



5G 移动通信虚拟仿真教学实验平台的构建与应用

朱 辰, 金心宇*, 魏 兵, 贺诗波
(浙江大学 国家卓越工程师学院, 杭州 310015)

摘要: 通过对移动通信实验教学的现状和难点进行分析, 阐述 5G 移动通信虚拟实验教学的必要性, 设计一个适合通信专业硕士研究生实践教学的虚拟仿真教学平台, 并给出具体的建设方案。该平台包括移动通信网络核心网机房与基站等设备的配置、安装、开通等基础仿真实验和大型复杂应用场景 5G 移动网络信号覆盖分析、路测、网络优化等综合仿真实验。教学实践表明, 该实验平台能够满足专业硕士研究生的实践培养需求, 培养学生创新思维和解决复杂工程技术问题的能力。

关键词: 5G 移动通信; 通信工程; 虚拟仿真; 实验教学

中图分类号: TP391 文献标志码: A DOI: [10.12179/1672-4550.20230033](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20230033)

Construction and Application of 5G Mobile Communication Virtual Simulation Experimental Teaching Platform

ZHU Chen, JIN Xinyu*, WEI Bing, HE Shibo
(Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310015, China)

Abstract: This paper analyzes the current situation and difficulties of mobile communication experimental teaching and expounds the necessity of 5G mobile communication practical teaching, which designs a virtual simulation teaching platform for the practical teaching of postgraduates in communication and gives the specific construction scheme. The platform includes basic simulation experiments such as the configuration, installation, and opening of the core network and base station equipment and the comprehensive simulation experiments such as network signal coverage analysis, drive test and network optimization in large and complex application scenarios. The teaching practice shows that this experimental platform can meet the needs of professional graduate students in the mobile communication practice training and cultivate the students' innovative thinking and ability to solve complex engineering and technical problems.

Key words: 5G mobile communication; communication engineering; virtual simulation; practical teaching

随着智能手机的广泛使用, 移动数据业务流量迅猛增加, 移动通信技术快速发展, 特别是 5G 移动通信网络的出现, 不仅在个人通信速度上有了全新的提升, 而且针对物联网、工业自动化、无人驾驶等不同场景, 能分别提供大规模终端互联、低功耗、低延时和高可靠等高匹配度通信服务, 成为工业互联网的重要基础, 为各行业

的“智能+”发展提供重要基石^[1-3]。同时也给高校的相关移动通信及信息工程应用课程教学提出了新的要求, 尽管有高校报道研制了 4G 核心网机房等操作型虚拟仿真实验, 但对于 5G 移动通信应用特征的必要系统工程实验教学来说仍缺乏实验方案, 也形成了新的实验教学难点^[4-6]。建设现实级 5G 通信网络耗资巨大, 设备价格昂贵, 而虚拟

收稿日期: 2023-01-17; 修回日期: 2023-06-29

基金项目: 浙江省“十四五”研究生教育改革项目(20230002444, 20230002427); 浙江省高校实验室工作研究项目(YB202338); 2021 年教育部产学研合作协同育人项目(202102250002); 2022 年浙江大学研究生教育研究项目(20220311)。

作者简介: 朱辰(1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事移动通信、网络空间安全相关研究生实验课程教学的研究。

*通信作者: 金心宇(1958-), 男, 硕士, 教授, 主要从事传感网络通信、移动智慧物联网等方面的研究。E-mail: jinxu@zju.edu.cn

仿真技术作为一种更节能、更经济、更安全的方式为学生体验提供了实验环境，近年在实验教学中得到了广泛应用^[7]。因此，为了突破现代高校移动通信工程应用实验教学的瓶颈和实施难点，积极响应国家对工程专业硕士研究生的教学培养改革，充分发挥浙江大学在移动通信和物联网学科的学科建设与专硕人才培养方面的优势，需要建立符合专业硕士研究生培养实际情况和需求的 5G 移动通信虚拟仿真实验教学平台^[8-10]。

