

“新工科”背景下军民两用的无人车智能环境感知 实验教学 CDIO-OBE 改革^①

张振海,王州博,郭晓栋

(北京理工大学机电学院,北京 100081)

[摘 要] 在当前工业向智能化转型升级要求下,新工科建设为我国高等工程教育改革指引了新方向。军民两用的无人车智能环境感知实验教学改革,不仅支持了国家倡导的军民融合,也符合高等教育改革趋势。在总结国际先进工程教育理念之后,探索出以 OBE 学习成果产出为目标,以 CDIO 为驱动的 CDIO-OBE 教育新模式。基于 CDIO-OBE 模式,首先制定出预期学习成果产出目标,建立实验课程与学习成果产出目标匹配矩阵,改进现有实验课程体系,然后逆向设计教学内容,最后以 CDIO 为指导,建立实验课程教学方案。这种模式以团队项目建设为载体,培养学生的综合能力,促进了智能环境感知人才的培养。

[关 键 词] 新工科;军民融合;智能感知教学;CDIO;OBE

[中图分类号] G642

[文献标志码] A

[文章编号] 2096-0603(2020)18-0034-04

一、引言

工业是一个国家的经济基础,是国家经济的命脉,早前实体经济下滑严重,互联网经济泡沫初现,面对如此困境,为了重振制造行业、提高实体经济占比、争夺未来国际行业话语权,世界上许多国家正在如火如荼地进行着第四次工业革命,将产业升级作为国家未来发展的重要战略目标。其中德国在 2011 年就提出了“工业 4.0”战略,是第四次工业革命的先行者,并在 2013 年,由德国电气电子和信息技术协会发布了首个“工业 4.0”标准化路线图;美国紧随其后,提出了工业互联网措施,成立了“工业互联网联盟”,该联盟由通用电气、思科、英特尔、国际商用机器和电话电报公司主导,美国、德国和日本等 100 家公司先后加入其中;日本在 2015 年提出了“机器人战略”;同年,中国也提出了“中国制造 2025”发展战略模式,至此,这场工业革命便在全球中掀起一股浪潮。

高等工程教育一直在不断地为工业人才输送新鲜血液,是工业向前发展的动力源泉。从发达国家的历史经验来看,在制定国家工业发展措施的同时,也制定了相应的工程人才培养计划,积极地推动高等工程教育的改革。在新一轮科技革命面前,为了推动“一带一路”“中国制造 2025”“互联网+”等一系列重大战略,我国教育部于 2017 年提出“新工科建设”概念^[1],随后很快又形成“复旦共识”^[2]、“天大行动”^[3]和“北京指南”^[4]等共识,并发布了具体相关实践措施的文件通知,由此可见,中国正全力支持并推动高等工程教育改革,探索符合中国国情的高等工程教育模式。与“老工科”相比,“新工科”更强调学科的实用性、交

叉性与综合性,尤其注重信息通讯、电子控制、软件设计等新技术与传统工业技术的紧密结合;“新工科”人才拥有工程实践能力强、富有创新能力、具备国际一流人才竞争力等特点^[5]。此外,在 2015 年的十九大报告上,习近平总书记还提出了“军民融合发展战略”的要求,“深化国防科技工业改革,形成军民融合深度发展格局,构建一体化的国家战略体系和能力”^[6]。站在历史新起点上,我国高等工程教育迎来了机遇和挑战。为了支持“新工科”建设项目,推动军民融合发展战略实施,培养世界一流工程人才,智能环境感知实验室建设入选 2018 年第二批产学研合作协同育人项目,将与百度企业展开深度合作,对智能环境感知实验教学进行改革,分别引入了国际工程教育研究的先进理念 CDIO^[7]和美国工程教育通用模式 OBE^[8],并将其深入结合,实施 CDIO-OBE 教学改革^[9]。

二、CDIO 和 OBE 教育理念

CDIO 源于美国麻省理工学院和瑞典皇家工学院等四所大学于 2004 年所创立的工程教育理念,它是一种包含构思(Conceive)、设计(Design)、实现(Implement)和运作(Operate)的教育模式,符合现代工程科技人才的成长规律和特点,能够为“新工科”建设提供具体的方向指导。CDIO 包含三个核心文件:一个愿景、两个大纲和 12 条标准。它的愿景是为学生提供一种强调工程基础的、建立在真实世界的产品和系统的构思—设计—实现—运行(CDIO)过程的背景环境基础上的工程教育。它的大纲分为四个层面:(1)技术知识和推理能力;(2)个人能力、职业能力和态度;(3)人际交往能力、团队工作和交流;(4)在企

