

基于 CDIO+OBE 理念的嵌入式系统原理课程教学模式探索

陈海峰

广州软件学院 广东广州 510990

摘要: 嵌入式系统原理课程具有理论与实践并重的特点,传统的知识继承型教学模式存在重理论轻实践、创新动力不足、学业难度低等缺点,难以培养学生的创新实践能力和知识综合运用能力。基于此,本文融合 CDIO+OBE 教育理念,对嵌入式系统原理课程的教学架构和实施策略进行了优化与革新,并通过引入智能车项目,设计了以学生为中心的教学环节及多维度的评价体系。实践表明,基于 CDIO+OBE 教育理念的教学模式,不仅能有效提高学生的学习兴趣 and 参与度,强化学生的工程实践创新能力和团队协作能力,还能提高教师的教学水平。

关键词: 创新实践; CDIO+OBE; 教育理念; 评价体系

引言

随着社会与科技的发展,嵌入式系统技术已成为信息技术领域最为重要的一个分支^[1]。嵌入式系统是计算机技术及其相关科技发展的直接产物,其应用早已渗透到工业控制、智慧农业、汽车电子、医疗器械等各个领域,为人们的生活带了诸多便利^[2]。眼下,物联网、云计算、人工智能等信息产业正值风口,而嵌入式系统正是这些产业应用的核心部分,因此,这势必会迎来市场对嵌入式技术人员的更大需求。为了迎合这种需求,目前几乎所有高校都开设了嵌入式系统相关课程,但嵌入式系统具有专业涉及面广、综合性强等特点,且“软硬兼施、理实结合”,与具体工程应用联系紧密,对学习者的计算机知识和程序设计能力也有较高要求,因此,嵌入式课程一直被认为是入门门槛较高的课程。

嵌入式系统原理是我校电子类专业群的一门重要专业核心必修课程。为了更好地培养能够满足企业需求的嵌入式技术人才,自开课以来,课程组就紧跟嵌入式技术发展的步伐对该课程进行了持续的改革和建设,并逐步形成了“面向工程、宽基础、强能力、重应用”的教学理念,以及“项目训练、创新创业、科技竞赛”与课程共生共长的教学模式。尽管先前的教学改革取得了一定的成效,但嵌入式系统自身内容多、知识杂、综合性强、工程应用联系紧密的特点依旧是导致学生实践创新能力不足主要原因。为了更好的开展教学活动,扎实学生的理论知识,强化学生的实战能力,培养学生的工程思维,有必要进一步探索更为先进的教学

理念和模式,对嵌入式系统原理课程的教学内容、教学方法、评价体系等进行多方面的优化和革新。

1 课程教学现状分析

嵌入式系统原理是一门讲授嵌入式微控制器体系结构、接口设计、片内外设工作原理、程序设计及调试方法的一门课程。目前,该课程在实际的教学中还存在如下问题:

(1) 课程讲授方面

嵌入式系统原理的理论与实践结合紧密。在教学实施过程中,受教学环境限制,大多数院校的理论教学与实践教学在时间和空间上都是割裂开的,这就导致理论内容很难及时在嵌入式开发平台上得到验证或应用。理论授课通常采用单一的知识灌输方式,这种方法难以有效地激发学生的学习兴趣,使得课堂气氛显得沉闷,学生学习效率低;而实践授课则多采用效果演示的方法,教师基于理论课程设计简单实验,主要针对理论知识进行验证或简单应用,缺乏创新性、趣味性及知识的综合应用性。加之部分学生因为理论知识遗忘而消极应付实验,最终导致课程的授课效果不佳。此外,嵌入式系统原理通常为电子及计算机专业的平台课程,因此实验室排课密集,鲜有闲暇开放时间,学生又较少主动购置嵌入式开发平台,使得学生缺乏实践创新的机会,导致学生实践创新能力不足,理论与实践难以结合。

(2) 课程学习方面

嵌入式系统的软件与硬件并重。硬件是基础,要求学生要具备扎实的数字 / 模拟电子技术知识和良好的电路分析

能力,能看懂原理图,能分析芯片内部结构及工作原理;软件是灵魂,要求学生能正确配置开发环境,熟悉嵌入式开发语言和常用开发工具,能根据所学理论知识编写具体硬件平台对应的驱动程序和应用程序,并能根据硬件实际的动作情况分析软件逻辑及算法的正确性。因此,仅依靠课堂上教师的理论讲授及实操演示来完成嵌入式的学习是远远不够的,这就要求学生除了要认真学习消化课堂内容外,还要在课余时间借助教师提供的学习资源和网络资源进行知识的深化和扩展。此外,学生还应依托相应的嵌入式开发平台,通过大量的实践操作来领会知识的应用方法,做到多实践、多思考、多总结,如此才能逐渐具备良好的软件设计思维和创新应用能力。

