



磁共振成像虚拟仿真实验平台建设

王国平¹, 叶韶华¹, 刘迎宾¹, 郭彦彬¹, 刘亚丰¹, 赵元弟^{1,2}

(1. 华中科技大学生命科学与技术学院, 武汉 430074; 2. 华中科技大学 武汉光电国家研究中心, 武汉 430074)

摘要: 磁共振成像 MRI 是当前最为复杂的医学影像技术之一, 也是生物医学工程专业本科生医学影像技术相关课程的教学重点和难点。针对华中科技大学生物医学工程专业在磁共振成像 MRI 教学中存在的一些问题, 由任课教师根据自己的科研背景和授课体验, 围绕学生应掌握的知识点, 自主设计开发了一款适合生物医学工程专业教学的系统平台。该平台构建了包含磁共振医学成像原理展示、系统元件拆分、成像操作实践等多个环节的虚拟仿真综合设计实验, 使学生系统掌握磁共振成像设备的基本结构、功能及操作流程。通过该平台教学, 有助于学生利用虚拟实验锻炼综合应用知识的能力、自主学习能力、分析解决问题能力和动手实践能力, 进一步提升了学生综合素养和创新创业能力。

关键词: 生物医学工程; 磁共振成像; 教学改革; 虚拟仿真实验

中图分类号: R318

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20200496

The Construction of Magnetic Resonance Imaging Virtual Simulation Experimental Platform

WANG Guoping¹, YE Shaohua¹, LIU Yingbin¹, GUO Yanbin¹, LIU Yafeng¹, ZHAO Yuandi^{1,2}

(1. College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Magnetic resonance imaging (MRI) is one of the most complex medical imaging technologies, and it is also the teaching emphasis and difficulty of medical imaging technology related courses for undergraduates majoring in biomedical engineering. In view of some problems existing in MRI teaching of biomedical engineering major in Huazhong University of Science and Technology, the teachers, revolving around the knowledge points that students should master, independently designed a system platform according to their own scientific research background and teaching experience. The platform consists of a comprehensive design virtual simulation experiment, including the display of MRI principles, system components splitting, and imaging operation practice, so that students can systematically master the basic structure, function and operation process of MRI equipment. The platform teaching helps exercise students' ability to comprehensively apply knowledge, autonomous learning, problem analysis and solving skills and practical ability by using virtual experiment, thereby further improving students' comprehensive quality and innovation and start-up ability.

Key words: biomedical engineering; magnetic resonance imaging; teaching reform; virtual simulation experiment

磁共振成像 MRI 作为当前最为复杂的医学影像技术之一^[1], 其在临床诊疗方面发挥着重要作用。磁共振成像涉及电磁学、量子力学、高等数学等众多学科, 从核磁共振现象的发现到成像技术的成熟, 经历几十年时间, 共 6 次摘得诺贝尔奖, 涉及物理、化学、生理学或医学 3 个领域^[2],

足以说明磁共振成像技术科技含金量, 代表着 21 世纪医学影像诊断设备和技术发展的最高水平之一。

生物医学工程是运用工程学原理和方法解决生物医学问题, 提高人类健康水平的综合性学科^[3]。医学影像技术是生物医学工程学科重要的方

收稿日期: 2020-10-16; 修回日期: 2021-02-07

基金项目: 华中科技大学教学研究项目(2020108); 华中科技大学研究生教学研究项目(YY202042); 教育部产学合作协同育人项目(202002017014)。

作者简介: 王国平(1979-), 男, 博士, 教授, 主要从事激光视觉与可视化及生物医学应用的研究。

通信作者: 赵元弟(1972-), 男, 博士, 教授, 主要从事生物医学光子学与生物医学传感检测技术的研究。E-mail: zydi@mail.hust.edu.cn

向之一,在全国百余家建设有生物医学工程本科专业的高校中,大多数设置有相关课程,如华中科技大学生物医学工程本科专业开设有医学影像系统原理课程,湖北科技学院生物医学工程专业开设有医学影像仪器等课程,在这些课程中磁共振成像系统均为教学重点和难点^[4]。此类课程与医科院校的医学影像学本科专业开设的相关课程主要区别在于,前者更偏重成像原理方法、仪器构造的讲解。并且,为了让学生对磁共振成像等医学影像系统有直观认识,生物医学工程专业的实践教学环节(生产实习)也多将医院的影像科(或设备科、医疗器材科等)作为实习基地^[5],组织学生前往学习。