^①基金项目:教育部高等教育司 2018 年第二批产学研合作协同育人项目“面向无人车的智能环境感知实验室建设”(项目编号:201802003041);北京理工大学第 11 批教改项目“面向‘中国制造 2025’军民融合智能探测与感知的实验实践教学改革与探索”(项目编号:026);第 10 批教改立项第二批项目“信息获取技术研究型教学示范课程”(项目编号:028)。

作者简介:张振海(1974—),男,北京理工大学机电学院副教授,博士生导师,主要从事特种军用 MEMS 芯片、超高冲击加速度传感器、极端恶劣环境试验测试与计量校准的基础理论、工程应用与产业化研究。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

业和社会环境下构思—设计—实现—运行(CDIO)系统方面的能力。覆盖了一个现代工程师应具有的科学和技术知识、能力和素质,并且将整个 CDIO 全过程能力逐条分列出来,有一份多达 40 多页的具体指导文件,使工程教育改革具有更加明确的方向性、系统性。它的 12 条标准对整个模式的实施和检验进行了系统的、全面的指引,使得工程教育改革具体化、可操作、可测量,并对学生和教师都具有重要指导意义。

OBE(Outcome-Based Education)是基于学习产出的教育模式,在 1997 年成为美国工程教育认证标准,在此后的发展中形成了完整的理论体系,被认为是追求卓越工程教育的正确方向,并在 2003 年得到《华盛顿协议》成员的一致认可,作为其框架要求,现已成为美国、英国、加拿大等国家教育改革的主流理念。OBE 关注五个核心问题:

- (a)“我们想让学生取得的学习成果是什么?”
- (b)“为什么要让学生取得这样的学习成果?”
- (c)“如何有效地帮助学生取得这些学习成果?”
- (d)“如何知道学生已经取得了这些学习成果?”
- (e)“如何持续改进教学效果,以保障学生有效地取得这些学习成果?”

由此可见,它的理念核心是“学生中心,产出导向,持续改进”。强调以学习成果的产出驱动整个教学体系,以学生为中心制定能力培养方案,首先要明确学习的成果,确立教学培养目标,以这个最终目标为起点,反向设计课程,开展教学活动。教学的出发点不是教师想要教什么,而是要达成最终学习成果需要什么。

目前,中国高等工程教育存在重理论轻实践、强调个人学术能力而忽视团队协作精神、重视知识学习而轻视开拓创新的能力培养等问题,同时,新工科建设要求尽快培养与国际接轨的中国工程师。在这巨大挑战面前,以 CDIO 理念为工科实验教学提供具体措施指导,同时以 OBE 理念指导教学体系建设,将两种先进有效的理念相结合,建立起 CDIO-OBE 新模式,最终以学习效果产出驱动整个 CDIO 实验教学建设^[9]。这种新模式将能够快速有效地推动工程实验课程改革。此外,我国在 2016 年成立了“CDIO 工程教育联盟”,并正式成为《华盛顿协议》的成员签约国,完全接受了 CDIO 和 OBE 两种先进理念,也标志着我国高等工程教育改革正式拉开序幕。

三、CDIO-OBE 军民两用智能环境感知实验教学

在新工科和军民融合背景下,借鉴国外先进工程教育理念,探索出 CDIO-OBE 工程教育新模式,以 OBE 为目标设计教学内容,以 CDIO 为手段设计实验教学,两者相辅相成、相互促进,对现有无人车智能环境感知平台进行改进,如图 1 所示无人车智能环境感知平台。



图 1 无人车智能环境感知平台

根据《华盛顿协议》体系中 OBE 毕业要求的 12 条准则,首先确定实验教学预期学习效果产出,建立学习效果产出与能力指标匹配矩阵,根据匹配矩阵反向设计教学内容,为了达到预期学习效果产出,使用 CDIO 指导教学内容设计,具体逻辑流程如图 2 所示。



图 2 CDIO-OBE 教学设计模式

(一) 实验教学预期学习产出目标

新工科建设要求借鉴国外先进教育理念,依托校企合作的“无人车智能环境感知实验平台”,根据《华盛顿协议》体系中的 OBE 准则,结合我国工程教育认证标准,分析当前时代需求,探索无人车智能环境感知人才所需素质,确定人才培养标准。制定如下实验教学预期学习产出目标。

