

物联网工程实验课程体系建设与实践教学研究

卢 冶¹, 李 涛¹, 宫晓利¹, 董前琨¹, 刘嘉欣¹

(南开大学 1. 计算机与控制工程学院, 天津 300350)

摘 要: 针对实验课程体系建设与实践教学过程中存在的问题与挑战, 介绍南开大学物联网工程专业实验课程体系建设思路, 提出以应用为导向, 紧贴实际、侧重基础、结合实训、以赛代练的实践教学指导思想, 通过具备针对性、拓展性和延续性的典型教学案例, 及物联网教学示范系统的建设, 说明实验课程内容设计和教学改革方法, 阐述如何将实验课程与实际应用紧密结合, 引导学生发现问题与解决问题, 激发学生创新思维, 提高学生工程实践能力。

关键词: 物联网工程; 实验课程体系; 教学改革; 示范系统; 项目与竞赛

中图分类号: G642

文献标识码: A

Research on the construction of experiment curriculum system and practice teaching for Internet of Things

LU Ye¹, TAO Li¹, GONG Xiao-li¹, DONG Qian-kun¹, LIU Jia-xin¹

(1. College of Computer and Control Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China)

Abstract: Aiming at the problems and challenges in the construction of experiment curriculum system and practice teaching for Internet of Things, this paper introduced the idea and put forward the practical teaching guiding ideology of application oriented, closely related to reality, laying stress on the foundation, combining training with practice. We explains the content design and teaching reform methods of the experiment course through the typical teaching cases with pertinence, expansibility and continuity, and the construction process of the teaching demonstration system for Internet of things, and expounds how to combine the experimental course with the practical application closely to guide the students to find out the problems and solve the problems, to stimulate the creative thinking of the students and to improve the students' practical ability in engineering practice.

Key words: Internet of Things engineering; experiment curriculum system; reform of teaching; demonstration system; project and competition

物联网作为新一代信息技术的重要核心, 已逐渐成为世界主要国家的科技发展重战略。作为战略新兴产业, 《十三五规划纲要》中明确提出物联网建设指南, 将其上升为国家发展战略^[1]。2010年, 教育部根据国家发展需要, 设立新专业物联网工程^[2]。2011年, 教育部先后颁布《专业规范》^[3]《实践教学体系与规范》^[4], 进一步指导办学和专业建设。自2010年以来, 超过300所高校陆续开设物联网工程专业, 希望培养具有科研创新精神和工程实

践能力的复合型人才。物联网工程专业成立之初, 课程体系建设方案、实践教学理论与实施尚处于摸索阶段。

南开大学于2014年开设物联网工程本科专业, 三年间共招收近百名本科生。在专业建设初期, 关于如何建设实验课程体系成为困扰。具体来讲表现为, 第一, 实验课程体系设计和与之对应的实验内容缺乏先例可鉴; 第二, 传统的实验内容缺乏特色和系统思考, 无法引导学生以应用为导向, 进行系

统设计和实践;第三,实验设备和平台往往以封闭性、重复性实验居多,缺乏扩展性,缺乏对学生自主设计的支持。

针对上述问题,经过大量调研、讨论和试点实验,课程建设团队提出以应用为导向,紧贴实际、侧重基础、结合实训、以赛代练的指导思想,强调基础训练与系统实训结合。于2016年,制订第二版专业培养方案,以计算机大学科平台为基础,重点突出物联网应用实践性、学科交叉性、系统集成性强的特点,注重“课程精、实验强”^[5]的建设原则,高度重视实验教学环境建设。实验课程除了完成成熟的计算机专业课程体系核心内容之外,还选取实际生产生活中的典型应用案例进行剖析和扩展,通过任务化与项目化的作业设置,实验内容由验证型、提高型向综合型、设计开发型与创新型逐步递进,并以南开大学新校区为背景,结合物联网教学示范系统(以下简称“示范系统”)的建设,鼓励学生开展趣味性与专业性并重的创新实践,积极参与国内外物联网专业竞赛,收到良好的教学效果与反馈。

以下分别介绍南开大学实验课程体系建设、实践教学设计、示范系统建设等方面的具体思路、实施方案以及改进方法。

1 实验课程体系

物联网的主要功能是“全面地感知、正确地认知、智慧地处理”,在技术上具有“新、长、专”的特点^[5]。物联网属于发展中的集成创新技术,知识体系不够清晰,产业涵盖广泛且边界难以界定;在专业建设上缺乏成熟培养方案,在课程设计上缺乏国内外先例可借鉴。

