

基于研究性教学的课程设计 ——信息论与编码研讨课案例分析

雷菁, 李二保, 黄英, 刘伟

(国防科学技术大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 本文围绕如何开展研讨性课程这一问题展开探讨, 分析了研究性教学的基本形式与特点, 构建了教学通用模型。针对信息论与编码课程中“从信道编码的MLD看LDPC码的迭代译码”这一内容, 开展了案例分析, 进行了详细的研讨课程设计, 包括教学内容、问题设计、教学实施以及考核方式等。通过试点效果可以看出, 研讨课程的开展对培养学生的创新思维和研究探索的能力起到了较好的推动作用。

关键词: 研究性教学; 课程设计; 问题设计; 信道译码; 迭代译码

中图分类号: G642.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-8874(2016)04-0098-06

A Research on the Curriculum Design of Research-oriented Teaching

LEI Jing, LI Er-bao, HUANG Ying, LIU Wei

(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The paper discussed on how to carry out the research-oriented teaching. Its characteristics are analyzed, and a teaching common model is structured. In the form of research teaching case, it talked about the iterative decoding of LDPC code based on the principle of MLD algorithm, which belongs to the course of information theory and coding. It gave a solution scheme of the curriculum design in detail, including the teaching content, question design, teaching implementation and assessment, etc. The experimentation results show that the research-oriented teaching would play a good role in cultivating the students' ability in creative thinking and researching.

Key words: research-oriented teaching; curriculum design; question design; channel decoding; iterative decoding

一、引言

研究性教学 (research-oriented teaching) 注重培养学生发现问题和解决问题的创新实践能力, 它不仅是研究与教学的融合, 更是培养学生探究

或创新精神之所需。因而成为目前高等教育中备受关注的教学模式, 也是高等教育教学发展的主流方向。它要求在教学过程中由教师创设一种类似科学研究的情境和途径, 指导学生在独立的主动探索、主动思考、主动实践的研究过程中, 吸收并应用知识, 分析并解决问题, 从而培养学生

收稿日期: 2016-10-25

基金项目: 国防科学技术大学研究生教育教学研究课题 (yjsy2016009); 国防科学技术大学教育教学研究课题 (U2015005, U2016002)

作者简介: 雷菁 (1968-), 女, 陕西西安人。国防科学技术大学电子科学与工程学院教授, 博士生导师, 主要从事通信理论与技术方面研究。

创造能力和创新精神,提高学生综合素质,它始终坚持将学生置于教学过程的中心和重心^[1]。本文将基于研究性教学进行研究,分析该模式的特点,并以“信息论与编码”中的信道译码专题为例,开展课程设计探讨,深入剖析研究性教学中如何发挥教师的主导作用。

二、研究性教学的特点与要求

研究性教学既有不同于传统教学的特点,也有不同于基础教育中的研究性教学的特点。关于其特点观点纷纭,如传授式教学是“学跟教走”,研究性教学则是“因学论教”^[2]。传统的教学更强调传授知识,尽管随着课堂教学方法的改革,很多教师创设问题环境并组织学生开展研究讨论以解决问题,但这并不完全是研究性教学^[3]。概括而言,笔者认为研究性教学主要关注以下几点。

首先是强调科研要素深度融入教学。研究性教学更需要将研究与教学结合起来,用科学研究的要求组织教学。立足于研究性教学并不以知识点的多寡为教学内容优劣的判据,而在意于激发了多少问题,培养了多少学生的问题意识。研究性教学要通过教师指导学生研究性学习来实现,作为教师,仅仅激发问题还是不够的,而应将学生的问题与问题解决融入教学的全过程。因此,这类教学应该在教学的过程中逐步渗入科学研究的各个元素,需要增强教学内容的科学性、先进性、实践性;需要改善从学习向研究的过渡过程,或从学生向学者过渡的过程;需要在教学过程中强调探究,强调创新。高质量探究是研究性教学的核心所在。主要是以教师和学生对学科知识的质疑、批判、发现和创造的方式进行的,而所有这些方式最终都是指向学科知识的本质的,并在此过程中推动了学生科学精神和创新意识等多种素质的发展^[4-5]。

