

程序综合实践课程案例教学探索与实践*

李国和

董丹丹

张扬武

中国石油大学(北京)克拉玛依
校区计算机系, 克拉玛依 834000
中国石油大学(北京)人工智能
学院, 北京 102249

中国石油大学(北京)克拉玛依
校区计算机系, 克拉玛依
834000

中国政法大学法治信息管理
学院, 北京 102249

摘要 针对程序设计和数据结构的课程设计存在重复教学、教学应用性不强、教学成效导向不明等问题, 将两个课程整合为程序综合实践课。通过制定能力培养目标、优化教学内容、建设资源环境和强化过程评价等, 以智能搜索为应用背景, 确定每章为搜索独立案例。以 OBE 为导向, 每个案例包括问题表示、存储设计、功能分解、算法设计、编码实现和运行验证, 有效强化程序设计和数据结构的应用技能, 落实创新意识、工程实践能力和综合素养培养, 提升程序实践课程价值。

关键字 新工科, 课程设计, 案例教学, 创新教学, C 语言程序设计, 数据结构

Exploration and Practice of Case Teaching in Software Development Practice Course

Guohe Li

Dandan Dong

Yangwu Zhang

Department of Computer Science,
China University of Petroleum-Beijing
at Karamay, Xinjiang Karamay
834000, China
College of Artificial Intelligence, China
University of Petroleum-Beijing,
Beijing 102249, China

Department of Computer
Science, China University of
Petroleum-Beijing at
Karamay, Xinjiang Karamay
834000, China

School of Information
Management for Law, China
University of Political Science
and Law, Beijing 102249,
China

Abstract—In order to solve the issues of repetitive teaching, weak applicability, and unclear teaching effectiveness in the design courses of programming and data structure, the two courses are integrated into a comprehensive programming practice course. By setting up ability training goals, optimizing teaching content, building resource environments, and strengthening process evaluation, each chapter is determined to be an independent case of intelligent search. With OBE as the guidance, each case includes problem representation, storage design, functional decomposition, algorithm design, coding implementation, and operation verification, effectively reinforcing the application skills of programming design and data structure application, implementing the cultivation of innovative awareness, engineering practice ability and comprehensive quality, and enhancing the value of the programming practice course.

Keywords—New Engineering; Course Design; Case Teaching; Innovative Teaching; C Language Programming; Data Structure

1 引言

我国高校实施“卓越工程师培养计划”, 培养能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才^[1]。2017年提出“以能力培养促进工程科技创新和产业创新”的新工科理念, 升级“卓越工程师培

养计划”^{[2][3]}, 强调从“知识本位教育”向“能力本位教育”转变^{[4][5]}。为体现能力培养, 计算机专业课程体系中几乎所有原理课程、程序类课程都相应增设了课程设计(即实践课), 如C语言课程设计、数据结构课程设计。但这种做法主要存在: 课程设计与原课程及课程设计间的内容重叠度高、应用场景明确度低、教材及内容应用性差等, 导致学时浪费、教学内涵滞留、学以致用落空, 尤其工程化系统化案例建设不足、成效导向弱化, 教学模式、理念滞后, 难于落实面向新工科、学生为中心的教育教学^{[6][10]}。程序设计案例教

* 基金资助: 新疆维吾尔自治区普通高校综合教改项目(JG2022001)和一流本科专业建设(软件工程)(JXDF0335), 中国石油大学(北京)克拉玛依校区课程建设项目(JX030040, JG2023018, Python MOOC 建设)。

学是有效实施实践教学方式^{[11][13]}。为此确立高阶性、创新性和挑战度的课程设计教改目标,基于教学成效导向OBE理念整合“C语言课程设计”、“数据结构课程设计”为“程序设计综合实践”(以下简称程序综合实践),并开展课程建设,强化案例教学以提升实践教学效果^[14]。

