

基于“编程解决问题”的程序设计语言实验—— 以程序设计方法的综合应用为例*

吴永辉

上海智能信息处理重点实验室
复旦大学计算机科学技术学院, 上海, 200433

摘要 程序设计语言实验的目的是磨练学生运用程序设计语言编程解决问题的能力。程序设计竞赛是“编程解决问题”的比赛。基于“编程解决问题”的程序设计语言实验是由相关的程序设计语言和方法的知识背景、程序设计竞赛试题及其解析所构成的实验。本文详述“编程解决问题”的程序设计语言实验“程序设计方法的综合应用”，该实验引导学生在综合运用离线计算、二分查找和实数精度处理等程序设计方法，编程解决问题。最后，本文讨论基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的效果。

关键字 程序设计语言，程序设计竞赛试题，离线，二分查找，实数精度处理

An Experiment for Programming Languages Based on “Solving Problems by Programming”: Comprehensive Application of Programming Methods

Yonghui Wu

Shanghai Key Laboratory of Intelligent Information Processing, School of Computer Science
Fudan University
Shanghai 200433, China
yhwu@fudan.edu.cn

Abstract—The goal for experiments for programming languages is to polish students’ programming skills solving problems by programming languages. Programming contests are contests solving problems by programming. A programming language experiment based on “solving problems by programming” consists of the related knowledge background for programming languages and methods, programming contest problems and their analysis and solutions. The paper specifies an experiment for programming languages based on “solving problems by programming”: the comprehensive application of programming methods. The experiment enlightens students to solve a problem by programming through comprehensively applying programming methods: offline method, binary search, and real precision processing. Finally, the paper discusses effects for programming language experiments based on “solving problems by programming”.

Keywords—Programming Language, Programming Contest Problem, Offline, Binary Search, Real Precision Processing

1 引言

当前，随着社会信息化的迅猛发展，从社会需求的角度来看，程序设计技术的地位已经发生了重大的变化，已经成为实现当前信息社会的关键技术；诸如大数据、人工智能、区块链，等等，都是通过程序设计技术来实现。因此，对于计算机专业人员的编程解决问题的能力就有了更高的要求。从教学的角度来看，程序设计类的课程，特别是程序设计语言，也已经从

大学计算机专业的核心课程开始向全民素质教育转换，并向中小学教育下沉。为此，世界上的发达国家，都从国家战略层面，对于程序设计课程教育的普及，给出对应措施和高额经费支持，并付诸实施。我国教育部则分别从“制定相关专门文件推动和规范编程教育发展”、“将编程教育纳入中小学相关课程”以及“培养培训能够实施编程教育相关师资”三个方面开展工作。

程序设计语言的教学，已经经历了多年的课程建设，也已经有了很多经典的教材。然而，目前的教学还是以课堂教学为主，其实验也无法系统、全面地磨

* 基金资助: 本文得到复旦大学本科教改项目(FD2022A106), 全国高校计算机基础教育研究会课题(2022-AFCEC-029)支持。

炼学生编程解决问题的能力。因此，在程序设计语言的教学中，以提高学生编程解决问题为目标的实验课程建设，已经迫在眉睫。

程序设计竞赛是“编程解决问题”的竞赛，在1980年代中后期走向成熟之后，近40年来，累积了海量的试题。这些来自全球各地，凝聚了无数命题者的心血和智慧的试题，不仅可以用于程序设计竞赛选手的训练，而且可以用于教学和实验，系统、全面提高学生编程解决问题的能力。

为此，笔者对海量的程序设计竞赛的试题进行了分析和整理，从中精选出相关试题，基于程序设计竞赛的知识体系，以系统、全面地提高学生编程解决问题的能力为目标，以实验为单位，进行教材建设，编写和出版“大学程序设计课程与竞赛训练教材”系列。并在教材建设的基础上，对于基于程序设计竞赛试题及其解析的实验，以案例教学为教学方法，并以在线测试系统等信息化技术作为学生磨炼编程解决问题能力的平台，展开实验课程的建设。