第二个特点是强调开放性教学氛围的构建。研究性教学将突破教室和课本的限制,将外部世界作为教学的场所和内容。首先,教学资源呈现出开放的特点,多样化的参考文献、网络资源受到极大重视。其次,教学过程也呈现出开放性,教师不是墨守成规地按照教学大纲准备教案及实现教案。大纲和教材仅仅是纲要,实施教学与准备的教案可能差别较大,应该在教学过程中视具

体情况随机应变,创造一种宽松、和谐、开放、民主的氛围。

第三个特点是强调学生在教学中的主体性。研究性教学需改变传统的学生被动听、学的模式,在教师的指导下学生独立地探索和解决问题,实践研究的全过程。这时学生不是传统意义上的教学对象,而是积极参与教学活动过程的主体;不是传统教学中知识的被动接受者,而是知识的主动建构者。需要通过教学过程激发、鞭策学生积极参与、独立实践。研究性教学应把重点放在学习的知识认知和情感体验方面,注重师生、生生之间平等的对话与交流,依靠卓有成效的智力激励使学生从内心认识到本学科所具有的魅力,并在不断挖掘自身潜力中形成积极的体验,从而产生对于学习本身的巨大乐趣。通过研讨性教学平等的交流,师生还可认同彼此交往的重要性,课外接触的重要性,师生密切接触对于人格养成、品德熏陶的重要性,以及对学生需求做出反应的重要性^[6]。

从以上几个特点的分析可以看出,研究性教学的实施可谓是一项全方位、立体化的工程,从教师及学生对教学思维的转变,到教材及教学内容的改革以及实践环节、评价环节、配套管理等的新变,都将提出一系列新的要求。从教师角度而言,必须确立新型的教师观和教学观。教师应转变在教学活动过程中的角色。要从一个知识的传授者、灌输者转变为学生探索知识和发现知识的组织者、牵引者,也是学生探索路上予以帮助鼓励、分享苦乐的同行者。

研究性教学是在教学研究和研究教学的基础上所进行的教学,首先体现了以学生自主学习为中心的价值。它要求教师要对所授课程及相关领域有深入的研究,并且能够及时将自己的研究成果引入到教学中,把学生当作科研成果的第一读者,做到科研反哺教学,教学与科研相长。教师应该把教学过程当作一个研究过程,不仅要研究如何教,还要研究如何学,更要研究如何指导学生进行高质量探究,提高教学效果^[7]。

传统应试教育令许多学生产生一种认识误区,即凡是题目都有答案,答案都在老师那里,对错由老师说了算。但实际中的科学研究命题更多时候恰是本学科中已知与未知交界的边缘状态,并不存在“标准答案”,也可能是多解或无解。因此以探究的目光看待变化的、未知的世

界,尝试着提出解决方案,这种训练将能极大地提高学习兴趣,提升实际创新能力。这就需要教师在研讨课程设计与组织中精心筹谋,通过在各个教学环节一次次地指导学生进行高质量探究,培养或提高学生的能力。在授课时,要让每个学生在学术交流中发现问题,层层剥算,释疑析疑,得出结论。把新探索的起点定位在当前学科的最前沿,鼓励学生去接触和理解很多带有创新性的思想观念,鼓励他们去挑战和反思一些看起来不证自明的问题,并将前沿思考以某种形式传达给学生^[8]。

另外,在高年级的研讨课程中还应充分体现跨学科的特点。尽量突破单纯的“专业视域”和单纯的“知识视域”,为学生提供能够帮助形成基本的人文修养、思想视野和精神感悟的课程。可以吸引不同学科学生的参与,研讨性教学就能够把不同学科的知识聚焦于同一个问题上,这正是通识教育所需求的。

