



本科生科研实践课程的改革与实践

覃昊洁, 阎波, 林水生, 周亮, 肖卓凌

(电子科技大学信息与通信工程学院, 成都 611731)

摘要: 科研实践课程是提升本科生科研参与度的重要途径, 课程的选题、设计与实施都是影响科研训练效果的关键因素。该文基于认知过程维度重新梳理层次化的科研实践训练体系, 为本科生科研实践课程建设提供系统、科学的指导。立足于科研兴趣与科研自信的培育, 从实践项目的选取、科研项目的融入方式以及实践平台的配套三方面阐明建设科研实践课程的基本思路。以“行人惯导定位”科研课题为例, 将复杂的科研项目转变为学生“想做”且“能做”的科研实践课程, 并配套由易到难、层层递进的实践教学方案, 为进一步落实层次化的科研训练体系提供保障性支撑, 对新形势下的本科创新人才培养具有重要意义。

关键词: 本科生; 科研实践课程; 惯性导航; 教学改革

中图分类号: G642.0

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20210475

Reform and Practice of the Practical Course about Scientific Research for Undergraduates

QIN Haojie, YAN Bo, LIN Shuisheng, ZHOU Liang, XIAO Zhuoling

(School of Information and Communication, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: The practical teaching of scientific research is an important way to improve undergraduates' participation in the scientific research. The selection of course content, teaching design and implementation are the key factors which affect the effect of scientific research training. Based on cognitive process dimension, the paper reorganizes the system of academic practical training, and provides systematic and scientific guidance for instructional design of academic practical course for undergraduates. For cultivation of interest and confidence about the scientific research, the paper clarifies the basic ideas for constructing academic practical courses from three aspects: the selection of course content, the way of integrating academic research projects, and the practical platform. Take the academic topic of "Inertial Navigation of Pedestrian" as an example, the paper transforms complex academic research project into the practical course of scientific research that students "want to do" and "can do". The course provides a guarantee for the further implementation of the hierarchical academic research training system. It is of great significance to the cultivation of innovative undergraduate talents under the new situation.

Key words: undergraduates; the practical course of scientific research; inertial navigation; education reform

2020年10月29日第十九届中央委员会第五次全体会议通过《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》, 把科技创新摆在十二项重大规划任务的首位, 这对我国高等教育提出了新的更高的要求。科研训练是提高大学生科研能力、创新能力及综合素质的重要途径之一, 是本科创新人才培养的重要组成部分^[1]。

近年来, 高校在“科研育人”方面积极开展了一系列教学改革和探索。在培养模式方面构建了层次化的科研训练体系, 将科学研究真正融入大学生人才培养体系的全过程^[2-3]。在政策方面为科研与教学的融合提供体制性的机制保障和统一管理协调^[4-5], 在课程方面将科研成果转化为具体实验教学案例^[6-7]。这些举措促进了本科生科研参与率的提升, 但研究数据表明, 超过70%的工科

收稿日期: 2021-09-24; 修回日期: 2023-01-30

基金项目: 国家自然科学基金(61973056); 四川省2021年高等教育人才培养质量和教学改革项目(JG2021-214)。

作者简介: 覃昊洁(1989-), 女, 硕士, 高级实验师, 主要从事物联网技术、定位导航、嵌入式系统方面的研究。

E-mail: qin haojie@uestc.edu.cn

大学生在参与科研时,只能从事一些认知挑战度较低的工作,科研实际参与度不高^[8]。课程外的本科生科研训练由于受到时间、平台和教学资源限制,对扩大大本科生科研的参与面作用有限,要想提高本科生科研的参与度,必须进行课程体系内容改革,在核心课程中融入研究机会,使得所有的学生都能参与基于探究的积极的学习^[9]。这项改革对于非代表性学生来说尤为重要,他们参加科研活动的比例往往比其他学生更小。

科研实践课程是近年来科研项目与实践教学融合的新产物。该课程常被误认为高难度的综合性实践课程或带课内学时的自主科研实践训练,并未得到应有的重视。课程的建设更注重课程内容的综合性和创新性而忽视了提高学生积极性和参与度的课程设计,仅有部分基础较好、专业兴趣较为浓厚的学生受益^[9]。实际上,课程内的科研实践训练对于落实层次化的科研训练体系至关重要,它是将前期累积的科研知识和技能进一步综合应用、分析并初步实践科研的方法论,为后续的课外自主科研训练打下基础,是提升科研参与度的重要途径。本文基于认知过程维度重新梳理科研实践训练体系,对科研实践课程的定位和目标展开分析,以科研兴趣的培育与科研自信的建立为出发点,从实践项目的选取原则、科研项目融入方式和实验平台的配套三方面阐明本科生科研实践课程建设的基本思路。并以物联网工程专业的“行人惯导定位”科研课题为例,探讨该方案在科研实践课程的选题、设计和开展等方面的可行性。