(3) 课程内容方面

嵌入式类课程的知识相对琐碎,在进行讲授时对具体的硬件平台有较大的依赖,这也导致尽管各大高校均开设有嵌入式相关课程,但内容上却存在较大差异的现象。此外,嵌入式微控制器或微处理器的芯片更新迭代速度快、种类繁多,芯片不同,则其采用的体系结构和芯片内部资源也会不尽相同。对于确定的微控制器而言,其内部各种外设资源之间的联系相对松散,知识点相对孤立,授课时难以有效地将各个外设的知识有机地串联起来,从而导致部分学生一边学习新知识,一边遗忘旧知识。

总之,嵌入式系统的特点决定了嵌入式的学习必定是一个长时间、持续性的过程,需要学习者不断的实践探索才能领会嵌入式的开发技巧,并强化其理论知识。教师应结合嵌入式系统特点,从教学大纲和教学要求入手,积极采用先进教学理念对教学架构及实施策略进行优化和革新,切实提高学生的学习兴趣,培养其工程实践能力和创新应用能力。

2 OBE 与 CDIO 教育理念

工程是人类探索世界的伟大实践,工程与科技的结合为人类文明的进步提供了无尽的动力支撑。伴随着全球科技创新节奏的加速,市场对新时代杰出工程师的需求变得愈发迫切。工程教育肩负着培养高素质工程技术人才的重任,其致力于提升学生的综合素质,培养其创造力和创新意识。积极探索先进的工程教育理念对课程的教学模式进行改革,对于培养适合国家经济发展的应用型工程技术人才具有深远的意义。

CDIO 是麻省理工学院等高等院校创立的一种工程教育理念,该理念的核心在于将产品构思 (Conceive)、设计 (Design)、实施 (Implement) 和运作 (Operate) 的四个阶段以循环递进的方式贯穿于整个教育过程,以产品从生产到运作的整个生命周期为载体,使学生以主动的、实践的、课程之间有机联系的方式进行学习。CDIO 教育理念强调理论教育与实践教育的结合,注重学生实践创新能力、团队协作精神及工程系统思维的培养,能较大幅度地提高学生的社会职业素养和竞争力^[3-7]。此外,CDIO 教育理念还系统地提出了 12 条具有可操作性的能力培养、全面实施及检验检测标准,能为工程教育改革的实施过程提供明确的指引。CDIO 教育理念体现了系统性、科学性和先进性的统一,代表着当代工程教育的发展趋势^[8]。

OBE (Outcome-based Education) 是一种以学生为中心,以学习结果为导向,致力于培养学生综合素质和能力的教育理念,其以学生未来应达到的学习成果、结果、效果或产出为出发点,剖析他们需要学习的知识以及要掌握的技能,然后运用逆向思维方式对课程内容和实施策略予以设计^[9-10]。相较于传统教育理念,OBE 更注重学生工程实践能力和创新应用能力的培养,激励学生参与实际工程项目,通过解决真实问题来达到提升技能和积累经验的目的^[11]。

对比两种教育理念,OBE 理念注重学习最终结果的达成和评价,其通过教学产出效果驱动,实现教学目标、内容及方法的反向设计;而 CDIO 理念则注重细化教学过程的正向实施,但相对缺乏对实施结果的评估和持续改善的思维。将 OBE 理念的成果导向与 CDIO 理念的过程实施进行有机融合,通过学习达成度来评估并优化课程实施过程,可以构成一个闭环式的课程设计体系 [12-14]。

3 改革实施方案

3.1 明确课程目标与定位

OBE 理念以学生的学习产出为导向,强调经过阶段性学习提升学生的知识应用能力和创新实践能力,致力于培养适应社会发展需求的高素质复合型人才^[15]。为了在嵌入式系统原理课程的教学改革中全面贯彻 OBE 教育理念,必须准确定位课程的教学目标,并从知识、能力和素质三个层面明确对毕业要求指标点的支撑关系。基于学院应用型人才培养的定位及嵌入式系统原理在课程体系中的作用,本课程的教学目标设定为:培养学生具备嵌入式系统的分