在以往教学过程中,我们发现由于磁共振成像设备结构复杂,涉及学科领域众多^[6],关键知识点范围广且均较为抽象,而生物医学工程专业学生相应领域知识掌握程度不够,无法深刻理解相关知识的精髓,使其在有限学时内很难掌握相应的知识点;在讲解设备结构时,尽管内容相对具体,但学生仍然缺乏感性认识,并且由于该设备体积巨大、价格昂贵,绝大多数学校教学实验室难以配备磁共振成像设备。对于在医院影像科开展的生产实习,通常由老师带队,学生一起集中参观,由影像科医生进行相关介绍。然而,由于医院医疗任务繁重,磁共振成像设备基本满负荷运转,学生无法系统了解磁共振成像设备的全貌,也根本不可能亲自动手操作,更不可能拆解设备。

在教育信息化背景下,虚拟仿真实验已广泛应用于各学科领域的教学活动中^[7-9]。虚拟仿真实验依托互联网、多媒体、人机交互等信息技术,结合教学内容构建仿真的虚拟实验环境和实验对象,可使学生在开放、自主、交互的环境中身临其境地开展实际教学环节中难以实现的学习活动^[10-12]。因此,开发磁共振成像虚拟仿真系统,将有助于学生随时随地开展磁共振成像系统原理的学习和虚拟操作,强化学生对磁共振成像原理和技术内涵的深度理解;同时可克服医学磁共振成像系统价格昂贵、无法获取、无法拆解的局限性,同时也避免实地操作的危险性,弥补实践教学时间的不足。通过虚拟实验锻炼学生综合应用知识的能力、自主学习能力、分析解决问题能力和动手实践能力,进一步提升学生综合素养和创新创业能力。

1 系统架构

各高校的虚拟仿真实验系统来源主要有 3 种途径:一是直接购买商用软件;二是根据需要委托软件公司开发进而享有软件系统的知识产权;三是部分高校对外开放共享其拥有知识产权的软件系统。

目前,已有若干磁共振虚拟教学系统出现^[13],然而其主要面向医科院校,用于医学专业学生的医学影像教学,侧重于磁共振成像检查技术^[14]、磁共振成像读片能力^[15]的培养,与生物医学工程专业的教学重点有较大偏差。委托外包形式虽然简单,但软件开发人员对教学内容完全陌生,需要教师与之细致沟通,过程繁琐耗时且往往并不能达到最佳效果。基于此,课程组根据科研背景和授课经验,自主设计开发了一款适合生物医学工程专业教学的软件系统,在教学内容上充分考虑授课体验,着重围绕学生应该掌握的知识点设计。

该系统采用 CS 架构,具有交互性强、数据存取模式安全以及利于大量数据处理等特点,完全适用于本场景。本研究所开发软件系统的技术创新性主要体现在以下 3 个方面:

- 1) 优化了 OpenGL 底层的可编程渲染管道技术,可根据不同场景的应用需求,结合硬件资源配置,合理优化场景呈现效果;
- 2) 利用模型实体与场景节点之间的绑定技术,提高了场景模型的加载、渲染效率;
- 3) 可自主设计帧动画格式及脚本调用逻辑,突出了系统的模块化编程优势。

整个系统分成客户端与服务端两个部分,如图 1 所示。前端为客户端,主要实现用户界面显示、记录学生学习过程的输入信息、验证输入信息的有效性并通过网络端口发送数据至后台数据库,同时接收后端的返回结果。后端为服务器端,运行数据库管理系统,进行数据库的查询与管理。系统前端基于自主三维引擎技术开发,后端采用 MySQL 数据库管理系统,除实现用户权限确认、用户信息存储管理、用户使用日志存储管理等常规功能外,还能实现对学生学习数据的记录及统计,根据学生虚拟操作输出相应的实验报告结果。这些定制功能不仅有利于使用该系统的学生对于相关知识点的学习巩固,同时帮助教师

统计教学数据,评价教学效果。整个系统基于底层技术开发,采用最优化硬件配置方案,保证了系统的稳定性和性能,提高了并发访问的上限和速率。同时具有强大的可拓展性,前端引擎保留有多种交互方式及通信接口,便于系统优化升级。

