

基于课程链的新工科单片机课程改革研究

姜阔胜, 鞠明君, 胡坤

(安徽理工大学 机械工程学院, 安徽 淮南 232001)

[摘要]新工科提出的主要原因是我国传统工程教育培养出的工程人才与当前社会经济发展新需求不相适应, 迫切需要通过工程教育转型升级来培养新型工程人才, 为我国从工程教育大国向工程教育强国转变提供支撑。为此, 该文提出基于课程链的新工科单片机原理及应用课程改革。通过统筹课程链前端和后端的课程体系, 设计出更符合社会企业要求的培养方案。研究表明, 明确创新课程教学内容与教学手段, 增加多维度的实践训练; 加强校企合作, 促进创新协同培养模式的形成, 推动课程教学的改革创新与发展, 以适应新工科教育的发展思路与总体目标。

[关键词]新工科; 课程链; 核心课程; 单片机原理及应用

doi: 10. 3969/j. issn. 1673-9477. 2024. 02. 015

[中图分类号] G642

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-9477(2024)02-0109-07

新工科是基于互联网、工业智能技术基础, 对工程技术人才培养体系予以优化的专业^[1-2]。各种新兴工科专业, 如大数据、人工智能、空天技术、区块链、云计算和虚拟现实, 以及机器人、智能建造、智能制造、智能医学等新技术领域, 正推动传统工科专业的转型升级。近年来, “互联网+”推动了新经济的繁荣发展, 对工程人才的要求日益提高, 使得高校工程教育的改革已经迫在眉睫。^[3-5]新工科建设背景下, 高校单片机课程应着力于提高教学质量, 通过课程改革, 实现理论知识教学与新工科专业教育的紧密关联。本研究通过发挥新工科理念的指导作用, 以单片机原理及应用教育改革推动工科人才培养质量的提升。

一、新工科指导下的单片机课程发展现状与挑战

首先, 单片机应用型人才需要德智体美劳全面发展, 同时还要具备单片机的实用技术基础和微型计算机系统开发能力。目前, 单片机原理及应用课程存在严重落后于新时代、新工科创新教学理念的发展趋势的问题: 单片机课程主要以理论教学为主, 但理论教学内容落后, 教学用书的出版时间甚至停留在5—10年前; 学生对于新时代单片机发展的新趋势缺乏了解, 对单片机新技术所能达到的上限缺乏认知; 理论内容的宽度和深度把握不明确; 学生学习兴趣一般, 教学成果寥寥无几。^[6]

其次, 单片机课程作为新工科专业的核心课程之一, 是大多数高校仪器类专业的核心专业课程。然而, 传统的单片机教学方式主要集中在课堂讲授和课后习题, 难以激发学生的主动性和创造性, 也较难提升学生的综合实践能力。现行单片机原理及应用课程存在实践性教学缺乏、题目设计单一和设备老化问题。课程缺乏足够综合性和实践性的问题, 表现为多数题目为验证性的, 缺乏设计性和挑战性, 无法激发学生的创造力和探索欲望。^[7-8]

再次, 教师的责任在于塑造学生的品格, 同时也需要自身成为典范。为了适应新时代、新工科的需求, 重点解决考核不充分、不全面的问题, 正向提升教学质量, 课程建设必须重视教师团队的建设。现行课程考核通常使用闭卷笔试的方式, 要求学生记忆指令和编写简单程序, 无法完全呈现单片机课程所强调的实践性和应用性特质。这类考核只要求学生死记硬背, 而无法让其真正理解和应用所学知识。因为考核方式的问题直接影响着课程的实效性和学生的成长, 所以, 单片机课程需要全面改革。^[9]

本文的重点是探讨在新工科背景下单片机教学中所存在的问题, 并且基于工程认证, 深入学习复旦共识、天大行动和北京指南的新工科建设“三部曲”, 提出了课堂教学与课外作业相结合, 课内实验与课程设计相契合等多个教学环节的改革创新, 打造出一个“三位一体”的课程教学体系。^[10]在新工科的背