1.1 总体建设思路

在总体规划上,调整教学计划,完善实验课程体系,增加实验课程比重,增强实验内容设计,更新实验方法并建设物联网教学示范系统。明确了物联网工程专业的人才,除了应具备的计算机理论基础和物联网专业理论与工程技术,还应具有积极的创新精神、较强的实践能力和国际视野。使学生通过掌握物联网以及相关专业的基本理论、知识、技能和方法,形成具有较强的专业能力和良好的跨专业跨学科综合能力,具有从事物联网前沿技术研究和大型物联网系统规划、分析、设计与开发的能力。

1.2 实验课程设置

通过大量调研、研讨,结合南开大学自身优势,在实验课程设置上明确了方向,实验课程由两大部

分组成,一部分是计算机学科基础课程,一部分是突出物联网专业特点的专业课课程。据此,我们精简了计算机科学与技术课程体系,抽取计算机专业课程内核作为基础,保留“计算机组成原理”“操作系统”“计算机网络”等核心课程,将“嵌入式系统”由专业选修课程调整为专业必修课课程,并新开设“计算机系统基础实验”课程;同时,增设物联网工程专业核心课程,包括“物联网工程导论”“感知技术与应用”“无线传感网技术”“物联网专业课程设计”;在此之上,结合南开大学专业优势,开设实践类课程“物联网实验基础”和“物联网系统实训”。

在基础实验课程方面,为使学生掌握计算机内部软硬件关联关系与逻辑层次,具备系统分析、设计、开发能力,新开设“计算机系统基础实验”课程,引导学生从系统不同层次看待系统内部各部分及其与外界的联系,培养学生的系统观。

在专业核心课程方面,将“嵌入式系统”作为专业必修课。因为嵌入式系统在物联网、移动互联网、工业智能装备、新一代武器装备、医疗、汽车电子等领域有着举足轻重和广泛的作用,又因嵌入式计算将成为新型计算系统主要形态之一^{[6][7]},因此,嵌入式系统成为物联网工程专业的专业必修课势在必行。在2016年调整教学计划后,于2017年春季学期开始授课,通过汽车电子等虚拟仿真与扩展实验,学生具备了系统选型、系统裁剪、接口设计等基本能力,为后续物联网系统设计、开发与应用奠定了良好基础。

在实践类课程方面,分别面向本科大二、大三学生开设36学时的“物联网实验基础”和“物联网系统实训”课程,该两门实践类课程在夏季学期开设。南开大学除了春季学期与秋季学期之外,还增设了夏季学期,时长4周。该两门课程的基本定位是衔接和综合,“物联网实验基础”衔接后续专业基础课程和核心课程,“物联网系统实训”衔接“综合课程设计”与毕业设计。在建设初期,任课教师的工作量有所加大,但实践过程中通过大量具有针对性、实践性同时兼具趣味性的训练,获得了良好的反响。

在实践类课程设置上,“物联网实验基础”的课程目标是引导学生了解物联网应用系统分析、设计、开发、整合的步骤和方法,为后续课程奠定基础。课程通过知识串讲将前期高级语言程序设计、数据结构、计算机组成原理等基础课程进行综合;

在此基础上，通过嵌入式与智能终端实验、感知与标识、射频识别基础、网络协议与通信、网络接入与数据处理等实验，及无线传感网络实验平台、智能传感节点、智能小车等设备，使学生初步了解物联网实验步骤和方法，作为前导，讲授后续课程的基础知识，通过体验式的内容设置，使学生建立感性认识和基本的理性思维方式，消除实验编程的恐惧。

“物联网系统实训”课程的课程目标侧重系统深度综合与应用，通过任务式、项目式的实验内容，指导学生以实践者的视角综合利用前期所学知识与技术，进行物联网工程专业的模块设计、系统设计和系统开发。通过大强度训练，使学生能够具备物联网工程系统分析和设计能力，通过一定数量的设计和编程作业，了解学生学习进度和掌握情况，通过具体实验使学生获得物联网工程专业的理性认识和综合实践能力。

综上所述，南开大学物联网工程专业的实验课程体系涵盖了《专业规范》中的核心部分，但课程设置与其稍有不同，目前已基本建立起目标明确、结构合理、内容丰富、紧贴实际的实验课程体系。

