

The Construction and Practice of the Self-service Platform for Experimental Teaching

Wei Xie^{1#}, Jiachen Ma¹, Yumin Chen¹, Mingli Yang²

1. School of Information and Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology at Weihai, Weihai 264209, China

2. School of Mechanical and Vehicle Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213022, China

#Email: hitxiewei@163.com

Abstract

In order to improve the students' abilities on self-study and exploration, and to realize the internalization of knowledge as cooperating class teaching through building suitable experimental teaching platform, a new architecture of self-service experimental teaching platform is put forward on the basis of improving existing experimental teaching system. The design methods of this platform are discussed from four aspects, including design on the experimental classifications, design on the open modular components, process management and evaluation mechanism, as well as the experimental instruction. The specific implementation methods of building three kinds of hierarchical structures (Verification experiment, Expand experiment and Self-service experiment) and their open modular support components are given. In addition, the corresponding new mechanism of process management and evaluation, and experimental instruction are also provided. Finally, the feasibility and effectiveness of the proposed method are proved by the designed examples of self-service experimental teaching platform for the course "Modern sampling control system" by automation graduate student.

Keywords: *Independent Innovation; Self-service Experiment; Open-Modular Component; Experimental Process Management; Modular Structure*

自助式实验教学平台的构建与实践^{*}

谢玮¹, 马家辰¹, 陈玉敏¹, 杨名利²

1. 哈尔滨工业大学(威海)信息与电气工程学院, 山东 威海 264209

2. 常州大学机械与车辆工程学院, 江苏 常州 213022

摘要: 为了提高学生的自助钻研和探索能力, 构建合适的实验教学平台来配合课堂教学实现知识的内化过程, 本文对现有的实验教学体系进行改进, 提出了自助式实验教学平台构建的新体系结构。从实验类别的设计、开放式模块化构件的设计、过程管理和评估机制、实验指导四个方面来阐述了该平台的设计方法。给出了具有层次性和系统性的三种实验类别(验证性实验、拓展性实验和自助式实验)以及与之相对应的开放式模块化支撑构件具体实现方法, 并且提出了与该平台相适应实验指导和实验过程管理和评估新机制。最后通过自动化研究生“现代采样控制系统”自助式实验教学平台的设计实例, 在实践中证明了该设计方法的可行性和有效性。

关键词: 自主创新; 自助式实验; 开放式模块化构件; 实验过程管理; 积木化结构

引言

虽然科学促进技术的发展, 但新技术的创造过程, 不仅依靠科学, 而且依靠大量的试验和工程实践^[1]。对于研究型大学来说, 如何培养具有自主钻研和探索能力的高素质创新型人才是当务之急^[2]。近年来, 越来越

^{*}基金资助: 哈尔滨工业大学研究生教育教学改革研究项目基金资助, 基金号为 KCJS-201218。

越多的学者主要研究的切入点在于教学手段上的改革和创新，如讨论课、研讨课、启发式、开放式教学^[3]、翻转式教学^[4]和 MOOC 教学模式^[5]等，都是人们讨论的热点问题。仔细研究国外一流大学教学方法，多数几乎从本科阶段就开始强调“自主学习”，精心设计一些“导向性”问题，以作业的形式，让学生自主解答。这些精心设计的问题，答案多种多样，有益于学生寻求自己的解决方案。目前美国的一些研究型大学普遍设立了各式各样的“本科生科研计划”，吸引学生进行自主探索研究。国内也有学者研究基于 Labview 的自助实验平台并探索自主实验^[6-7]。受此启发，笔者认为“自由思考+动手实践”是培养学生创意、创新素质的必要且有效的途径。特别在研究生教学中，更应进一步地以“自主仿真”和“自助实验”的形式，给学生更多的时间、更多的空间去“自由”思考、“自主”寻求问题解决，这样才有可能吸引学生参与科研开发和投身自主创新。能自由思考的前提条件是要深入领会所学的知识，这种知识内化的过程仅靠课堂讲授和课后作业是很难实现的，工科学生仅靠一个课后科研报告或者最终考试远远不够深入体会和理解所学知识体系。必须寻找一种教学方法，如能将学生讲所学的理论与实际结合起来，并且付诸于亲身实践，那么就能逐步解决理论和实践的脱节问题。因此如果能构建合适的实验教学平台，搭建理论与实践的桥梁，不仅会加深理论学习的印象、验证理论之正确性，甚至为学生提供了更为广阔的思想空间，从而更有可能对所学方法或算法进行改进，以此来提高学生的自主钻研热情和探索能力。我国的大学教育体制中，能力培养和个性发展应该是完全统一的，特别是在研究生阶段，应该结合每一个学生的特点和优势潜能，鼓励学生按个性发展选择研究方向。但是尽管学生的参与科研活动的意识很强，很难有一个主动探究、自由思考的实验环境能让其有兴趣、有动力去发挥他的潜能。鉴于此教学研究思路，本文提出自助式实验教学平台构建的新方法，力求建立一个能让学生主动探究、自由思考和实践的实验环境。在此以自动化专业学生的专业背景为依据，来探讨构建一个能实现“自由思考+动手实践”的自助式实验教学平台的具体设计方法。

