在这个页面上输入零点、极点和增益来定义控制对象。完成输入后，点击“运行”按钮，WCS DAS 会自动显示系统的根轨迹，如图 8 所示。通过上述步骤，用户解决控制问题时无需编写任何程序代码。

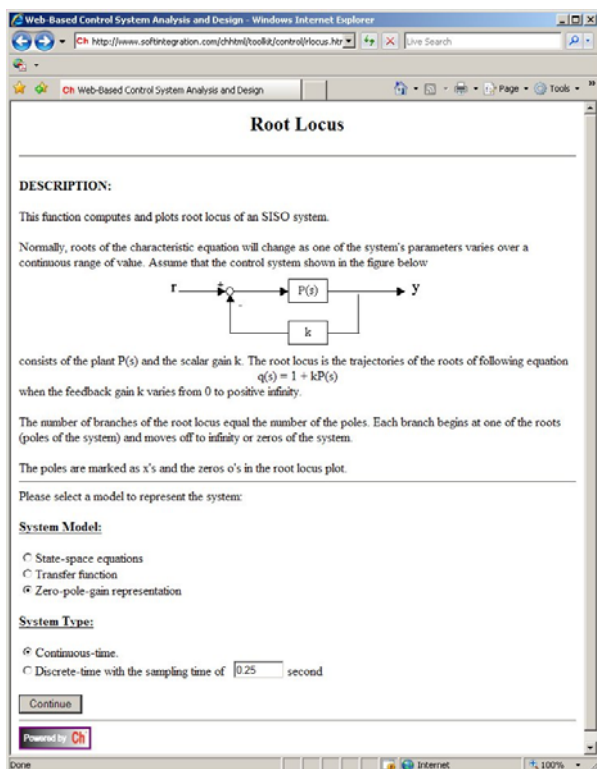


图5 根轨迹首页

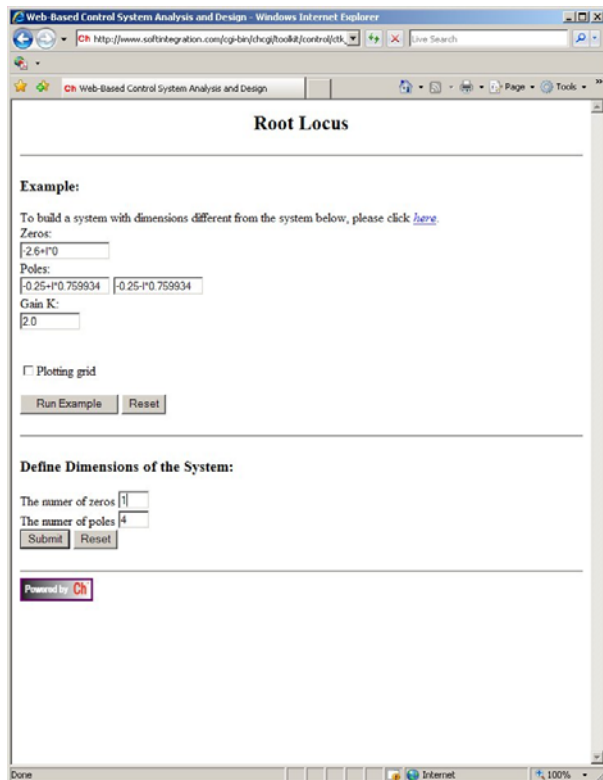


图6 默认 plant 定义页面

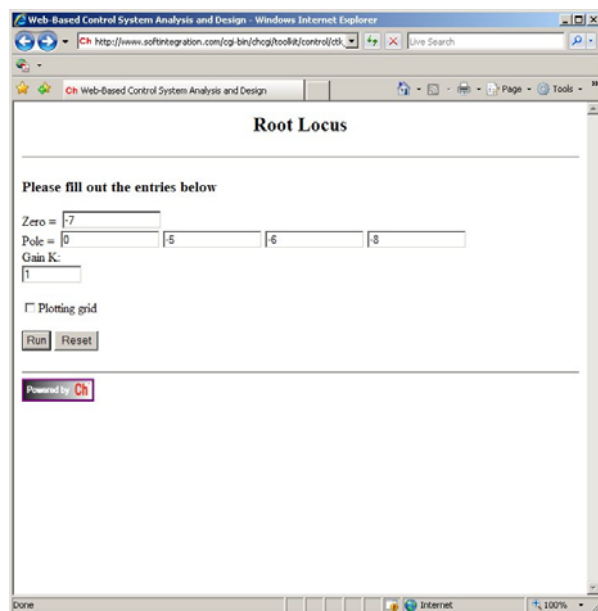


图7 定义用户 plant 的网页

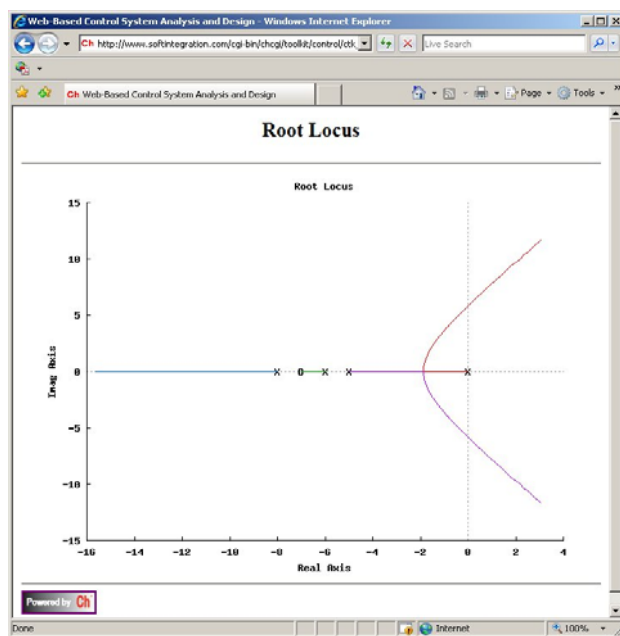


图8 WCSDas 生成的根轨迹

4 总结

基于 C/C++ 解释环境开发的 Ch 控制系统工具包 CCST 和基于 Web 的控制系统设计和分析系统 WCSDas, 已经用于一门工程系统自动控制的大学本科课程^[15]。所有软件包、辅助文档及课余作业答案均张贴在参考文献^[16]所示的该课程网页上。使用 CCST, 学生只需编写几行 C/C++ 代

码即可完成复杂控制系统的设计与分析。WCSDAS 是与计算机平台和场地无关的。使用 WCSDAS 可以随时随地解决复杂的控制问题, 而无需编写任何代码。CCST 和

WCSDAS 都是开源的, 可从网上免费下载。使用过这些工具的学生对它的反映较好, 学生特别喜欢这款基于 Web 学习工具简洁的界面风格。edu

参考文献:

- [1] S. D. Bencomo, "Control learning: present and future", *Annual Reviews in Control*, vol. 28, pp. 115-136, 2004.
- [2] "MATLAB Control System Toolbox", <http://www.mathworks.com/products/control/>.
- [3] "Mathematica's Control System Professional", <http://www.wolfram.com/products/applications/control/index.html>.
- [4] M. Casini, D. Prattichizzo and A. Vicino, "The Automatic Control Telelab: A User-friendly Interface for Distance Learning", *IEEE Transactions on Education*, vol. 46, pp. 252-257, 2003.
- [5] C. C. Chan, R. Kwan and S. F. Chan, "Learning Control Systems on the Web", in *Proceedings International Conference on Computers in Education*, 2002, pp. 894-5 vol. 2 | 2 vol. xliii+1580.
- [6] Y. Zhu, B. Chen and H. H. Cheng, "An Object-Based Software Package for Interactive Control System Design and Analysis", *ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 3, pp. 366-371, 2003.
- [7] "Ch Control System Toolkit", <http://www.softintegration.com/products/toolkit/control/>.
- [8] H. H. Cheng, "Ch: A C/C++ Interpreter for Script Computing", *C/C++ User's Journal*, vol. 24, pp. 6-12, Jan. 2006.
- [9] H. H. Cheng, "Scientific Computing in the Ch Programming Language", *Scientific Programming*, vol. 2, pp. 49-75, Fall 1993.
- [10] "Ch - an Embeddable C/C++ Interpreter", <http://www.softintegration.com>.