1. 工程知识与技能:掌握数学基础知识(相似、仿射、射影变换、四元数、李群与李代数、非线性最优化)、图像处理知识(图像滤波、相机标定)、激光雷达基础知识、机器学习基础知识;掌握相机、雷达和组合惯导定位技能,基础 SLAM 定位和建图技能,车道和行人检测技能等。

2. 定位、建图和检测问题分析:运用数学、图像和机器学习等基础知识分析具体的实践问题,并对定位、建图和检测在自动驾驶开发过程中进行适当表述,并分析不同理论方法的优缺点。具备具体实践当中的技术问题分析、调试和应用开发能力。

3. 设计/开发解决方案:应用定位、建图和检测技术能力,能够设计针对不同环境下军民两用的具体问题的解决方案、理论方法选择和开发路线。

4. 复杂工程问题研究:针对当前技术存在的不足,自主学习最新理论知识,进行创新研究,积极动手实践,推动理论创新和技术创新,发展定位、建图和检测技术。

5. 使用现代工具:掌握 ROS、OpenCV、PCL 等代码编辑工具,掌握常用文献网站最新理论知识搜索方法,掌握 Github 源代码查询方法,以及相关著名实验室的网址和最新理论研究,并能够对世界前沿开源技术进行移植,使用自己的设备进行重新复现。

6. 工程与社会影响评价:理性看待当前智能感知技术在工程上的应用,正确评价智能感知技术对社会环境和国家军队建设的影响,杜绝违反道德和法律的技术研究,建立正确的职业道德观。

7. 工程实践与环境可持续发展理解评估:正确评估无人驾驶技术对军工技术、社会安全、生态环境和人类道德的影响,主动承担应有的责任,在技术开发中慎重考虑多种制约因素。

8. 职业规范:智能感知技术包含多种职业方向,如定位与导航,三维建模、目标检测以及动态目标跟踪与识别,以及个人兴趣爱好和技术能力,合理规划职业方向。

9. 个人和团队角色承担:智能感知技术虽然分工明确,但各项技术之间又紧密耦合,一般个人只承担其中一个角色,需要密切地分工合作,正确理解定位、建图和检测之间的耦合关系,积极承担个人职责,建立良好的团队协作精神。

10.沟通:团队合作需要密切且有效的沟通,智能感知技术需要经常沟通每个分工中的进度和问题,才能及时解决影响当前整个项目的首要问题,推动整个项目前进。

11.项目管理:掌握定位、建图和检测技术之间的关系,并掌握每项技术的开发难度,合理分配人力资源。

12.终身学习:经常阅读国际前沿技术论文,了解国家技术标准和政策,探索军民两用技术,提升个人能力水平。

(二)基于学习产出的实验课程体系优化

根据 12 条学习成果产出的目标,结合无人车智能感知技术和当前社会需求,将预期学习产出目标进一步具体明确为可量化的能力指标,以便进行教学内容设计。如表 1 所示的可量化的能力指标(部分)。

表 1 可量化能力指标(部分)

预期学习产出目标	能力指标
工程知识与技能	能掌握数学基础知识
	能掌握图像处理基础知识
	能掌握机器学习基本算法原理
	能进行相机内参标定实验
	能进行对激光雷达、组合惯导和相机位置联合标定实验
	能使用 Ceres 库编写基本曲线拟合代码
	能利用激光雷达开源代码开展 SLAM 定位和建图实践
	能利用相机开源代码开展 SLAM 定位和建图实践
	能利用相机+组合惯导开源代码开展 SLAM 定位与建图实践
	能编写结构化道路识别检测实践代码
	能编写非结构化道路识别检测实践代码
	能编写信号灯分类实践代码
	能编写交通标志检测代码
问题分析	能针对标定数据误差大、定位失败率高、建图不准确、检测识别率低等问题进行理论分析,选择适当的数学模型,调整参数,解决实际代码调试问题
设计/开发解决方案	能设计室内环境下高精度的定位与建图方案
	能设计室外环境下高精度的定位与建图方案
	能设计车道线、行人、车辆和交通标志综合检测方案
复杂工程问题研究	能对 ORB-SLAM 定位原理、DSO 定位原理、VINS 融合定位原理、BP 学习、CNN 学习、深度学习等进行正确的数学建模,分析实践结果,然后创新理论方法
使用现代工具	能够利用 ROS 获取相机、雷达和组合惯导数据,然后使用 Ceres、g2o、OpenCV、PCL 等代码库编写代码,利用 GitHub 上的开源代码快速学习
工程实践与环境和可持续发展理解评估	能正确理解无人驾驶技术未来发展和目前的局限性,以及对社会、环境和人类的影响
职业规范	能了解定位与导航、三维建模和目标检测等行业发展趋势及作用
个人和团队角色承担	能够清晰地团队表达个人承担的工作,与团队有效沟通,并能够向社会公众简单扼要地陈述行业对社会的影响;能具有良好的工作和编程习惯,具备国际视野,能与不同文化背景的同事开展合作
项目管理	能对市场需求进行分析和调研,编制项目计划书、项目总体方案,以及合理分配人力资源,推进项目实施,对整个项目全过程进行管理
终身学习	能始终阅读国际前沿论文和相关资料,保持知识的先进性

