

面向系统能力培养的C语言教学实践探索

朱萍¹, 胡新荣^{1,2}, 彭涛^{1,2}, 聂刚¹

(1. 武汉纺织大学计算机与人工智能学院; 2. 湖北省服装信息化工程技术研究中心, 湖北 武汉 430200)

摘要: 在新工科形势下, 系统能力培养对计算机类专业起着决定性作用。传统C语言教学模式拘泥于语法格式而忽略了培养学生的系统应用能力, 难以满足我国新工科人才培养需求。为此, 梳理当前教学存在的若干问题, 通过改进纯理论式教学方式提出基于Arduino单片机的案例式教学实践改革方法。实践表明, 所设计的3个递进式教学案例对培养学生计算思维和提升系统能力具有一定的积极作用, 值得进一步研究和推广。

关键词: 系统能力; 单片机; 教学案例; 计算思维

DOI: 10.11907/rjdlk.231911

中图分类号: G434

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1672-7800(2024)008-0082-06



Exploration of C Language Teaching Practice Method Aimed at Improving Computer System Development Capability

ZHU Ping¹, HU Xinrong^{1,2}, PENG Tao^{1,2}, NIE Gang¹

(1. School of Computer Science and Artificial Intelligence, Wuhan Textile University;

2. Hubei Provincial Clothing Technology Research&Development Center, Wuhan 430200, China)

Abstract: Under the emerging engineering situation, the cultivation of systematic abilities plays a decisive role in computer related majors. The traditional C language teaching model is limited to grammar format and neglects the cultivation of students' systematic application ability, which is difficult to meet the needs of talent cultivation in China's new engineering field. To this end, several problems in current teaching are identified, and a case based teaching practice reform method based on Arduino microcontroller is proposed by improving the "pure theory" teaching method. Practice has shown that the three progressive teaching cases designed have a certain positive effect on cultivating students' computational thinking and enhancing their systematic abilities, and are worthy of further research and promotion.

Key Words: systematic capability; microcontroller; teaching case; computational thinking

0 引言

2017年以后教育部积极推进新工科建设, 以满足我国面临的新一轮科技革命与产业变革^[1-4]。在计算机类专业的的新工科建设和教育中, 系统能力培养相较于以往要求更高^[5-7]。计算机专业人才培养强调系统观, 就是要求深入掌握计算机系统的内部工作原理、构造方法及软硬件之间的相互协同关系^[8]。C语言源于Unix操作系统, 因此学生通过学习C语言了解计算机系统具有天然优势。

刘奇志等^[9]多角度深入分析系统能力内涵, 认为C语言课程是一种有利于培养初学者系统能力的导入模式。C语言语法是很多编程语言的基础, 国际权威Tiobe程序设计语言指数显示C语言常年占据前两名的位置^[10]。目前, 超过90%的高校计算机专业将C语言程序设计作为第一门编程课程, 但在教学过程中发现不少学生由于缺乏计算机的系统观, 在学习C语言时非常困难, 这种硬件结构概念的缺乏会让学生感觉程序如同空中楼阁, 难以建立从应用到代码这一过程的计算思维方式间的关联^[11]。

为此, 本文设计了4个渐进式硬件实践教学案例, 以

收稿日期: 2023-08-24

扫描二维码阅读全文:



基金项目: 湖北高校省级教学研究项目(2022315); 中纺联高等教育教学改革项目(2021BKJGLX381)

作者简介: 朱萍(1981-), 女, 博士, 武汉纺织大学计算机与人工智能学院副教授, 研究方向为智能物联网、边缘计算等; 胡新荣(1973-), 女, 博士, 武汉纺织大学计算机与人工智能学院教授, 研究方向为图像处理与媒体计算、机器学习等。本文通讯作者: 胡新荣。