- [11] "Syntax Comparison of Ch Control System Toolkit with MATLAB Control System Toolkit", http://www.softintegration.com/products/toolkit/control/ch_matlab.html.
- [12] "Ch Control System Toolkit Demos", <http://www.softintegration.com/demos/toolkit/control/>.
- [13] Q. Yu, B. Chen, and H. H. Cheng, "Web-Based Control System Design and Analysis", *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 24, pp. 45-57, 2004.
- [14] "Web-Based Control System Design and Analysis", <http://www.softintegration.com/webservices/control/>.
- [15] B. Chen, Y.-C. Chou and H. H. Cheng, "Teaching Automatic Control of Engineering Systems Using Open Source Ch Control System Toolkit and Web-Based Design and Analysis System", in *ASME 2008 Dynamic Systems and Control Conference*, Ann Arbor, Michigan, U. S. A., 2008.
- [16] "Teaching Automatic Control of Engineering Systems", <http://iel.ucdavis.edu/course/EME172>.

Enhancing Control Systems Learning Experience with an Interactive Computing Environment

Bo Chen, Assistant Professor

(Department of Mechanical Engineering-Engineering Mechanics, Department of Electrical and Computer Engineering, Michigan Technological University, Houghton, MI 49931, USA)

Abstract: This paper describes the use of Ch, a C/C++ Interactive computing environment, to enhance learning and interest for an undergraduate control system design and analysis course. Software packages developed in Ch, the Ch Control System Toolkit (CCST) and the Web-based Control System Design and Analysis System (WCSDAS), were chosen because these tools are C/C++ compatible and provide similar functions as MATLAB control system toolbox. Unlike other software packages, Web-based tool and WCSDAS allow students to learn control theories and prototype control systems on the Web at any time and location they desire without the need of writing a single line of code. The use of these tools presents many advantages: better visualization, quicker understanding, and higher interest levels. These software packages are freely available on the Web at <http://www.softintegration.com>.