[投稿日期] 2023-11-29

[基金项目] 教育部协同育人项目(编号: 202102504030); 首批国家级一流本科课程(编号: 传感技术 409)

[作者简介] 姜阔胜(1983-), 男, 山东威海人, 博士, 副教授, 研究方向: 智能仪器与虚拟仪器设计、机械设备状态监测与故障诊断分析等。

景下,单片机原理及应用教学应该以一个全新的面貌出现在每一位学生面前。为此,需要确立清晰的教学目标,破除教学内容障碍,创新单片机教学方法,重塑考核评价体系以及建设卓越的师资队伍。这些行动的目标是提升学生的工程实践技能,使他们在其他实践性工程课程中构建稳固的学习基础。这将促进高校单片机教学的建设与教育改革发展,提高单片机原理与应用课程的教学效果并提升新工科人才培养的质量。

二、明确课程培养目标,设计统筹课程链

新工科建设“三部曲”要求深入系统地开展新工科研究和实践,在教学理论上创新、在实践中推进和落实,因此应针对教学理念创新和培养方案的缺陷,

设计总揽课程链前端和后端的培养方案。

课程链的前端培养方案培养学生的创新能力、职业素养和社会责任感,以及扎实的测量、控制等专业基础知识和艰苦奋斗精神。为培养符合相关工作需求的高素质专业人才,应设计培养学生掌握多种单片机课程基础知识,如计算机思维导论、C 语言程序设计、C 语言程序设计上机实践、电路、模拟电子技术、数字电子技术、微机原理及接口技术、测试信号分析与处理、检测技术、传感技术等课程。这些知识将在设计、制造、技术开发、应用、质量检测、过程监测和运营管理等国防科技领域和国民经济各个部门中发挥作用。此外,参加单片机课程实践有助于学生提升团队协作能力、单片机硬件资源编程和嵌入式系统设计能力^[11]。