2 实践教学设计

物联网工程的实践教学是专业教学过程的重要组成部分，而实验又在整个物联网实践教学过程中占据举足轻重的地位，是加深学生概念、原理解，反应学生学习效果的重要环节^{[8][9]}。实验教学内容的设计应有效对接理论知识，能够使学生通过实践理解抽象概念，掌握实际开发所需的技术。实验类型不仅应包括验证型实验，还应包括提高型、综合型以及创新型实验，通过对核心代码的分析、补全以及重构，有效贯穿理论知识与实践技术，这需要实践教学平台和教学内容具有综合性和扩展性。以下以实践类课程“物联网实验基础”为例，介绍实验内容、教学案例与分析。

2.1 实验内容

“物联网实验基础”开设在大二夏季学期，作为专业选修课程共计 36 学时，要求学生已学习“高级语言程序设计”“数据结构”“计算机组成原理”“可视化技术基础”“数据库系统”前导课程，课程以衔接和综合为主，这里所说的衔接是指为后续课程做铺垫，先使学生了解器件、模块、协议、系统如何简单开发和使用，精简原理讲授，原理交由后续专业课程完成；而综合是指能够在完成各部分

实验基础上，进行创新思维训练和初步的综合设计。

课程以上机实验和编程为主要教学手段，通过上机验证、模块设计及综合性设计完成既定教学内容和自主设计内容。为提高课上效率和质量，要求学生在课下做好充分准备，课下投入时间比课时比例建议为 3:1。课程考试方式采用综合性大作业与系统开发的方式，要求配以完整的设计报告，并进行演示与答辩。课程内容分为六部分，分别是基础知识综合、感知与标识实验、射频识别实验、网络通信实验、物联网接入与数据处理及综合创新设计。

基础知识综合部分，通过简单“Hello World!”讲授程序如何从源程序到可执行程序，可执行文件如何启动及程序每条指令如何执行，并分析计算机系统层次结构，使学生对大一、大二两年课程学习内容整体把握。

感知与标识部分，通过温湿度传感器、气体传感器、光敏传感器、键盘与显示器、运动感知与图像采集、无线传感节点等基础性实验，使学生了解感知与标识的基本技术，基本的使用方法，要求能够补全代码驱动各类传感器工作并进行数据获取。

射频识别部分，通过 RFID 读/写实验，使学生了解高频、超高频协议下的 RFID 技术及无源、有源工作方式，了解 RFID 技术应用场景，并以身份识别及实验室设备管理为例，演示其用途和应用场景。

网络通信部分，通过蓝牙、ZigBee、自组网等实验，使学生初步了解通信方法，对网络协议建立基本概念，并能够使用网络协议进行数据传输，在授课时，初步讲授 OSI 七层模型。此部分学习要求学生能够按照要求补全代码。

物联网接入与数据处理部分，通过智能小车行进、循迹与 RFID 数据读取、室内定位与数据校验实验，使学生掌握网络连接与控制、数据处理基本方法，智能小车可通过无线传感节点进行 RFID 通信。

综合创新设计部分，将前五章内容进行综合，结合南开大学新校区的实际应用背景，拟定“环境监测系统设计”“车辆行进与道路交通模拟系统”“智能家居系统设计”紧贴实际的三个题目供学生选择，学生也可根据示范系统所提供的平台基础另拟题目进行实践，但内容要涵盖前五章知识和技术。在具体实践过程中，从上课之初即面向学生公布题目，在前五章授课过程中，引导学生学习并掌握综合创新题目中所涉及的模块，该部分的学习和编程实践主要由学生课下完成，课上主要重点讲解设计思路、总体架构、模块划分和编程难点。

2.2 教学案例

以“物联网实验基础”为例,该课程目前已讲授两个学年,收到了良好的教学效果。2016年首次授课有18名同学选课。经过4周学习,有15名同学全部完成了任务化的基础实验环节。在课程进度过半时,面向学生公布期末综合创新设计题目,学生自由组合成5个小组,每组3-4人,期末以小组为单位进行综合创新设计汇报。汇报形式采取演示与答辩的方式进行。期间,每组同学除了可利用实验平台进行扩展外,还可利用实验室配备设备,如自主研发的书写平板、可编程无人机、英伟达TK1开发板及智能小车、Kinect2.0、高速拍摄仪器、智能沉浸式头盔emotive等进行自主创新设计。因课程目标定位、学时所限、学生能力尚未具备等原因,在向学生提供设备时,已经由任课教师开发好封装库等功能,并准备实验开发步骤手册、常用功能说明等材料,大部分功能调用对于学生而言,无需关心底层实现,但需学生充分利用课余时间,进行模块整合、调试、系统开发尝试。5个小组中,1个小组设计并初步实现了智能小车循迹导航如图1所示,1个小组初步实现了“车辆行进与道路交通模拟系统”,1个小组基本完成了“环境监测系统设计”。考核过程中,每个小组展现了严谨的态度和良好的精神风貌,经过课程学习,学生编程能力有了明显提升,并初步具备了系统设计与开发基础。