1 平台构建目标与主要建设内容

平台在常规移动通信与物联网应用系统软硬件实验教学的基础上，结合 5G 应用场景的典型工程案例，从 5G 移动通信应用中的覆盖工程分析与设计以及根据覆盖场景进行 5G 网络优化入手，进行虚拟工程真实环境和复杂工程实验教学探索与课程实践。整个平台主要包含移动通信网络核心网机房与基站等设备的配置、安装、开通等基础仿真实验和移动通信覆盖工程的覆盖场景业务分析、大型复杂应用场景移动通信信号覆盖检测、场景业务网络优化等虚拟仿真工程实践过程。整个 5G 移动通信虚拟仿真实验平台包含的网络设备多、工作原理涉及面宽、工序繁琐、场景复杂、工程背景突出，通过工程大数据和人工智能分类算法对学生在虚拟仿真实践中解决工程问题的成效进行后台评分，系统在移动通信覆盖场景下的核心指标达到了近似于 90% 的仿真度，RSRP (reference signal receiving power) 实测值与仿真值对比如图 1 所示，真实还原实际移动通信系统的性能和环境因素影响，真正提高学生解决实际复杂工程技术问题的能力。

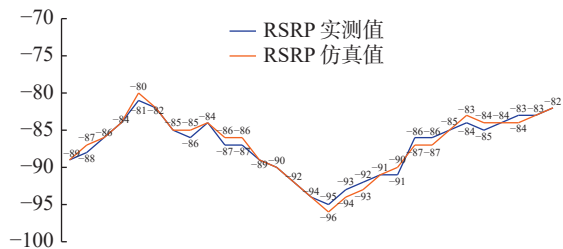


图 1 RSRP 实测值与仿真值对比

2 实验教学平台总体架构

目前浙江大学卓越工程师学院工程创新与训

练中心已经完成现网真实电信级 LTE 覆盖网络与工程实践实验室建设，如图 2 和图 3 所示，但是设备昂贵复杂，使用成本和维护成本高，学生无法看到通信设备内部的工作过程。虚拟仿真平台在原有硬件实验室的基础上，利用 3D 建模对移动通信的主要设备、接口进行建模，并联合企业对系统中软件进行完全的虚拟仿真，不仅使得设备和软件的外观的仿真程度 100% 接近真实设备，系统的运行仿真度也接近 100%，保证了实验数据的准确性。目前大多数高校都已经建立真实的电信级 5G 移动通信实验室，教师对于移动通信设备的网络配置基本上不存在问题，但是大部分高校实验室的 5G 项目建设都缺乏针对应用场景的系统优化分析。而本平台提供了针对高清直播、自动驾驶、近海无线网络规划等应用场景的优化，保证实验的创新性，还包含 5G 工程项目建设的全流程和全过程，保证了实验过程的完整性^[11-13]。



图 2 LTE 移动通信实验室



图 3 LTE 移动通信实验机房

目前已建成的 5G 移动通信场景化综合实验教学平台的整体架构主要包含 IAAS 层、PAAS 层和 SAAS 层。IAAS 层包含基础云平台的搭

建, 如计算资源、网络资源和存储资源; PAAS层包含5G理论实验平台、5G工程实验平台和5G应用实验平台; SAAS层包含5G理论教学实验、5G工程仿真实验和大型覆盖场景仿真实验等功能模块, 具体系统架构图如图4所示。5G移动通信虚拟仿真教学实验平台是移动通信

场景化实践教学的重要组成部分, 平台基于3D建模技术、VR技术、多媒体技术和网络技术, 采用面向服务的软件架构模式, 集实物仿真、创新实验系统设计、智能化引导、实验结果自动评价和教学管理于一体, 具有良好的交互性、自主性和扩展性。