Keywords: control system design and analysis; web-based control tools; WCSDAS

Ch 解释计算平台在计算机程序设计基础课程中的应用评价

郑莉, 闫兆乾, 毛希平

(清华大学 计算机科学与技术系, 北京 100084)

摘要: 计算机程序设计基础是一门在各学校、各专业都普遍开设的基础课, 其中多数以 C 语言作为入门语言。选择什么样的解释和计算平台能够更有利于学生的学习, 从而有效地实现教学目标呢? 本文通过一组学生志愿者对不同学习软件的应用体验和评价, 说明了 Ch 解释器可以作为 C 语言入门课程的一个很好的选择。

关键词: 程序设计; C 语言; 解释计算平台; Ch

中图分类号: G642

文献标识码: B

1 引言



郑莉

目前, 计算机程序设计课程在各个学校都普遍作为基础课开设, 而其中大多数都选择用 C 语言作为入门语言。C 语言在科研和工程实践中有着非常广泛的应用, 这也正是大多数学校将 C 语言作为入门语言来讲授的主要原因之一。

由于 C 语言本身的特点, 它并不是一个最好的教学语言, 这就需要在教学内容的设计和实验环境的选择上更好地兼顾实用性与教学目标。从实用性的角度考虑, 选择一个目前广泛应用的开发平台, 可以使学生快速地学以致用; 而从教学目标来看, 这门课的主要目的是讲授程序设计的基本原理、方法, 应该选择一个简洁易用的编译环境, 使学生能够集中精力, 打好基础。

本文从教学目标出发讨论计算机程序设计课程实验

环境的选择, 重点列出了初学 C 语言的学生对几种不同 C 语言环境应用体验的对比。

2 计算机程序设计基础的教学目标

计算机程序设计基础是很多学校的程序设计入门课程, 除了计算机专业, 绝大多数理工科专业也都开设了这门课程。很多学校的非计算机专业都只开设了这一门与计算机软件相关的必修课, 因此对于非计算机专业的程序设计课程来说, 这门课承载了太多任务。

以清华大学全校性基础课“计算机程序设计基础”为例, 我们的课程教学目标包括: 介绍 C 语言的基本语法; 讲授程序设计的基本原理和方法; 培养学生的计算思维; 介绍数据结构的基础知识和简单常用的算



毛希平

法;介绍软件工程的基础知识并使学生通过项目训练体验软件开发的过程。

为了在有限的学时内实现上述教学目标,我们将教学环节分为大课、基础实验、项目训练几个环节,分别实现不同的教学目标。大课主要讲解原理、方法,培养学生的计算思维能力;基础实验帮助学生验证和巩固基础语法、培养学生基本的编程能力;项目训练使学生体会一个完整的软件开发过程和开发方法。

3 初学者对几种 C 语言开发环境的体验和评价

为了在上述各个环节中有效地实现不同的教学目标,我们在实验室配置了多元化的实验环境,包括不同的 C 语言开发平台:Ch 6.1^[1]、Turbo C++ 3.0 和微软的 Visual C++ 6.0、Visual C++ 2005。在基础实验中,我们推荐学生使用 Ch 和 Turbo C++ 这两种比较简单易用的语言环境;在项目训练中,学生自选题目,不限制语言工具。

我们从初学 C 语言的学生中募集了 16 位志愿者,以完成基础实验为目标,对几种环境进行了比较。这 16 位学生分别来自经管、化工、水利、材料、生物等非信息类专业。本次体验和评价活动安排在开学初,参加活动的 16 名学生刚刚上过 3 学时“计算机程序设计基础”大课、4 学时实验课,除此以外没有任何程序设计经验。

(1) 活动所用课时:约 6 个小时。

(2) 实验方式:通过边讲边练的方式学习 C 语言的语法,让大家体会和掌握不同编译器的使用,最后请大家完成调查问卷。

(3) 问卷设计:为了对几种开发环境进行评估和比较,我们设计了一个调查问卷,请大家填写,主要有这些指标:

- 界面设置(友好,便于操作)
- 基本操作(简便、快捷)
- 程序菜单(准确、清晰、无歧义)

- 出错信息(简明准确、易于查找)
- 断点设置(方便、有效)
- 内存变量查看(便捷、准确)
- 结果显示(方便、美观)
- 项目管理(结构清晰、科学高效)
- 程序稳定性(运行稳定,没有 bug)

(4) 活动的课时安排

- 第 1、2 小时:软件的基本操作

指导学生使用各种开发软件,重点讲解如何进行编译和调试,包括断点设置、单步调试等功能。通过手把手一步一步的指导,引导学生熟悉软件的基本操作,掌握程序编译或解释、调试的基本过程。

- 第 3、4 小时:上机练习 C 语言的控制语句

练习使用 C 语言中的布尔变量、关系表达式和逻辑表达式、if 分支和 for 循环等控制语句。通过使用逻辑表达式和控制语句,让学生进一步了解编译器和调试工具。

- 第 5、6 课时:学生自由练习,对编译环境进行评价

学生填写调查问卷,并以自由陈述的方式写出自己的看法。

学生根据自己的使用体会,对 Ch、Turbo C++和微软的 Visual C++打分,分为很好、还不错、一般、较差、很差五个等级,分别打 5、4、3、2、1 分。将 16 位学生的评分进行累加(总分为 80 分),结果如表 1 所示。

表 1 学生对不同开发环境的评价(总分为 80 分)