三、基于研究性教学的课程设计方案分析

研究性教学的开展中,教师需做好详细的课程设计准备,包括:教学目的、教学内容、设计的研究问题等。这些将作为课程实施的必要前提。课程实施一般包含:预习准备、课堂研讨、论文撰写等。考核评价,一方面是对课程设计本身进行,以便促进其改进;另一方面是对学生在课程中的表现进行全面评价,从而进一步修正课程实施的方式方法。该通用模型如图1所示。“信息论与编码”是本科生高年级及研究生的核心专业课程。下面我们将以课程中“从信道编码的MLD看LDPC码的迭代译码”这一专题为例,进行基于研究性教学的课程设计探讨。

(一) 课程设计

1. 教学目的

本次课是科研反哺教学的一个典型例子,结合了课题组在纠错编码领域长期研究的体会与成果,提炼总结而成。

通过本次课的研讨,需要达成如下教学目标:

- 探索背景式教学,学会继承与发展的科学思维方式,培养从现有成果寻求突破,进行创新的能力。

- 深化理解信道编码译码理论,掌握最大似

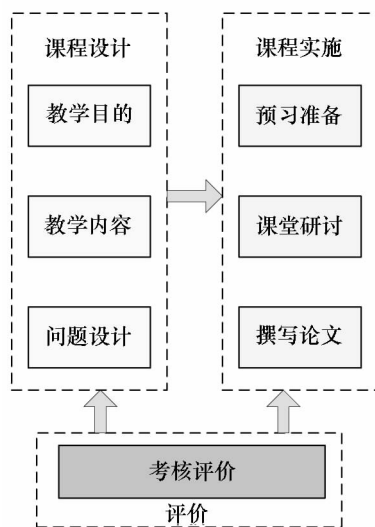


图1 基于研究性教学的通用模型

然译码的原理、应用及现代发展。

- 培养运用仿真方法分析算法性能的能力。
- 培养团队协作研究的能力。

2. 教学内容

教学内容的设计是指导学生进行高质量探究的基础。这要求课前要多作准备,认真设计课程框架与结构,以问题为牵引,以项目为驱动,整合知识点使之成为案例。为此我们在教学内容中建构模拟的科研过程,从选题分析、开题论证到技术路径分析、结论推演。同时注意关注产生结论的背景,展示有典型意义的科学发现的典型事件,展示有基础意义或有前瞻性的科学研究进展。可通过问题背景、算法综述、仿真设置等环节体现。

(1) 问题背景

香农在其信道编码定理的证明中给出了达到信道容量的编码三大条件:随机编码、码长趋于无穷和最大似然译码算法^[9]。相较于最小错误译码概率准则(MEPD)、最大后验概率(MAP)等译码方法,最大似然译码(MLD)尽管在性能上属次优,但其算法计算量较低,且在输入等概时性能可与MEPD等价,因此被誉为最佳译码方法。线性分组码中经典的标准阵列译码和伴随式译码均属于MLD思想的体现。一直以来,人们都在致力于寻求提高这类译码算法性能的方法。从硬判决到软判决,从SIHO到SISO译码,从一步判决到迭代判决,一次次的突破,不断丰富和提升了现代纠错编码理论^[10]。

传统的基于代数结构的纠错编码,由于码长

较短和高度的结构化, 可以采用最大似然译码算法, 然而其性能距离香农限依然很远。二十世纪九十年代, 随着 Turbo 码的提出和 LDPC 码的重新发现, 人们重新燃起逼近香农限的希望。该类码具有随机编码的特点, 且在码长足够大时性能趋于香农限, 而令其区别于传统纠错编码之处在于其具有可实现的迭代译码算法, 在此算法下, 现代纠错编码在有限码长下已经可以获得距离香农限仅仅 0.0045dB 的性能^[11]。在之前的一周的课程教学中, 我们已经对 LDPC 码的基本知识及其迭代译码算法有了初步的认识。然而, 对于如何在确保性能的情况下, 简化迭代译码算法的译码复杂度和延时, 是该类码在实际系统中广泛应用的前提条件。