1 本科生科研实践课程的定位与分析

1.1 基于认知过程维度的本科生科研训练体系

本文根据认知过程维度梳理的科研实践训练体系如图 1 所示。

图中阶梯图为布鲁姆的认知过程维度模型,由下至上表示认知由低级到高级发展的 6 个层级。认知水平的提升需要建立在低层级认知的积累基础之上。通过认知发展规律梳理科研实践训练体系能够更好地保障本科生科研训练的科学性和系统性。初级平台用于基础知识的学习和基础科研技能训练,着重于知识的记忆和理解。中级平台用于科研技能整合和科研方法训练,着重于学科知识的应用和分析。高级平台用于自主进行

综合性和创造性的科学研究探索,着重于对学科相关理论的评价和创造。图中共梳理 3 级平台和 6 类科研实践训练项目。训练项目覆盖的认知层级逐级增加,训练难度随之提升。如课程内科研实践在记忆、理解、应用和分析的基础上还探及评价层级,需要理解课题研究的基本理论,认识课题研究的流程和方法,整合科研技能,积累科研经验,全面且深入地分析研究目标,并对研究方法和途径做出严谨的评判,最后进行系统的处理和改进。

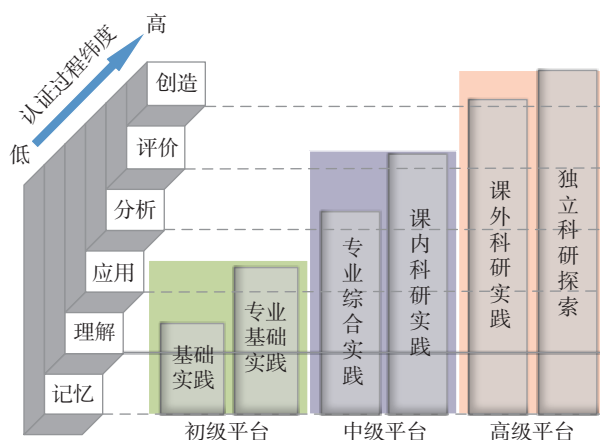


图 1 基于认知过程维度的科研实践训练体系

1.2 课程建设重点

认知过程维度的层级决定了实践训练项目在科研实践训练体系中的定位和作用,同时也是指导科研训练项目建设的核心指标。专业综合实践课程不覆盖评价层级,难以进行科研方法的系统训练。课外科研实践训练需要探及“创造”层级,自主性高且难度大。在没有研究基础的情况下,单调的实验和不断的失败容易抹杀学生最初的兴趣并打击他们日后进行科研的自信心^[1]。大多数课内科研实践训练项目都有复杂度高和难度大的特点。为了降低实践难度,通常依照功能和系统结构将科研项目拆分为子系统和模块。但零散的任务缺乏系统性,学生只知道应该这样做,却不知道为什么要这样做以及这样做的作用,更对能否有更好的方案缺乏思考。对于本科生而言,在刚接触科研项目时,缺乏课题的研究基础是深入科研探索的最大障碍。如何搭建研究阶梯,使得本科生的科研能力随着难度设置得当的科研实践项目逐步提升是课程建设的重点。

1.3 课程建设目标

课内科研实践训练处于中级平台,在整个科

研实践训练体系中起到承上启下的作用。作为本科生对科研实践活动的“初体验”,需要整合初级平台积累的知识、技能和经验,为后续的高级平台打下良好的研究基础,让大多数学生萌发“我想做”的科研兴趣以及产生“我能做”的科研自信。

科研兴趣可提升学生参与科研训练的积极性,为深入探索提供源源不断的动力。心理学把兴趣划分为两部分:外在的兴趣是外部因素引起的,内在的兴趣是由于内在感到需要而产生的^[10]。唤起学生的科研兴趣需要在课程中充分挖掘“内在的需要”与“外在的吸引”。