	Ch	Visual C++	Turbo C++
1. 界面设置(友好,便于操作)	71	65	25
2. 基本操作(简便、快捷)	68	61	35
3. 程序菜单(准确、清晰、无歧义)	64	68	45
4. 出错信息(简明准确、易于查找)	55	62	36
5. 断点设置(方便、有效)	64	68	45
6. 内存变量查看(便捷、准确)	61	66	39
7. 结果显示(方便、美观)	70	67	39
8. 项目管理(结构清晰、科学高效)	61	65	42
9. 程序稳定性(运行稳定,没有 bug)	62	64	64

总地来讲,学生对 Ch 的评价比较高,表 1 中最高的两个分数也都出自 Ch,大部分学生都表示将会继续使用 Ch 作为自己的学习工具。

与 Visual C++ 和 Turbo C++ 相比,这里列出学生对 Ch 解释器的主要正面评价:

- 体积小,方便安装

安装简单,适合初学者使用;安装后无需重启,适合

在机房网吧等场所上机;安装过程简单,无需复杂设置。例如,最新版的 Ch 不到 90MB,而 Visual C++ 有 30 多 GB。

- 操作过程简单明了

新建项目时过程简单,易于学生入手;可以在缓冲区里同时打开多达 20 个文件,编写较大工程时非常方便;快捷键全面丰富,有助于提高编程和调试效率。图 1 是 Ch 的界面。

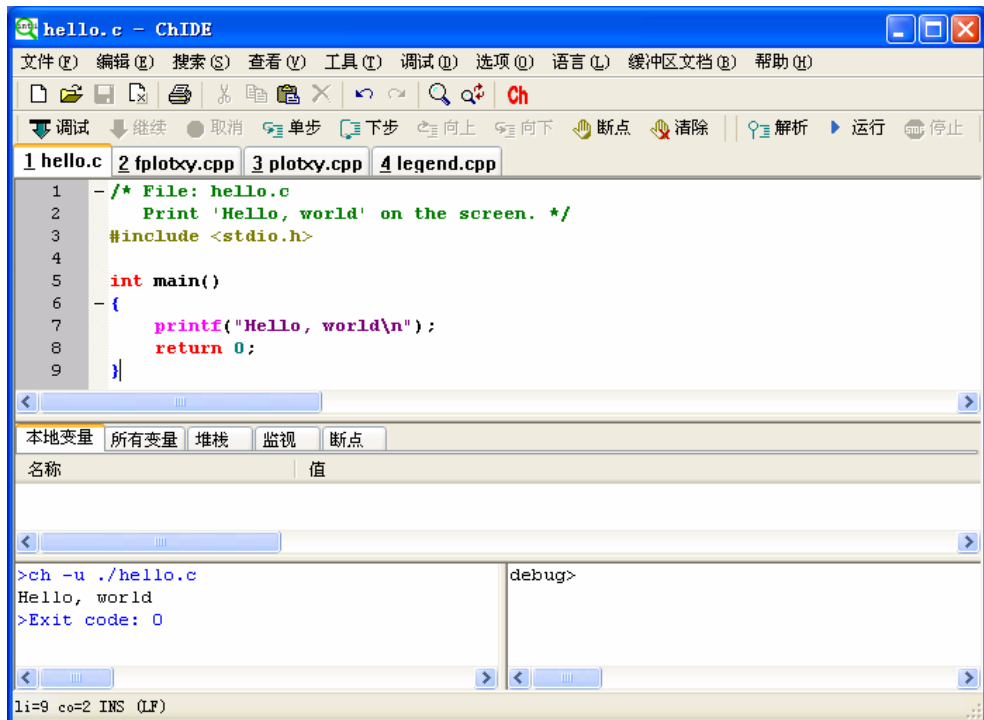


图 1 Ch 的界面

- 有专门的使用帮助文件

方便初学者查找,有利于初学者入手;清晰明了的图示减轻了初学者学习的障碍;有全面的快捷键说明。

- 界面美观,具有人性化的设计

各个功能块的作用明显;调试时控制台始终保持在最前,不必在代码界面和调试控制台之间频繁切换,如图 2 所示。

- 调试功能全面

拥有一个典型的 C 语言开发环境所需要的所有运行和调试功能:可以设置多个断点;单步调试时的提示清晰明确;单击错误提示就可以直接跳转到有错误的那一行;无需编译链接就可以解释代码;在调试过程中可以更改变量的值,可以观测任何含有变量的表达式的值,甚至可以在

