

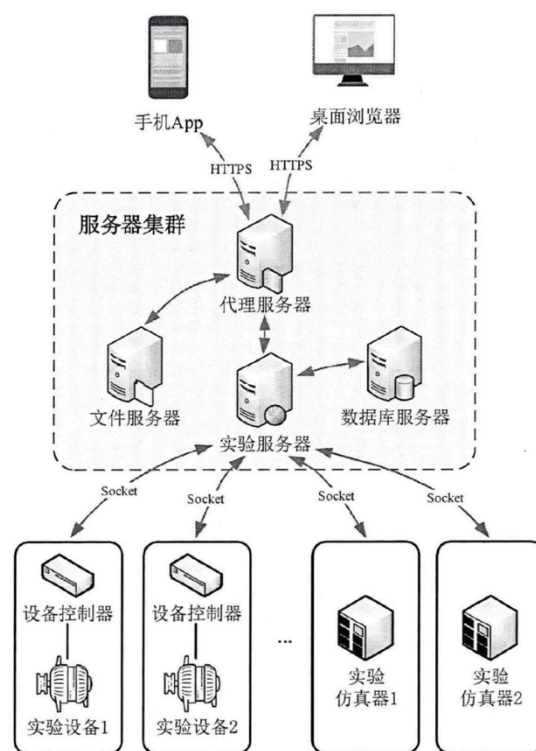
广东省科技创新战略专项资金

作品申报书

(科技发明制作类)



申报者基本情况	姓名	华羽霄		学校	南方科技大学
	学历	本科		系别、专业、年级	电子与电气工程系自动化 2020 级
	联系电话	13921040135		电子邮箱	1628280289@qq. com
	项目名称		基于数字孪生的网络电路实验系统		
合作者情况	姓名	性别	所在单位	专业	学历
	汤竑敬	男	南方科技大学	电子与电气工程系自动化	本科
	郝熙哲	男	南方科技大学	电子与电气工程系自动化	本科
	张艺峰	男	南方科技大学	电子与电气工程系自动化	本科
	钟梓轩	男	南方科技大学	电子与电气工程系自动化	本科
指导教师	姓名	职称	所在单位		联系方式
	刘国平	院士、讲席教授	南方科技大学/工学院/电子与电气工程系		13671016284

项目所属领域	<p>(B) A. 机械与控制 (包括工程与技术科学基础学科、测绘科学技术、矿山工程技术、冶金工程技术、机械工程、动力与电气工程、土木建筑工程、水利工程、交通运输工程、航空、航天科学技术等)</p> <p>B. 信息技术 (包括信息科学与系统科学、电子、通信与自动控制技术、计算机科学技术等)</p> <p>C. 数理 (包括数学、力学、物理学、天文学、地球科学等)</p> <p>D. 生命科学 (包括生物学、农学、林学、畜牧、兽医科学、水产学、基础医学、临床医学、预防医学与卫生学、军事医学与特种医学、药学、医学、中医学与中药学等)</p> <p>E. 能源化工 (包括化学、材料科学、能源科学与技术、化学工程、纺织科学技术、食品科学技术、环境科学技术、安全科学技术等)</p>
项目设计、发明的目的和基本思路	<p>近年来新冠疫情席卷全球,大量学校被迫进行线上教学。除了理论课以外,还有许多实验操作型课程,必须依靠学生亲自动手操作,组建系统观测数据,才能对该实验所涉及的知识有更加深刻的理解。尤其是在特定学科实验中,实验设备造价和维修更新费用昂贵。</p> <p>为解决这个问题,出现了允许用户通过互联网访问实验室资源和进行实验的在线实验室。网络在线实验平台的出现,大大缓解了实验资源短缺的问题,为资金匮乏的高等教育结构也提供了更多的选择和机会。在本项目中,我们着手设计和搭建使用实体设备的模拟电路、电路原理远程实验室,解决高中及大学电路实验成本高昂、器材占位大、实验时空限制等问题。</p> <p>本项目利用数字孪生技术,每一个实验所涉及的电路系统就是一个物理模型。在PCB板上搭建完电路以后,我们将利用继电器集成控制电</p>