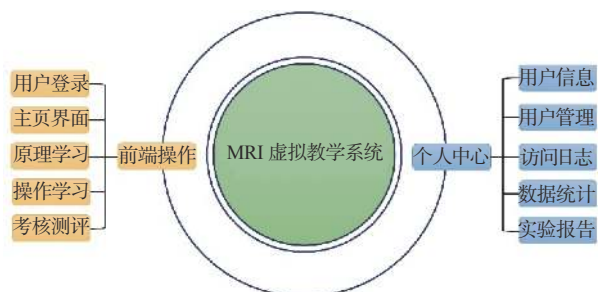


图1 磁共振成像虚拟仿真系统平台架构图

2 实验内容

该系统采用虚拟仿真等信息化技术,构建了包含磁共振医学成像原理展示、系统元件拆分、成像操作实践等多个环节的虚拟仿真综合设计实验,使学生系统掌握医学磁共振成像的基本原理以及系统基本组成,熟悉磁共振成像设备的基本结构、功能及操作流程,理解各成像参数、临床分子造影剂对成像效果的影响,理解医学图像与人工智能结合的基本原理,同时还能量化评估学生理论学习和实践操作的效果。

该系统涵盖的知识点包括以下10点。

1) 磁性核与非磁性核:学习原子基本组成结构,了解常见磁性核结构(氢质子, ^{13}C , ^{19}F , ^{23}Na 等)。

2) 原子核自旋:了解和学习原子核自旋现象,掌握磁化矢量的概念。

3) 磁性核进动:了解磁性核进动的运动形式,掌握进动频率的计算方法,能够根据主磁场强度计算出相应的进动频率。

4) 原子核共振:了解和学习微观原子核共振现象,掌握共振发生原理,理解射频脉冲频率与进动频率一致时才可能发生共振现象的原因。

5) 原子核弛豫:理解射频脉冲在共振信号产生过程中的作用。理解原子核弛豫过程中磁化矢量的变化过程,掌握 TR/TE 参数定义,学习 T1 加权、T2 加权两种成像模式的区别,了解不同类型的造影剂对成像结果的影响。

6) 成像截面分析:学习和理解磁共振仪器成像选层原理,掌握影响层厚的主要参数,理解射

频脉冲带宽与梯度磁场梯度对层厚的影响。

7) 成像原理:学习从病人进入磁共振仪器到得到磁共振医学图像整个成像流程的基本原理,掌握仪器硬件参数在成像过程中的作用。

8) 磁共振仪器组成结构:了解磁共振仪器硬件组成结构,认识成像系统中的主磁体、梯度磁场线圈和正交线圈。

9) 磁共振图像质量分析:学习和掌握影响磁共振图像质量的因素,深入理解硬件参数和造影剂对图像质量的影响。

10) 磁共振图像智能诊断:了解深度学习基本原理,熟悉深度学习基本过程,理解深度学习在磁共振图像诊断领域的应用。

该系统构建了完整的磁共振成像装置,使学生不仅能够近距离观察其外观结构,同时也能够拆分、装配其每个部件、线圈,也能够操作设备让其生成医学图像,同时加入成像原理的微观动画,让学生更加清晰地理解磁共振成像原理、设备组成、成像流程、设备操作。系统有5个学习操作模块供学生选取。

1) MRI 基本原理:该部分通过利用大量微观模型与三维动画,形象地展示了 MRI 成像原理的相关知识点,包括磁性核与非磁性核(如图2所示)、核自旋、进动、共振、弛豫以及成像截面分析。该方式具有以下3点优势:演示动画由宏观至微观,配合智能语音讲解,由具体到抽象,帮助学生理解现象背后的数学模型及影像学意义;交互性强,学生可以通过点击模型的方式调整观察视角、修改实验条件,并得到相应的反馈结果,通过虚拟实践验证原理,强化对知识的理解;原理讲解前后紧密关联,能够帮助学生举一反三,系统性地建立起知识框架。