析与应用能力，并为嵌入式系统的开发工作奠定坚实的基础。课程目标如表 1 所示。课程目标对毕业要求指标点的支撑关系如表 2 所示。

表 1 嵌入式系统原理课程目标

序号	目标层面	目标内涵
1	知识目标	了解嵌入式系统发展历程；理解嵌入式系统理论理论基础及嵌入式处理器工作原理；熟悉 ARM Cortex-M4 内核架构、常用指令及 ARM 汇编和 C 语言编程，掌握嵌入式系统开发的基本流程和方法。
2	能力目标	能够读懂硬件原理图及芯片数据手册，具备分析外设结构框架及具体电路工作原理的能力；掌握 ARM 常见接口电路的设计方法及常用软硬件开发工具，初步具有根据工程项目要求独立或协作团队进行产品升级改造和开发的能力。
3	素质目标	激发学生的创新精神和工程伦理意识，构建坚实的工程思维，强化对社会主义核心价值观的理解与认同，树立科技报国的理想信念，培养高尚的职业素养和道德情操。

表 2 课程目标对毕业要求指标点的支撑关系

序号	目标层面	毕业要求	具体指标点
1	知识目标	1. 工程知识 2. 问题分析 10. 沟通	1.1 能利用嵌入式系统原理知识表述电子信息技术相关领域的复杂工程问题； 2.1 能利用嵌入式系统原理知识正确定义、表述电子信息系统问题，并能识别出其关键环节； 10.1 能够就本专业领域的复杂工程问题进行清晰的书面和口头表达，并能与同行和社会公众进行有效沟通和交流；
2	能力目标	2. 问题分析 3. 设计 / 开发解决方案 5. 使用现代工具 9. 个人和团队 12. 终身学习	2.3 能够识别电子信息技术领域复杂工程问题中的关键环境和参数，并具备利用专业知识进行有效分解的能力。 3.2 能够针对复杂电子信息系统的特定要求，独立完成相关模块内容设计，并在设计和实现中体现创新意识。 5.2 能恰当使用计算机软硬件技术、算法仿真等工具，完成电子信息领域复杂工程问题的仿真与模拟，能理解其局限性。 9.1 能够认识到合作的重要性，主动与其他学科的成员合作共事，明白自己在多学科团队中的责任和任务，独立完成团队分配的工作； 9.2 能够理解一个多角色团队中每个角色的含义，听取其他成员的意见，组织团队成员开展工作，协作完成团队任务。 12.1 能认识不断探索和学习的必要性，具有自主学习和终身学习的意识，具有终身学习的知识基础，掌握自主学习的方法，了解拓展知识和能力的途径；
3	素质目标	6. 工程与社会 7. 环境和可持续发展 8. 职业规范	6.3 能够分析和客观评价复杂工程项目的实施过程对社会、健康、安全以及文化的影响，理解就承担的责任。 7.1 知晓和理解环境保护和可持续发展的理念和内涵。 8.1 具有正确的价值观与社会责任，理解个人与社会的关系，了解中国国情； 8.2: 能够在电子信息工程项目实践中理解并遵守工程职业道德和规范，具有法律意识，并能在工程实践中自觉遵守。

3.2 课程教学设计

嵌入式系统原理的教学强调理论与实践的结合，尤其重视实践应用能力的培养。然而，传统的教学过程往往侧重单一知识点的讲解，难以有效地培养学生的实践创新能力和知识的综合运用能力。基于 CDIO+OBE 理念的课程设计，则更加注重学生实践应用能力的培养^[6]。因此，可依据这一理念设计完整的项目案例，并将项目开发过程融入到实际的教学之中，一方面让学生真切体会到知识的实际应用价值，激发其学知识做项目的欲望；另一方面有效拆解项目知识点，并根据教学要求将其合理分配到各个教学环节中，不仅让学生感受到知识的用法，还帮助其掌握使用原理。基于 CDIO+OBE 教育理念，采用“项目驱动型”教学方法，能有效地将嵌入式琐碎的知识点有机地串联起来，切实提高学生的实践创新能力。