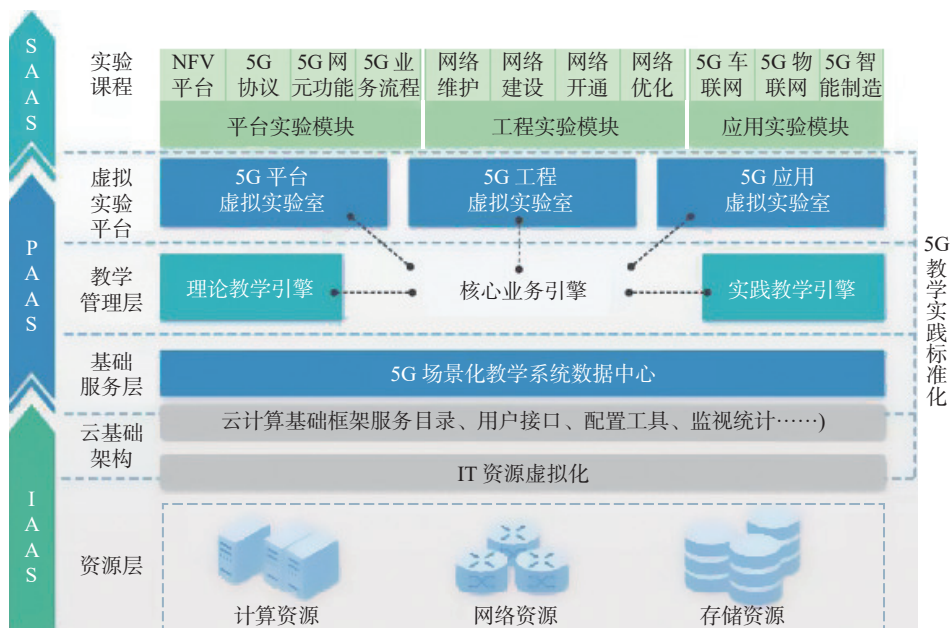


图4 5G场景化教学系统架构图

3 实验教学内容、方法和特色

3.1 实验教学内容

5G移动通信虚拟仿真实验教学内容包含3个部分: 移动通信接入网系统的配置、移动通信系统基站的开通和大型覆盖场景下的网络优化。在移动通信接入网系统的配置实验中, 根据系统的性能要求, 计算出基站设备的基带载波带宽, 根据载波带宽确定所用射频单元的性能、数量, 再确定天线系统的通道数^[14-15]。然后根据基站功能要求, 选择基站的各功能板卡以及各板卡的接口性能, 进行基站配置(如图5所示), 最终完成基站的安装(如图6所示)。根据业务需求, 选择合适的室外射频、天线单元、GPS和防雷装置等设备, 然后通过光纤、电源线、接地线以及馈线将各设备连接起来, 构成移动通信接入网系统。射频及天线单元(AAU)安装如图7所示。

在移动通信系统基站的开通实验中, 完成移动通信系统接入网系统的物理连接后, 需要完成

基站的配置。基站配置涉及传输资源、射频资源、本地小区和基带资源的配置, 射频资源配置如图8所示。在完成所有的配置参数设置后, 学生可将配置文件导出, 导入真实的设备进行验证测试。



图5 5G基站安装配置图



图 6 基站安装完成图



图 7 AAU 线缆安装图

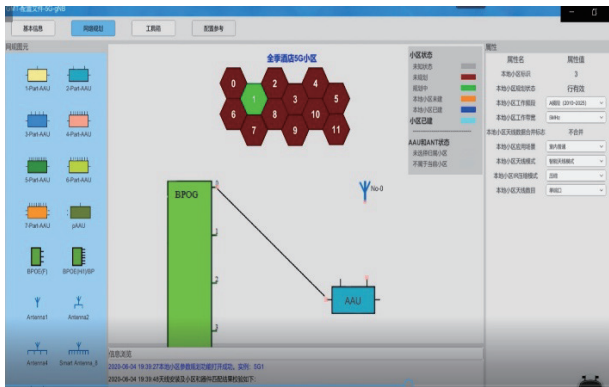


图 8 射频资源配置界面

在大型覆盖场景下应用场景业务优化实验中，学生接收到网络问题的投诉，根据投诉的地点确定与之相关的基站，并构建 5G 路测系统(如图 9 所示)和制定测试路线(如图 10 所示)，然后根据投诉的业务类型搭建路测系统以及测试计划，进行问题的复现测试。问题复现后，对路测数据进行分析，结合网管系统中基站的配置信息及业务要求信息制定优化方案。根据优化方案，确定新的测试路线，本次测试路线要考虑调整的基站对其他地方可能造成的影响进行覆盖测试，制定新的测试计划然后进行验证测试，验证测试