帮助学生建立计算机系统结构基本概念,从软硬件一体化角度理解程序设计语言的执行过程,从而培养学生的计算思维和系统能力。

1 相关研究

鉴于C语言在计算机专业中对后续专业课程的重要支持作用,不少教师根据自身需求,从不同角度对C语言程序设计课程进行了改革。吴国栋等^[11]认为传统C语言课程教学过分注重语法与算法知识的讲授,忽视了培养学生程序设计思维和专业实际问题求解能力,因此提出了能力与知识并重、能力优先的培养理念。姚敦红等^[12]从学习资源、实践方法、课程考核和课程思政方面建立了“学练训闯”四位一体的“三课堂四贯通五结合”的课程教学模式,以提升学生创新实践能力。陆淑娟等^[13]针对学生因繁琐语法和无法理解算法而失去学习兴趣的问题,在教学中引入目标导学模式,将传统以教为主转变为平等的教学互动,以充分发挥学生主体性。吴建萍等^[14]采用BOPPPS模型,以在线授课和远程指导为主线进行多平台融合的混合式教学来提升学生学习积极性。然而,这些工作侧重于改革教学模式或考核方式,使其适应线上授课需求或课时不足的情况。随着学习通、希冀等教学过程化平台出现,虽然能通过分析数据来定位学生对知识掌握情况,但仍然无法解决C语言课程教学内容和方式存在的教学痛点。

在教学内容上,如何让学生对语法规则繁多、运算符号和数据结构丰富的C语言课程增加兴趣是授课教师重点关注的方面。哈佛大学提出的案例教学法目标为培养学生通过案例独立分析问题和解决问题等综合能力^[15]。王倩丽^[16]提出应以案例分析为主,结合项目实战进行C语言程序设计实践教学改革,强调学生计算思维的培养。李娟等^[17]针对教学重难点循环结构设计了3个案例以提升本科一年级学生的学习兴趣。然而,上述案例并未考虑计算机硬件信息,不适合物联网、电子和自动化等偏硬件专业学生。

考虑到C语言对硬件类专业课具有重要的支撑作用,本文结合物联网工程专业人才培养目标,以Arduino单片机为载体设计具有实用性的C语言渐进式教学案例^[18]。通过直观的物理现象为学生建立完整的学习链条(应用需求→算法设计→硬件开发板具体实现),不断提升学生学习C语言程序设计的兴趣和计算思维能力,为学生成为高级语言程序员奠定基础。

2 现存问题

2.1 教学内容缺乏计算机系统结构概念

C语言天然具有协助学习者深刻理解计算机系统的优势,卡内基梅隆大学的经典教材《深入理解计算机系统》全

篇采用C语言案例,但当前大部分授课内容强调语句语法,并未充分发挥C语言的优势^[19]。由于本科一年级学生并未了解从键盘输入的文字通过何种变换在屏幕上显示,也不了解CPU的工作方式,在讲解C语言的位操作&符时学生会感觉太抽象、无法理解。因此计算机系统结构概念对刚入门编程的学生极为重要,如果学生能先了解冯诺依曼体系结构及其程序存储思想,这些问题便能迎刃而解。

然而,目前仍然存在一个问题亟待解决,即在教学过程中通常使用通用计算机,因此无法真实展示计算机内部结构来协助学生理解计算机系统结构概念。

2.2 与专业课脱节严重

以武汉纺织大学计算机与人工智能学院物联网专业为例,C语言作为专业基础课开设在第1个学期,而嵌入式系统课程开设在第5个学期。两门课程间隔时间太长,导致紧密相关的课程出现严重脱节。在学习C语言时,讲解的大部分案例均为纯数学抽象案例,并未涉及任何硬件知识,无形中割裂了两门课程的内在联系。例如,通过多项式求和求解 π 案例,强调语法如何表达数学公式,但在整个教学过程中几乎没有涉及到C语言如何控制硬件,学生也无法对计算机内部数据流建立感官认识,以致于部分学生在两年后学习嵌入式课程时才发现自身C语言基础薄弱,很多当时忽略的知识在计算机硬件中具有重要用处,例如函数指针封装为结构体,在嵌入式开发中使用十分普遍。

2.3 教学方式单调枯燥

传统教学注重讲解C语言的语法规则,部分教师对语法细节讲解十分详细,会造成学生产生厌烦心理,无法理解时只能死记硬背,根本无法懂得其中的要领和精髓,时间一久便会彻底失去学习兴趣^[20]。即使学生掌握了这些语法规则也缺乏实际的应用能力,难以实现程序软件控制计算机硬件的实际需求。虽然,学院会为本科一年级学生设置计算机基础、计算机导论课程帮助其了解计算机硬件,但这些课程一般以通用计算机为原型讲解计算机硬件知识,存在以下两个方面的问题:①结构复杂,对初学者不友好;②无法直观观察硬件,向外连接传感器接口单一。