科研自信可支撑学生持续挑战困难度不断提升的科研任务,保障科研训练的效果。在“社会学习理论”中,效能期待指的是人能够成功执行某种行为以达成特定结果的信心,结果期待指的是人对给定行为会导致某种结果的估计^[11]。科研自信实际上是对自身能力的主观评价,是可以习得的,关键就在于能否在科研训练的过程中让学生不断产生“效能期待”和“结果期待”。

2 基本思路

2.1 实践项目的选取原则

以科研兴趣和科研自信的建立为出发点,在选取科研项目建设科研实践课程时可参考以下原则。

1) 跨课程、跨学科,涵盖本专业多门主要课程知识点。

2) 当下较为时髦或新奇的“热点”。

3) 学生熟悉度较高的项目。

对于学生而言,了解本专业的重要理论及其发展并掌握综合应用能力都是“内在的需要”。热门且应用范围较广的技术宣传曝光度高,与之有关的科研课题会对学生产生很强的“外在的吸引”。课题的熟悉度影响学生对于自己能否达到课程目标的评估,从而影响“效能期待”和“结果期待”的达成。

2.2 科研项目的融入方式

将科研项目的拆分方式由“模块化拆分”转变为“阶段化拆分”有助于为学生构建研究基础和进阶。如依据课题的研究历史将实践拆分为经典理论、改进后的方法以及最新成果几个阶

段,并且在每个阶段再进一步按认知层级细化实践项目。科研训练是一个循环研究的过程,循环次数与获得经验成正比^[12]。每个阶段都是一次独立、完整的科研实践体验。阶段化的拆分在保留系统性的同时,有助于增加循环研究次数,提升科研经验累积效率。由易到难的“阶段化实践”为“效能期待”和“结果期待”的产生创造条件,阶段提升带来的改进又为学生创造了“内在的需要”,驱使学生深入研究和探索,不断追求表现更优的课题研究成果。

2.3 实践平台的配套

实验设备短缺也是影响科研实践课程效果的重要原因。科研设备大多昂贵而稀少,很多课程最后都因为设备短缺由“研究探索”变为“演示观摩”。部分课程以软件仿真替代真实的实验测试,导致科研实践过程抽象与枯燥,难以唤起学生的研究兴趣。因此,设计配套的实验平台非常必要。一方面能够让学生能够对自己的设计成果获得真实的“体验感”,利于“效能期待”和“结果期待”的达成;另一方面实物调试能够增强“外在的吸引”,有助于培养科研兴趣。为了课程的普及性,配套平台应该同时考虑成本、灵活性和可操作性。

3 行人惯性导航定位——物联网工程专业

3.1 课题研究背景

惯性导航定位系统仅依靠自身搭载的惯性传感器即可实现自主定位,在室内导航、残障引导、智慧城市、智能搜救等领域皆有广泛应用。惯导定位技术融合物联网工程专业必修的微积分、线性代数、微处理器与嵌入式系统、信息感知与标识、无线传感网络、物联网技术等相关课程的核心理论,涉及算法研究、仿真验证、数据分析、硬件设计及系统调试等多个开发环节。高中物理学过,已知某运动物体的初始位置、初始速度、运动时间和运动过程中的载体加速度,可以计算出物体的运动轨迹和位置。实际上,惯性传感器都存在噪声,多次积分会导致误差不断积累,致使步行者的定位轨迹快速发散^[13]。学者最初尝试通过校准传感器或利用外界信号进行辅助修正,但辅助设备易受环境干扰。通过卡尔曼滤波修正惯性传感器噪声的零速更新算法和与之相关的衍生算法是行人惯导定位的主流算法。相关

算法的发展如图 2 所示。

判断当前采样点是否零速更新点是修正误差累积的关键。研究者最初以角速度或加速度的二范数作为阈值判定零速区间。但该方法仅适用于缓慢、匀速的行人定位，对于速度和模式变化的运动难以准确检测^[14]。在此基础上发展的衍生算

法，如基于差分或基于广义似然比的零速更新算法，为零速区间的判定提供更准确的阈值，但当运动模式变化时，都需要预先通过实验和仿真演算新阈值再手动调整到定位系统中，影响实际应用。于是近年来有学者研究自适应的零速更新点选取算法。