	<p>路中的各条支路，通过树莓派 I/O 接口将各种参数传输给 PC，并实现在 PC 端输入参数以控制电路元器件。我们将搭建服务器进行网络通信，通过高分辨率摄像头实时传输电路状态的画面。最后加上数字孪生 3D 渲染图，用户可以从网页端与电路元器件进行交互，实时操控元器件、观察并记录实验数据，以达到课程的教学目的。</p> <p>网络在线实验教学平台与虚拟现实技术的结合，可以使得学生更加逼真的感受实验教学过程中的操作体验感，极大的加强了学生的实验趣味性与实验学习效果。</p>
<p>项目的科学性、先进性及独特之处</p>	<p>本项目设计的电路是在时空中真实存在的，实验数据来源于高精度电压表电流表，科学可靠。该项目创意来源于武汉大学的 3-D 交互式实验室。我们在保留其项目原有的跨平台性、图形交互性、非侵入性等诸多科学性后，进行了数字孪生控制方面的创新。</p> <p>本项目使用 NCSLab 网络技术，目标为建立一个面向服务、无插件、跨平台的网络实验室。在 HTML5 的标准制定后，Web 图形库为 2-D 和 3-D 计算机图形提供强大支持，使得这一目标成为可能。因此，依靠 NCSLab 技术，我们所提出的系统能够为用户提供覆盖控制工程实验全过程，还能为用户提供极大的灵活性，如允许他们自定义远程监控界面、设计实验算法等。在实际应用教学中，学生需要使用模拟电路及电路原理的电路知识，通过线上的操作控制实际电路，来实时调整并分析电路状态。该项目解决了教学实验线上线下割裂的问题，实现学生在线上实验的同时能够认识实际元件、操作实际电路的效果，增加了学生的工程动手能力，弥补了国内空白。</p> <p>在大疫情时代的背景下，线上教学的情景日益增多。但是目前线上实验教学基本处于两种模式：教师线上演示或学生线上仿真实验。前者学生无法提高动手能力，后者学生可能会忽略实际操作过程中的问题。无论哪种方式均无法让学生有效地进行线上实验。若使用我们的项目成果，可以通过控制</p> 