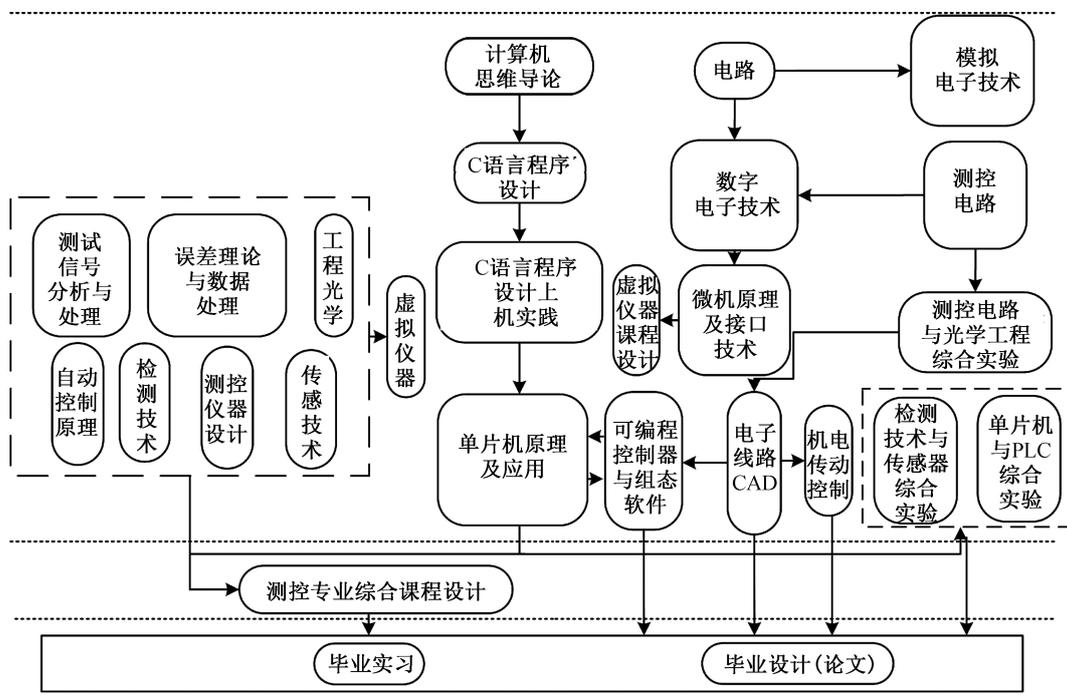


图1 统筹课程链的课程逻辑关系图

在新工科要求“问国际前沿立标准,增强工程教育国际竞争力”的背景下,针对创新教学与国家新兴发展战略不匹配的缺陷,单片机课程链的后端设计应围绕仪器科学与技术领域的国际发展前沿,以及党的二十大报告指出的战略性新兴产业的高端智能仪器装备需求,致力于培养德智体美劳全面的杰出人才,努力造就能够满足社会发展需要的高质量人才,培养学生具备从事科学研究和技术管理工作所需的能力。课程链的后端以课程学习、创新能力培养和学位论文相结合的方式培养学生,注重培养学生的专业素养和创新潜能。课程链的后端设计包含以下课程:可编程控制器与组态软件、电子线路

CAD、机电传动控制、单片机与PLC综合实验、测控专业综合课程设计等课程。其中,单片机原理及应用是最核心的课程^[12],“统筹课程链的课程逻辑关系图”如图1所示。上述课程要求学生在学习过程中掌握相关的基础理论,具备单片机引脚设计能力和程序语言的编写能力。此外,单片机课程链还包括实践学习,以及课程的一个综合项目实践。这些内容将按照循序渐进的方式进行合理安排,还会结合Android应用进行单片机开发比赛,^[6]其强调专业实践活动的重要性,避免因为反复学习理论知识而将单片机课程学习限制在课堂内。课程设计实验、学科竞赛、科研项目和毕业设计等环节,有助于学生

深入理解课程内容,同时激发他们的学习热情和创新思维,也使本课程的实践教学能够更好地发展,从而全面提高学生的思维、动手和创新能力。^[13-14]此外,还可以通过参加竞赛、申请国家基金项目,以及毕业设计中的硬件系统设计进一步改善实践教学环境,提供更多实践机会,让学生在实践中持续探索和创新,获得学以致用成就感。

三、明确课程链设计,实现课程实践与学习有机融合

为了更好地满足新工科支撑服务创新驱动发展的需求,学校充分利用资源更换陈旧设备使用先进设备使之与当前飞速发展的计算机控制技术相适应,满足当今工业发展的需求,培养应用型人才的实践和创新能力。在单片机教学中应用新的教学模式,即学生在实践中学习,在学习中实践;更新教学内容,设计更有挑战性的题目;更新设备,保持与技术发展同步,以提高课程的教学质量和实用性。这种模式融合了单片机课程的教学内容和企业的实际项目需求,为学生创造了丰富的实践机会,能够激发学生的创造力和实践能力,从而更好地培养满足新工科专业需求的人才。

(一) 校企教研合作模式的设计

教育部 2017 年在天津大学召开的新工科建设研讨会中明确提出,高校要探索建立工科发展新范式,“问产业需求”建专业,构建工科专业新结构。^[15]而校企合作教学模式就是为了满足企业对于具备创

新实践能力的产业人才需求而提出的。^[16]针对此前单片机课程缺乏课程实践性教学的劣势,引入校企合作,为学生提供更多企业级的实践操作机会。根据《单片机应用技术教学大纲》和要求,设计课程的教学内容。如果学校的教学内容与市场和企业对单片机的需求匹配,那么企业和市场的单片机项目就可以为学校课程的单片机实践提供实际操作的平台,项目的难度与教学内容的匹配度需要有经验的教学团队进行深入了解,体现了新工科指导理念的“问内外资源创条件,打造工程教育开放融合新生态”。同时,在“问产业需求”的指导下,从用人单位的角度出发,设计新的教学模式强调培养学生的工程实践和创新能力,以全面提高他们在理论与实践、科学与技术、专业与职业等方面的素质。^[17]在单片机课程教学中,校企合作模式展示了其独特的特点,填补了传统教学的不足,有利于学生建立坚实的专业知识基础,形成优秀的专业素养,并增强实践创新的能力。