为此,武汉纺织大学计算机与人工智能学院选择Arduino开发板作为C语言案例载体。Arduino是一种基于8位单片机的开发板,配备一定容量存储空间及通用I/O接口,是一款功能完备的教学硬件模型^[21]。学生可在Arduino上运行类C语言代码控制板载输入输出接口,让学生对软硬件协同产生直观的认识。

3 渐进式教学案例设计

当前,大部分C语言教学案例为纯数学的抽象案例或信息管理系统,缺乏对实际电子产品的控制和开发。为了提升学生系统能力、工程应用能力及激发学生学习兴趣,

本文设计了3个基于Arduino渐进式的案例,后续案例都需要掌握前列案例才能展开。

3.1 计算机系统结构案例

冯诺依曼体系结构是现代计算机系统结构的基础,计算机硬件由运算器、存储器、控制器、输入设备、输出设备五大基本类型部件组成。小巧透明的Arduino开发板能让学生直接观察计算机硬件部件,以深入理解冯诺依曼体系结构。图1为最通用的Arduino UNO开发板模型图,具有丰富的接口。

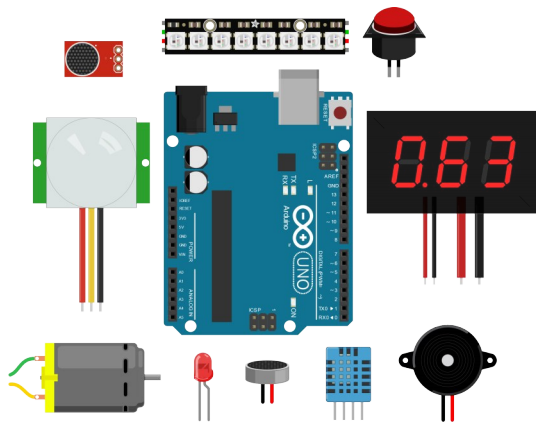


Fig. 1 Arduino model

图1 Arduino模型

案例1:通过电位器调节LED灯亮度。电位器也称为可变电阻,是一种模拟量的电子元件,通过旋转旋钮改变电阻量,一般可用于调节音量或亮度。LED灯可简单认为是一个三极管控制的发光二极管,可对三极管设置不同占空比(PWD)控制亮度。按照图2连接电路,电位器有3个引脚,功能引脚接入到A0端口;LED灯有两个引脚,功能引脚接入到具有PWM功能的D11端口。

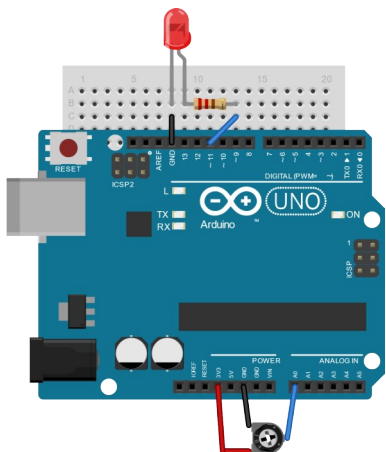


Fig. 2 Component wiring of LED brightness adjustment case

图2 LED亮度调节案例元器件连线

算法思维引导:①让学生回忆中学阶段物理知识,理解两个元器件工作原理;②向学生提问这两部分在计算机系统中属于何种部件;③让LED灯(输出设备)根据电位器(输入设备)变化而变化,以引出程序重要性,即程序通常处理输入信息后将结果输出到输出设备;④通过设计程序

逻辑引出算法概念,通过A0端口获得电位器当前电阻值,判断该值在计算机系统中是否应保存以引出存储器概念;⑤根据电气特性将电位器旋转到最大值,A0端口可获得的最大值为1023,将D11设置为255时LED灯最亮,通过提问方式得到算法逻辑,并将电位器值除以4后写入LED引脚中以引出CPU概念。

算法1 LED亮度调节算法

输入:A0端口数值

输出:D11端口

int Value;