对于 LDPC 码的迭代译码算法而言, 无论是概率域还是对数域迭代译码算法, 其译码的复杂度主要集中在校验节点消息的更新。因此, 迭代译码算法的简化一般是集中在校验节点消息更新与传递的优化以及迭代收敛设计等方面。而 MLD 算法因只需依据转移概率 (而非联合概率或后验概率) 进行译码, 使译码计算量相对减少, 而成为实际应用和研究中的常用方法。那么, 现代迭代译码与经典的 MLD 之间的关系如何? 译码性能与算法复杂度, 迭代参数与时延, 快速实现算法等相关问题都是值得进一步探讨。

(2) 常用算法综述

为便于研讨, 先分析一下近代迭代译码方法在减少复杂度方面经历的几个重要的变革。随着复杂度的降低, 目前, LDPC 码的迭代译码算法主要有以下三类^[12-18]: 概率域的置信传播算法—BP、对数域的置信传播算法—LLR-BP 和对数域的最小算法—MS。三类算法的消息传递机制, 可以用 LDPC 码的 Tanner 图来解释其译码过程。Tanner 图中存在两类消息节点 (变量节点和校验节点), 两类节点之间由相邻的边连接, 通过消息传递方式沿着 Tanner 图的边进行相应的节点消息置换更新, 最终使编码约束所产生的相关性信息 (互信息) 得到充分利用, 从而提高译码性能。其中 BP 算法的节点消息采用概率形式表示, 致使译码迭代过程中需要执行大量的乘法运算, 算法时延大, 特别是硬件实现比较困难, 算法精度难以保证; 而对数似然比替代概率消息表示方式的 LLR-BP 算法, 则对数似然比表示消息, 这时大量的乘法运算转化为加法运算, 从而减少运算复杂度。然而,

LLR-BP 算法在校验节点消息更新运算中, 存在非线性函数 \tanh 的运算, 实现复杂度仍较高; 人们为了进一步降低算法复杂度, 在 MS 算法中, 对校验节点消息的计算过程进行近似处理, 使其只有比较和异或处理运算, 算法的核心是寻找最小值的过程, 这样的算法更加适合硬件实现, 加速了 LDPC 码的实际运用。

然而, MS 算法在降低译码复杂度的同时, 由于其译码迭代过程中校验节点消息采用近似处理, 导致译码性能有一定的损失。这种近似处理引起的译码性能损失通常在 0.3dB 以上。为了弥补因近似处理导致的性能损失, 研究人员提出了两种解决方案, 分别为归一化最小和算法 (Normalized Min Sum, NMS) 和修正最小和算法 (Offset Min Sum, OMS), 有效地提高了译码纠错性能。MS 算法由于其简洁的消息更新和优越的性能, 使得其成为 LDPC 码迭代译码算法实现中的主流方法。图 2 比较 LLR-BP、MS、NMS 以上 3 种译码算法的纠错性能。

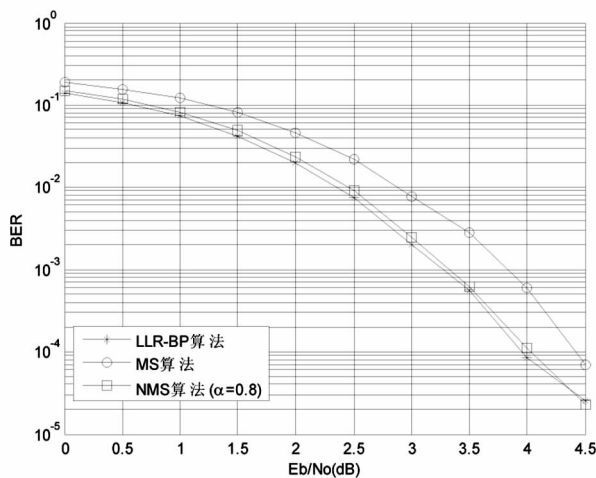


图 2 三种迭代译码算法性能对比

通过仿真可以看出, 在工程实践获得广泛应用的 MS 算法通过适当的补偿措施可以获得近似最佳的性能。而 MS 算法中核心的寻找最小值和第二最小值搜索算法可以极大地降低关键路径延时, 同时利用码结构, 适当分层处理, 可以提高译码速率。