智能车比赛是大多数高校电子与计算机类专业常规的嵌入式赛事，因此，可以将智能车项目作为嵌入式系统原理教学的理想案例。通过把智能车项目融入到教学中，不仅能将抽象的知识具象化，帮助学生更好地理解和掌握嵌入式知识点，还能为所有学生进行智能车的赛前培训，从

而一定程度上增加智能车参赛队伍的数量和提高比赛的整体质量。针对嵌入式系统原理课程的教学所开发的智能车实物如图 1 所示。

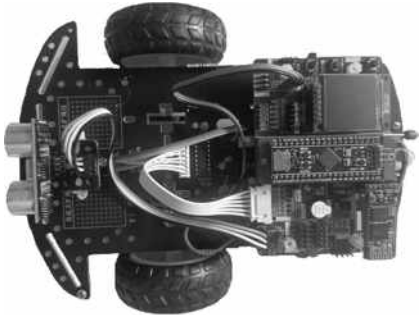


图 1 用于嵌入式系统原理课程教学活动的智能车实物

采用 CDIO 教学模式，以智能车项目为载体重构教学内容，并将教学过程细分为项目的构思、设计、实施和运作四个阶段。为了清晰地界定各阶段的教学内容，并有效地评估阶段成果，应首先依据 OBE 教育理念设定各阶段的具体教学目标，然后反向设计教学内容，确保教学内容即能满足各阶段的教学需求，又能保证阶段间知识的连贯性和递进性。同时，在制定各阶段的目标达成度要求和评价标准时，应充分考虑学生的个体差异，使评价体系具有层次性，

确保公平合理。基于 CDIO+OBE 教学理念，重构后的嵌入式系统原理课程内容如图 2 所示。

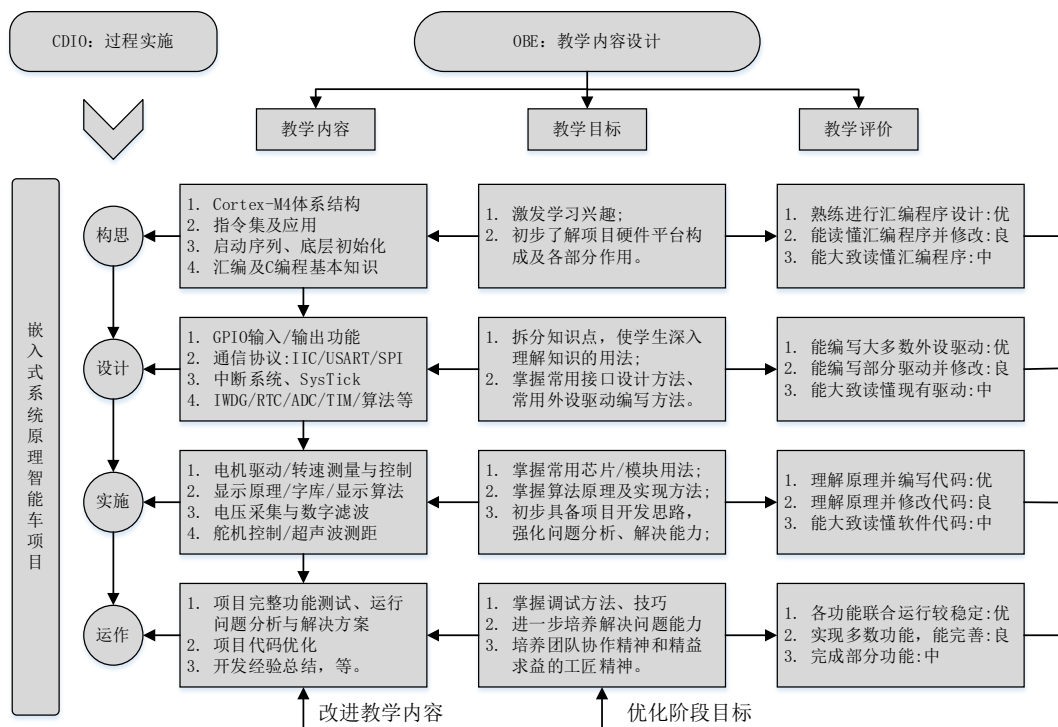


图 2 嵌入式系统原理课程教学内容重构图

在教学过程中，教师应遵从项目构思、设计、实施及运作的 CDIO 工程理念，以学生为中心，注重学生的团队协作精神、工程实践能力及创新应用能力的培养。基于 CDIO 模式，嵌入式系统原理课程的具体实施过程如下：