1 自助式实验教学平台的构建方法

所谓“自助式实验教学”就是学生可以根据自己的知识掌握程度，在做完常规的验证性实验基础上，根据实验室提供的模块化软、硬件结构，自主选择感兴趣的项目或者课题进行探索实验。自主选择包含两个方面的内容，即课题自选和实验模块自选，力求充分调动学生的积极性，实现“自由思考+动手实践”的学习过程。也就是说在教学过程中，给学生提供一个能够自由发挥、活学活用的实验平台。传统的实验设计主要以验证性示例实验为主，例如本科自动化专业的“自动控制原理”实验、“计算机控制实验”和“单片机系统设计实验”等，对于知识领悟能力比较强的学生，很快就会完成这些验证性实验。学生要想自主发挥，解决他们自身困惑的问题，没有办法在此平台上亲身完成。虽然有些学校开设了拓展性实验，但是收效甚微，要么就是实验太难，学生知难而退；要么就是限制的框框太多，学生不感兴趣。因此必须在教学方法和手段上进行改进。

在我国“国家中长期科技发展规划（2010-2025 年）”中，明确提出了我国要由“制造大国”转变为“制造强国”，高校应该承担起培养有创造力、有良好工程意识和创新能力的毕业生这一使命。设计自助式实验教学平台不仅可以建立理论和实践之间的桥梁，而且可以充分锻炼学生的动手能力，引导学生通过“实践认知-->理论指导-->再实践验证-->局部自主创新”的方式来学习知识。所以在实验教学中，要弱化验证性实验教学，强化开放式实验和工程项目式教学。实验内容的编制也要具有多样性、层次性和系统性，同时要制定有效的考核或评估机制来提高教学质量。本文提出的自助式实验平台组织体系结构如图 1 所示，按照这种设计方法，实验教学平台应该包括验证性实验、拓展性实验和自助式实验三大类别，学生做实验时，根据个人情况循序渐进，可以满足不同学生的需要，每一类别的实验都有相对应的软、硬件模块支撑。当然与之相对应的实验指导方式不同，主要分为集体答疑、分组指导和个性化指导三种方式。我们从实验类别的设计、开放式模块化构件的设计、过程管理和评估机制、实验指导四个方面来论述该组织体系的具体实现方法。

1.1 实验类别的设计

根据陈葵等人^[8]提出的自选、自助式实验编拟原则，要从学制、学科、专业，以及理论与实验课时的比例等具体方面，来确定自助实验项目。实验教学是一个循序渐进的过程，在图 1 中，首先要保证基本的验证性实验，然后在此基础上，鼓励理解和领会知识较深的学生做拓展性实验，组织对技术很有兴趣，具有钻研能力的学生自选项目进行实验。每一部分实验面向学生对象不同，相应的设计自然也就不同。整个设计体系沿承 MIT 的“大工程观与工程集成教育”教学理念，即就是对学生的培养必须在工程的系统和背景下进行，不仅让学生学习工程科学理论和知识，还让学生在实际的、规模较小的复杂系统上进行实践，以培养工程经验和分析综合能力。