2 程序综合实践案例教学探索与实践

2.1 制定实践培养目标

程序综合实践建设指导思想为面向新工科教育:确保基础,注重联系;增强应用,提高技能;锻炼能力,培养思维。以搜索策略问题求解为应用背景,掌握人工智能问题求解知识和实现方法;强化C语言、数据结构的应用,提高程序设计技能;针对具体应用算法及其编码实现,提高基于计算思维的分析问题、描述问题、解决问题能力;通过案例教学,掌握需求分析、总体设计、详细设计、编码实现、运行验证各环节技能,形成软件工程思想;通过程序演示、答辩、报告写作,锻炼提高文字和口头表达能力。教学过程全程在机房进行,总学时为3周。

2.2 优化编排教学内容

实践教学内容包括树搜索、图搜索、启发式搜索、局部最优搜索、全局最优搜索和规则树搜索(即产生式系统),涉及到人工智能符号推演和控制进化知识。以问题驱动贯穿各章,构成问题及求解渐进化,形成逻辑紧凑的知识和技能体系。每章为1个独立应用案例,抽象出案例的描述、设计和实现流程框架。案例教学重点聚焦在算法及其功能模块,要求改进算法和编码实现,强化算法理解,且提高编码技能。通过功能模块替换运行和算法性能对比,直观理解算法分析概念。此外,增加真实应用,如西气东输线路优化,可体验学以致用。

2.3 完善建设环境资源

鼓励学生精于阅读、勤于练习、善于思考,为此提供相应的学习环境和资源。编写《基于搜索策略的问题求解——数据结构与C语言程序设计综合实践》特色案例教材,并在超星教学平台上发布电子教案和完整案例代码等教学资料,并借助交流通讯平台(如微信),有效支撑“课前预习、课中教习与练习、课后复习”教学模式,落实以学生为中心教学。

2.4 强化实践过程评价

教学评价包括定性评价和定量评价。定性评价主要依据问答交流参与度、提交作业时间等,考察学习精神的品行,分为优良、一般,只作为教学参考。定

量评价考查知识、技能掌握程度,记录成绩:作业20%+5次小测验15%+实践报告40%+演示与答辩25%。作业和测验难度分三个等级和分值占比:基本(记忆、理解)20%、巩固(应用、分析)50%、提升(评估、创建)30%。前两者确保理解分析知识能力(确保基础),后者促进设计应用能力提升(提升拔高),兼顾实践应用基础和实践创新素养。报告、答辩全面考察课程知识、编码技能、应用能力,同时锻炼文字写作和口头表述能力。

2.5 融合开展课程思政

根据每章教学内容,优选社会科技进步、传统优秀文化、先进代表人物等思政元素,如以我国高铁发展为素材,提出高铁线路优化应用问题,过渡到启发式搜索的实践内容,以增强道路、制度、文化等自信,潜移默化培养家国情怀、责任担当、崇高素养。

3 程序综合实践案例教学设计与教学

每章形成独立应用案例,并配置实现代码。根据构思、设计、实现和运行的工程教育CDIO思想,强调程序综合实践的方法、设计、编码和运行。以教学成效OBE为导向,确定每章内容细化为问题提出与表示、数据结构设计、功能分解、算法设计、编码实现和运行验证等环节。以问题直观化、算法图形化、代码模块化等特点编排教学内容,确保案例教学可实施性,同时助力提升阅读理解、分析设计、编程实践和问题求解能力,训练了软件工程实践技能和创新能力,培养运用智能搜索知识和软件工程技术解决问题的思维方式、方法。下面通过规则树搜索为例,介绍案例教学设计与教学过程。

3.1 问题提出

首先总结归纳搜索算法特点,指出之前章节搜索包括“目标已知,求解最短路径”“目标未知,尽快求解目标及路径”,提出有些应用搜索空间的节点需要组合决定搜索方向,即求解隐式目标(目标未知)及路径,引出可基于产生式规则(决策规则)进行问题求解^[15]。融入课程思政,从我国传统医学,谈到中医专家系统,过度到知识、知识库、推理机核心概念。为了确保教学可实施性,以动物识别系统为案例,具体设计与实现如下^[16]。