如图 2“学校与企业协同的教育和项目研究模式”具体包括四个方面:首先,依据教学大纲和规定制定符合规范的教学内容,并根据项目需求挑选适宜的项目;其次,对课程和项目进行评估审核,包括技术可行性、问题解决方法、知识点等方面的考虑;再次,将课堂教学和实践活动与项目开发和设计相结合,使得两者能够互相促进;最后,对项目 and 教学进行考核和评价,确保所完成的工作达到预期目标并具有可操作性。通过这种教研合作模式,学生能够更好地掌握单片机的应用技术,发展实践创新能力,提高对专业知识的理解和应用能力。

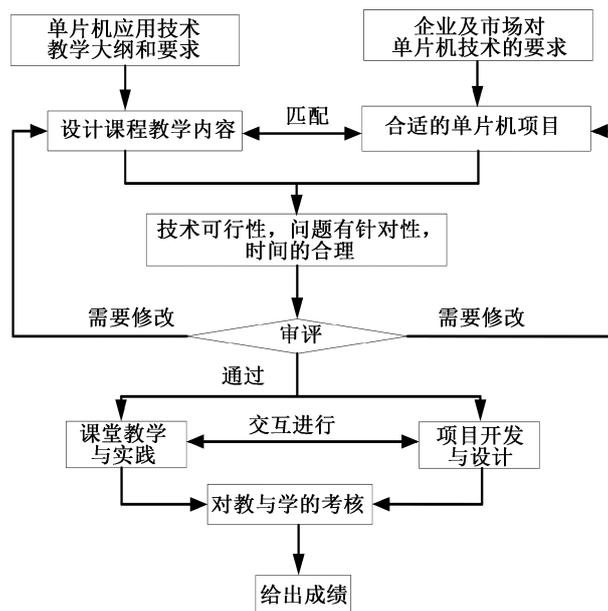


图 2 学校与企业协同的教育和项目研究模式

(二) 单片机应用教学的改革

“问学生志趣变方法,创新工程教育方式与手段”。^[15]在单片机的理论教学中,本课题组倡导以优化问题为导向的教学方法。具体做法如下:在理论教学前,以课前提出的问题为引导,鼓励学生在课前、课后进行自主学习;^[18]在教学中,专注于提升学生的参与度,采用一种融合了课堂讨论和讲授的教学方法,即使时间有限,也能够全面涵盖各个知识点。这样做不但能够激励学生主动学习,也能逐渐提高学生的问题意识和解决能力。在实验教学方面,特别关注案例驱动的方法,将优秀的毕业设计和项目竞赛案例融入实验中,旨在激发学生的学习兴趣。同时,会根据学生的实践能力和软硬件问题的解决能力的差异,对班级进行合理的分组。那些实践能力较其他略有逊色的同学,将在指导教师的帮助下,一对一进行架构设计和任务分解,并被合理分配组成团队。而对于那些学有余力的同学,特别是对嵌入式开发有基础的同学,会被分配更具挑战性的系统设计任务,并由指导教师引导其设计思路、开发流程和实践方法。通过分组讨论、自主学习及教师的引导,学生们能够完成完整的单片机作品开发。这样的教学方式不仅促使了学生全面发展,而且促进了团队合作与创新能力的培养。

这些创新的教学方法能够极大地增强学生对单片机开发的兴趣和主动性,有助于提升学生的实践能力和问题分析解决能力。这种教学模式下,学生能够更全面地理解理论知识,更深入地探索与应用于实践中,为将来的工作和挑战作好充分准备。