根据 OBE 预期学习成果产出目标,结合表 1 中具体的培养能力指标,反向设计无人车智能感知实验课程,使得所设计的实验课程能够实现具体能力培养目标,并根据布鲁姆教育目标分类法,确定每门实验课程对具体能力培养的掌握程度,建立预期能力培养程度与实验课程之间关系的匹配矩阵(如表 2 所示),实现对实验课程体系的优化。具体设置了基础理论应用实验、综合技能应用实验。从相机、雷达到多传感器融合等多层次的 SLAM 具体技术实验,从滤波、车道线识别到行人和车辆的动态识别检测技术实践,由简入繁,层层递进地学习无人车智能感知技术,构建了相互衔接的多角度、多层次的实验课程体系,支撑预期学习效果的产出,培养优秀的无人车智能感知技术人才。布鲁姆教育分类法将培养目标分为“识记”“理解”“运用”“分析”“评价”“创造”六个层次,将其分别用 L1、L2、L3、L4、L5、L6 表示,建立了无人车智能感知实验课与预期学习成果产出匹配矩阵。(见文末表 2)

(三)基于学习产出及教学内容设计

无人车智能感知实验课程主要用于培养实践应用能力、工具使用能力,其他培养目标还需要在实验教学课程上实现,根据表 1 和表 2 的匹配矩阵,追溯学习产出培养目标和具体能力指标,构建无人车智能感知教学课程目标,培养学生的定位和建图技术问题分析能力、SLAM 综合方案设计能力、目标检测能力,正确认识行业发展趋势和无人车智能感知技术对社会和环境的影响,如表 3 所示的《无人车智能感知实验》课程目标。

表 3 无人车智能感知实验课程目标

	课程目标	掌握程度
1	能深刻理解数学、图像和机器学习基础理论知识	L ₃
2	能分析相机标定原理数学模型,对标定结果进行评价	L ₅
3	能掌握 DSO、ORB 等视觉定位基本原理	L ₃
4	深刻理解相机、激光雷达和组合惯导数据处理方法,掌握 SLAM 基本数学模型,包括 DSO、ORB、VINS 等开源模型,解决实践问题	L ₃
5	深刻理解基于机器学习的目标检测方法,掌握聚类、CNN、TensorFlow 等知识和工具,对不同类型的目标检测,使用正确的方法	L ₃
6	理性地理解当前无人驾驶技术对社会和环境的影响,树立正确的职业道德观	L ₅
7	培养学生阅读文献习惯,提供行业文献资源网站和方法,锻炼利用新理论解决关键问题的能力,使其始终学习行业前沿知识	L ₅

(四)基于成果产出的 CDIO 教学

为了实现无人车智能感知实验教学的预期学习成果产出,以 CDIO 教育模式为指导,根据 OBE 具体的培养目标,将能力培养贯穿到整个实验过程中。根据 CDIO 教育理念,对实验课程具体设计了 4 个环节,分别为实验构思、自主设计、主动实施、

实践应用,对实验教学项目完整开展 CDIO 教学训练。实验构思是制定需求分析,实验任务计划书;自主设计主要是总体方案设计,包含硬件设计、软件设计、任务规划、软件测试计划等;主动实施是根据总体设计方案,按任务计划主动实践,高效执行,将方案转换为具体产品;实践应用是将制造好的产品在实际中运行,发现存在的设计缺陷,并测试产品的可靠性,反过来对方案进行修改,再实施、再运行,使得产品设计更加优秀,提高预期学习成果的产出。这种以预期学习成果产出为目标,驱动 CDIO 实验过程的教学模式,不仅能够将所学的知识以一个完整的项目串联起来,而且能够培养团队精神和对项目管理的能力。如图 3 所示基于 CDIO 无人车智能感知实验教学过程。