图1 智能小车循迹实验

通过对2016年实践教学的情况进行总结后,在2017年进行第二次实践教学时,调整了部分课程内容,增设Android Things基础开发实践,进阶开发内容放置到“物联网系统实训”课程中。另外,授课时间因与南开大学物联网教学示范系统建设时间重合,因此增加了示范系统体验和初步实验环节,学生在体验过后建立初步认知,可通过课程基础实验所掌握的方法,进行模块开发和实验。

2017年夏季学期共有23名学生选课,全部完

成了基础实验环节,学生自由组合后共有6个小组,期末综合创新涌现了“扫地机器人”“智能自拍背景匹配”“智能停车”等案例。其中,“扫地机器人”利用Java程序进行虚拟仿真,在算法上进行优化和改进;“智能自拍背景匹配”以体态感知与手势识别为基础,利用Kinect实现人物与背景自动匹配和融合;“智能停车”以RFID及智能小车为基础,通过对停车场空间与停车位位置标定、障碍物距离判定等方法,完成了车辆入库等操作,并在示范系统上初步实验,如图2所示。



图2 基于RFID的智能停车实验

2.3 竞赛训练

秉承“以赛代练”的宗旨,在课程结束后,指导其中约10名同学先后参加全国与天津市物联网竞赛,分别获得天津市一、二、三等奖,全国三等奖,华北赛区二等奖、三等奖。通过竞赛进一步促进学生进行深入训练,实践教学效果明显,学生在经历解决问题的训练后,收获感与成就感剧增。

3 示范系统建设

前文提到,物联网属于新兴产业,高校在教学与建设方面皆处于起步阶段。教学过程中,学生对于物联网应用系统的体验性不足,往往由于缺乏直观感受而造成理论与技术困惑。教学组认为,教学系统或平台应着重体现物联网系统的特色,具备集成性、扩展性,应有效与实践教学对接,服务学生实验的同时,可作为学生课外拓展实践的支撑。因此,在实验课程体系建设与实践教学探索初期,教学组经过讨论提出建设“物联网教学示范系统”,用于学生建立感性体验、专业认知、专业思考、用于提升教学质量。示范系统一大特色是,其中各部分与各个模块均与实践教学内容对应,如交通、温湿度监测、土壤水质、画面、数据集成、VR虚实数据融合、虚实同步、可视化呈现,分别涉及传感器、

RFID、网络协议、数据处理、嵌入式系统等课程知识。另一大特色是，虚拟与现实数据融合、多系统协同，涉及智能传感节点网络、多跳数据传输、北斗数据传输、室内外环境监测、道路交通与车辆控制模拟、虚拟校园游览体验、虚实结合实景沙盘等诸多功能。其架构如图 3 所示。

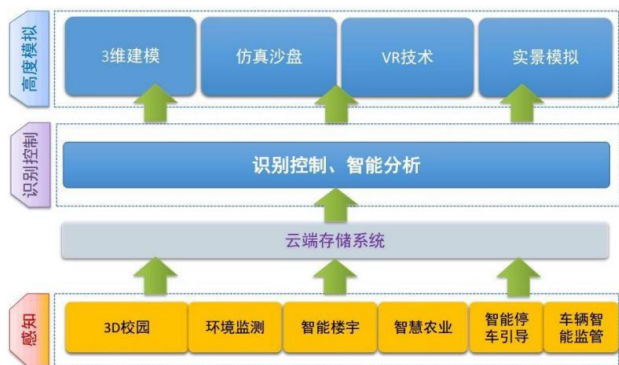


图 3 示范系统架构

3.1 系统构成

物联网教学示范系统的建设立足南开大学与物联网工程专业实际情况，结合实践教学案例与实际教学需要，从总体上对系统进行规划和设计。系统涵盖多个部分，分别是“虚实结合的校园实景联动沙盘控制系统”“虚拟校园游览体验系统”“水质、空气环境监测系统”“智慧农业监测系统”、“智能家居、智能教室虚拟联动教学与演示系统”。