任何时候调用函数。

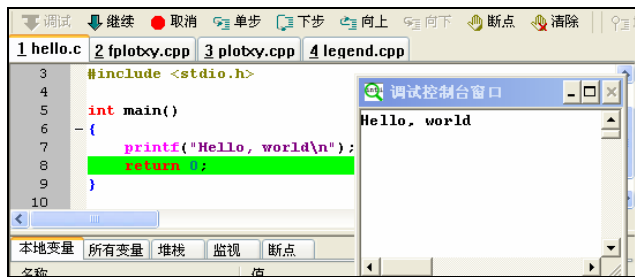


图 2 调试界面

在学习控制结构时,学生可以改变变量的值,观察每次不同的分支选择结果,以及在什么时候会进入无限循环。对一个写好的程序,也可以通过这个方式测试其稳定

性。如图 3 所示,在调试和单步执行过程中,变量 a 和 b 及表达式 $\sin(a)+\cos(b)$ 的值被监视和显示在调试窗格内。

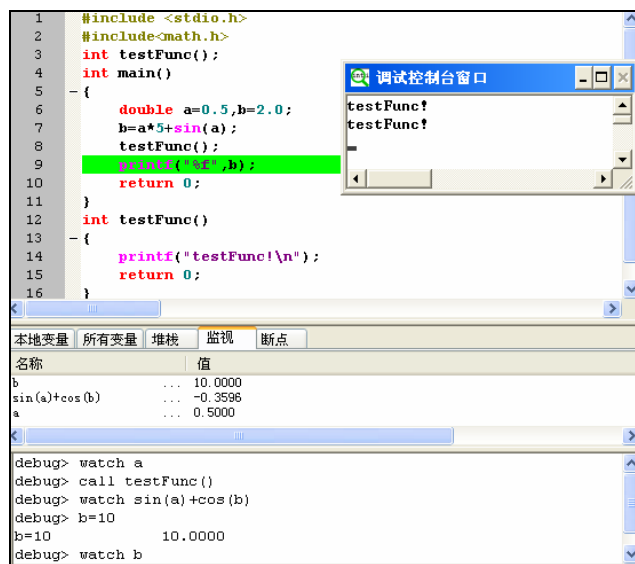


图 3 调试界面

● 出色的文本编辑功能

具有代码块的折叠展开功能,让使用者在编写程序时一目了然,易于理解;自动对齐功能有助于初学者养成良好的书写习惯;在有多重嵌套或者代码较长的时候,对齐括号的功能方便使用者匹配括号;可以自动补齐文字,在变量、函数比较多时,使用者感觉非常方便;具有出色的文本查找替换以及书签功能。

可以按照多种不同的语法标记出不同的语言,可以用于以后其他语言的学习。支持 C/Ch/C++、CSS、HTML、Make、SQL and PLSQL、TeX and LaTeX、XML。

● 强大的 Ch 命令外壳(Command Shell)

可以直接执行一个完整的 C 程序代码,也可以单独执行一条语句,非常有利于学习。在学习关系运算和逻辑运算时,Ch 命令外壳的这一功能发挥了很大作用。学生能够很直接地了解复杂表达式的值,而无须编写一段完整的程序。

参考文献:

[1] Ch: An Embeddable C/C++ Interpreter, <http://www.softintegration.com>.

可以用作控制台终端,执行 Windows 或者 Unix 的命令。

可以作为一个功能丰富的计算器,进行复杂的科学运算。比如大型数值运算、矩阵矢量运算、复数运算等。

可以作为一个简单的计算机字典,查询一些关键字的含义。Ch 命令外壳各种有用的功能举例如图 4 所示。

```
C:/Ch/demos/lib/libch/numeric> complex z = complex(3, 4)
C:/Ch/demos/lib/libch/numeric> z*z
complex(6.0000,8.0000)
C:/Ch/demos/lib/libch/numeric> 2*z
complex(6.0000,8.0000)
C:/Ch/demos/lib/libch/numeric> sin(z)
complex(3.8537,-27.0168)
C:/Ch/demos/lib/libch/numeric> abs(z)
5.0000
C:/Ch/demos/lib/libch/numeric>
```

图 4(a) 利用 Ch 命令外壳进行科学计算

```
C:/Ch/demos/lib/libch/numeric> which ls
C:/Ch/bin/ls.exe
C:/Ch/demos/lib/libch/numeric> which int
int is a keyword
C:/Ch/demos/lib/libch/numeric> which printf
printf is a generic function
C:/Ch/demos/lib/libch/numeric> which void
void is a keyword
```

图 4(b) 利用 Ch 命令外壳查询计算机词汇

与 Visual C++ 和 Turbo C++相比,Ch 有诸如以上众多的优点,但也有美中不足之处。在目前发行的版本中,Ch 专门的使用帮助文件(含.html 和.pdf 文档)只有英文和日文版,学生们期待早日推出中文版。

4 结论

通常初学者对于复杂庞大的开发环境都有一种畏惧心理,不知如何下手,这严重影响了他们的动手实践积极性。根据这一组学生的体验情况来看,与 Visual C++和 Turbo C++相比,Ch 比较适合作为 C 语言程序设计入门课程的实验环境,尤其是用于基础实验。计算机程序设计是实践性很强的一门课,必须通过大量的编程实践才能掌握。Ch 简单易用而且功能完备,很受学生欢迎。Edu

文章编号: 1672-5913(2009)05-0056-04

Ch 平台在交互式程序设计教学中的应用

庄红, 王兆青

(浙江理工大学 计算机技术教研部, 浙江 杭州 310018)

摘要: Ch 交互式解释型运行平台不仅可以给教师提供一个能够充分解释 C 语言中抽象难以理解的概念的平台, 而且可以提供让学习者很快上手, 验证并进行显式化抽象概念的运行开发调试平台。本文列举了 C 语言中的难点如指针、数组、变量作用域、函数及其参数和浮点数等实例, 说明教学中如何借助交互式解释型 Ch 平台的优势来显式化这些理论概念并加以理解, 最后分析了近几年来我校采用该平台所取得的教学效果。