3. 问题设计

教学过程中问题设计要从学生较易理解、体会和感悟的层面入手, 引发学生的兴趣。或者在学生现有知识掌握的前提下, 通过易解的“谜团”抛砖引玉, 牵引学生的思考, 激发其求知探究的

欲望。如为了更好地掌握 MLD 及迭代译码算法的原理与方法,我们对每一个典型算法都设计了若干问题,学生在仿真时需要对这些问题进行独立思考,并且在课堂讨论中进行讨论。

(1) 经典 MLD 算法回顾

最大似然译码是纠错编码理论的一个重要思想,学者们所提出的许多译码方法都是该思想的体现,我们可以从课堂所学习过的各种译码算法中去寻找其身影,体会 MLD 在具体方法与实际系统设计中的应用。要求学生充分理解课堂中学习的经典标准阵列译码、伴随式译码的原理和 Viterbi 算法思想。这些问题设计的目的在于贯穿各类译码算法,探究经典与优化译码算法的共同本质,使学生能完成从课堂知识掌握到新技术知识认知的顺利过渡。

(2) 概率域置信传播算法

概率域的置信传播算法,是 LDPC 码被重新发现后,第一个被用来译码的迭代译码算法,其在 LDPC 码的 Tanner 图上传递的是消息中取‘0’和取‘1’的概率。要求学生充分理解变量节点和校验节点输出消息的物理意义,力求使学生深入体会迭代译码这种新型译码方法中各变量的物理意义,加深对算法的认识。

(3) 对数域算法中消息表示

在概率域算法中消息的更新,存在着大量的乘法运算,给算法的仿真和实现应用带来不小的难度,转换到对数域可以将乘法运算转成加法运算,从而使得实现更加方便。

(4) 对数域算法简化及其补偿参数

在 LLR-BP 算法中,其校验节点的对数域卷积是算法复杂度降低的核心,利用 tanh 函数的单调性以及极值性可以在性能适当损失的时候极大的降低算法复杂度。通过苏纳法简化问题的设计旨在体现技术进步是如何在经典上破茧而出,将理想目标变为可实现的现实。

(5) MS 算法的硬件实现

目前 MS 算法是 LDPC 码译码算法实现普遍采用的算法,结合对校验矩阵的适当分层处理,在资源允许的情况下,LDPC 码译码器的速率和延时可以满足所有通信系统的需求。通过一系列算法环环相扣的介绍及步步“经心”的思考,最终引导学生关注工程实用中又如何将理论转为实践,体验创新源于实际需求。

(二) 教学实施

1. 预习准备

提前两周布置研讨任务,每个学习团队选择一个算法,各组不能重复选择(大于五个组的教学班允许一个算法有两个组选择),各组自行收集相关算法的资料,进行阅读及仿真实现,并形成研究报告的初稿,学习研究中如有任何问题,可通过教学网站的互动平台、微信群等进行交流。

2. 课堂研讨

各组选派一名代表用报告本组的研究成果,报告完以后回答其他小组提出的问题。教员作为组织者,做好穿针引线工作,负责对各个报告进行提问、点评、引导答疑,并组织全体学员对研讨课堂中引出的关键问题进行再讨论。

3. 撰写课程论文

研讨结束后各组用一周时间撰写课程论文,在下次课时提交。

(三) 考核评价

本次研讨设三个评价点,1. 课程论文成绩,由教员根据各小组报告情况及最终提交的课程论文进行评定,优秀论文由各班教员推荐,教学组成员集体打分评定。2. 小组讨论成绩,根据各组课堂讨论的情况记入平时成绩中。3. 小组成员在研讨及答辩中的表现,小组报告的表现记入个人的平时表现成绩。