Value = analogRead(A0); //读取A0模拟口的数值(0-5V 对应0-1204取值)

analogWrite(11, Value/4); //PWM最大取值255

其中,analogRead、analogWrite为Arduino的模拟量的读、写函数,对应于C语言的scanf输入和printf输出函数。

在案例1中,学生可直观理解计算机系统,有助于学生掌握scanf函数,帮助其更好地理解冯诺依曼体系结构,直观体会到硬件受软件程序控制这一过程。

3.2 分支结构案例

分支和循环结构一直以来都是C语言教学的重点和难点。在案例1基础上设计了两个贴近生活的案例,以帮助学生掌握这两个重要的知识点,提升其解决实际问题的设计和开发能力。

案例2:烟雾报警系统。硬件包括烟雾检测模块MQ-4、蜂鸣器Buzzer、一个红色LED灯和一个绿色LED灯,按照图3连接电路。当烟雾值未达到报警阈值时绿灯亮,当烟雾达到阈值时红灯亮且蜂鸣器发出声音。

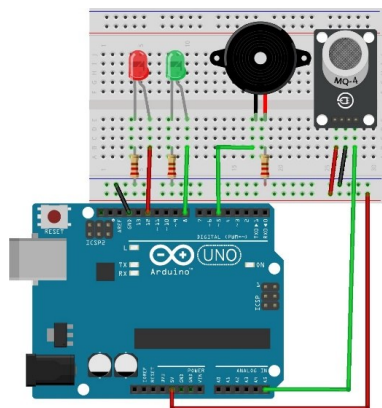


Fig. 3 Component wiring of smoke alarm case

图3 烟雾报警案例元器件连线

算法思维引导:①简述烟雾检测、蜂鸣器工作原理,通过系统接线和电路工作流程让学生知晓元器件属于输入还是输出;②通过提问和小组讨论,让学生理解当烟雾值不同时需要不同元器件输出,以引出分支结构概念;③讲解在C语言中分支语句的语法表达,引导学生写出该案例的伪代码;④增加Arduino输入、输出语句,将伪代码精细化可运行代码。

算法2 烟雾报警算法

输入:A5引脚值

输出:红色LED灯、绿色LED灯和蜂鸣器 Buzzer

```

1. int smokeValue = analogRead(A5);
2. // 检查 smokeValue 是否达到指定阈值 Thres
3. IF (smokeValue 值大于阈值 Thres) THEN, 蜂鸣器发声
4. {
5. digitalWrite(12, HIGH); //红灯亮
6. digitalWrite(8, LOW); //绿灯灭
7. digitalWrite(5, HIGH); //蜂鸣器发声
8. }
9. ELSE
//否则的话,仅绿灯亮
10. {
11. digitalWrite(12, LOW); //红灯灭
12. digitalWrite(8, HIGH); //绿灯亮
13. digitalWrite(5, LOW); //蜂鸣器禁声
14. }ENDIF

```

其中,digitalWrite 为 Arduino 的数字量(只有0或1)写入的函数。

案例2还可增加两个扩展思考提升学生的计算思维能力:①如果去掉第4、8、10、14行的{}结果是否一样,以帮助学生了解编程规范的重要性;②是否能去掉第6、11行代码,以帮助学生了解基于硬件的底层编程特殊性。

3.3 多重循环结构案例

循环结构一直以来都是C语言教学难点,而多重循环更让学生难以理解和掌握。因乘法表可呈现出二维表格特征,具有直观的两层循环特征,在传统案例普遍适用,但在实际应用需求中直观性无法简单得到表示,以致于学生在灵活应用方面有所欠缺。

案例3:双重循环实现流水呼吸灯。呼吸灯就是LED灯亮度从最暗均匀变化到最亮,然后从最亮又均匀变化到最暗。按照图4连接电路,实现效果是最右边的LED先出现一次呼吸灯效果,然后其左边的LED依次出现呼吸灯效果并循环。

算法思维引导:①案例1中学生们掌握了如何调节LED灯亮度,可引导学生进行分组讨论,思考如何实现一个LED呼吸灯;②LED灯从最暗到最亮经历的每个亮度都需要相同的时间间隔,每个灯的操作存在相似性以此引出循环概念,即自定义一个单循环函数实现单个呼吸灯,并观察实际效果;③通过提问互动探讨如何实现4个LED灯的流水形式,即每个灯调用步骤②的自定义函数,从而引导学生理解多重循环的意义和作用。