四、优化教学模式,强化教师培训与革新考核方式

教师的素质决定了改革的质量。教师应该具有深厚的理论功底、优秀的应变能力和丰富的专业素养。闭卷笔试无法全面评估学生的实际动手能力、创新思维和解决问题的实际能力,这种评估方式不仅不能激发学生的学习积极性,也无法适应当前培养创新人才、提高学生综合素质的教育改革的趋势。当前的考核方式直接影响培养出来的学生素质。因此,改革教学模式让教学直接反映教育目标和培养目标。

(一) 提升教师水平,推进教学质量

“问学校主体推改革,探索新工科自主发展、自我激励机制。”^[15]近年来,安徽理工大学机械工程学院积极引进高级职称和博士学位的人才,实现了

老、中、青三代教师的有机结合。学院鼓励跨年段的教师相互学习,各取所长、优势互补,努力提升实验室中单片机课程的实践操作水平。为了让学校的教育质量和教学模式不断进步,学院采用了经验传承的机制,让有经验的教师对新教师进行教学辅导,而新教师则负责引导学生的实践活动,让学校的教育质量和教学模式不断进步。此外,通过一系列活动如学术交流、教材编写、课程研讨会、学术前沿报告等,不断提升教师在单片机原理及应用教学方面的水平。同时,让教师主动参加有关嵌入式单片机的新品展示、学术组织和会议,活跃学术气氛。此外,学院还为教师提供了交流平台,开展教师基本培训和竞赛,鼓励他们积累并分享教学经验。教师们被鼓励去不断创新授课技能、参与科研项目和应用系统开发,以提高创新能力,并为教学提供更具实践性的案例。这些措施都有助于促进教师之间的学习与成长,进而提升整个教学体系的质量和水平。

学校积极营造条件,让教师有更多的实地考察和观摩交流的机会并通过树立典型、表彰先进等方式,激励教师在教学中持续取得进步和创新,同时培养教师的敬业精神,让教师保持对学生和教育的热情,激励他们不断进步、保持积极乐观的心态。

(二) 建立合理灵活、可操作性强的考核体系

首先,针对传统单片机课程考核方式过于死板的问题,不应再以卷面考试为主要考核方式,实践能力更应该体现在成绩中体现,因此学生实验大作业的成绩占比提高。根据学生在大作业中的分工和付出的工作量来合理评定他们的成绩,这旨在激发学生兴趣,激励学生参与实验,并培养他们的主动学习意识。对于那些表现出强烈学习兴趣和自主开发能力的学生,学院会提供更多的机会和资源,以帮助他们充分发挥潜力,取得更高的成就。其次,逐步调整考核方式,不再过分强调理论考试,而是更注重实践能力的培养。鼓励学生申请学校的创新项目,并积极参加单片机、物联网等竞赛。对于完成校级创新项目、参加竞赛并取得奖项的同学,学校会在基础分值的基础上适当给予额外的加分。老师通过调整考核方式,希望能够鼓励更多的学生自愿参与单片机实践学习,让所学知识得到更实际的运用。再次,为了更全面地评估学生,将理论考试、实验能力和课程设计等多种考核方式结合起来。教师在学期初会布置课程设计题目并加强课堂讨论,同时增加课堂讨论在平时成绩中的权重,以提高学生的参与度。这

些措施旨在全面培养学生的综合素质和实践能力,使他们在学习中得到更加全面和深入的发展。最后,设立多种类型和不同级别的实验,学生可以根据个人能力选择适合自己的实验项目。对于综合设计类实验,学生可以以小组形式完成,并采用组内抽签答辩方式进行评估,以体现他们的真实能力,并激发实验创新的积极性。另外,加大测控技术与仪器实验室硬件设备建设力度,对于多种型号的单片机和其他单片机等先进硬件要加大采购力度,创造更好的学习环境。同时,学院加强与企业的合作,建立产学研基地,让学生更贴近社会生产,在实践中积累经验。