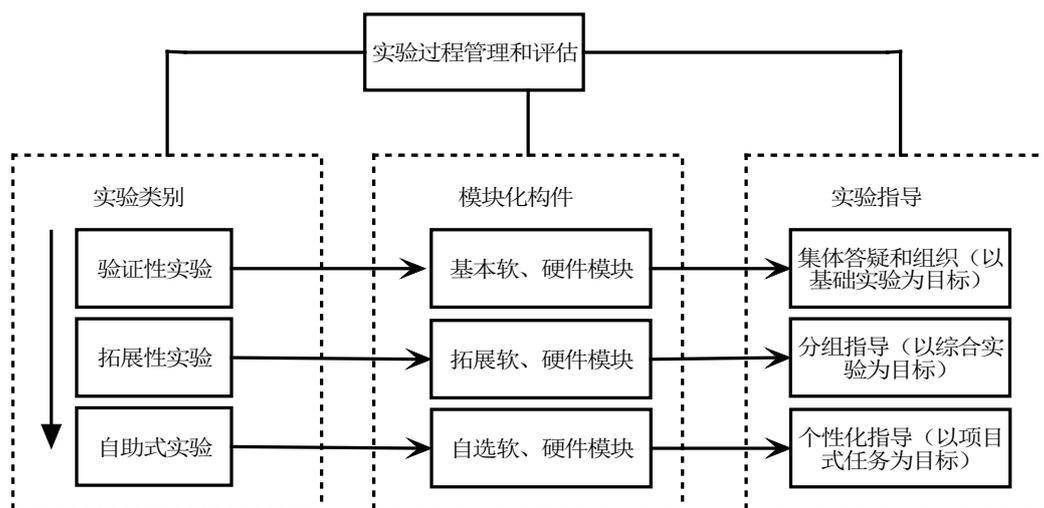


图 1 自助式实验平台的组织体系结构

1.1.1 验证性实验的设计

验证性实验设计的主要依据是课堂教学单元知识，用来强化课堂所学的关键理论。一般情况下，硬件接线图和程序都会提供给学生，让学生熟悉实验设备，读懂程序的情况下，能够复现实验过程，从而加深对所学理论的理解。例如自动控制原理中“典型环节的模拟研究实验”，首先给出典型环节模拟电路图，让学生去认识和理解，并且计算出典型环节的传递函数，然后用阶跃响应法测试出各环节的传递函数，将实验得出的结果与理论计算结果相比较，学生可以直观地将模拟电路和自动控制的典型环节联系起来，那么在课堂上学到的理论推演知识就会在学生的动手实践中得到内化。

1.1.2 拓展性实验的设计

拓展性实验设计的主要依据是课堂教学的综合知识。在这种情况下，指导老师根据学生知识的掌握情况进行选题，可通过课堂讨论和参与小组竞赛的方式来完成。比如单片机系统设计实验，当基本的知识单元教授和验证实验完成之后，可选择一些综合性较强的题目来训练学生的知识综合应用能力。比如设计“电子钟”、“直流电机调速系统”和“温度控制系统”等实验，实验没有标准的答案，只要能实现所要求的功能即可，学生可分组参与或者自由组成小组团队参与，在解决实际问题的过程中加深理解所学理论。

1.1.3 自助式实验的设计

自助式实验设计的主要依据是实际的工程项目需求。自助式实验的突出特点是实验课题和实验模块的可选择性。对于大三、大四和研究生来说，参与项目的热情很高，但是往往不知道从何做起，需要指导老师悉心引导。指导教师在选题方面，既要有一定的工程应用背景，又要考虑在实验室环境中能够实现，而且还要兼顾学生的个人兴趣。为了满足这种需求，要根据所学理论，设计出涵盖大多数知识点的软硬件模