3.2 相关基本概念

围绕产生式系统结构,首先介绍基本概念。

(1) 事实与规则

给出事实和规则的定义,并举例说明,如由事实建立依赖关系的规则rule1:如果动物下奶(A),那么动

物是哺乳动物 (1)。指出为了数据一致性, 方便代码实现和管理, 构建事实及其编码字典 (如表1所示)。将规则集以可视化形式展示 (如图1所示), 增强规则树 (即与/或树) 可理解性。引入事实fact、规则rule和事实库facts (事实集)、规则库rules (规则集), 统称知识和知识库knowledge base, 把人工智能的核心概念具体化、通俗化。

表 1 部分事实字典

编码	事实	编码	事实
A	动物下奶	1	动物是哺乳动物
B	动物有羽毛	2	动物是鸟类

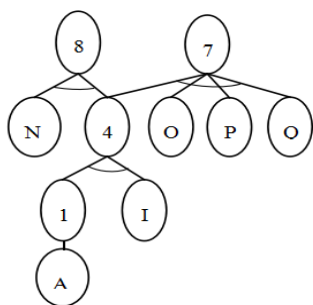


图 1 规则树

(2) 正向推理

在知识、知识库概念基础上, 介绍正向搜索。通过动物识别过程, 例举事实库facts和规则库rules交互推理, 为后续算法形式化表示及其编码实现奠定基础, 顺便介绍专家系统核心推理概念, 即搜索为推理, 提高知识点可接受度。最后将产生式系统总结为监控机构、事实库和规则库 (如图2所示), 再引入推理机 (即监控机构) 概念。抽象概念形象化、动态化, 得到很好理解。

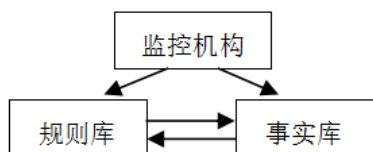


图 2 产生式系统结构

3.3 规则树正向搜索

在上述概念基础上, 总结两个核心问题: ①如何从规则库中找到合适的规则; ②如何判断规则的有效性和更新知识库。进一步引出核心问题分别对应基本过程和搜索过程概念, 而基本过程再细分基本算子。这也是功能细化的很好案例。

(1) 基本算子

强调基本算子包括匹配match(rule, facts)、冲突

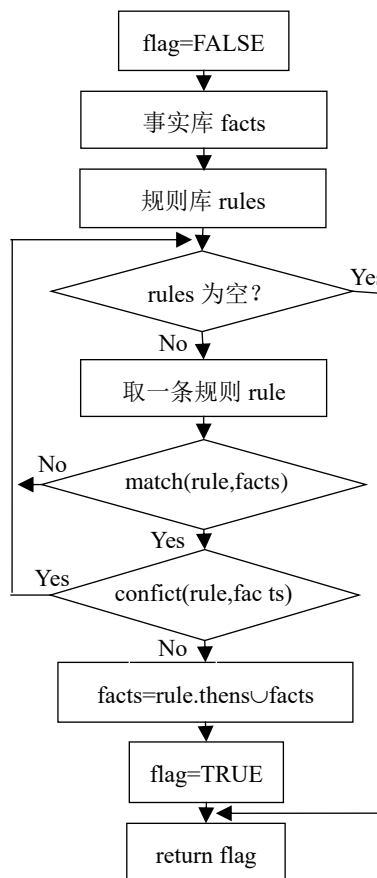
conflict(rule, facts)和更新update(rule, facts)三个算子。

为了增强算子算法理解性, 采用伪代码讲解, 如匹配算子match(rule, facts):

```

If  $\forall$  rule.ifs  $\subseteq$  facts then //所有前提在事实库中?
    return TRUE; //所有前提均在事实库
Else
    return FALSE; //至少有个前提不在事实库
Endif
    
```

图 3 单步搜索



(2) 正向搜索过程

还是采用功能分解思想, 将正向搜索过程分为单步搜索stepforward(rules, facts)和持续搜索deduce (rules, facts), 除了伪代码形式, 还以图示表达算法 (如图3所示), 增强内容可理解性。