五、改革成果展示

(一) 超声雷达教学案例

本案例主要介绍一款基于超声波传感器的超声雷达。该雷达是与安徽省萨尔科技有限公司进行校企合作的一个案例,此次教学完全按照本文新工科课程链的研究思路进行方案设计和实施。

“超声雷达硬件图”为图 3 所示,该图详细展示了系统的各个组件及其连接方式。通过本案例可以学到超声波模块时序解读、RS232 串口通信、IIC 集成电路总线通信协议、PWM 舵机的角度控制及 Processing 软件等相关知识。使用 KSO3 超声波模块、STM32 和 SG90 舵机,以及上位机 Processing 软件实现雷达的扫描功能。本超声雷达系统以 STM32 单片机为核心控制器,由超声波模块来获取距离数据,舵机的旋转实现雷达前方 160 度视角扫描。实现过程是在超声波模块与舵机在 STM32 单片机控制下,完成前视角的扫描及距离数据获取,然后通过 STM32 将获取的距离数据发送给上位机 Processing 程序进行显示处理,最终实现雷达监测效果。

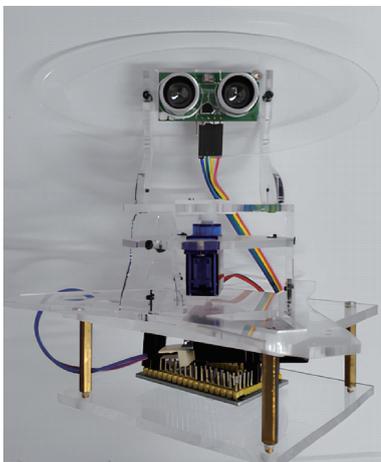


图 3 超声雷达硬件图

(二) 指纹识别教学案例

生物指纹识别是否能够替代物理门锁开关受到了广泛的关注。社会、科技和文化的进步使得人们对安全性有了更高的要求,机械锁已经不再适用,智能指纹锁应运而生。作为人体最明显的特征之一,指纹具有独特、持久、易获取且难以复制的特点。

本案例主要介绍一种指纹识别锁。这种指纹锁采用 UART Fingerprint Reader 指纹识别模块,搭配 STMB2 的串口 USART 及 GPO,通过指纹的正确识别来控制指纹锁的高电平输入,从而打开指纹锁。该指纹锁最多可以录入 8 个指纹进行开锁。指纹锁依靠高精度的指纹模块,提高了安全保障。其主要涉及指纹识别模块 STM32 (USART) 和指纹锁 STM32 (GPO),“指纹识别程序流程图”如图 4 所示。