(1) 项目构思

该阶段通过播放往届的智能车比赛视频，引导学生对智能车功能及相关知识的思考，从而引出控制器、传感器、电机驱动、速度控制及算法等内容，让学生从宏观上理解智能车项目的硬件及软件构成，激发学习兴趣，建立学好嵌入式的信心。此外，根据图 1 中的智能车，引出控制器相关知识，展开对 Cortex-M4 体系结构、指令集及汇编程序设计等相关内容的讲解，并通过编写控制器启动代码和控制核心板 LED 闪烁，向学生展示汇编指令的用法。最后，学生根据所学习的汇编知识，结合 LED 闪烁的例程代码，完成对板载独立按键的检测及蜂鸣器的控制，教师根据学生的完成情况对学生的完成做出评价，同时评估教学效果。

(2) 项目设计

该阶段涉及控制器常用片内外设知识，旨在让学生

掌握 Cortex-M4 内核微控制器的用法。图 1 中智能车采用 STM32F411 微控制器。教学中，根据智能车的控制需求，深入讲解 Cortex-M4 中断系统、SysTick、GPIO、IIC、USART、SPI、独立看门狗 IWDG、RTC、ADC 及通用定时器等知识，并结合智能车项目说明各模块相关知识的应用，如：通过 GPIO 实现小车运行状态的指示、运行命令的发布；通过 SysTick 实现 LED 闪烁周期的控制；通过 IIC 实现小车配置信息的存储；通过 USART 实现程序的简单调试；通过 SPI 驱动 IPS 屏幕的显示；通过通用定时器实现小车转速的控制等。该阶段主要完成小车各功能模块的设计和驱动程序的设计。学生根据所学知识完成各功能模块驱动程序的编写，并结合智能车板载资源编写相应的测试程序，确保各功能模块的代码逻辑正确，教师根据学生对各功能模块的具体完成情况，逐项进行评价，同时评估教学效果。

(3) 项目实施

该阶段主要涉及车体驱动芯片、传感器、电源模块等内容，并通过整合项目设计阶段完成的各子模块驱动程序，实现小车的整体控制功能。如：通过整合 GPIO 和定时器

PWM 功能,实现智能车左右轮电机的驱动、转速及转向的控制;通过整合外部中断和通用定时器定时功能,实现电机转速、小车速度的获取;通过 IPS 屏幕驱动和显示算法,实现电机转速、小车速度、电池电压等信息的显示;通过串口功能和蓝牙模块,实现小车的手机端控制及小车状态信息的上报。该阶段,学生可通过团队协作,充分发挥创新精神,结合智能车平台提供的资源,完成具有特定功能的小车系统。如:实现具有智能避障功能的小车;实现能够利用手机端控制的小车,等。教师根据团队或个人完成的小车功能,采用答辩的方式对学生进行综合评价。

(4) 运作阶段

该阶段,教师应协助学生,根据小车的实际运作情况,分析软件中存在的不足,并鼓励学生借助调试工具分析软件中存在的逻辑问题,并积极思考解决方案。此外,教师也可针对小车现有功能,提出功能升级要求,并积极鼓励学生软件代码进行优化和升级迭代,培养学生精益求精的工匠精神。此外,教师也应鼓励学生,及时总结项目知识点和开发经验、固化学习成果。

除了围绕智能车项目开展教学活动外,教师还应基于智慧树等在线平台,为学生提供课下学习素材,如:布置在线练习题,结合教学内容和项目问题录制视频等。此外,还应利用当下流行的社交软件搭建线上交流平台,如:用于智能车技术交流的 QQ 群,以智能车为话题进行嵌入式相关知识的交流、学习。嵌入式教师在群中引导或解惑嵌入式相关知识,并通过关注群的活跃度来判断学生的嵌入式学习情况。通过将所有学生置于同一群中,可以让群中学生均感受到被关注,从而形成霍桑效应,有助于提高学生的学习效率。

在学生评价方面,除了对学生的课堂表现、作业、练习题及项目完成情况做出评价外,还将学生在交流群中的活跃等级纳入评价体系,一方面有利于营造活跃的嵌入式学习氛围,另一方面能全面了解学生的学习情况,对各学生做出更合理的综合性评价。同时,也有助于教师发现优质学生,为引导学生参加科技竞赛储备人才。