算法3 流水呼吸灯算法

输入:无

输出:D2~D7引脚连接的LED灯

```

1. const int numLeds = 4; // LED 数量
2. const int ledPins[numLeds] = {2, 8, 9, 13}; // LED 引脚

```

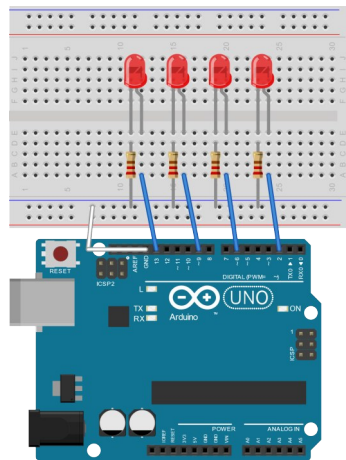


Fig. 4 Component wiring of flow breathing lamp case

图4 流水呼吸灯案例元器件连线

```

4. int fadeAmount = 5; // 渐变步进值
5. FOR(int i = 0; i < numLeds; i++) {
    breathe(ledPins[i], 200); // 调用呼吸灯效果函数,保持亮度的时间为200毫秒
} ENDFOR

```

自定义函数 breathe:产生一次呼吸效果
输入: LED灯引脚号 pin, 每个亮度持续时间 holdTime;
输出: LED灯

```

6. function breathe(int pin, int holdTime)
7. { // 渐亮阶段
8. FOR (int i = 0; i <= 255; i += fadeAmount) {
9. analogWrite(pin, i);
10. delay(holdTime); // 保持亮度的时间
11. } ENDFOR
12. // 渐暗阶段
13. FOR (int i = 255; i >= 0; i -= fadeAmount) {
14. analogWrite(pin, i);
15. delay(holdTime); // 保持亮度的时间
16. } ENDFOR
17. } END function

```

案例3还可增加一个扩展计算思维能力:如何实现来回流水,即先从右到左实现呼吸灯,再从左向右实现呼吸灯效果,以此循环。

4 实践效果

武汉纺织大学计算机与人工智能学院每年有400名左右本科一年级学生,将其随机分为12个教学班,各班学生的编程水平在上课前大致相同。在2022学年中,对班级1、班级2引入基于单片机的教学案例,其他班级仍沿用以往教学方式。为便于后面描述,本文将班级1、班级2班(66人)称为实验班,其他称为普通班。此外,为了得到更客观的结果,在普通班随机选取两个班级(班级5、班级12,共67人)与实验班进行比较。

教学过程中,C语言教学团队会对所有学生在希冀平

台进行3次统一的阶段测试。其中,测试二的考察内容为分支和循环结构,设置了4道编程题。考试结束后,平台对学生提交的代码进行自动化评测,2022级两组学生的成绩分布情况如表1所示。由此可知,实验班分数均值为

77.53,相较于普通班72.25高出5.28;实验班分数均方差为12.76,低于普通班的15.52,说明实验班整体成绩分布更紧凑,班级内部成绩差异相对较小,反映了班级整体学习效果较好。

Table 1 Distribution table of average grades for two types of classes

表1 两种类型班级的平均成绩分布表

班级	90-100分	80-89分	70-79分	60-69分	59分及以下	平均分	均方差
实验班(66人)	10	18	22	10	6	77.53	12.76
普通班(67人)	9	14	23	13	8	72.25	15.52

为了多维度评价基于单片机的案例教学法效果,本文对上述4个班级的学生进行问卷调查,问卷调查表样式如图5所示,调查结果如图6所示。

C语言程序设计实验内容和效果调查表		
学生姓名:	班级:	
联系方式:	调查日期:	
请根据您的感受对以下8个题目给出分数(0-10,10表示非常肯定,0表示完全否定)		
序号	问题	分数
1	实验课堂学习氛围是否浓厚?	
2	实验内容是否有趣?	
3	实验内容是否是理论知识的拓展?	
4	课下平均每周花在C语言编程上的时间是否超过7个小时?(起始分为6分,每增加1个小时加1分,每减少1个小时减1分)	
5	实验内容是否有助于计算思维的建立?	
6	是否更加喜欢计算机类的专业?	
7	是否对未来专业方向更加明确?	
8	是否对未来学习路线有更明确的规划?	

