

最优化理论与算法课程教学改革与实践

王 巍^{1,2}, 魏忠诚^{1,2}, 生 龙^{1,2}, 王 超^{1,2}

¹河北工程大学信息与电气工程学院, 河北 邯郸

²河北省安防信息感知与处理重点实验室, 河北 邯郸

收稿日期: 2022年7月11日; 录用日期: 2022年8月11日; 发布日期: 2022年8月17日

摘 要

针对最优化理论与算法课程内容多学时少、知识跨度大、理论抽象, 以及学生在学习过程中存在学习目的模糊、学习动机不明确、学习结果预期一般、理论与实践脱节等问题, 提出依托案例重构课程内容、融合应用打通理论与实验、开设专题完善课前课后学习内容、探索创新强化授课效果的课程教学改革与实践, 突出课程学以致用用的要求, 将理论学习、动手能力培养、分析与解决问题能力的培养充分结合于教学中。

关键词

最优化理论与算法, 教学改革, 教学实践

Teaching Reform and Practice of Optimization Theory and Algorithm

Wei Wang^{1,2}, Zhongcheng Wei^{1,2}, Long Sheng^{1,2}, Chao Wang^{1,2}

¹School of Information and Electrical Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

²Hebei Provincial Key Laboratory of Security & Protection Information Sensing and Processing, Handan Hebei

Received: Jul. 11th, 2022; accepted: Aug. 11th, 2022; published: Aug. 17th, 2022

Abstract

Aiming at the problems of the course content of optimization theory and algorithm, such as more class hours and less, large knowledge span, abstract theory, and the students' vague learning purpose, unclear learning motivation, general expectation of learning results, and the disconnection between theory and practice in the learning process, this paper proposes to reconstruct the course

content based on cases, integrate applications to get through theory and experiments, set up special topics to improve the learning content before and after class, explore and innovate the curriculum teaching reform and practice to strengthen the teaching effect, highlight the requirements of curriculum learning for application, and fully integrate the theoretical learning, practical ability training, analysis and problem-solving ability training into teaching.

Keywords

Optimization Theory and Algorithm, Teaching Reform, Teaching Practice

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着生产技术和科学研究的不断发展,特别是计算机的广泛应用,使最优化问题的研究不仅成为了一种迫切的需要,而且有了求解的有力工具,因此迅速发展起来形成一个新的研究领域[1] [2]。其广泛应用于计算机、通信、人工智能、自动控制、生产管理等重要行业,所研究的问题是讨论在众多方案中什么样的方案最优以及怎样找出最优方案,对培养研究生运用最新科技手段和处理方法,使系统达到总体最优,从而为系统提出设计、施工、管理、运行的最优方案,为决策者提供科学决策的依据奠定基础[3] [4] [5]。

目前很多高校都为研究生开设了最优化理论、方法、计算和应用相关的课程,并且授课教师通过多种教学和课程改革提高了教学效果[6] [7] [8]。但是由于各个学校开课专业不同、学时安排不同、授课内容侧重不同等,使得最优化课程教学中存在的问题,除了一些共性问题外,也呈现出各自特点,最优化课程教学的探索还应继续[9] [10]。

因此,结合我校最优化理论与算法课程的特点,以及多年来研究生教学研究与实践,围绕课程内容的理论与实践融合、线上与线下互补、案例资源建设等,提出了教学改革与实践方案,为学生最优化理论知识体系的构建,日后的科研创新提供了重要支撑。

2. 教学现状与问题

根据我校计算机科学与技术、信息与通信工程专业最优化理论与算法研究生课程教学中存在的问题,并综合学生的课后反馈,对教学现状与问题进行了总结。

1) 学习目的较为模糊。此课程通过培养学生结合自身专业背景和研究方向,发现实际问题,建立优化模型,并给出合适的求解方法,提高科研创新能力。对2021级研究生在授课之前进行了问卷统计,如图1所示,其学习目的整体不够明确。

2) 有一定的学习动机。最优化理论与算法课程开设在第2学期,学生经过第1学期的专业课程学习以及科研文献的阅读,对其研究领域、研究方向有了一些了解。因此,相比于过往没有接触过学术科研的学生来说,我校相关专业的研究生对此课程的学习表现出一定的学习动机,如图2所示,有一定的学习积极性。这一点从研究生学习过程中的个人学习兴趣也可以得到印证,如图3所示,学生在学习中,学习兴趣较高。