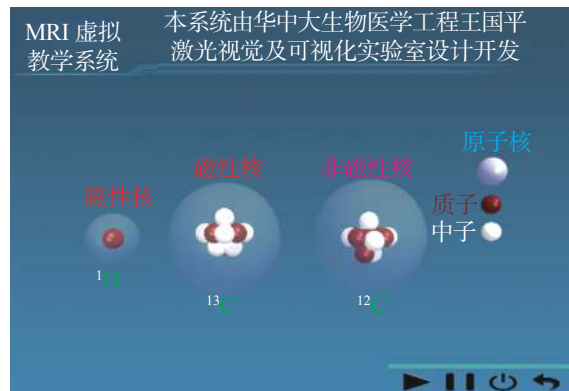


图2 MRI 基本原理——磁性核与非磁性核

2) MRI 仪器构造: 该部分对真实 MRI 成像设备进行外观建模, 并对内部主要结构进行原理性建模还原, 如图 3 所示。在虚拟场景中, 学生不仅可以了解 MRI 设备各部分的名称及功能, 同时还可对内部结构组成进行深入学习, 其优势体现在以下两方面: 在实际教学过程中, 该部分与原理讲解部分紧密联系, 故该部分在内部结构介绍方面, 细化至每个线圈的结构与功能, 让学生从工程实现中理解基本原理, 进一步巩固所学理论知识; 交互式地学习方式能够带动学生积极思考问题、提出问题, 帮助学生深刻地记忆并掌握 MRI 仪器结构的相关知识。



图 3 MRI 仪器构造界面

3) MRI 成像: 该部分对真实医学成像场景进行高还原度建模, 其中模型包括影像室、准备室以及图像分析室等, 同时也构建了病人模型及相关骨骼动画; 通过动画配合语言讲解的形式, 生动地展示了从成像前准备至图像分析之间的完整流程, 同时结合仪器硬件结构对成像基本原理进行分析展示, 如图 4 所示, 使学生深入地了解仪器硬件结构对成像质量的影响, 并科普性地介绍了基于深度学习技术的图像智能诊断原理。

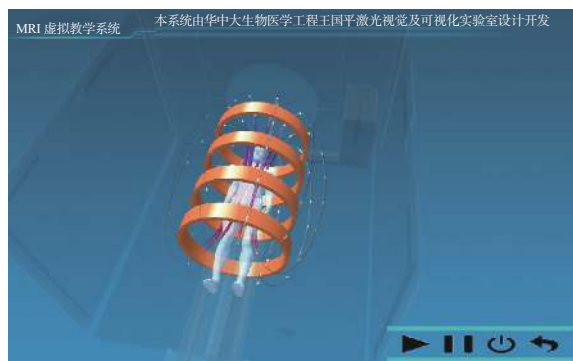


图 4 MRI 成像基本原理界面

4) MRI 虚拟操作: 通过该部分学习, 学生可以化身仪器工程师, 对 MRI 仪器中的成像系统部

分进行虚拟拆装, 也可以化身成为一名影像科医生, 引导病人进行成像前准备及后续成像, 如图 5 所示, 并对成像结果进行诊断分析; 调整 TE/TR 时间及层厚等相关参数, 系统输出对应的 T1/T2 加权图像。上述一系列虚拟操作, 可帮助学生理解相关原理知识, 有助于学生知识框架的搭建。



图 5 MRI 虚拟操作界面

5) MRI 考核测评: 为了对学生的学习效果进行全面考察, 系统在理论及操作方面均设置了考核题目, 并且会自动打分。考核完成之后会生成电子实验报告, 记录学生学习和考核过程。考核测评界面如图 6 所示。学生可利用该模块进行查漏补缺, 深化对理论知识的理解, 亲手实践操作, 加强自身动手能力, 真正做到理论与实践的高效结合。

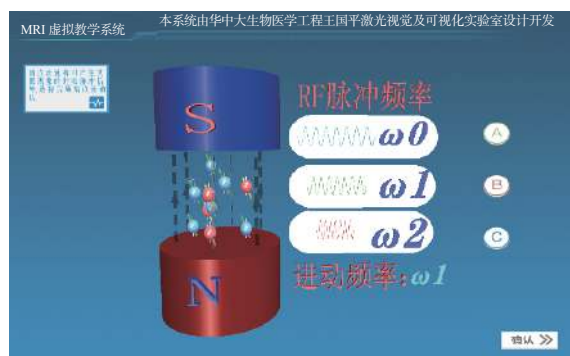


图 6 MRI 考核测评界面

3 系统特色

磁共振成像 MRI 虚拟教学系统构建了微观原子仿真模型、成像设备结构模型、医院真实场景与病人模型等一系列的完整三维模型, 并基于三维图形引擎底层技术对模型进行了逼真性渲染, 提高了模型显示真实性。实验中通过漫游的方式对磁共振仪器检查室、成像操作室、准备室内部