“大学程序设计课程与竞赛训练教材”系列中的《程序设计实践入门》和《数据结构编程实验》的第一篇“训练基本编程能力的实验”，构成基于“编程解决问题”的程序设计语言实验[1][2][3][4]。并在此基础上，以实验教改为切入点，将编程解题实验融入已经非常成熟的大学程序设计语言的课程中，进行系统、全面地磨炼学生应用程序设计语言编程解决问题的能力[5][6]。

首先，本文综述基于“编程解决问题”的程序设计语言实验；然后，本文介绍离线计算、实数精度处理、二分查找等程序设计方法，这些方法作为“程序设计方法的综合应用”的前导实验；在此基础上，本文详述“程序设计方法的综合应用”实验作为实例：程序设计竞赛试题 Hangover 作为实验试题；并给出综合应用离线计算、实数精度处理、二分查找求解试题的试题解析，作为实验原理和方案。最后，本文从教材建设、课程建设、跨校、跨区域的教学实验体系建设三个方面，论述基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的实践教学效果。

2 基于“编程解决问题”的程序设计语言实验

2.1 基于“编程解决问题”的程序设计语言实验

程序设计，从其本质上说，是技术。所以，基于编程解决问题的程序设计语言的实验课程的建设，首先，“训练，训练，再训练”。实验基于一定数量的程

序设计竞赛的试题，以案例教学的方式，进行教学和安排学生解题训练。其次，“系统训练”。基于程序设计竞赛中程序设计语言的知识体系，系统地构建学生运用程序设计语言编程解决问题的能力。第三，“压力下训练”。本课题的课程作业和考核，是将试题在在线测试平台上，设置为虚拟比赛；同学们在压力之下，高效提高编程解决问题的能力。

在基于“编程解决问题”的程序设计语言实验课程中，实验为基本单元。在实验中，首先介绍相关的程序设计语言和程序设计方法的知识背景，然后给出相关的程序设计竞赛试题以及在线测试地址、解析、标有详细注释的参考程序，并提供官方的测试数据，以确保学生能够在解析，参考程序，以及测试数据的支持下，通过在线测试系统，完成解题训练。

基于“编程解决问题”的程序设计语言的实验课程体系，分为两个层面：基础实验课程，应用实验课程。

基础实验课程，是基于程序设计语言的教学大纲的编程实验体系。对于程序设计语言教学的基本内容：“输入—处理—输出”、选择结构、循环结构、嵌套结构、数组、二维数组、字符和字符串、函数、递归函数、结构体、指针；等等，循序渐进地展开编程实验，并融入到程序设计语言课程教学中。

应用实验课程，基于基础实验课程，运用程序设计语言和程序设计方法，系统培养编程解决问题能力的实验体系。内容包括两个方面：应用已经掌握的知识，诸如中学数学和物理、高等数学、线性代数等的编程解题实验；应用程序设计语言的性质和程序设计方法解决问题的实验。应用层面的编程解题训练也是程序设计竞赛选手的入门训练。

2.2 基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的教学方法和信息化技术

案例教学，就是模拟、重现现实生活中的场景，把学生置入问题场境中，让学生思考和解决实际问题，以此进行学习的方式。

基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的教学方法是案例教学。在讲授了相关的程序设计语言和程序设计方法的知识背景之后，学生对程序设计竞赛试题进行审题的同时，就要考虑如何运用程序设计语言和方法编程解决问题，这就加深了学生对程序设计语言和方法的理解；在给出了通过编程解决问题的方法后，学生还要经过编程，并对程序进行调试，在允许的时间和空间范围内，通过测试用例。所以，基于“编程解决问题”的案例教学是一个“认识—实践—再认识—再实践”的过程，是对程序设计语言理解和

掌握上的提高,是程序设计的学习与应用能力间的转变和升华。

在线测试系统是在编程实践中检验程序正确与否的在线系统。在线评判系统编译和执行程序,并用测试数据输入测试程序。程序从标准输入读取输入,并将输出写入标准输出。程序的运行有一些限制,比如时间限制、内存限制等等。程序的输出与测试数据的输出进行比较,然后,在线测试系统返回结果。