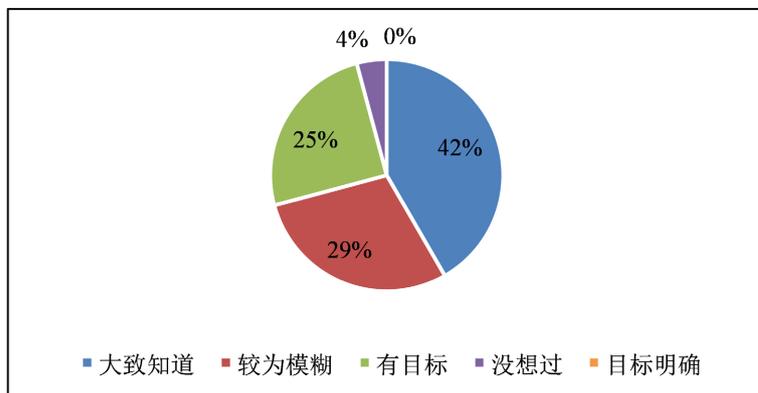


Figure 1. Learning purpose statistics

图 1. 学习目的统计

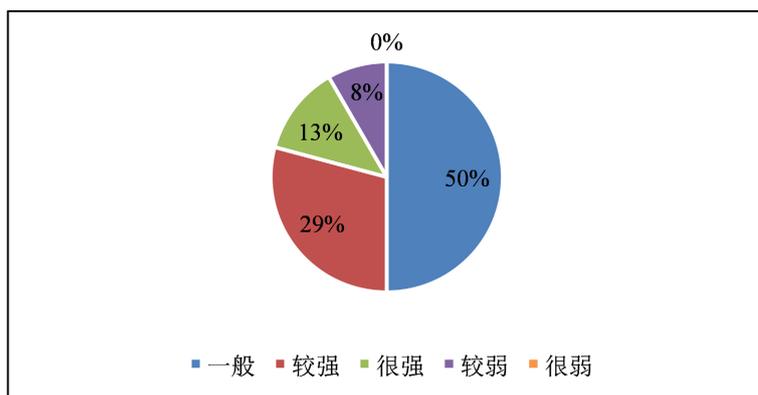


Figure 2. Learning motivation statistics

图 2. 学习动机统计

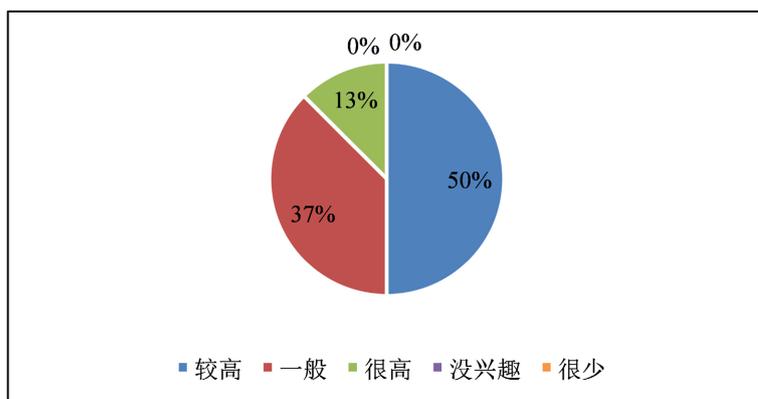


Figure 3. Learning interest statistics

图 3. 学习兴趣统计

3) 学习结果预期一般。以学习目的为引导，组织学习过程以达到相应的学习预期结果。同时，通过学习结果来检查衡量学习目标是否实现。由于我校相关专业的研究生对此课程的学习目的较为模糊，在学习结果预期方面表现一般，如图 4 所示。学生未对最优化理论与算法课程的学习目的和学习结果预期形成闭环，还导致学习过程中出现缺乏积极的思考、主动性差等问题。