块，这些模块的功能和实现方法都是开放式的，学生可以项目需求选择相应的模块，通过积木化构造完成项目。这种教学思路属于研究型教学范畴，并不是给个研究题目，让学生自主发挥，而是通过模块化的设计，让学生在构建积木化结构的过程中，掌握系统的概念。例如我们在研究生“控制系统设计实践”课中，给出基本的模块化硬件和软件，提出项目性能指标，学生按照提供的模块自主地构建“仿生机器人”、“自主移动机器人”和“双闭环控制系统”等复杂实验，实现自主动手实践的训练过程。

1.2 开放式模块化构件的设计

在传统的实验教学手段中，硬件和软件都相对固定，因为接口不开放，影响学生的自主发挥。在自助式新实验体系中，要解决的首要关键问题就是如何建立开放式软硬件模块化平台。其实在自动化专业学生的实践中，很多知识点都可实现模块化。比如控制系统典型环节、PID 控制器、串并联校正模块和典型的继电器型非线性模块等；电机拖动系统中的直流调速器模块、可控硅功率驱动模块、测速模块和可编程控制模块等；单片机系统设计实验中的键盘模块、液晶显示模块、串口通信模块、A/D、D/A 转换模块等。在 Matlab 系统仿真软件中，有很多控制系统设计和仿真的软件模块，学生完全可以通过系统仿真的方法来加深对所知识的理解。但是设计开放性的软硬件模块化构件并非易事，笔者认为要从以下几个方面考虑。

1.2.1 构建低成本的、易普及的“自助式”实验环境

实验室的建设往往需要考虑师资力量、设备购置和学生数量等诸多因素的限制。目前电子器件、单片机和电机等耗材成本的降低给实现实验环境的低成本化提供了充分条件。同时信息化的综合集成、互联网的飞速发展和计算机的普及给学生吸收新知识提供了新的手段，知识获取和传播的效率都飞速提高。互联网上推出的开源开发的硬件项目平台也不少，例如著名的树莓派 Raspberry Pi 和 Arduino 平台等，都可以直接用来设计开放式的硬件系统。Arduino^[9]的设计模式给构建自助式的实验环境提供了很好的范例，该平台用一块 USB 接口 Simple I/O 开发接口板，以 AVR 指令集的单片机为核心，具有 12 个通道的 GPIO，4 通道的 PWM 输出，6-8 通道的 10BitADC 输入通道，并且使用类似 Java、C 语言的 IDE 开发环境，完全可以用来设计闭环控制系统和机器人系统。有鉴于此，我们在实践中按层次等级设计了基于 51 单片机的控制开发板、AVR 单片机的控制开发板和基于单片机+FPGA 的控制开发板，以及专门用于控制系统设计的直流电机模块、步进电机模块和舵机模块、外围连接的各种传感器模块、ZigBee 无线传输模块和 WIFI 传输模块等，并且将相应的程序以函数的形式封装成一个个可以调用的软件子模块，方便学生调用。这些模块可以根据实验室教学的时间安排和经费情况进行裁剪，学生根据现有模块自选，积木化搭建自己所需要的控制系统。

1.2.2 建立软硬件模块数据库

随着软硬件模块的增加，必然要构建数据库系统管理。学生在应用的过程中，通过查阅数据库中的索引来自主选择所需模块。目前用来进行系统设计的仿真软件也比较多，例如 Multisim 硬件电路仿真软件、Matlab 控制系统仿真、Proteus 单片机系统仿真和 Protel PCB 板设计和仿真软件等。通过这些仿真软件建立模块库，并且通过数据库管理起来，提供给学生通用的模块。也可开发可视化编程软件将这些模块无缝连接。例如为了克服传统的教学实验系统（PC+实验箱）的实际应用缺陷，诸如试验箱系统硬件成本高、维护困难、硬件配置限制多和难以发挥学生的自主性等，我们提出了一种基于 Matlab 和 VB 混合编程的教学实验系统设计和实现方法。这种方法能充分发挥 Matlab 和 VB 高级编程语言的优点，通过 ActiveX 接口技术来完成这两种软件之间的无缝集成，并且能使实验箱中的硬件模块进行组态“软化”，从而达到扩展学生教学实验空间、降低硬件成本和提高学生实验自主性的目的。在此设计模式框架下，自动控制原理中“典型环节的模拟研究实验”实验管理和操作界面如图 2 和图 3 所示，在 VB 平台上开发管理软件，应用 Matlab 软件负责计算，后台数据存放实验过程中所用的软件模块属性和方法、实验内容和结果。