Fig. 5 Sample questionnaire form

图5 调查问卷表样例

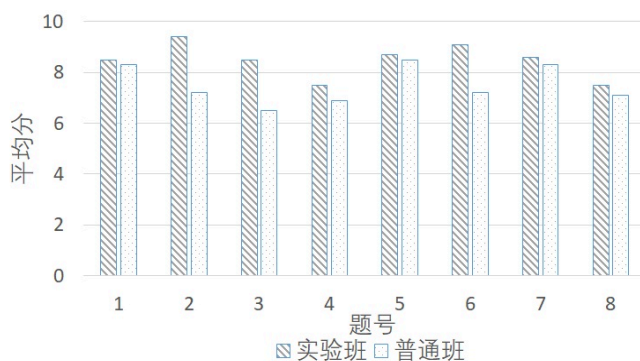


Fig. 6 Questionnaire survey results

图6 问卷调查结果

由图6可见,实验班在每个问题上的平均得分均高于普通班,特别是问题2、3、6题的平均分,实验班高于普通班超过2分。实验证明,教改后学生学习C语言程序设计课程的积极性明显增强,对编程表现出浓厚的学习兴趣,学生对课程参与度、学习获得感、教师教学及课程满意度明显提高。

4 结语

本文从激发学生对编程的兴趣出发,结合新工科背景的专业培养目标需求,以易于上手的Arduino单片机为载体对C语言程序设计课程的实践教学进行了探索,以期帮助学生建立计算机系统观及对应用场景产生更直接的认识。

实践表明,本文所提案例有助于特别是物联网等专业学生无缝衔接后期嵌入式系统、电子信息和自动控制等专业课程及电子信息类学科竞赛。后续,在教学实践中将进一步结合学生学习过程出现的各种实际问题,不断进行改革、探索、总结,争取为应用型人才培养提供新思路 and 参考。

参考文献:

- [1] JIN D H. Deepening and expanding the construction of new engineering disciplines to train outstanding engineers in the new era[J]. China Higher Education, 2022(12): 12-14.
金东寒. 深化拓展新工科建设培养新时代卓越工程师[J]. 中国高等教育, 2022(12): 12-14.
- [2] FAN W H, YANG W T. Teaching reform of computer design courses in the context of new engineering [J]. Computer Education, 2022 (8) : 93-97.
樊伟宏, 杨文婷. 新工科背景下的计算机设计类课程教学改革[J]. 计算机教育, 2022(8): 93-97.
- [3] ZHANG H N, SONG Y. Construction and application of computer hardware curriculum ontology in the context of new engineering [J]. Computer Education, 2022(7): 81-86.
张慧楠, 松云. 新工科背景下计算机硬件课程本体建设与应用[J]. 计算机教育, 2022(7): 81-86.
- [4] SHAN C, LI C Y, ZHANG Z L. Exploration of electronic information talent training model in the context of new engineering [J]. Software Guide, 2022, 21(7): 184-187.
单纯, 李春燕, 张子龙. 新工科背景下电子信息人才培养模式探索[J]. 软件导刊, 2022, 21(7): 184-187.
- [5] DONG Y Y, QIANG Z P, HU K R, et al. Exploration of the construction of computer system ability cultivation teaching system under the new engineering concept [J]. University Education, 2021(6): 115-117.
董跃宇, 强振平, 胡坤融, 等. 新工科理念下的计算机系统能力培养教学体系建设探讨[J]. 大学教育, 2021(6): 115-117.
- [6] ZHENG W M. Training of system ability for computer science college stu-