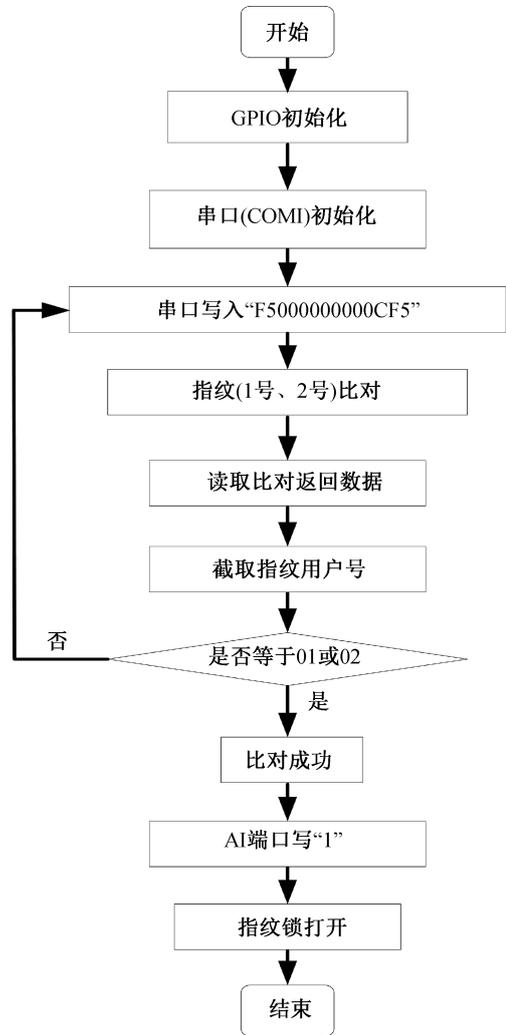


图 4 指纹识别程序流程图

考虑到本案例的实际情况,指纹锁的指纹录入采用计算机软件录入的方式,即指纹锁只需识别比对的指纹是不是目标指纹即可。首先,介绍计算机软件录入指纹的步骤:使用 PL2303 USB 转串口模块

进行测试(如用户使用其他 USB 转串口模块,操作也类似),安装 PL2303 驱动;将 PL2303 连接到 PC 机的 USB 接口,打开设备管理器,查看相应的 COM 端口;下载测试软件 UART Fingerprint Reader,并注册控件;配置 COM 端口;检查通信;用户录入;指纹对比;更改波特率。其次,对课程进行对比讲解:先进行串口(COM1)、GPO(A1)初始化,COM1 的数据发送与接收端分别接在 STM32 最小系统板的 B7 与 B6 口上,指纹锁的数字信号端接在 STM32 最小系统板的 A1 端口上。再通过串口向指纹模块发送指纹 1~N 比对命令“F50C00000000CF5”,指纹模块进入指纹比对模式,此时指纹采集区会亮起蓝灯,指纹对比就可以进行了。如果进行比对的指纹是录入的指纹(用户号:01,02),则即进入 CASE 结构的真分支,通过 GPO 给 A1 端口写“1”,指纹锁被打开;如果不是,则进入 CASE 结构的假分支,通过 GPO 给 A1 端口写“0”,指纹锁继续保持关闭状态。

(三) 教学成果分析

单片机课程改革不仅有助于学生更好地参与各类机器人比赛,而且激发了他们对单片机学习的兴趣,促进了学习积极性的提升。安徽理工大学机械工程学院机器人协会更是获得了“小平团队”这一荣誉称号,协会学生利用单片机开发的机器人在各类赛事上大放异彩、不断创新,在省级比赛和国家级大赛中获得了多个奖项。

学生们在科技创新方面表现得十分优秀,申请创新项目和参加科技竞赛的人数逐年增加。近几年,学生们运用单片机及其应用实例,向国家知识产权局提交了多份申请。平均每届学生授权的专利数为 2—4 项,进一步证明了学生们在科技创新方面的意识正在得到增强。此外,为了使学生能够得到进一步的训练,本校完成了创新实验基地的建设并创建了机械电子创新实验室。

六、结语

传统单片机原理及应用课程存在以下问题:

首先,课程内容滞后限制了学生对基础知识的理解;其次,缺乏实践性教学,教学设备缺少更新限制了学生的竞争力;最后,闭卷笔试无法全面评估学生的实际学习能力和综合素质。

本文所探讨的以新工科理论为指导,通过优化单片机原理及应用课程链,实现了课程理论教学内容优化;强调“学生在实践中学习,在学习中实践”,融合了单片机课程和企业项目需求,为学生提供丰