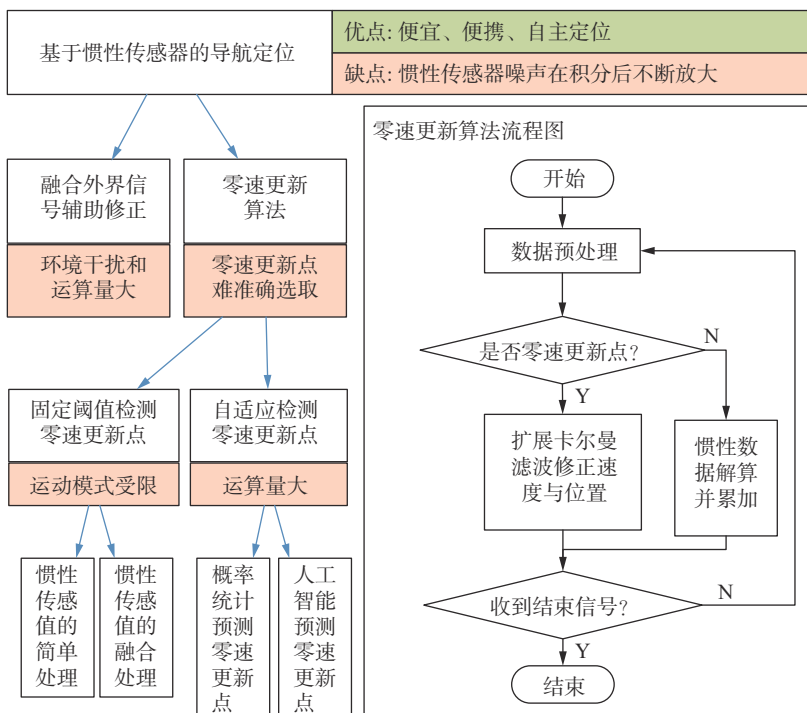


图 2 行人惯导定位算法发展简图

3.2 课程设计

根据课题的研究发展过程将课程划分为 3 个阶段，每个阶段都包含课内目标和对应的探索与实践环节，具体如图 3 所示。课内目标根据行人惯导定位课题研究过程中的 3 个典型算法设置。每个阶段的课内目标包含 4 个基础实验项目，实践顺序按认知过程规律设置，最终达成系统整合。探索与实践环节在完成该阶段课内目标后进行，对课内目标完成的系统进行分析和改进，并按照改进后的方案重新设计和实现定位系统。每个小组都需要先达成低级阶段才能进入下一阶段。

每个阶段的课内目标都是一次独立、完整的惯导定位系统开发实践，为该阶段的探索与实践打下良好的研究基础。研究与探索环节为学生种下一颗好奇的种子，将系统改进固化为“内在的需要”，驱使学生顺着研究脉络不断地思考和探索，为下一阶段的课内目标环节打下基础。实践环节的设置由简单到复杂，互为基础和拓

展，环环相扣。

3.3 实验平台设计

行人惯导定位课题研究大多基于仿真和数据分析，通常在 GPU 服务器上进行算法测试。为了提升实验的趣味性和获得感，让学生体验到实时手持定位的应用效果，教学团队利用 System on Chip (SoC) 构建了兼具实时性和便携性的低功耗、高性能实验平台。

物联网工程专业很多基础必修课程的实验都基于 SoC 实验板，学生对基于 SoC 的设计工具、硬件描述语言和逻辑建模都很熟悉。综合考虑定位系统对 DSP、RAM、Flip-Flops 和 LUTS 的资源使用情况，最终选用微嵌实验课程的 EES331 开发板作为硬件支撑平台，节省实验建设开支，增加实验设备利用率。

教学团队在 EES331 上为课程设计配套的系统框架，可同时支持 3 个阶段的课内目标和探索与实践。为学生提供的系统框架如图 4 所示。

阶段 1 基于原始物理公式的定位				
课内目标 1 基于原始物理公式 构建行人惯导 实时定位系统	惯导数据解算: 2 学时	记忆	理解	
	数据采集: 2 学时	理解	应用	
	传输网络搭建: 2 学时	理解	应用	
	系统整合: 2 学时	理解	应用	分析
探索与实践 1: 误差来源? 如何修正? (8 学时)		理解	应用	分析 评论
阶段 2 基于固定阈值的零速更新定位				
课内目标 2 基于零速更新算法 构建行人惯导 实时定位系统	零速检测算法: 2 学时	记忆	理解	
	阈值的拟定方法: 2 学时	理解	应用	
	零速更新模块搭建: 2 学时	理解	应用	
	系统整合: 2 学时	理解	应用	分析
探索与实践 2: 能否改变运动模式? (8 学时)		理解	应用	分析 评论
阶段 3 基于神经网络的零速更新定位				
课内目标 3 基于 CNN 构建 行人惯导 实时定位系统	卷积神经网络: 2 学时	记忆	理解	
	CNN 的训练和验证: 2 学时	理解	应用	
	CNN 模块搭建: 2 学时	理解	应用	
	系统整合: 2 学时	理解	应用	分析
探索与实践 3: 该系统能否改进? (8 学时)		理解	应用	分析 评论