3.1.1 虚实结合实景沙盘子系统

虚实结合实景沙盘由智能家居、智能交通、环境监测、智能安防等教学演示部分所组成，系统不但在现实中部署，同时也在沙盘上模拟一套与之对应的系统。实景沙盘区别以往普通的沙盘，具备动态性、联动性、扩展性。动态性体现为，沙盘不仅仅是现实的“缩减版”，其上所有模拟部件与实体一样具备感知性和反馈动作，比如沙盘上的车辆经过路口时，根据红绿灯信号进行停车、行进操作；联动性，举例来讲，当现实中外部车辆进入校园后，通过标定该车辆并将其与沙盘中的车辆建立映射关系后，沙盘上的车辆行进与现实中的该车辆行进同步，能够直观反映其情况；扩展性，通过数据融合形成外部接口，现实中所部署节点所采集的数据可直观反映到沙盘对应的部件，无需重新部署系统即可增设监测节点。以此为平台，学生可按接口标准进行二次开发，将新的实验方案融入其中。

3.1.2 校园游览体验子系统

校园游览体验系统通过无人机拍摄对校园外景和典型楼宇内部进行建模，通过 VR 技术使学生可以

进行沉浸式体验。在虚拟游览中，该系统内同样呈现现实中的监测数据、部件动作，比如，佩戴沉浸式体验头盔的学生，在其游览视角内，可以观看到虚拟校园中监测节点的实时数据变化，也能够观看到教室中的窗帘拉开、关闭，楼宇内的照明灯亮灭，并可通过交互进行控制，控制结果反映在其所见的虚拟系统中，同时也反映在沙盘中和现实中，具体来讲，以窗帘拉开为例，学生可在虚拟系统中通过交互动作指示某间教室窗帘拉开，此时沙盘中的模拟窗帘同步拉开，现实中该教室的窗帘也被自动拉开。由此形成虚拟、现实、沙盘模拟三者控制同步。此外，该三者任意一方均可作为动作发起方。

3.1.3 环境监测子系统

环境监测系统由室外、室内环境监测组成。室外、室外通过布置环境监测节点，对环境中温度、湿度、光照、二氧化碳等数据进行实时监测、收集、处理和数据分析。通过对校园环境数据的分析，可对校园的规划、管理提供有益支持。其接口全部对学生开放，并提供 Demo 示例供其修改。全天候传感器节点所采集的数据，通过无线自组织网络周期实时发送到数据汇聚节点，并通过 Mesh 通信节点回传到服务器。实时采集的环境参数，以直观的图表和曲线的方式进行显示。整个网络由物理层、数据链路层、网络层、应用层组成，并提供了可供学生实验的部件，学生可以通过课程所学知识与技术直接修改并直接部署，结果便于观测，体验性很强。

3.1.4 智能农业子系统

智慧农业子系统，以南开大学津南新校区农业体验园为背景，在该农业体验园中部署设备，主要由水质监测设备、土壤温湿度与酸碱度监测设备、气象监测设备等组成。设备采集信息同时实时上传到各自终端管理软件中，数据通过多跳网络和北斗卫星传输，并提供数据接口与沙盘子系统、校园游览子系统相对接，实时展示于其中。学生可通过物联网接入与数据处理基础知识，尝试修改数据接口。其工作原理如图 4 所示。

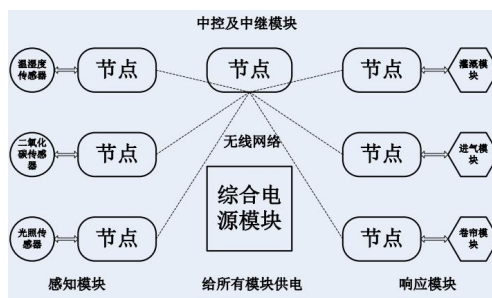


图 4 无线网络拓扑结构与控制原理

3.2 教学示范与跨学科融合

通过物联网教学示范系统建设与初步使用,对实验课程体系形成了有力支撑。系统所涵盖内容均与理论教学与实验教学对应,提供了数据可视化、数据分析等诸多功能如图5所示,是教学演示和学生实践的理想平台,又因具备与教学中的各个模块及综合案例对应,因此形成了较好的示范效应。