- dents[J]. Chinese University Teaching, 2021(5): 19-23.
- 郑伟民. 计算机专业大学生的系统能力培养[J]. 中国大学教学, 2021(5):19-23.
- [7] ZHANG X, HU D H, ZHU F B. Reform and practice of computer curriculum system based on system ability cultivation[J]. Software Guide, 2022, 21(7): 142-146.
- 张旭,胡东华,朱付保. 基于系统能力培养的计算机课程体系改革与实践[J]. 软件导刊, 2022, 21(7):142-146.
- [8] CHEN Q L, WU X, SUN Y, et al. Exploration of computer system ability cultivation approaches integrating ideological and political education into curriculum[J]. Computer Education, 2022(4): 29-32.
- 陈秋莲,吴旭,孙宇,等. 融入课程思政的计算机系统能力培养途径探索[J]. 计算机教育, 2022(4):29-32.
- [9] LIU Q Z, CHEN J J, YUAN C F. On the starting point of systematic ability training for computer professionals[J]. Computer Education, 2020(4): 120-123, 127.
- 刘奇志,陈家骏,袁春风. 论计算机类专业人才系统能力培养的起点[J]. 计算机教育, 2020(4):120-123, 127.
- [10] Tiobe. TIOBE index for July 2024 [EB/OL]. <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>.
- [11] WU G D, TU L J, LI J X, et al. Exploration of the teaching reform of the course "C language programming" for computer majors in new engineering [J]. Education Modernization, 2019, 6(11): 66-68.
- 吴国栋,涂立静,李景霞,等. 面向新工科的计算机类专业《C语言程序设计》课程教学改革探讨[J]. 教育现代化, 2019, 6(11):66-68.
- [12] YAO D H, ZHANG X, LIU Y W. Construction and practice of C language program design course in local college[J]. Software Guide, 2022, 21(5): 243-247.
- 姚敦红,张显,刘毅文. 地方院校C语言程序设计课程建设与实践[J]. 软件导刊, 2022, 21(5):243-247.
- [13] LU S J, LYU J. Research on the goal guidance model of C language curriculum based on the cultivation of computational thinking ability [J]. Software Guide, 2017, 16(8): 214-218.
- 陆淑娟,吕俊. 基于计算思维能力培养的C语言课程目标导学模式研究[J]. 软件导刊, 2017, 16(8):214-218.
- [14] WU J P, HOU X M, NAN Y, et al. Exploration of mixed teaching mode for C language programming course based on multiple platforms[J]. Computer Education, 2022(6): 97-102.
- 吴建萍,侯雪梅,南煜,等. 基于多平台的C语言程序设计课程混合式教学模式探索[J]. 计算机教育, 2022(6):97-102.
- [15] ZHANG X L, WANG Y Z, LI S X, et al. Strategies for improving classroom teaching efficiency in the context of innovative education: a case study of computer language teaching in universities[J]. Journal of Higher Education, 2021, 7(32): 42-45, 49.
- 张筱璐,王跃宗,李双新,等. 创新教育背景下提升课堂教学效能策略探析——以高校计算机语言课程教学为例[J]. 高教学刊, 2021, 7(32):42-45, 49.
- [16] WANG Q L. Exploration of teaching reform in C language programming in applied undergraduate colleges [J]. Microcomputer Applications, 2021, 37(5): 146-147, 157.
- 王倩丽. 应用型本科院校C语言程序设计教学改革探索[J]. 微型电脑应用, 2021, 37(5):146-147, 157.
- [17] LI J, ZHANG Y. Design and practice of language recurrent structure teaching[J]. Computer Education, 2018(3): 89-91.
- 李娟,张燕. C语言循环结构教学的设计与实践[J]. 计算机教育, 2018(3):89-91.
- [18] LIAO Q X, YAO G H, ZOU M C, et al. Exploration of teaching reform by integrating the content of microcontrollers into C language[J]. Journal of Higher Education, 2016(8): 141-142.
- 廖秋香,姚高华,邹木春,等. C语言中融入单片机部分内容的教学改革探讨[J]. 高教学刊, 2016(8):141-142.
- [19] AI I H, WANG Z H, YU S Y. The initial cultivation of computer system view[J]. Computer Education, 2021(10): 81-84.
- 艾丽华,王志海,于双元. 计算机系统观的起步培养[J]. 计算机教育, 2021(10):81-84.
- [20] LIN H. The application of scratch in C language programming teaching [J]. Software Guide, 2021, 20(7): 249-252.
- 林慧. Scratch在C语言程序设计教学中的应用[J]. 软件导刊, 2021, 20(7):249-252.
- [21] Arduino. What is Arduino? [EB/OL]. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.

(责任编辑:刘嘉文)