布局及核心辅助设备进行了语音讲解和三维展示,让学生身临其境地了解真实医院检查流程。系统不仅根据真实环境完整重建了成像室、模拟病人等三维场景模型,并且严格参照实际医用磁共振成像仪器,构建了完整的仪器部件,组成了整个MRI成像系统三维模型,精心考虑使三维模型与实景在外观和尺寸上保持高度一致,提高系统操作切入度与操作效果。

为提高系统平台访问与运行速度,基于图形学底层原理,对硬件资源配置方案进行了优化,保证了系统最优的运行效率和空间占有率。系统注重交互设计,可针对具体应用场景进行特定交互接口的开发,增强了系统交互的灵活性和友好性。利用三维交互技术让学生能上手操作昂贵的医学设备,通过设置相关成像参数对虚拟病人进行成像,提高学生学习兴趣,让学生拥有逼真、沉浸式的学习体验,提升知识实践水平,培养学生主动分析和解决问题的能力,有助于学生了解掌握医学核磁共振成像设备的使用与功能,加快对实验内容与知识点的吸收。

4 结束语

本系统采用虚拟仿真等信息化技术,构建了包含磁共振医学成像原理、成像操作实践等多个环节的虚拟仿真综合设计实验。目前,系统已在华中科技大学生命科学与技术学院生物医学工程大类17级和18级本科生、生物制药专业17级本科生的医学影像系统原理、分子医学影像学、生产实习等课程中使用;同时也对湖北科技学院生物医学工程学院17级本科生开放共享。学生们普遍反映,经过该平台的教学,更好地掌握了医学磁共振成像的基本原理以及系统基本组成,不仅学习了理论知识还能操控设备实践,学习效果取得了很大提升。

该系统后期将增加其他医学影像设备模块,构建综合性医学影像虚拟仿真实验平台。同时秉

承对外开放共享理念,使之成为生物医学工程等专业学生学习和了解医学影像技术的优质在线学习资源。

参考文献

- [1] 高家红,雷皓,陈群,等.磁共振成像发展综述[J]. *中国科学:生命科学*, 2020, 50(11): 1285-1295.
- [2] 傅杰青.核磁共振——获得诺贝尔奖次数最多的一个科学专题[J]. *自然杂志*, 2003, 25(6): 357-361.
- [3] 教育部高等学校教学指导委员会.普通高等学校本科专业类教学质量国家标准:下[M].北京:高等教育出版社,2018.
- [4] 余建明,李真林.医学影像技术学[M].4版.北京:科学出版社,2018.
- [5] 王能河,吴莉芳.生物医学工程专业校外实习基地建设实践性探索[J]. *医疗卫生装备*, 2013, 34(7): 126-128.
- [6] 石明国,赵海涛,云庆辉,等.磁共振成像技术新进展[J]. *医疗卫生装备*, 2010, 31(12): 64-66.
- [7] 周爱文,柯铁,刘亚丰.细胞原代培养综合设计虚拟仿真实验构建[J]. *高校生物学教学研究(电子版)*, 2018, 8(4): 7-11.
- [8] 李琨,伍波.激光原理与技术课程虚拟仿真实验平台建设与教学实践[J]. *实验科学与技术*, 2020, 18(4): 147-152.
- [9] 郭明,王珏,熊蔓,等.生物质裂解产物的制备及HPLC检测其成分的虚拟仿真实验开发[J]. *大学化学*, 2020, 35(12): 237-246.
- [10] 祁玲,杨夏丽,兰小梅.护理专业虚拟仿真实验教学平台构建及效果评价[J]. *经济师*, 2020(9): 177-178.
- [11] 李海丰,刘才远.注塑虚拟仿真实验系统的设计与开发[J]. *科学技术创新*, 2020(27): 97-98.
- [12] 刘亚丰,苏莉,吴元喜,等.虚拟仿真教学资源开放共享策略探索[J]. *实验技术与管理*, 2016, 33(12): 137-141.
- [13] 于毅,杨楠,任琼琼,等.医学影像虚拟仿真实验平台建设探索[J]. *数字技术与应用*, 2018, 36(12): 193.
- [14] 董晓军,陈宗桂,杜红梅,等.虚实结合的实践教学模式在磁共振检查技术教学中的应用及效果分析[J]. *高教学刊*, 2020(18): 114-116.
- [15] 翟建,魏逸,陈方满,等.虚拟仿真系统在MR教学中的应用效果[J]. *皖南医学院学报*, 2019, 38(5): 490-492.

编辑 张莉