	<p>网页的 3D 元件，让学生自己动手设计电路并完成操作实验。并且在操作时可以通过摄像头看见自己搭建的电路的实际模型，以及实时对于元器件状态进行查看。本项目在教学的有效性上相比过去的方法有着先进性与独特之处。</p>																						
项目的应用价值和转化前景	<p>项目的应用价值：本项目主要突出应用于高中、大学的电路实验教学，为高中和大学的老师和学生提供更多教学与学习方式的选择。目前电路实验教学方式主要以学生去实验室，听老师讲解实验后在面包板上搭建电路，然后测量数据为主。其中需要用到的大型精确实验仪器就有：电源、信号源、万用表、示波器等，这些实验仪器价格昂贵，质量体积大，不方便移动，只能在实验室使用。在如今疫情大背景下，许多学校只能线上授课，学生就几乎没有办法线下完成实验，只能退而求其次选择软件仿真。学生在使用软件仿真时不仅会经常忽略一些实际当中才会遇到的问题，还容易因为接触不到实物而降低学习的兴趣，从而达不到预期的学习目标。因此我们需要运用现代工程技术解决学生无法有效完成实验的问题，让线上实验也身临其境。</p> <p>近年来，我国已出台一系列鼓励线上教育资源建设的宏观政策，这将极大推动我国线上教育发展以及促进线上教育资源开发。在《教育部等五部门关于大力加强中小学线上教育教学资源建设与应用的意见》[1]中明确指出目标是“到 2025 年，要基本形成定位清晰、互联互通、共建共享的线上教育平台体系”。而其中一项重点举措就是按照学生需要高质量开发资源。</p> <p>项目的转化前景：本项目有效改善了软件仿真中容易忽略实际中问题的缺陷，且又能让学生随时随地进行实验而不再受限于时间、空间和设备的影响，还能以小空间提供很多人服务，节约空间，减小人为实验损耗。同时，也将促进网络化教育的发展。2022 年，我国高校招生人数突破 1100 万人且还在逐年增加，其中有约 15% 的人会接触电路实验内容，这意味着我们有至少 150 万人的受众群体。市场潜力巨大。截止 2021 年，我国共有高校 2756 所，高中 2.44 万所。所以无论从学生人数还是高校人数来看，线上电路实</p>  <p>2022届中国高校毕业生青睐的行业TOP10</p> <table border="1"><thead><tr><th>行业</th><th>简历申请量占比</th></tr></thead><tbody><tr><td>建筑/建材/工程</td><td>11.29%</td></tr><tr><td>电气/电力/水利</td><td>7.86%</td></tr><tr><td>机械/设备/重工</td><td>7.03%</td></tr><tr><td>石油/石化/化工</td><td>4.89%</td></tr><tr><td>电子技术/半导体/集成电路</td><td>4.31%</td></tr><tr><td>汽车及零配件</td><td>3.54%</td></tr><tr><td>互联网/电子商务</td><td>3.18%</td></tr><tr><td>新能源</td><td>3.10%</td></tr><tr><td>航空/航天研究与制造</td><td>2.56%</td></tr><tr><td>学术/科研</td><td>2.51%</td></tr></tbody></table>	行业	简历申请量占比	建筑/建材/工程	11.29%	电气/电力/水利	7.86%	机械/设备/重工	7.03%	石油/石化/化工	4.89%	电子技术/半导体/集成电路	4.31%	汽车及零配件	3.54%	互联网/电子商务	3.18%	新能源	3.10%	航空/航天研究与制造	2.56%	学术/科研	2.51%
行业	简历申请量占比																						
建筑/建材/工程	11.29%																						
电气/电力/水利	7.86%																						
机械/设备/重工	7.03%																						
石油/石化/化工	4.89%																						
电子技术/半导体/集成电路	4.31%																						
汽车及零配件	3.54%																						
互联网/电子商务	3.18%																						
新能源	3.10%																						
航空/航天研究与制造	2.56%																						
学术/科研	2.51%																						

	<p>验平台都有广阔的应用前景。</p> <p>参考文献：</p> <p>[1] 教育部等五部门关于大力加强中小学线上教育教学资源建设与应用的意见 http://www.moe.gov.cn/srcsite/A06/s3325/202102/t20210207_512888.html</p>
项目已有研究成果	<p>目前我们已完成部分电路基础实验的 PCB 版绘制、3D 模型建设以及实物搭建。本项目参考基于 web 的 NCSLab 控制实验室。NCSLab 是基于互联网的三维虚拟现实的控制系统开发平台。它集成了多种三维虚拟现实的控制系统实验设备，可以对各类经典控制、现代控制、先进控制系统等进行实时仿真。它可针对各种三维虚拟被控制对象，在互联网浏览器中对控制方法和策略进行闭环控制系统的可视化组态设计；然后自动生成可执行代码，经网络下载到实时仿真控制器中执行，实现控制系统的实时仿真；同时经基于 Web 的可视监控组态设计可实现远程监视和远程调试。本项目将借助 NCSLab 的网页实现手段及其它部分的实践经验运用到电路的远程控制、操纵和调试中。</p> <p>在实际的授课过程中，学生通过浏览器可以在 NCSLab 中实时实现各种控制课程的实验，从而验证并理解课程中的控制理论概念。NCSLab 最早起源于英国，并先后在英国和国内的几所高校部署了实验服务器。随着对新技术的应用与对 HTML5 新标准的支持，NCSLab 在致力于发展成为一个全面基于 Web、无插件、跨平台的在线实验室的道路上取得了长足的进展。为了丰富表现形式以及提升实验沉浸感，NCSLab 集成了许</p>  