关键词: C 语言程序设计; Ch 交互式解释型教学平台; 指针数组; 变量作用域; 浮点数

中图分类号: G642

文献标识码: A

1 引言

计算机技术的应用已渗透到各行各业, 普及到社会活动的各个方面, 人们的所有活动几乎都离不开计算机。而指挥计算机有效工作的计算机程序设计语言也已经从所

谓高科技的 IT 专业技术走向大众普及型技术, 在高校的不同学科、不同专业广泛开设。让非计算机专业的学生掌握编程技能, 用高级程序设计语言独立编制程序解决一些实际需求的需求越来越迫切。

但是程序设计语言有上百种, 选择编程语言也成为一种困惑。曾记得互联网上有人问“现在用哪种编程语言以后的

优势大一点”, 我们会毫不犹豫地告诉他选择 C 语言。首先从就业角度来看, TIOBE 编程语言流行排行榜 2008^[1]显示, C/C++ 编程语言的使用是最广泛的, 大约占 26% 左右, 如表 1 所示。国内很多高校, 尤其是理工类大学新生入学后接触的第一门编程语言课程就是 C 语言程序设计。其次从专业角

度来看, C 语言涵盖了程序设计的最基本概念, 它灵活性好, 效率高, 可以接触到软件开发比较底层的东西。纵观计算机的发展历程, C 语言有着悠久的历史, 积淀比较多, 大部分操作系统都是基于 C 开发的, 也有如 ISO-C89、ISO-C99 等的标准, 是无法被替代的能够指挥计算机最有效工作的语言。随着 IT 技术的平民化, C 语言越来越受到人们的青睐。



王兆青



庄红

作者简介: 庄红, 女, 副教授, 1987 年获浙江大学硕士学位, 现任浙江理工大学计算机技术教研部计算机基础教室主任, 浙江理工大学督导组组员, 2007 年获浙江省教坛新秀。

王兆青, 男, 教授, 1998 年上海交通大学获博士学位, 2001-2004 在美国加州大学戴维斯分校从事博士后研究, 2008 年在澳大利亚国立大学研修, 现任浙江理工大学计算机技术教研部主任。

表 1 TIOBE Programming Community Index
for November 2008^[1]

Position Oct 2008	Position Oct 2007	Delta in Position	Programming Language	Ratings Oct 2008	Delta Oct 2007	Status
1	1	=	Java	20.949%	-0.67%	A
2	2	=	C	15.565%	+0.97%	A
3	4	↑	C++	10.954%	+1.37%	A
4	3	↓	(Visual) Basic	9.811%	-1.35%	A

但是对于初学者来说，C 语言似乎太难，例如 C 语言中的编译、连接和执行过程太繁琐，指针数组太难理解^[2]。最难让人忍受的是看不见摸不着，写的程序提交给计算机后不知道发生了什么。尤其在目前大众化教育的背景下，该问题显得更为突出^[3]，因此很多程序初学者就选择了 Basic 语言。国内很多学者对于如何针对 C 语言程序设计教学提出了很多很好的建议，如吴文虎教授^[4]提出的“理念先行”就很有效地解决了解题思路的问题，斯金纳教学法^[5]、解析教学法^[6]提出了如何有效提高课堂效果的教学方法。这些方法和经验帮助我们有效解决了—个问题，即“如何提高程序设计课程的教学效果”，适用于任何一种编程语言。在“C 语言程序设计”的课程教学中，不仅要讲究教学艺术^[7]，更要选择一个能够快速入门并具有良好的用户交互性的语言环境。本文介绍的就是犹如 Basic 语言解释环境一样方便，调试运行比它更直观，能够让用户看得见摸得着的具有交互性和解释性的 Ch 平台^[8]。

2 Ch 交互式教学平台对指针和数组的诠释

Ch 是一个可嵌入的 C/C++ 解释器，它是 C 的解释执行。它包含了 C 的全部功能，可以独立于其他 C 编译器存在，也可以与其他 C 编译器并存。Ch 还提供单命令执行方式，图 1 所示的是 Ch 的交互环境，C 语言的命令可以

在此环境下交互解释执行。单个语句键入后马上就可以得到结果，进行验证，学习单个语句时可以快速理解，不像 VC 验证单个语句时必须写一个完整程序。例如，在命令行定义一个整型变量 a 和整型指针变量 pa，并将 pa 指向变量 a 的地址，其内存地址为 0x0042B1E0，可以直观发现变量 a 赋值为 30，则指针 pa 所指向的存储空间内容为 30。而指针 pa 进行间接赋值为 40 后，变量 a 的值也即为 40。通过这种形象直观的演示，读者可以很容易理解指针和变量的区别和关联。