图5 监测数据处理与可视化

在系统建设中,因与环境监测、安全、交等诸多领域有所交叉,目前在校园内部已形成良好的示范效果,多个专及学院表示愿以示范系统建设为契机,在人才教育和培养上展开交互。这对物联网工程专业的学生拓展必要知识,掌握行业技术等方面都有着良好的影响。

4 改进计划

实践教学过程中,因初步建立实验课程体系,课程内容涉及较多知识,缺乏清晰主线。通过问卷调查、谈话、讨论等形式,掌握一些典型情况,比如学生反映有一些实验教学内容,虽然能够完成,但最后仍不明白为什么,或者仍未建立起系统观;完成作业耗时较多,有一些非主线的实验内容,缺乏有机联系;实验环境配置较为复杂,编程不够便利;示范系统部分模块缺乏接口或恢复机制,学生出现错误只能重置等。

对此,课程建设团队与教学组进行了具有针对性的调整和改进,在课程内容上,与计算机系统基础实验、组成原理、操作系统、编译原理等教学组协同更新,将基础知识综合部分加强;对于非主线实验内容,准备进行删减,另外设立独立实验;计划重新配置完整版的实验环境,学生可直接使用;示范系统准备进行双系统备份,分为运行系统和试验系统,试验系统进行资源可配置设定,接口及源码面向学生开放,学生在分配到的资源设备上拓展实验,经过教师验证,择优融入运行系统。同时,预备基于视频检测与全景图像融合的智能安防

技术、区块链技术应用到示范系统中,并提供二次开发接口支持学生创新应用。

5 结语

南开大学物联网工程专业在实验课程体系建设过程中,汇聚了众多教师的智慧与付出,形成了完成且具特色的课程内容。在实践教学中,注重培养学生的系统分析能力和工程实践能力,鼓励创新。通过具备针对性、拓展性和延续性的典型教学案例,引导学生理解系统概论,帮助学生掌握系统原理和开发方法。通过物联网教学示范系统,帮助学生了解产业应用,提高学生积极性。以上做法收到了良好的教学效果。针对教学中出现的问题,课程建设团队与教学组进行了相应调整,并制订了改进计划。

参考文献

- [1] 国务院.“十三五”国家战略性新兴产业发展规划 [EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/19/content_5150090.htm,2016-12-19,2018-05-27.
- [2] 胡成全,魏晓辉,钟丽鸿,何丽莉.物联网工程专业课程设置与实践教学体系设计[J].计算机教育,2015,(09):12-15.
- [3] 教育部高等学校计算机科学与技术专业教学指导委员会物联网工程专业教学研究专家组.高等学校物联网工程专业发展战略报告暨专业规范(试行)[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [4] 教育部高等学校计算机科学与技术专业教学指导委员会.高等学校物联网专业实践教学体系与规范(试行)[M].北京:机械工业出版社,2012.
- [5] 吴功宜.对物联网工程专业教学体系建设的思考[J].计算机教育,2010,(21):26-29.
- [6] 王志英,周兴社,袁春风,吴功宜,张钢,何炎祥,陈向群.计算机专业学生系统能力培养和系统课程体系设置研究[J].计算机教育,2013,(09):1-6.
- [7] 袁春风.计算机系统基础[M].北京:机械工业出版社,2014.
- [8] 宫晓利,徐浩聪,张金,卢冶,刘哲理.操作系统与嵌入式系统实验教学的融合探索[J].计算机教育,2017,(04):125-128.
- [9] 谢泽奇,张会敏,沈阳.新型物联网创新实践教学体系建设[J].实验技术与管理,2018,35(05):31-34+46.

收稿日期: 2018-05-27 修改日期: 2018-09-06

作者简介: 卢冶(1986-),男(汉族),吉林省吉林市人,博士,实验师,主要研究方向为边缘计算、物联网体系结构、嵌入式系统软件与应用、区块链技术与应用, E-mail: luy@nankai.edu.cn.

基金项目: 天津市应用基础与前沿技术研究计划(项目编号: 17JCQNJC00300,16JCYBJC15200,15ZXDSGX00020)、南开大学2015年校级教学改革项目“物联网实验基础课程创新实践”、南开大学2017年实验室设备处自制实验教学仪器项目“物联网无线射频识别技术实验仪器与系统”

通讯作者: 李涛(1977-),男,山东泰安人,博士,副教授,主要研究方向为高性能计算、物联网、边缘计算, E-mail: litao@nankai.edu.cn.