(3) 正向搜索问题求解

强调基于规则树的正向搜索问题求解在专家系统中核心作用: 知识库和知识推理, 可揭示求解结果 (即目标What to do) 和求解过程 (即搜索路径How to do)。此外, 顺便介绍专家系统还包括人机交互 (即输入、输出)、知识库维护等构成, 扩大知识面, 也激发好奇心。

以动物识别系统的编码实现为例, 给出详细设计和编码实现, 并进行详细注释, 主要案例内容如下说明。

3.4 动物识别系统编码实现

通过C语言结构体定义事实库类型FACTS，用于描述事实库，进一步构建事实库变量FACTS facts，用于表示管理事实库，其代码如下：

```
#define FactSize 50           //事实最大长度
typedef char FACT[FactSize]; //事实类型FACT
struct FACTNODE              //事实节点类型
{
    FACT fact;                //一个事实
    struct FACTNODE *next;    //多个事实链接
}
//事实库(集合)类型FACTS
typedef struct FACTNODE *FACTS;
FACTS facts;
```

通过图示(如图4所示)和代码讲解,加深理解问题描述与编码实现的关系,帮助提高编程技能。规则库类型RULES和规则库变量RULES rules也有类似定义。

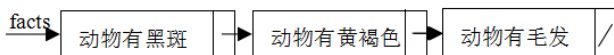


图4 事实库

按软件工程要求,自顶向下进行功能细分、详细设计、编码实现,按照业务逻辑,主要进行以下内容讲解:

(2) 事实库创建与清除

增加事实AddAFact、多事实加入事实库CreateFacts、从文件创建事实库CreateFactBase和清除事实库ClearFactBase。

(3) 规则库创建与清除

空事实库创建初始化空规则库InitRule、加入规则前提AddAIf、加入规则结论AddAThen、加入规则所有前提AddIfs、加入规则所有结论AddThens、创建规则CreateRule、规则加入规则库AddARule、从文件创建规则库CreateRuleBase、清除规则库ClearRuleBase。

(4) 搜索基本算子

定义了关联函数,主要包括成员判定member、匹配算子match、更新事实库算子update、检测规则条件testIfs、检测规则结论testThens、规则有效性判断testRule。

(5) 单步搜索与持续搜索

根据搜索算法,定义单步搜索Stepforward和持续搜索deduce。

(6) 显示搜索结果

介绍显示推理结果和推理过程,包括获取搜索结

论deduceResult、显示搜索结果displayResult,并集成到正向搜索ProductionSYS中,实现从事实库文件、规则库文件开始到搜索获取结论的整个过程。

(7) 应用实例

将上述各功能模块,按知识和知识应用业务流程,集成到主函数中,代码如下:

```
void main()
{
    char *rulefilename="C://规则库.txt"; //规则文件
    char *factfilename="C://事实库.txt"; //事实文件
    ProductionSYS(rulefilename, factfilename); //问题求解
}
```

最后,介绍事实文件、规则文件和推理结果(如图5、6、7所示),形成学习获得感。总结正向搜索的优缺点,包括搜索过程与知识库分离、知识顺序无关性等便于功能扩展,但也指出问题求解低效及其改进等策略,加深理解正向搜索的特点。同时,指出正向搜索一次性给出所有事实,中途无需交互干预,从而引出新的问题:如何改进代码可以实现交互问答功能等,留下悬念,激发好奇,引导思考。这些问题也是作业的重要组成部分,只有充分理解案例的问题表示、算法及其编码才能进行功能改进。另一作业要求设计自己的知识库,如故障诊断、岩石识别等,不仅体验正向搜索具有系统框架性应用思想,也提高学习获得感。



图5 事实文件

由于采用“课前预习、课中教学与练习、课后复习”教学模式,在线下课堂上教学内容确保上述案例业务逻辑结构完整,但重点讲解提问多的、核心内容,对学生已掌握的,或自学容易掌握的内容(包括算法、代码),不再进行讲解,最大化在线下课堂上有针对性教学、集中辅导练习,不仅高效利用线下课堂时间,