富实践机会,提升了学生的创造力和实践能力,满足新工科专业需求;强调实际操作水平的全新课程考核体系,弥补了死板的传统考核方式的不足。以新工科理念为指导的单片机课程改革,将理论知识与新工科专业教育有机结合,充分发挥了新工科理念的指导作用。单片机原理及应用教育改革在安徽理工大学机械工程学院试行了五年,取得了丰富的教学成果,推动了工科人才培养质量的提升,对其他以理论为基础、侧重实践的课程改革也具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 张珂,戚银城,孔英会,等. 新工科背景下电子通信专业“人工智能技术基础”课程改革[J]. 电气电子教学学报, 2021, 43(3): 61-66.
- [2] 刘朝华,李小花,陈磊,等. 面向新工科的地方高校智能自动化技术人才培养模式探索[J]. 当代教育理论与实践, 2021, 13(3): 68-72.
- [3] 李晓娟,李建科,胡良,等. 新工科背景下单片机原理及应用课程教学模式改革研究[J]. 科技风, 2023(12): 96-98.
- [4] 余丽红. 新工科传感器课程项目化进阶教学模式研究[J]. 福建电脑, 2023, 39(11): 117-120.
- [5] 陈晓全. 新工科背景下独立学院单片机课程创新教学探索[J]. 科技与创新, 2022(12): 135-137.
- [6] 翟娟. 新工科背景下“课赛创”相结合的实践课程金课的建设[J]. 软件, 2020, 41(11): 233-236.
- [7] 徐旭,董全德,李明. 基于课程链的单片机课程教学改革研究与实践[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2016, 32(16): 240-241.
- [8] 巫肇彬,李福章,张守峰,等. 以能力为导向的单片机综合实践课程改革设计[J]. 创新创业理论研究与实践, 2023, 6(17): 54-56.
- [9] 张伟涛,袁晓光,全英汇,等. 强化过程考核的单片机实验设计[J]. 实验科学与技术, 2023, 21(4): 37-43.
- [10] 冯洋. 新工科背景下学科竞赛驱动下的单片机课程实践创新教学模式探索[J]. 科教导刊, 2023(14): 52-54.
- [11] 李帅,邢晏朝,封岸松,等. 新工科背景下实验教学的创新研究[J]. 科技与创新, 2021(20): 154-155.
- [12] 马铮,龚福明. “汽车单片机及局域网”课程链教学实践研究[J]. 武汉交通职业学院学报, 2020, 22(1): 56-60.
- [13] 冯琤,郭丽红,包永强,等. 面向创新型应用人才培养的单片机课程教学改革探索[J]. 创新创业理论研究与实践, 2023, 6(18): 32-34.
- [14] 张育林,王娜,张泽,等. 新工科背景下大学生创新团队建设及能力培养的探索和实践[J]. 高教学刊, 2023, 9(33): 55-59.
- [15] “新工科”建设行动路线(“天大行动”)[J]. 高等教育研究, 2017(2): 24-25.

- [16] 王宏立,梁春英,韩霞,等. 新工科背景下面向智能制造的工程创新人才培养探究[J]. 农机使用与维修, 2023(11):108-111.
- [17] 孟月波,徐胜军,刘光辉. 基于课程链的微机原理与单片机课程实践教学改革研究[J]. 教育教学论坛, 2019(19):131-132.
- [18] 冯玉昌,门洪,曹生现,等. 《单片机原理及应用》课程教学改革的探索与实践[J]. 东北电力大学学报(社会科学版), 2009, 29(5):19-21.

[责任编辑 李瑞萍]

Research on the Curriculum Reform of Microcontroller Under Emerging Engineering Education Based on Curriculum Chain

JIANG Kuosheng, JU Mingjun, HU Kun

(School of Mechanical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China)

Abstract: The main reason for the proposal of the new engineering department is that the engineering talents cultivated by China's traditional engineering education are not suitable for the new needs of the current social and economic development. There is an urgent need to cultivate new engineering talents through the transformation and upgrading of engineering education. It provides support for China's transformation from a big country in engineering education to a strong country in engineering education. To this end, this paper proposes a new engineering microcontroller principle and application curriculum reform plan based on the curriculum chain. By coordinating the training objectives of the front-end and back-end of the course chain, we design a training program that is more in line with the requirements of social enterprises. We have clarified the teaching content and teaching methods of innovative courses, increased multi-dimensional practical training, strengthened school-enterprise cooperation, and promoted the formation of innovative collaborative training models. These measures promote the innovation, reform and development of curriculum teaching. It adapts to the development ideas and overall goals of emerging engineering education.

Key Words: emerging engineering education; course chains; core curriculum; principles and application of single-chip microcomputer