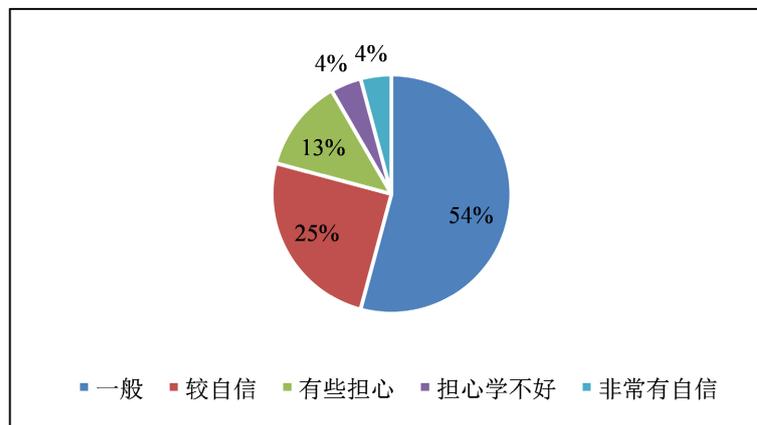


Figure 4. Expected statistics of learning results
图 4. 学习结果预期统计

4) 课程内容有待优化。由于我校开设的最优化理论与算法研究生课程是一个短学时课程，对于线性规划问题、非线性规划问题、对偶问题等基础理论的讲授均需要配合计算机模拟检验和仿真，课堂中兼顾理论与实践难度较大。此外，实际问题的优化模型建立、问题的转化与松弛、模型的求解等都需要学生结合各自研究领域，深入和广泛阅读，对学生阅读最优化领域的论文缺乏有效指导。

3. 课程建设与教学实践

最优化理论与算法课程目标是使学生在面对复杂问题时，知道如何使用数学方法对问题进行定义，对定义的数学模型类别进行辨别，并使用合适的方法进行模型分析和问题求解。因此，在课程建设与教学实践中，坚持教学过程与学生的研究方向对接的原则，突出课程学以致用用的要求，将理论学习、动手能力培养、分析与解决问题能力的培养充分结合于“互动式 + 案例式”教学中，使研究生达到“一建立二学会”的标准。

建立思想：优化思想的建立，无法依靠灌输式的教学方法实现，而要通过诱导、讨论、总结来帮助研究生反思和内省，因此，依托经典案例，开展课前、课中、课后的互动式+案例式教学。在课内 2 学时，先后两个阶段完成“先学”和“后教”，有利于研究生产生创新性的成果。

学会阅读：由于此课程的理论和算法都比较抽象，且学习过程中要涉及数学分析、矩阵分析、凸分析、算法编程等知识，学习内容较多。同时，课后共享来自本学科国内外顶级学术期刊上刊登的具有代表性的学术论文，因此在课程中，通过指导阅读，讲授重点教材的知识结构，分析最优化领域文章的架构及语言逻辑，有利于帮助学生学会阅读。

学会提问：由于课程的学时有限，因此有关本课程的大量案例分析和代码实现均在课外以作业的形式开展，对于这些拓展内容的考核，以学生的思考和提问为考查要点，引导学生主动提问，随后在课堂里分析、评价共性问题，并对问题归类，让所有学生了解提问的角度、方式，有利于帮助学生学会提问。

3.1. 依托案例，重构课程内容

我校计算机科学与技术、信息与通信工程专业最优化理论与算法研究生课程课内学时为 16 学时，为了更好地开展课堂教学，也对课前学习和课后拓展内容进行了规划，共计 56 学时，整体内容共分为三大部分，其学时分配情况见表 1。