	<p>多基于 HTML5 的新技术，目前也引入了 3D 交互和虚拟现实实验特性等。</p> <p>参考文献：</p> <p>[1] Wenshan Hu, Guo-Ping Liu and Hong Zhou, “Web-based 3-D Control Laboratory for Remote Real Time Experimentation,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.60, no.10, pp.4673-4682, Oct. 2013</p> <p>[2] Wenshan Hu, Zhongcheng Lei, Hong Zhou, Guo-Ping Liu, Qijun Deng, Dongguo Zhou, and Zhi-Wei Liu, “Plug-in free web based 3-D interactive laboratory for control engineering education,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no.5, pp. 3808 - 3818, 2017.</p> <p>[3] G.P. Liu, Coordinated control of networked multi-agent systems via distributed cloud computing using multi-step state predictors, IEEE Transactions on Cybernetics, DOI: 10.1109/TCYB.2020.2985043, 2021.</p> <p>[4] G.P. Liu, Y. Xia, J. Chen, D. Rees and W.S. Hu, Networked predictive control of systems with random network delays in both forward and feedback channels, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 54, no. 3, pp. 1282- 1297, 2007.</p> <p>[5] G.P. Liu, Predictive controller design of networked systems with communication delays and data loss, IEEE Transactions on Circuits and Systems II, vol. 57, no. 6, pp. 481-485, 2010.</p>
项目研究的未来工作安排（主要研究内容、进度安排及拟解决关键问题）	<p>本项目主要研究利用数字孪生搭建线上电路实验系统。</p> <p>具体过程为：</p> <p>首先我们在 PCB 板上搭建电路并利用继电器集成控制电路中的各条支路，然后通过树莓派的 I/O 接口将电路中的各种参数传输给 PC，实现在 PC 端输入参数以控制电路元器件。在传输过程中，本项目通过搭建服务器进行网络通信，利用摄像头，实时传输电路状态的画面，再加上数字孪生 3D 渲染图，用户可以在线与元器件进行交互。</p> <p>项目流程图如下：</p>

	<div data-bbox="395 230 1326 898"></div>
	<p>进度安排如下：</p> <p>2022 年 10 月-2022 年 12 月，电路板 PCB 画板，制板。</p> <p>2023 年 1 月-23 年 4 月，数字孪生绘制，树莓派程序调试。</p> <p>2023 年 5 月-23 年 8 月，电路控制实验箱安装，测试，验收。</p> <p>2023 年 9 月-23 年 10 月 论文撰写与投稿，专利申请。</p> <p>拟解决以下关键问题：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 通过继电器控制各条支路。2. 多个电路实验的集成封装。3. 电路与树莓派的连接。4. 树莓派与网页的连接。5. 数字孪生渲染场景。
预期成果形式和效益	<p>预期成果形式和效益：本项目预期成果最终以实物形式展示项目系统，申请一项实用新型专利以及发表一篇学术论文。</p> <p>从社会效益角度上来说，现有的电路实验线上教学大多依托于 Multisim 软件开展，未能让同学们深入了解电路实验的本质。本项目填补了国内在线上电路实验教育与线下实物结合方面的空白，有效解决了疫情背景下电路实验开展的难题。通过数字孪生的先进技术，本项目让同学们和电</p>

	<p>子电气从业者跨越时间和空间的阻隔，更方便地操作电路，更深刻地了解电路原理，同时也为我国高质量工科人才的培养做出一定贡献。</p> <p>从经济效益角度上来说，目前全国开设工科院校上百所，每年工科专业毕业生数百万，绝大多数工科学生都需要学习电路相关实验。该项目可以通过“学校采购，学生使用”的模式，对接国内高校资源，进一步解决学生远程操作学习电路的难题。此外，本项目成本低廉，效果较为突出，在减少损耗的同时也能让大家更加了解电路知识，市场前景远大。</p>
学校团委 推荐意见	<p>(盖章)</p> <p>年 月 日</p>