图2 典型环节的实验界面

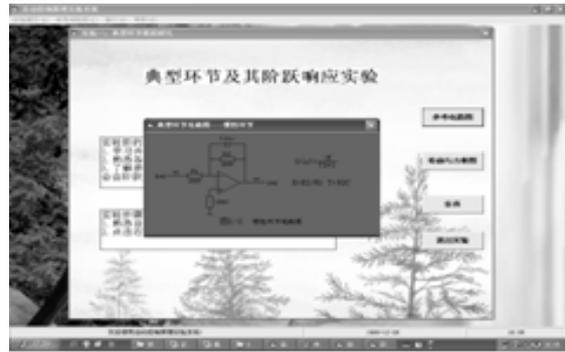


图3 典型环节的实验操作界面

1.2.3 鼓励学生在实验中完善和拓展硬件模块

在刚开始建立自助式实验模块时，指导老师往往基于经验和选题要求进行模块化分解。在实践过程中，肯定会出现很多问题，需要不断地进行完善。一方面指导老师要对模块进行修正和完善，另外一方面学生在使用的过程中会不断的提出新问题，需要在实践中进行拓展。在实验过程中，鼓励学生拓展硬件模块，通过点点滴滴的完善，才能积累实用、高效的子模块。另外，鼓励学生积极请参加校、省乃至全国电子大赛，培养一批实验室维护、管理和开发的稳定队伍，通过一次次的实践教学优化试验平台的软硬件结构。

1.3 过程管理和评估

整个实验体系通过计算机系统进行监控和管理。与传统的实验管理方法相比较，自助式实验环境的管理更为复杂，需要设计与之相适应的软件管理程序来处理。具体要从实验成本、教学质量、实验效果和过程监控这几个方面进行考虑。对于验证性实验，通过网络直接发布与课堂讲授同步的实验内容和要求，安排学生在做实验之前，通过提供的预备知识和视频资料进行预习，同时安排实验执行过程中的指导和答疑人选；对于拓展性实验，学生自愿组队报名，实验室管理人员审批，从选题库中抽取题目，在学生具有一定的预备知识之后，定期安排指导老师知道实验。对于自助式实验，一般由学生自己申请，自己思考拟定题目或者从指导教师给的工程项目子课题中选择。学生先根据项目类别申请，预约时间，随后实验室管理人员进行审批和安排。过程管理流程如图4所示。