Table 1. Course content and class hour allocation
表 1. 课程内容与学时分配

序号	课前学习(共 28 学时)	授课内容与学时(共 16 学时)	课后拓展(共 28 学时)
第一部分 绪论	1) 最优化发展历史; 2) 初高中、大学阶段的优化问题案例; 3) 高等数学、线性代数部分内容; (4 学时)	1) 数学基础; 2) 最优化模型; 3) 相关概念; 4) 研究分支; 5) 应用领域(机器视觉、任务分配、机器学习等案例); (2 学时)	1) 课程相关电子书、论文集、视频资源翻阅; 2) 结合各自研究方向的优化领域论文查阅; (4 学时)
第二部分 凸优化	1) 凸与非凸; 2) 仿射、凸、锥; 3) 优化问题分类; 4) 单纯型方法; 5) 线搜索策略; 6) 导数在搜索中的作用; 7) 最陡梯度下降; 8) 牛顿法; 9) 拟牛顿法; 10) 随机梯度下降; 11) 坐标下降; 12) 矩阵的正定、正半定; 负定、负半定、不定判别; 13) 常见二次规划问题; 14) Excel、Matlab、Lingo 的下载和安装; (18 学时)	案例 1: 线性规划——产品生产问题 案例 2: 二次规划——通信能耗问题; 1) 凸优化基础; 2) 无约束线性规划及其解法; 3) 有约束线性规划及其解法; 4) 线搜索和信任域; 5) 基于线搜索的无约束非线性规划; 6) 二次规划; 7) 对偶理论; 8) Excel、Matlab、Lingo 的使用; (10 学时)	1) 编程实现单纯型方法求解线性规划问题; 2) 一维线搜索方法的 Matlab 实现; 3) 基于 CVX 工具箱的 QP 问题、QCQP 问题求解; 4) 线性方程的最小二乘解的对偶问题、二次规划 QP 的对偶问题的偶问题笔算推导; 5) 支持向量机 SVM 中的对偶问题应用拓展; 6) 几何规划问题等拓展内容; (12 学时)
第三部分 组合优化问题	1) 启发式算法的发展; 2) 典型组合优化问题(TSP、VRP、SP、CP、KP 等); 3) 相关概念和常用测试集; (6 学时)	案例: TSP 问题 内容: 启发式优化算法(遗传算法、蚁群算法、微粒群算法等)基本思想、原理、算子、算法流程、实现方法、典型应用 (4 学时)	1) 各类启发式算法的性能比较; 2) 最新启发式算法的思想和基本原理; 3) 算法的正反馈机制; 4) 探索与利用; 5) 常用改进策略; 6) 混合整数线性规划; (12 学时)

3.2. 突出应用, 理论与实验互补

最优化理论与算法课程涉及大量的理论和算法, 授课中根据其抽象与难易程度, 进行区别对待。如果所有理论都进行数学推导, 反而使学生忽视了对算法的整体把握, 失去了对本门课程的学习兴趣, 因此, 对理论性较深, 推导过于复杂的算法, 教学中适当简化其理论推导过程, 重点讲解该算法的整体框架与性能分析。同时, 由于次课程是一门应用型很强的课程, 需要将理论教学与实践教学相结合。每节课均结合课程内容, 开展实验, 通过实际编程求解最优化问题, 加深学生对理论算法的理解和认识, 培养实践能力。为了配合课程学习, 开发了算法库和案例库, 如图 5 所示。



Figure 5. Some pages of algorithm base and case base
图 5. 算法库和案例库部分页面

学生可在算法库中通过模糊查询或者浏览的方式，查找算法摘要、算法思想、算法流程、学习部分算法的代码实现，可以快速锁定自己想要的算法，减少学生的学习时间。案例库则展现了算法应用案例的具体内容，包括算法原理、环境设定、约束条件、适应度函数、算法结果等。

3.3. 开设专题，完善课前课后学习内容

最优化理论与算法课程涉及内容广泛，课堂学时无法很好地全面构建学生的知识体系，根据课堂教学需要，以及学生兴趣和实际应用需求，开设专题学习内容，并进行了分类，见表 2。

Table 2. Special study content
表 2. 专题学习内容

数学基础	编程基础	经典优化问题	算法及实现	领域交叉
二次型与正定矩阵、方向导数和梯度、Hesse 矩阵及泰勒展式、极小点的判定条件	MATLAB (Optimization Toolbox, YALMIP, CVX)	混合整数线性规划	分支定界法	机器学习
凸集(仿射集合和凸集、保凸运算、广义不等式、分离与支撑超平面)	Python (Pyomo, CVXPY)	几何规划	内点法	强化学习
凸函数(基本性质、保凸运算、共轭函数、拟凸函数、对数-凹函数和对数-凸函数)	Julia (JuMP.jl, Convex.jl)	不确定优化	牛顿法、拟牛顿法	无线通信
对偶(Lagrange 对偶函数、Lagrange 对偶问题、几何解释、最优性条件)	其他求解器 COPT4.0 等	在线最优化	坐标下降	信号处理
			动态规划	机器视觉
			禁忌搜索算法等	

3.4. 创新探索，强化授课效果

在课程教学中，鼓励学生围绕最优化算法与应用进行一些创新探索研究，选题包括某些最优化理论与方法的比较，最新优化算法实践、最优化方法的发展综述，也可结合“中国研究生数学建模竞赛”等竞赛内容，结合优化领域的理论与技术，撰写课程论文等。选题后通过查阅相关文献，提出自己的想法开展最优化理论与应用研究，锻炼了阅读、提问、创新探索能力。