四、效果分析

在 2014 年~2016 年三年中,我们对学生研讨课程试点的效果进行了跟踪调查,具体情况分析如下。

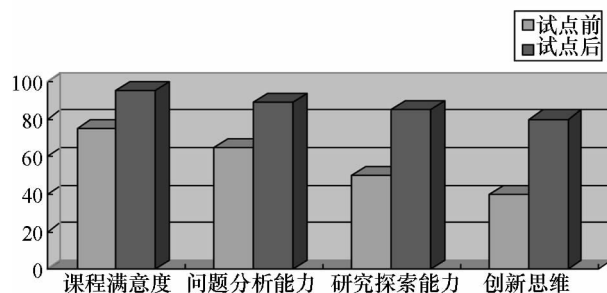


图3 问卷调查统计

我们从课程满意度、问题分析能力、研究探索能力及创新思维等4个方面对学生进行了问卷调查。参与调查的学生累计为200名,统计结果如图

3所示。从图中可以看出,研讨课的开展能够提高学生的课堂参与度,让他们对于课程本身更加满意。此外,对于学生的问题分析、研究探索能力,研讨课的开展都有不小的帮助。同时,研讨课程的开展对创新思维的培养也起到了举足轻重的作用。

五、结束语

本文针对研究性教学开展研究,分析了其形式及特点,并构建了基于研究性教学的通用模型。基于“信息论与编码”课程中的“从信道编码的MLD看LDPC码的迭代译码”这一内容,展开了详细的研讨课程设计案例分析。这不仅可为各高校同类课程开展研讨提供借鉴,也为其他课程老师提供了一个较好的研讨课程设计模版。经过三年的试点,我们从问卷调查的结论中可以看出,研讨课程的开展不仅让学生更加热爱课堂,而且对培养其问题分析能力、研究探索能力以及创新思维等都起到了良好的促进作用。

参考文献:

- [1] 刘伟忠. 研究性教学中的难点与实施重点[J]. 中国高等教育,2006(24):36-37,42.
- [2] 顾沛. 把握研究性教学,推进课堂教学方法改革[J]. 中国高等教育,2009(7):31-33,38.
- [3] 唐健,李敏华. 关于研究性教学的几点思考[J]. 教育与职业,2012(3):100-102.
- [4] 卢德馨. 大学物理学研究性教学[J]. 物理与工程,2004(14):1-4.
- [5] 张富生. 解读卢德馨研究性教学[J]. 中国大学教学,2007(3):41-45.
- [6] 张慧洁. 推行研讨性教学培养创新型人才[J]. 中国高等教育,2008(24):45-46.

- [7] 夏锦文,程晓樵. 研究性教学的理论内涵与实践要求[J]. 中国大学教育,2009(12):25-28.
- [8] 张慧洁. 推行研讨性教学培养创新型人才[J]. 中国高等教育,2008(24):45-46.
- [9] 王新梅,肖国镇. 纠错码——原理与方法[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001:504-516.
- [10] 雷菁. 低复杂度LDPC码构造及译码研究[D]. 长沙:国防科技大学,2009:2-10.
- [11] Chung S Y, Forney G D, Richardson T J, et al. On the design of low-density parity-check codes within 0.0045dB of the Shannon limit[J]. IEEE Communications Letters,2001(2):58-60.
- [12] Gallager R G. Low-Density Parity-Check Codes [M]. Cambridge, MA: MIT Press,1963:39-44.
- [13] Tanner R M. A recursive approach to low complexity codes [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1981(5):533-547.
- [14] Mackay D J C, Neal R M. Near Shannon limit performance of low density parity check codes [J]. Electronics Letters,1996(6):457-458.
- [15] Chung S Y, Forney G D, Richardson T J, et al. On the design of low-density parity-check codes within 0.0045dB of the Shannon limit[J]. IEEE Communications Letters,2001(2):58-60.
- [16] Zhang J, Fossorier M P C. A Modified weighted bit-flipping decoding of low-density parity-check codes[J]. IEEE Communications Letters,2004(3):165-167.
- [17] Sha J, Wang Z, Gao M, et al. Multi-Gb/s LDPC code design and implementation [J]. IEEE Trans Very Large Scale Integr (VLSI) Syst,2009(2):262-268.
- [18] David J, Mackay C. Information theory, inference and learning algorithms [M]. 北京:高等教育出版社,2006:277-285,640-659.

(责任编辑:陈勇)