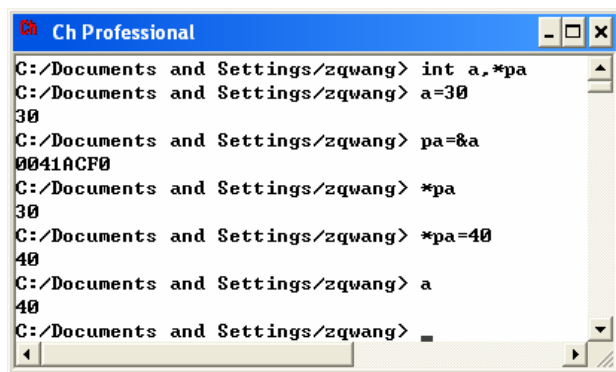


图 1 Ch 交互环境

又如 C 语言中的数组。定义一个整型数组 ArrayB，长度为 30，在交互环境下，其首地址是 0x003A6438，下一个单元地址是 0x3A643C。从这里可以很直观地看到数组在计算机中是一个连续的存储块，相连两个数组元素之间的存储距离相差这个数组类型的大小，如 ArrayB[1]与 ArrayB[0]之间相差 sizeof(int)=4，所以数组元素可以用数值计算来获得某个数组元素的内存地址，从而达到访问数组元素的目的。例如在图 2 中，数组元素 ArrayB[20]赋值为 5，则可以通过地址计算 ArrayB+20 的间接访问得到该元素的值，而这个元素在内存中的物理位置则是 0x003A6438+20*4=0x003A6488。通过这种交互式操作，可以把 C 语言中非常隐性的内在原理展现出来，让初学者可以看得见，消除抽象的解释。使用同样的方法学习更复杂、更难理解的结构类型变量和数组，也可以更直观，加深理解。

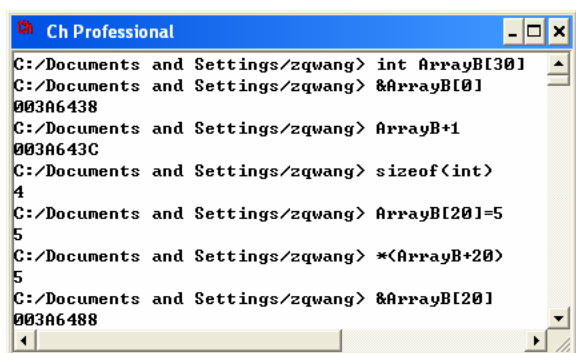


图2 数组运算

3 ChIDE 集成开发环境对变量作用域的直显

对于初学者来说, 变量作用域也是一个学习的难点, 特别是在不同作用域中分别使用相同命名变量的情况下, 更容易引起混淆。图3是Ch的集成运行环境, 其中显示程序段的正确运行结果是“k=1, j=0, k=1”, 很多初学者由于对C语言的变量作用域概念不很清晰, 很难正确判断程序最终的运行结果。

而在Ch集成开发环境下, 用单步调试可以很直观地看到变量的分配释放过程, 从而理解变量的作用域。这段程序中有main()函数范围内的变量k, 还有在for()循环内的变量k。虽然两个变量名是同名, 但分别在两个不同的作用域中声明, 所以在计算机内存中有两个不同的存储空间。在Ch运行环境中, 这种隐含在运行过程中的动态变化随着单步执行的继续而进行, 学生可以清晰看到for()循环中的变量k被不断地动态分配。当程序执行完循环体后, k就会被释放, 而单步执行进入到循环体内时, k又重新得以分配, 整个释放分配过程很清晰。

同样, 如果是函数之间的参数传递和变量作用域, 包括静态变量或动态变量和常量, 在该环境下则显得更为明晰, 各个函数在执行阶段的变量分配释放以及变化都会在调试窗格中显式地罗列出来, 如图3所示。

在“透视C程序设计语言”^[9]一文中提到的关于C语言程序设计的“结构化”、“函数式”、和“面向过程”三方面的内在联系, 通过ChIDE调试环境也可以表现得一览无余。

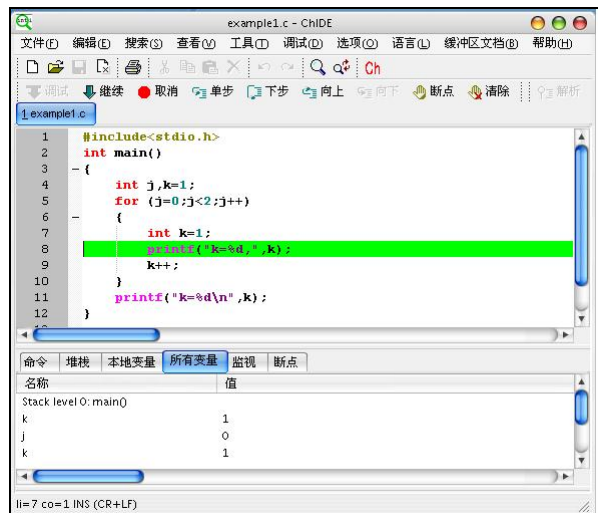


图3 Ch的集成开发环境

4 科学计算的数值直观理解

C语言是一种强类型语言, 对于每一个在程序中用到的变量都必须进行强制声明。有些类型在计算机中的表示很好理解, 如整型 int a=3, 在计算机内存中表示为“00000000 00000000 00000000 00000011”, 而最难理解的可能是浮点数的表示^[10]。浮点数(float/double)格式如图4所示, 其中S是符号位, 占1位, 0表示正数, 1表示负数; E为指数或阶码, float时为8位, double时为11位, 其值为指数值加一个偏离值Bias(其值分别为 $2^{E_{\text{位数}}-1}$); F是尾数部分的小数部分, 其真值为 $1+0.F$, 其中1是隐含的。