而且有效开展启发学习、自主学习、探究学习、兴趣学习，落实以学生为中心教学。



图 6 规则文件

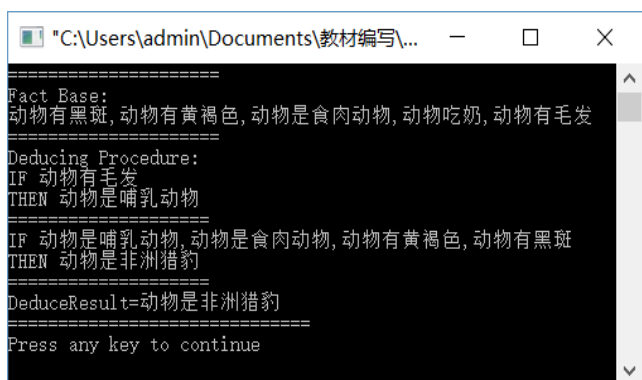


图 7 运行效果

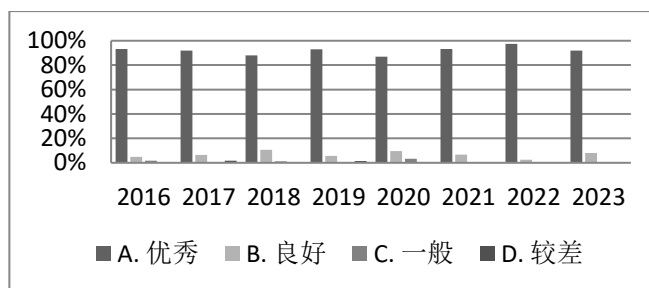


图 8 各年级学生评价人数占比

通过《基于搜索策略的问题求解——数据结构与C语言程序设计综合实践》^[6]案例特色教材和电子教案等建设，填补校内外空白。教学团队深入开展实践课程建设探索和创新教学，主持省部级重点教改、校教材建设等多项课题，锻炼培养了教师队伍，2021年获得校优秀实践教学团队及优秀实践指导教师称号。在课程建设、环境建设、教材建设、教学模式等开展卓有成效改革创新，近年连续三届获得校优秀教学成果奖。

4 程序综合实践创新教学成效

我校教务部要求所有学生必须对所学课程进行课后课程评价。评价指标为：认为教师自身对课程的掌握程度（很精通、较精通、一般、掌握较差、掌握很差）；教师是否为课程教学充分准备（非常充分、较充分、一般、较不充分、非常不充分）；教师能否做到表述清晰、讲解透彻（很好、较好、一般、较差、很差）；听课后对课程的掌握程度（基本完全掌握（80%-100%）、掌握大部分（60%-80%）、一半左右（40%-60%）、很少一部分（20%-40%）、完全听不懂（20%以下））；课程考核方式是否合理（非常合理、较合理、一般、不太合理、很不合理）；本课程的难度（很容易、较容易、适中、较难、很难）；学习本课程后的收获（很大、较大、一般、较小、很小）。教务部通过统计所有学生的选项，形成“对该教师本门课程教学的总体评价（A优秀、B良好、C一般、D较差、E很差）”的学生占比，并折算为课程评价得分 0~95（注：满分 95 分）。自从 2016 级计算机类专业开始进行程序实践案例教学改革，均在第 1 个暑假短学期实施教学，教学效果上升趋势，得到学生很好认可（如图 8、9 所示）。

2024年学生参加全国性程序设计大赛取得较好成绩，程序综合实践案例教学卓有成效。如ACM-ICPC国际大学生程序设计竞赛新疆赛区省赛和ICPC国际大学生程序设计竞赛全国邀请赛（陕西），获省赛金牌、全国邀请赛银牌；中国高校计算机大赛-团体程序设计天梯赛全国总决赛，获团队二等奖1项、个人一等奖2项、个人三等奖3项；“蓝桥杯”全国软件和信息技术专业人才大赛(大学生组)全国总决赛，获一等奖2项、二等奖1项、三等奖2项；中国大学生计算机设计大赛，获二等奖2项、三等奖2项；中国机器人与人工智能大赛，三等奖1项等。