基于“编程解决问题”的程序设计语言实验采用的试题,都是程序设计竞赛试题,也都给出了在线测试系统中的测试地址。在线测试系统是学生磨炼编程解决问题能力的平台,实验课程作业和考试在线测试系统上设置为虚拟比赛。一方面,将来自不同在线测试系统的试题,根据教学需要,在虚拟比赛中被组合在一起;另一方面,设置虚拟比赛,使得学生在压力之下,高效地完成试题,保证了学习效率。而对于教师,设置虚拟比赛,则便于组织和管理实验作业、实验考试。

3 程序设计方法:离线计算、实数精度处理、二分查找

在处理多个测试用例的过程中,可能会遇到这样一种情况:数据量较大,所有测试用例都采用同一运算,并且数据范围已知。在这种情况下,为了提高计算时效,可以采用离线计算方法:预先计算出指定范围内的所有解,存入某个常量数组;然后,对于每一个测试用例,直接从常量数组中引用相关数据,这样,就避免了重复运算。

在实数运算中,有时需要判断实数 x 和实数 y 是否相等。如果把判断条件简单设为 $y-x$ 是否等于0,就有可能产生精度误差。实数精度处理的办法是设一个精度常量 δ ,比如 10^{-8} ;如果 $y-x$ 的实数值与0之间的区间长度小于 δ ,则认定 x 和 y 相等,这样就可将实数精度误差控制在 δ 范围内。

在有些情况下,试题的所有数据对象为一个有序区间。二分查找将这个区间等分成两个子区间,根据计算要求决定下一步计算是在左子区间还是在右子区间进行;然后再根据计算要求等分所在区间,直至找到解为止。显然,对一个规模为 $O(n)$ 的问题,如果采用盲目枚举的办法,则效率为 $O(n)$;如果采用二分查找,则计算效率可提高至 $O(\log_2(n))$ 。

假设数据是按升序排序的,对于待查找值 x ,二分查找从序列的中间位置开始比较:

如果当前中间位置值等于 x ,则查找成功;

如果 x 小于当前中间位置值,则在数列的左子区间(数列的前半段)中查找;

如果 x 大于当前中间位置值,则在右子区间(数列的后半段)中继续查找。

依此类推,直至找到 x 在序列中的位置(查找成功)或子区间不存在(查找失败)为止。如果查找失败,则当前子区间右指针所指的元素是序列中大于 x 的最小数。

4 程序设计方法的综合应用实验

4.1 程序设计方法的综合应用实验: Hangover

程序设计竞赛试题由试题描述,输入输出说明,样例输入输出组成。

基于“编程解决问题”的程序设计语言实验要求学生编程解决程序设计竞赛试题;所完成的程序要在规定的时间和内存限制下,通过官方测试数据,或通过在线测试;并完成实验报告。

程序设计方法的综合应用实验试题 Hangover 如下。

试题描述

您能使一叠在桌子上的卡片向桌子外伸出多远?如果是一张卡片,这张卡片向桌子外伸出卡片的一半长度。(卡片以直角伸出桌子。)如果有两张卡片,就让上面一张卡片向外伸出下面那张卡片的一半长度,而下面的那张卡片向桌子外伸出卡片的三分之一长度,所以两张卡片向桌子外延伸的总长度是 $1/2 + 1/3 = 5/6$ 卡片长度。依次类推, n 张卡片向桌子外延伸的总长度是 $1/2 + 1/3 + 1/4 + \dots + 1/(n+1)$ 卡片长度:最上面的卡片向外延伸 $1/2$,第二张卡片向外延伸 $1/3$,第三张卡片向外延伸 $1/4$,……,最下面一张卡片向桌子外延伸 $1/(n+1)$,如图1所示。