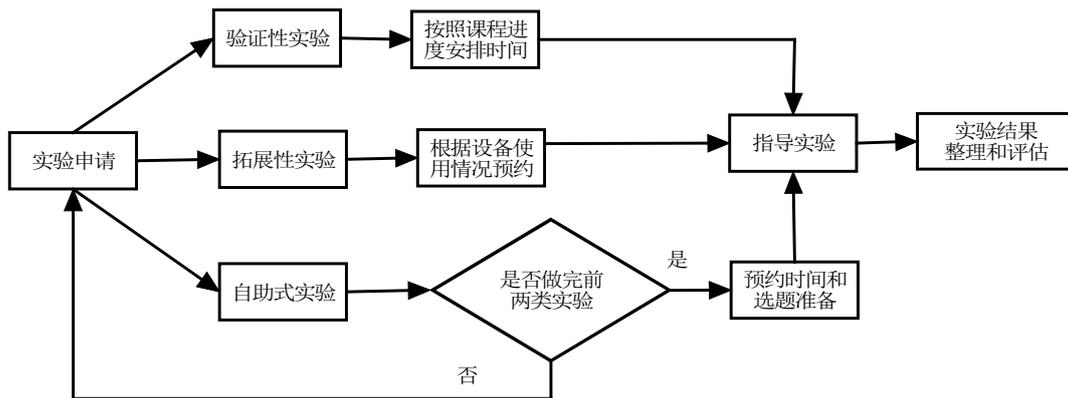


图4 实验过程管理流程图

学生不论实验成功与失败，都必须对实验的原始记录进行整理，包括实验目的、步骤、内容、数据分析等。在自助式实验中，指导教师主要从选题难度(a)、设计方案(b)、实验技能(c)、实验结果(d)和完成时间(e)五个方面综合考核和评估。在实验过程中进行跟踪管理，每个评估因素都赋予一定的权值，代表设计水平或者实验完成的程度，用 α 表示总的评价结果，则有

$$\alpha = \lambda_1 a + \lambda_2 b + \lambda_3 c + \lambda_4 d + \lambda_5 e$$

其中, $\lambda_i \quad i=1,2,\dots,5$ 为加权系数, $\lambda_i \in [0,1]$

1.4 实验指导

对于验证性实验, 编写统一的实验指导书, 根据课堂教学的进度安排统一答疑解惑, 组织实验。拓展性实验主要以综合实验为主, 学生可以在实验指导书模块化构件指引下, 进行局部自助发挥; 而自助式实验则以工程项目式任务目标为主, 完全以学生为主角, 指导老师和学生共同讨论, 解决疑难问题。实验室只提供所有软、硬件模块的使用说明, 以最终目标任务完成情况来进行成绩评估。

2 自助式试验教学平台构建实例

鉴于采样控制理论是数字时代控制系统分析、设计及仿真技术的基本理论, 因此, 在教学内容及教学方法上, 通常侧重于理论上的推演、“讲解+学生理解和记忆”的教学模式。对相关的“仿真技术”及实际“离散系统”的应用问题重视不够, 客观方面的原因是受限于学时数量, 这种“推演+记忆”式教学的结果往往收效甚微, 甚至学生在完成课程的学习之后, 对如何构建“现代采样控制系统”的概念还模糊不清, 缺乏系统的思想。因此, 在研究生“现代采样控制系统”^[10]教学中, 我们采用自助式试验教学平台来配合课堂教学, 鼓励学生自由思考, 自己动手实验。由于是针对研究生授课, 本科阶段已经有计算机控制基础, 所以在此仅列出拓展性实验内容和指导老师提供的选题和模块化构建设计, 如表 1 所示。

表 1 自助式实验教学体系示例

序号	拓展性实验	提供的模块化构件	自助式实验选题
1	通用离散闭环反馈控制器的设计	AVR单片机的控制开发板、工控主板、D/A转换模块、反馈测量模块等	数字式舵机控制系统的设计
2	实测信号的FFT仿真和频谱分析实验	基于单片机+FPGA的控制开发板、FFT实例程序和频谱分析模块等	FFT算法的改进探讨
3	数字滤波器的设计实验	高通、低通、带通滤波器硬件模块、仿真模块和IIR滤波器模块等	卡尔曼滤波器的设计和改进
4	信号相关性分析实验	微弱信号测量模块、统计分析程序等	数字式电子罗盘的设计
5	数字PID的改进算法	数字PID软硬件模块、位置型算法程序、增量式算法程序、带死区的PID算法程序模块等	参数可自整定的数字PID设计
6	典型环节的系统辨识	惯性环节、积分环节和典型二阶系统硬件模块	直流电机的数学模型辨识方法
7	离散闭环控制系统的设计实践(以直流电机为被控对象)	直流电机驱动模块、测速反馈模块、直流电机等	数字式直流伺服控制系统的设计
8	数字PDF和PDFF算法仿真	PDF和PDFF算法仿真模块	PDFF控制PID控制的仿真比较分析