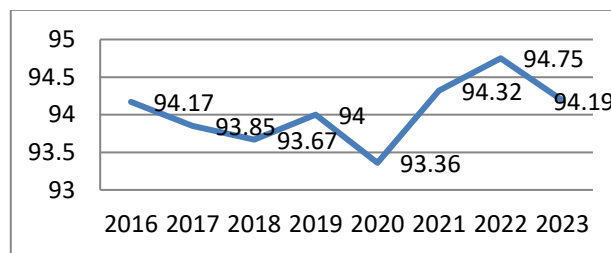


图 9 各年级学生评价课程得分

5 结束语

程序综合实践整合程序设计和数据结构的课程设计，以应用能力为培养目标，通过教学资源、环境建设，采用学生自学为主，教师讲解为辅、翻转课堂教学模式，尤其采用案例教学，有效启发、调动学生学习积极性和主动性。本课程以智能搜索为应用背景，具有AI时代性，同时强化了程序设计和数据结构的应用，减少了学时，提升了应用技能。以问题驱动贯穿课堂，培养问题处理的创新性思维。从问题提出与表示、数据结构设计、算法设计（包括总体设计、详细设计）、编码实现和运行验证等环节工程化实践，提升工程实践能力。通过问题直观化、求解渐进化、代码模块化，确保教学内容可理解性，教学可实施性，有效实施创新能力、工程实践能力培养，并通过强化过程考核，促进理解分析能力、设计应用能力提升。程

序综合实践具有高阶性、创新性和挑战度，有效落实新工科教育、计算思维培养。

参 考 文 献

- [1] 龚克. 关于“卓越工程师”培养的思考与探索[J]. 中国大学教学, 2010(8): 4-5.
- [2] 培根. 工科何以为新[J]. 高等工程教育研究, 2017(4): 1-5.
- [3] 徐晓飞, 丁效华. 面向可持续竞争力的新工科人才培养模式改革探索[J]. 中国大学教学, 2017(6): 6-10.
- [4] 李国杰. 大学计算机教育的改进方向[J]. 中国计算机学会通讯, 2020.12: 1-2
- [5] 陈国良, 董荣胜. 计算思维与大学计算机基础教育[J]. 中国大学教学, 2011(1): 7-11.
- [6] 李国和, 赵建辉, 吴卫江, 连远锋. 基于教学团队建设的C语言教学[J]. 计算机教育, 2015.1: 24-27.
- [7] 连远锋, 李国和, 赵建辉. C语言程序设计在石油相关专业中的教学实践[J]. 计算机教育, 2013.5(185): 1-5.
- [8] 连远锋, 张秀美, 李国和, 等. 卓越工程师培养模式与教学改革思考—以C语言程序设计为例[J]. 石油教育, 2011.6(175): 58-60.
- [9] 李国和, 吴卫江, 赵建辉, 等. 面向新工科的程序综合课程设计研究与实践[J]. 计算机教育, 2021.9(321): 119-122.
- [10] 李国和, 吴卫江, 赵建辉, 等. 面向新工科的C语言课程建设研究与实践[J]. 课程教育研究, 2021.5: 179-180.
- [11] 李雪, 范青刚, 王忠, 等. 基于“一导二合三阶段”模式的程序设计案例教学探索[J]. 计算机教育, 2024.6: 135-140.
- [12] 刘凯, 方君, 朱子强. 强军新工科背景下的信息技术类程序设计课程案例教学设计与实践[J]. 计算机教育, 2024.2: 81-84+89.
- [13] 杨琦, 张晓月, 韩鑫. C程序设计课程案例教学内容研究与实践[J]. 高教学刊, 2023.9(12): 112-115.
- [14] 李国和, 董丹丹. 面向胜任力培养的程序设计综合实践教学探索[J]. 计算机技术与教育学报, 2024.11(4): 127-132.
- [15] 蔡自兴, 孟祖强. 人工智能基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015: 72-150
- [16] 李国和. 基于搜索策略的问题求解—数据结构与C语言程序设计综合实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2019: 21-157.