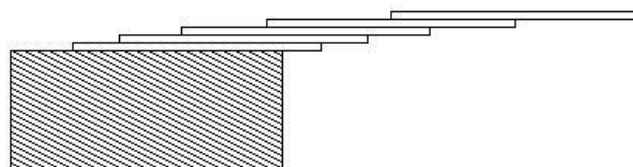


图 1

输入

输入由一个或多个测试用例组成,最后一行用0.00表示输入结束,每个测试用例一行,是一个3位数正浮点数 c ,最小值0.01,最大值5.20。

输出

对每个测试数据 c ,输出要伸出卡片长度 c 所最少要

用的卡片的数目，输出形式见样例输出。

样例输入	样例输出
1.00	3 card(s)
3.71	61 card(s)
0.04	1 card(s)
5.19	273 card(s)
0.00	

试题来源：ACM-ICPC Mid-Central USA 2001

在线测试地址：POJ 1003, UVA 2294

时限：1000MS，内存限制：10000K

4.2 实验原理和方案

由于本题的数据范围很小，因此先离线计算向桌子外延伸的卡片长度不超过 5.20 所需的最少卡片数。设 $total$ 为卡片数， $len[i]$ 为前 i 张卡片向桌子外延伸的长度，即 $len[i] = len[i - 1] + \frac{1}{i + 1}$ ， $i \geq 1$ ， $len[0] = 0$ 。显然，数组 $len[]$ 为递增序列。

由于 len 的元素和被查找的要伸出卡片长度 x 为实数，因此要严格控制精度误差。设精度 $delta = 1e-8$ 。 $zero(x)$ 为实数 x 为正负数和 0 的标志：

$$zero(x) = \begin{cases} 1 & x > delta, \text{ 即 } x \text{ 为正实数} \\ -1 & x < -delta, \text{ 即 } x \text{ 为负实数。} \\ 0 & \text{否则, 即 } x \text{ 为 } 0 \end{cases}$$

实数精度处理的程序段如下：

```
const double delta = 1e-8; //设定精度
int zero(double x) //在精度delta的范围内,如果
x是小于0的负实数,则返回-1;如果x是大于0的正实数,
则返回1;如果x为0,则返回0
{
    if (x < -delta)
        return -1;
    return x > delta;
}
```

初始时， $len[0] = 0$ ，通过结构为：

```
for(total=1; zero(len[total-1]-5.20)<0; total++)
```

```
len[total]=len[total-1]+1.0/double(total+1);
```

的循环，离线递推计算数组 len 序列。

在离线计算出 len 数组后，先输入第 1 个测试用例 x ，并进入结构为 $while(zero(x))$ 的循环。每一次循环，使用二分查找在 len 表中查找伸出卡片长度 x 所需最少要用的卡片数，并输入下一个测试用例 x 。这个循环过程直至输入测试数据 $x = 0.00$ 为止。

二分查找的过程如下：

初始时区间 $[l, r] = [1, total]$ ，区间的中间指针

$$min = \left\lfloor \frac{l+r}{2} \right\rfloor$$

。如果 $zero(len[mid] - x) < 0$ ，则所需的卡

片数在右区间 ($l = mid$)；否则，所需的卡片数在左区间 ($r = mid$)。继续二分区间 $[l, r]$ ，直至 $l + 1 \geq r$ 为止。此时得出的 r 即为最少要用的卡片数。

二分查找的程序段如下：

```
while (l+1<r) { //循环条件是查找区间存在
    int mid = (l+r)/2; //计算查找区间的中间指针
    if (zero(len[mid] - x) < 0) //如果中间元素值小
    于x,则在右区间查找;否则在左区间查找
        l = mid;
    else
        r = mid;
}
```

4.3 实验案例应用

程序设计方法的综合应用实验试题 Hangover 是《程序设计》课程的最后一堂实验课，也是一个学期循序渐进提升和构建同学们运用程序设计语言编程解决问题能力的总结课。本实验案例为此后的数据结构、算法等课程的学习和解题实践奠定基础；同时，本实验案例也是程序设计竞赛选手的入门训练。

5 基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的实践教学效果

基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的实践教学效果，分为教材建设，课程建设，以及跨校、跨区域的教学实验体系建设三个方面。

基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的教材，全部采用各类程序设计竞赛的试题，可以作为程序设计语言的教学和实验使用的教材；可以作为程序设计竞赛选手入门训练的指导性书籍；对于一般的编程者，也可以作为系统、全面提高编程解决问题能力的练习指导。目前，基于“编程解决问题”的系列“大学程序设计课程与竞赛训练教材”不仅在中国大陆出版简体中文版，在台湾出版繁体版，并一直改进，脱胎换骨地出版新版；而且在美国由 CRC Press 出版英文版，全球发行。