研究生的选课人数较少, 一般不超过 10 人, 因此在实验的申请和管理中, 时间灵活分配, 只要准备相关的预备知识, 我们对主要的软硬件模块使用方法进行简单培训之后, 就可在课余时间进入实验室独立完成实验。经过实验教学实践测试, 学生主动参与科研活动的意识空前增强。几个软件比较好的同学还自主开发了快速傅立叶变换模块、基于 PC 的数据采样组态软件和常用的数字滤波程序。从评估考核的结果来看, 学生的动手能力和实验教学的质量有了较大的提高。学生更有机会对所学方法或算法进行改进, 更关心知识在工程实践中的应用。大多数学生认为通过此实验教学活动, 自己提出问题、思考和解决问题的能力提高很快, 科研能力逐步增强, 对从“实践认知-->理论指导-->再实践验证-->局部自主创新”的学习方式有了较为深刻的认识。

3 结语

实验教学是一个循序渐进的过程, 本文构建的实验体系结构包括验证性实验、拓展性实验和自助式实

验，可以满足从本科到研究生的不同层次学生的教学需要。构建自助式实验教学平台是一项复杂的系统工程，不用的学科，实验内容、设施条件、师资力量和大纲要求等诸多因素都会影响实验环境的构建。从大学教育的本质来看，很重要的一个任务就是培养学生自由思考、动手实践的自主钻研能力。在自助式实验平台上，以学生为主体组织教学活动，可以充分发挥学生的主观能动性，引导学生改变学习方式，从以往的继承式，被动接受式和填鸭式学习方法中转向自主探究性学习，从而提高学生的自主创新能力。虽然本文主要以自动化专业学科背景来探讨自助式实验教学平台的构建方法，对其它学科也有一定的推广价值。

致谢

感谢哈尔滨工业大学研究生教育教学改革研究项目基金资助。

REFERENCES

- [1] Wang Hao-cheng, Feng Zhi-you, Wang Wen-tao. "Probe on Practice Teaching System Based on the Engineering Innovation Education." *Research and Exploration in Laboratory*. 2014, (01): 182-185
- [2] Lin Jian "Outstanding Engineers' training for the world." *Research in Higher Education of Engineering*. 2012, (02): 1-15
- [3] Yao Yingying, Sun Dun, Wang Xiaohai. "Thinking of Open and Research Practice Teaching: Exploration in Innovation Teaching of Electrics." *Experimental Technology and Management*. 2008, 25(3): 5-7
- [4] Jing Zhou, Zhang Aimin, Wang Yong, Wang Yin. "Create Automatic Control Principle of the Experimental Teaching system." *Laboratory Work in University*. 2014, (04): 34-36
- [5] Lijiang Chen, Xia Mao. "MOOC Platform and Graduate Education." *Education Research Frontier*. 2015, 5(1): 1-6
- [6] Xu Lichuan, Tang Kaifei, Liang Yongchun et al. "Idea and Practice of Self-help Experimental Platform Based on Labview." *Experimental Technology and Management*. 2014, (05): 150-155
- [7] Sun Dun, Yao Yingying. "Practice and Thinking about Setting up Self-determination Experiments." *Experimental Technology and Management*. 2009, (05): 21-23
- [8] Chen Kui, Jiang Xiaoyu, Guang Guangfu, et al. "Self Chooses to help the form Experiment Arrangement and Control Management." *Experimental Technology and Management*. 2006, (10): 103-105
- [9] Martin Evans, Joshua Noble, Jordan Hochenbaum. "Arduino in Action". Manning Publications Co, 2013
- [10] T. Chen and B.A. Francis. *Optimal Sampled-Data Control Systems*. Springer. 1995

【作者简介】



¹ 谢玮（1976-），男，汉族，博士，高级系统分析师、讲师，研究方向为机器人控制、智能信息处理、智能服务机器人和智能化生产线的系统集成。
Email: hitxiewei@163.com

² 马家辰（1963-），男，回族，博士，教授、博导，研究方向为机器人控制、机器视觉和图像处理。
Email: hitdoctor@163.com

³ 陈玉敏（1978-），女，汉族，硕士，工程师，研究方向为控制理论与控制工程。Email: cym6210@126.com