4. 教学改革与实践效果

通过课程教学改革与实践，培养了学生优化思维和科研探索能力，能够解决实际问题，学生明确了学习目的，激发了学习动机；同时，加深了学生对基本理论和方法的理解，能够将本课程的内容和其他学科联系起来，提升了学生的自我学习和理论联系实际的能力，提高了学习结果的预期。针对 2022 级研究生进行了教学效果的调查，根据满意度设计了 5 级量表，分别为“很不满意(1 分)”、“较不满意(2 分)”、“一般(3 分)”、“较为满意(4 分)”、“非常满意(5 分)”，各种情况的学生占比统计结果见表 3。

Table 3. Teaching reform and practice effect statistics
表 3. 教学改革与实践效果统计

	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
课程培养了你的优化思维，能够使用优化理论和知识来解释生活中的问题	0%	0%	25%	33.3%	41.6%
通过课程学习，认为自己基本能够应用优化理论和算法解决一些简单问题	0%	0%	16.6%	41.6%	41.6%
通过本课程的学习，学会了如何阅读优化领域的论文	0%	0%	25%	41.6%	33.3%
课程涵盖领域广泛多样，内容庞大，更加积极主动地预习、复习课堂知识	0%	0%	25%	37.5%	37.5%
能够吸引你的兴趣和注意力，你有较强的课堂参与度	0%	0%	20.8%	33.3%	45.8%
能够有效利用课堂时间，上课节奏不太快也，授课较为细致	0%	0%	4.1%	33.3%	62.5%
课程内容经过了筛选、符合你的预期	0%	0%	16.6%	33.3%	50%

Continued

对该课程的学习价值评价	0%	0%	4.1%	50%	45.8%
对本课程老师教学的满意程度	0%	0%	0%	16.6%	83.3%
对自己在本课程的学习过程和学习结果的满意程度	0%	0%	29.1%	45.8%	25%

5. 结论

本文在分析了我校最优化理论与算法课程目前的教学现状与问题的基础上,依托案例重构课程内容、融合应用打通理论与实验、开设专题完善课前课后学习内容、探索创新强化授课效果。注重授课内容与学生研究领域的相互渗透,使学生所学知识可以解决其研究中的实际问题,学生明确了学习目的,激发了学习动机,同时也提高了教学效果。

基金项目

河北省 2022 年省级研究生示范课程立项建设项目(KCJSX2022091);河北省高等教育教学改革研究与实践项目(2016GJJG127)。

参考文献

- [1] 孙杰宝, 吴勃英, 张达治. 《最优化方法》课程教学法研究与实践[J]. 大学数学, 2017, 33(3): 120-124.
- [2] 王勇, 蔡自兴. “智能优化算法及其应用”课程教学的实践与探索[J]. 计算机教育, 2009(11): 127-128+115.
- [3] 王伟, 李晓莉, 黄照旺, 等. 物流类专业《运筹学与最优化方法》课程案例教学改革研究[J]. 物流科技, 2021, 44(4): 174-176.
- [4] 田广东, 刘旭, 蒲永峰. 交通系统最优化理论与方法课程教学改革浅析[J]. 教育现代化, 2018, 5(18): 49-50.
- [5] 黄宏博, 潘淑文. 数据智能类专业最优化类课程教学研究[J]. 高教学刊, 2020(21): 113-115.
- [6] 王文静, 王福胜. 高师院校《最优化理论与方法》课程教学改革——以太原师范学院为例[J]. 教育理论与实践, 2013, 33(15): 54-56.
- [7] 翟佳, 王宇, 李海燕, 等. 优化理论与方法课程教学改革研究——以重庆理工大学管理科学与工程专业为例[J]. 教育教学论坛, 2020(15): 113-115.
- [8] 徐恭贤. 基于创新性思维的《最优化理论与方法》课程教学研究与实践[J]. 渤海大学学报(自然科学版), 2021, 42(2): 119-125.
- [9] 于宏宇. 算法设计课程中的智能优化算法教学[J]. 计算机教育, 2013(4): 65-67.
- [10] 刘德民, 侯江霞. 直观性教学法在最优化课程中的应用案例[J]. 高教学刊, 2016(2): 85-86.