图 3 阶段化的课程设计示意图

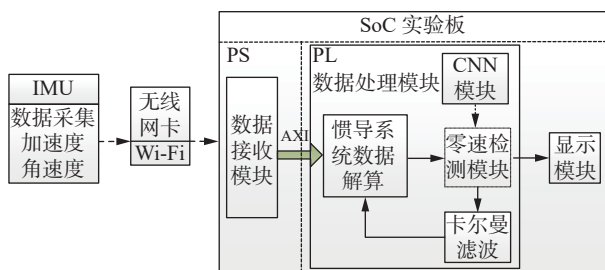


图 4 基于 EES331 的实验系统框架

SoC 兼具可编程逻辑(以下简称 PL)和处理系统(以下简称 PS)的优点, 既有丰富的运算资源, 又有强大的控制能力。惯性测量单元采集到的数据包通过 Wi-Fi 传输到 SoC 实验板, 通过 PS 端接收数据。数据接收模块需要调用 PS 端的接口、接口驱动及相关库函数构建, 这也是阶段 1 课内实验项目 2 的重点。PS 通过 AXI 总线将数据高速传输到 PL。课程的核心定位算法主要在 PL 中实现, 系统也依照课内实验项目进行模块化设计, 便于各阶段的模块复用, 避免每个阶段都重新设计系统, 使该平台能够支持包括实践与探索在内

的所有实践环节。如 CNN 模块在阶段 3 中设计并实现, 用其替代阶段 2 设计的零速检测模块即可支撑阶段 3 的课内实践。实验平台实物如图 5 所示。

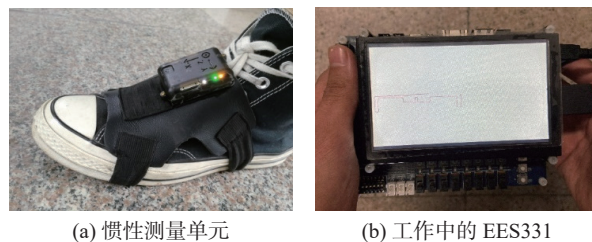


图 5 实时行人惯导定位实验平台

3.4 课程的开展与考核

实验以 3~4 人分组的形式开展, 学生可自由组队, 但队内必须涵盖一名技术队长和一名项目队长。技术队长负责拟定实验方案和分工。项目队长负责管理该队的开发进度, 及时与助教和老师在课题研究的关键节点进行对接。各组从阶段 1 的课内基础实践项目开始构建基于原始物理公式

的行人惯导实时定位系统。

实践教学实施方案如图 6 所示。课内基础实验项目与传统实验形式相同，注重行人惯导定位课题必备的基础训练，如惯导数据解算、卡尔曼滤波算法、零速更新算法等算法原理，熟悉 MATLAB、Vivado、TensorFlow 等设计工具，掌握 EES331 实验平台的架构和应用，电路设计、仿真与验证方法以及实验数据处理和分析方法等。本阶段结合课外实践+课内指导的教学形式最大化提升课堂效率。