对于使用相关基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的教材，单选调查问卷显示，61% 认为作为实验课程，与当前教学相融合；17% 认为可以作为目前程序设计课程的教学参考教材；15% 认为仅可作为程序设计竞赛选手训练用书；7% 认为可以取代当前的程序设计语言教材。

基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的课程建设分为两个部分：基于大学程序设计语言课程（教学大纲）的基础实验课程，已经初步完成线下和线上课程的建设[6]；以及，基于程序设计竞赛训练的，以夏令营或冬令营方式推出的应用实验课程[7]，训练营举办了两届，累积有来着两岸四地的超过 400 家大学的 8000 名同学参加。

基于“编程解决问题”的程序设计语言实验对于参加过基于“编程解决问题”的程序设计语言实验课程的同学, 单选的调查问卷显示, 认为提高编程解决问题的能力, 82%认为“效果很大”或“有一定效果”; 对于课程应用于教学还是程序设计竞赛的训练, 72%希望作为跨校、跨区域的课程, 21%认为作为寒暑假的冬令营或夏令营训练。

在基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的教材建设、课程建设的基础上, 依托ICPC程序设计竞赛构建的跨校、跨区域的ICPC训练联盟于5年前建立, 从最初发起的20家大学, 现在已经迅速发展两岸四地300多家大学参加, 还有南亚、东南亚的大学作为观察员, 有着广泛、深厚的群众基础、组织基础和受众基础; 目前, 不仅获得教育部产学研协同育人、全国高等院校计算机基础教育研究会计算机基础教育等教学研究课题立项; 以及得到出版社、教学公司的支持; 基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的跨校、跨区域的建设, 也作为教育部-华为“智能基座”虚拟教研室的工作。

6 结束语

本文以程序设计语言的实验课“程序设计方法的综合应用”为例, 展示基于“编程解决问题”的程序设计语言实验。本实验为程序设计语言学期实验的总结课, 也为此后的数据结构、算法等课程的学习和解题实践奠定基础。

目前, 基于“编程解决问题”的程序设计语言实验, 正在构建跨校、跨区域的“1+M+N”教学实验体系,

即1门课程, 跨区域协同M所不同类型的高校(从“双一流”院校到应用技术型院校的各个层次院校), 使得N种不同类型的同学(计算机专业, 非计算机专业, 中小学程序设计语言课程, 以及程序设计竞赛入门训练)学习受益。而且, 基于“编程解决问题”的程序设计语言实验的构建跨校、跨区域的“1+M+N”教学实验体系也在主动对接教育部有关编程教育的发展战略。

参考文献

- [1] 周娟, 吴永辉. 程序设计实践入门: 大学程序设计课程与竞赛训练教材[M]. 机械工业出版社. 2021.
- [2] 吴永辉, 王建德. 数据结构编程实验: 大学程序设计课程与竞赛训练教材(第3版)[M]. 机械工业出版社. 2021.
- [3] Wu Yonghui, Wang Jiande. Data Structure Practice : for Collegiate Programming Contests and Education[M]. CRC Press. 2016. ISBN 9781482215397.
- [4] 吴永辉, 王建德. 提升程式設計的資料結構力 第二版: 國際程式設計競賽之資料結構原理、題型、解題技巧與重點解析[M]. 碁峰. 2017.
- [5] Yonghui Wu. The Implementation for Polishing Student s' Programming Skills Solving Problems[C]. Proceedings of the 2021 International Conference on Diversified Education and Social Development. Beijing: Atlantis Press. 2021:92-97
- [6] 吴永辉. 程序设计 [EB/OL]. 复旦大学在线教育中心 (<https://mooc1-1.chaoxing.com/course/220044602.html>), 2021.
- [7] 吴永辉. ICPC 训练联盟 2021 寒假冬令营的录播全集 [EB/OL]. 哔哩哔哩 (https://www.bilibili.com/video/BV1mA411H7Yk?p=1&share_medium=ipad&share_plat=ios&share_source=WEIXIN&share_tag=s_i×tamp=161128), 2021.