S	E	F
---	---	---

图4 浮点数表示

一个单精度浮点数解码的计算公式是:

$$(-1)^S \times 2^{E-Bias} \times 1.F$$

例如声明变量 float f=3.5, 则用Ch显示在计算机内存中的表示如图5所示, 可加以验证。此时 S=0, E-Bias=128-(2^8-1)=1, 1.F=1.75, 所以结果为 $(-1)^0 \times 2^1 \times 1.75 = 3.5$, 与结果完全相符。再复杂一点, 可以声明一个双精度浮点数 double df=-314.56。如图5所示, 应注意双精度浮点数总共含8个字节, 后32位与前32位要倒序, 即排在后面32位的应为双精度浮点数的前32bit位列, 重新排列后得到位序为 1100000001110011101010001111010111000010100011110101110000101001。这里 S=1, E的位数是11位, 所以 E-Bias=(10000000111)₂-($2^{11}-1$)=8, 1.F=1.22875。

其结果为 $(-1)^1 \times 2^8 \times 1.22875 = -314.56$ 。该数在计算机内由浮点数表示时, 可以看到它是一个无理数, 存在一个很小的误差, 无法完全正确表示。

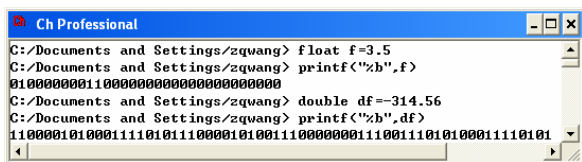


图5 浮点数在内存中的 bit 位

5 用Ch进行C语言程序设计课程教学成果

我校从2005年开始使用Ch平台,对两个班进行C语言程序设计课程试点教学,一个是二本班(32人),另一个是三本民办班(60人),首次参加浙江省计算机等级二级C语言考试,通过率为96.7%;其中二本学生的通过率达到了100%。2006年进行推广,将Ch平台应用于理工科类一年级学生的C程序设计课程教学,共有846名学生选修了C程序设计课程(包括民办),其省等级考试通过率为94.92%,较全省高校平均通过率82.85%高出12个百分点。从2007年开始,计算机等级考试成绩与学位脱钩,考试成绩总体有所下滑,我校共有一年级学生696人(不包括民

办生)选修C语言程序设计,等级考试通过率为87.54%,较全省平均通过率58.2%高出30个百分点,如图6所示。可见教学效果是显著的。

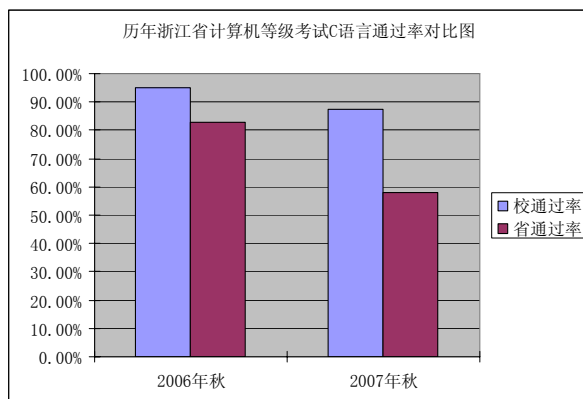


图6 浙江省计算机等级考试通过率比较

6 结论

Ch交互式解释平台对教师的课堂教学非常有效,可以将一些C语言中涉及的难以理解的抽象概念显式解释清楚。学生使用这个平台不仅很容易上手,而且可以验证C语言中的如指针、数组、函数及其参数传递、结构体等关键概念,加深对C语言本身和编程的理解。

参考文献:

- [1] TIOBE Programming Community Index for November 2008, <http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>.
- [2] 王立柱. 指针与函数[J]. 计算机教育, 2008, (7).
- [3] 狄岚, 刘莉. 高等教育大众化下的计算机程序教学探讨[J]. 高等建筑教育, 2008, 17 (1).
- [4] 吴文虎. 精心铸精品 理念须先行[J]. 计算机教育, 2008, (13).
- [5] 李明, 宣善立等. 斯金纳教学理论在程序设计课程中的应用[J]. 计算机教育, 2008, (14).
- [6] 冯潇, 甘玲. 用解析教学法改革程序设计类课程的教学[J]. 计算机教育, 2007, (12).
- [7] 朱凌, 冯睿. 程序设计基础教学语言的艺术探讨[J]. 计算机教育, 2008, (14).
- [8] Ch 主页网站 <http://www.softintegration.com/>.
- [9] 范华, 秦茂玲等. 透视C程序设计语言[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18 (6).
- [10] 王力. 科学计算程序语言的浮点数机制研究[J]. 计算机科学, 2008, 35 (4).

Experience of Using Ch for Teaching Computer Programming in C

ZHUANG Hong, WANG Zhao-qing

(Instructional Division for Computer Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Ch provides instructors with an interactive platform to interpret and present easy-to-misunderstood concepts of the C programming language. It also allows learners to easily program and verify difficult concepts in C, such as pointers, arrays, scopes of variables, functions and related parameters, floating-point numbers. In this article, we will describe how we use Ch to teach introductory computer programming in C in the last few years. Our students using Ch to learn C have a much higher successful rate in passing a C programming language certificate examination than those who do not use Ch. Our experience clearly indicates that Ch is a very effective computing environment for teaching and student learning computer programming.

Keywords: C programming; Ch; pointers arrays; scopes of variables; floating-point numbers