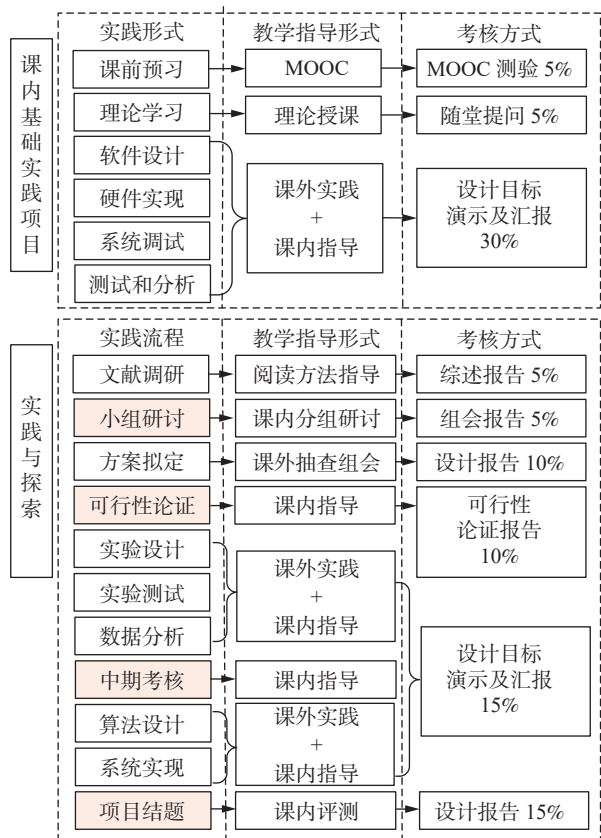


图 6 教学实施方案

实践与探索环节仅给出研究目标，具体的研究方向、内容和实现都由学生主导。课程组参照实际研究过程为该环节设计实践流程用于把控项目进度，解决学生在科研探索初期项目管理能力薄弱的问题。

图中橙色背景的流程处于课题研究的关键节点，课内指导便于及时把控项目进展并给出有效建议。如该环节的“小组研讨”需要通过小组成员研讨的状态确认该组对改进的零速更新算法的了解程度，能否形成明确的研究方向和分工。对于未能顺利完成小组研讨的小组及时了解原因并

进行针对性解决。常见原因有文献调研不顺利、调研内容未整合或组内意见不一致等，需要适时根据情况指导该小组调整流程。

实践教学考核以过程考核为基础，针对不同实践阶段的不同实践环节细化考核方式，取代传统实验单纯依靠实验结果和实验报告考核学生的方法，客观地评价不同层次学生的实践表现。课内基础实践项目部分，利用 MOOC 测验和随堂提问考核学生在实践过程中对原理的理解和掌握。由于课内基础实践项目数量较多且内容基础，该部分的设计目标演示及汇报成绩占比为 30%，相较于其他考核环节占比最高。该部分所有层次的学生都可顺利完成，差异较小。实践与探索部分根据实践流程在各个阶段都设置了考核，全面且科学地评价每个小组的表现。该部分的评定标准不局限于设计目标的指标参数和性能，而是根据该小组在文献调研、小组研讨、方案拟定等环节的工作量，综合评定该小组的成绩。

图 7 为某组学生分别完成 3 个阶段的课内基础实践项目后用相同起点、终点和运动轨迹，以快速行走测试得到的定位结果对比图。蓝色线代表理想轨迹，红色线代表实际定位轨迹。随着定位距离的增加，第 1 阶段的定位轨迹快速发散，第 2 阶段定位轨迹逐渐偏离实际运动轨迹，第 3 阶段定位轨迹与实际轨迹差别不大。通过实际体验定位效果的不断改进，学生不仅能感受到理论研究的强大魅力，同时也在“效能期待”与“结果期待”反复达成的过程中强化对自身的科研实践能力的认可。

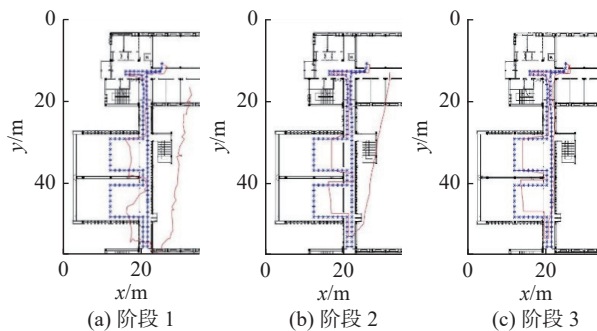


图 7 课内目标的定位轨迹对比图

实践与探索环节中，鼓励学生结合研究目标与自身特长改进课内目标设计的系统。如某小组根据文献调研结果在阶段 2 中尝试利用广义似然比融合角速度与加速度检验统计量，解决角速度

二范数阈值在快速行走时漏检零速区间的问题。实验结果如图8所示, 广义似然比法定位效果确实优于原算法。但该组同学同时也发现变换行走速度后, 广义似然比法需要重新实验拟定阈值, 这个问题一直困扰该组同学, 为阶段3的开展埋下伏笔。