4 实施效果

教学实践证明,融合了 CDIO+OBE 教育理念的教学模式,不仅能够显著激发学生的学习兴趣,增强其自信心,还能大幅提升学生的自主性学习能力和实践创新能力,培

养其勇于面对挑战、追求卓越的精神,使学生不仅敢于想象和行动,更能利用所学知识实现目标。此外,通过将学生在 QQ 群中的活跃度纳入评价体系,不仅有助于培养学生独立思考与自我表达能力,还有效地拉近了师生之间的距离,促进了师生情感交流。

5 结论

文章基于 CDIO+OBE 教育理念,对嵌入式系统原理课程进行了改革探索,通过引入智能车项目,重新构建了以学生为中心的教学内容,有效激发了学生的学习兴趣和在动力。围绕智能车项目开展的教学活动,不仅能够将嵌入式琐碎的知识点有机地串联起来,还能有效提升学生的工程实践能力、创新能力、团队协作能力及知识综合能力。此外,课程设计了多维度的评价体系,能够对学生的学业表现及改革成效进行合理评估,从而推动课程内容和教学方法的持续优化和改进。

参考文献:

- [1] 余福源,李荣青,王宜结.基于 OBE 理念的“嵌入式系统设计”课程教学改革研究[J].工业控制计算机,2022,35(9):155-156.
- [2] 徐东辉,钟玉珠,李耐根,等.基于 VR+CDIO 模式的嵌入式系统课程的教学改革研究[J].南昌师范学院学报,2024,45(02):111-115.
- [3] 林利茹,工伟.基于 CDIO 理念的工业机器人实训教学改革与产学研结合研究[J].中国机械,2024(17):111-114.
- [4] 邱美艳,辛志锋,段婷婷.基于 CDIO 理念的电子产品设计课程的改革与实践[J].实验室科学,2024(02):149-153+159.
- [5] 常德显,孙佳佳,朱远芳.融合 OBE-CDIO 理念的实践课程考核模式探索[J].计算机教育,2024(07):98-102.
- [6] 康海军.“互联网+CDIO”模式下应用型高校创新创业教育的探索与实践[J].福建轻纺,2024(05):77-80.
- [7] 肖明尧.基于 CDIO 的混合式教学模式在计算机课程中的应用[J].长春师范大学学报,2024,43(06):168-173.
- [8] 陈小民.基于“两性一度”的高等数学教学改革与实践[J].高等数学研究,2024,27(03):82-86.
- [9] 陈志祥,鄢丽丽.基于 CDIO-OBE 理念的“生产与运作管理”课程教学新模式新方法探索[J].黑龙江教育(理论与实践),2024(08):71-75.

[10] 郭艺辉, 钟雪灵, 侯昉. 产业转型背景下金融计算机实践教学体系改革 [J]. 计算机教育, 2024(5): 59-63.

[11] 迟耀丹, 杨佳, 王超. “新工科”背景下电气类专业学生“解决复杂工程问题”能力培养途径 [J]. 邢台职业技术学院学报, 2024, 41(03): 18-21+62.

[12] 王海军, 金涛, 张晓娇, 等. 基于 OBE-CDIO 理念的 Python 语言程序设计课程教学探索 [J]. 计算机教育, 2024(09): 127-132.

[13] 孟超, 王攀, 孙知信. 基于 OBE-CDIO 理论的计算机专业创新实践培养模式探索 [J]. 计算机教育, 2023(5): 188-193.

[14] 陈曦, 于金鹏. 基于 OBE-CDIO 理念的“数字电子

技术”实验教学设计 [J]. 电气电子教学学报, 2023(1): 200-203.

[15] 金琦淳, 张延丽. OBE-CDIO 工程教育模式下单片机与嵌入式系统综合课程设计的教学改革 [J]. 南通职业大学学报, 2021, 35(02): 57-61.

[16] 漆世锴, 梁琳琳, 曹晖, 等. 产教协同育人背景下基于 OBE-CDIO 理念的实践教学模式研究: 以专业综合技能实训课程为例 [J]. 高教学报, 2023, 9(22): 122-125.

作者简介:

陈海峰 (1985—), 男, 汉, 河南洛阳, 硕士, 广州软件学院, 讲师, 嵌入式开发及应用。

基金项目:

广州软件学院教学研究与改革项目 JYJG202402。