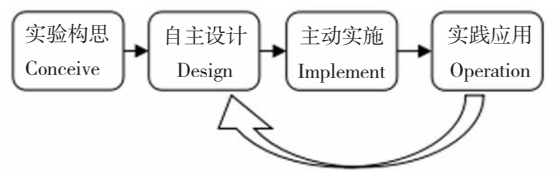


图 3 基于 CDIO 无人车智能感知实验教学过程
四、结语

新工科建设是双一流建设背景下对高等工程教育改革提出的新要求,是应对第四次工业革命形势下,国家对高等教育改革的战略任务。根据新工科建设指导思想,对无人车智能感知实验课程进行改革,融合军民两用的建设目标,以能力培养为主线,提高教学质量,培养具有军民两用工程实践能力和国际视野的工科新人才。在总结了 CDIO 和 OBE 国际先进的工程教育理念之后,探索出以 OBE 学习产出效果为目标,以

CDIO 理念为驱动力的 CDIO-OBE 新模式,对实验课程进行全新设计,培养具有国际竞争力的智能环境感知一流人才,为建设国际一流教育强国提供了重要支撑。

参考文献:

[1]教育部.教育部高等教育司关于开展“新工科”研究与实践的通知[R].2017-10-16, <https://www.zhihu.com/question/66723451>.

[2]“新工科”建设复旦共识[J].高等工程教育研究,2017(1):10-11.

[3]“新工科”建设行动路线(“天大行动”)[J].高等工程教育研究,2017(2):24-25.

[4]新工科建设指南(“北京指南”)[J].高等工程教育研究,2017(4):20-21.

[5]陈延敏,曾立.面向“工业 4.0”的国防科技工业军民融合动员初探[J].国防科技,2015(5):24.

[6]习近平.十九大报告[C],2015, <https://baike.baidu.com/item/军民融合发展战略/16924056>.

[7]刘会英,盖玉先,徐宁.探索适合我国国情的 CDIO 工程教育模式[J].实验室研究与探索,2011,30(7):106-110.

[8]赵玉玲,张兆江,张安兵,等.“互联网+测绘”背景下基于 OBE 理念的毕业设计教学研究[J].测绘通报,2018(11):148-150.

[9]李刚,秦昆,万幼川.新工科背景下遥感实验教学 CDIO-OBE 模式改革[J].测绘通报,2019(6):140-145.

◎编辑 马燕萍

表 2 无人车智能感知实验课与预期学习成果产出匹配矩阵

实验课程	知识与技能	问题分析	设计/开发解决方案	复杂工程问题研究	使用现代工具	工程实践、环境和可持续发展	职业规范	个人和团队角色承担	项目管理
相机内参标定实验	L ₄	L ₄	L ₃	L ₁	L ₄			L ₃	
激光雷达、组合惯导和相机位置联合标定实验	L ₃	L ₃	L ₃	L ₁	L ₄	L ₂		L ₃	
视觉里程计实验	L ₄	L ₃	L ₁	L ₁	L ₄			L ₃	
视觉 SLAM 实践	L ₄	L ₂	L ₁	L ₁	L ₄		L ₂	L ₃	
相机+组合惯导 SLAM 实践	L ₃	L ₁	L ₁	L ₁	L ₄		L ₂	L ₃	
激光雷达 SLAM 实践	L ₃	L ₂	L ₁	L ₁	L ₄		L ₂	L ₃	
手写卡尔曼滤波实践	L ₄	L ₃		L ₁					
结构化道路检测实践	L ₅	L ₃	L ₁	L ₁	L ₄				
非结构化道路检测实践	L ₄	L ₂	L ₁	L ₁	L ₄				
行人、车辆检测实践	L ₄	L ₂	L ₁	L ₁	L ₄		L ₂	L ₃	
交通标志识别检测实践	L ₄	L ₂	L ₁	L ₁	L ₄			L ₃	
信号灯分类实践	L ₄	L ₂	L ₁	L ₁	L ₄			L ₃	
开发环境与无人车联调实践	L ₃	L ₂	L ₁	L ₁	L ₄	L ₂	L ₂	L ₃	L ₁
循迹车上路实践	L ₃	L ₂	L ₁	L ₁	L ₄	L ₂	L ₂	L ₃	L ₁