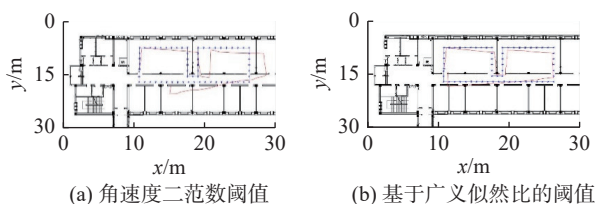


图8 阶段2探索与实践环节的定位轨迹对比图

善于硬件设计的同学, 从系统结构入手, 将阶段3的数据处理模块拆分为低通滤波模块、坐标系转换模块和数据解算模块, 并在各级模块中间插入流水线, 如图9所示。最终测试整个系统的数据处理速度提升约9倍, 解决运算量过大导致采样率无法提高、实时性不足等问题。

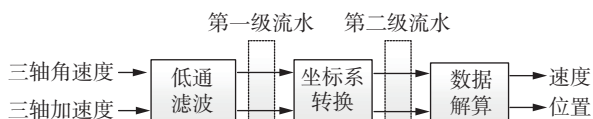


图9 带流水线的数据处理模块

阶段化、阶梯式的科研实践环节设置为科研实践探索提供基础和条件, 结合实际科研过程与学生兴趣的教学实施方案为学生的科研兴趣与科研自信建立提供保障。课后收到“课程有趣”“有很强的获得感”“学到很多分析、研究和解决问题的方法”等学生反馈。

4 结束语

课内科研实践教学在本科生科研实践训练体系中处于承上启下的关键位置, 课程的建设应当兼顾内容的综合性、创新性与教学设计的科学性、系统性, 促进学生更好地整合科研知识和技能、认识科研方法、积累科研经验、领略科研工作的趣味和魅力, 逐步建立科研兴趣和自信, 为后续的高层次科研训练打下良好的基础, 整体提升本科阶段的科研训练效果。

参考文献

- [1] 朱亚先, 洪炜, 吴丽晶, 等. 本科生科研能力培养之探索[J]. 中国大学教学, 2016(10): 24-30.
- [2] 梁华, 杨光祥, 胡健, 等. 面向新工科的人工智能教学科研复合型实验室体系建设[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(7): 266-269.
- [3] 付坤, 王瑞, 杨罕, 等. 高校本科生科研素养培养教育探索[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(3): 207-211.
- [4] 李俊龙, 侯怡, 宋菲, 等. 本科生科研训练计划实施过程中的激励策略探析[J]. 中国大学教学, 2014(4): 77-80.
- [5] 陈进华, 张晨. 建立多点支撑的本科生科研能力训练新格局[J]. 中国高等教育, 2019(17): 54-56.
- [6] 沈利荣, 沈蓉, 李小平, 等. 将科研成果向本科生实验教学转换的具体实践[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(12): 199-204.
- [7] 白蓝, 刘媛. 基于科研成果的综合性创新实验教学设计[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(11): 179-182.
- [8] 郭卉, 韩婷, 胡皓斐. 工科大学生科研学习投入探究: 基于5所理工科高校的调查[J]. 高等工程教育研究, 2017(6): 145-150.
- [9] 孙荪. 本科生科研: 意蕴、价值与制度化路径——基于美国的经验[J]. 江苏高教, 2018(7): 66-69.
- [10] WANG Y S, CHERNYSHOFF A, SHKEL A M. Error analysis of zupt-aided pedestrian inertial navigation[C]// In Proceedings of International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Nantes: IEEE, 2018: 206-211.
- [11] 彭湃. 高等教育自信: 概念、问题与生成机制[J]. 高等教育研究, 2018, 39(8): 7-13.
- [12] 覃昊洁, 阎波, 林水生, 等. 基于神经网络的步行者室内惯导定位技术[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(5): 48-52.
- [13] YU X, LIU B, LAN X, et al. A ZUPT: Adaptive zero velocity update based on neural networks for pedestrian tracking[C]//In Proceedings of IEEE Global Communications (GLOBECOM). Waikoloa, N.z.: IEEE, 2019: 1-6.
- [14] XIAO Z, WEN H, MARKHAM A, et al. Robust pedestrian dead reckoning(r-pdr) for arbitrary mobile device placement[C]//In Proceedings of International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Buan, Korea(South): IEEE, 2014: 187-196.

编辑 钟晓