除了需要考虑已有的问题是否解决，还需要关心是否会给网络造成新的问题。根据最优的路测方案，调整基站参数，包括两种模式：一是进入地图中直接调整，由于系统具备仿真能力，能够根据参数的调整模拟仿真出覆盖范围，这样的调整清晰明了；二是进入网管系统进行调整，这样调整的参数范围较广，但缺点是对覆盖的效果无法立刻模拟仿真出来，学生可以根据需要自行选择，信号覆盖仿真如图 11 所示。在调整基站信息后，要根据调整的内容制定新的测试路线，本次测试路线的原则是只要进行过参数调整的基站，其覆盖范围内的路线应做到全覆盖。这样做的目的是检测旧问题是否解决和是否引发新的问题。最后，系统给出实验报告和扣分说明。



图 9 路测系统构建图



图 10 路测路线设置图

仿真实验用到的数据流都是基于三维射线跟踪模型、移动通信基站设备数据驱动模型以及移动通信模三干扰模型来完成对 RSRP 以及 SINR (signal to interference plus noise ratio)的覆盖仿真，同时将 RSRP、SINR 的覆盖仿真与业务模型相结合构造典型的业务 QOS(quality of service)问题，

如下载速率低、时延大等。由于仿真数据都来自模型的驱动,这样教师就可以根据需求结合场景来构造任意的网络问题让学生进行优化解决,利于实验内容的扩展。实验数据来自成熟的算法模型,保证了实验数据的准确性。同时在特定的业务场景下,如在近海实验场景下,针对不同的实验要求学生构造出不同的网络优化实验内容:弱覆盖实验(如图12所示)、邻区漏配实验(如图13所示)和簇优化实验(如图14所示)。此外,数据是模型驱动的,导致的结果就是实验结果没有标准答案只有最佳答案,充分发挥学生的主观能动性。

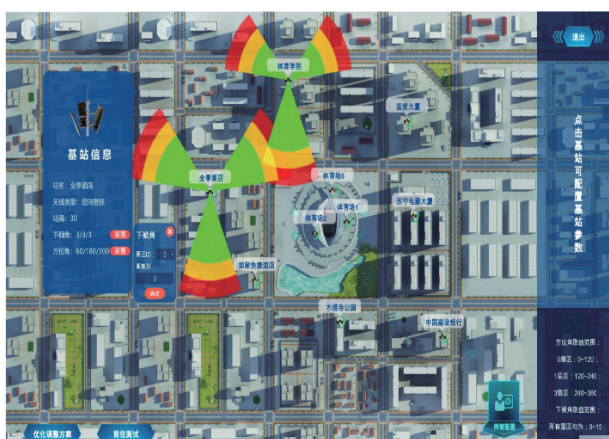


图11 覆盖仿真图



图12 弱覆盖实验



图13 邻区漏配实验

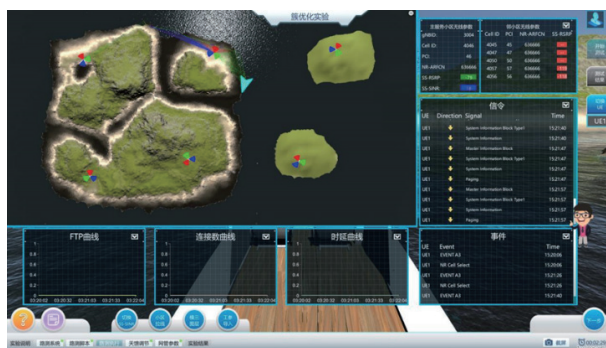


图14 簇优化实验

3.2 实验教学方法

本实验教学采用案例式、讨论式的实验教学方法,加强学生发现问题、分析问题和解决问题的能力。根据实验难度和内容不同分为认知性实验、设计性实验和综合性实验。认知性实验内容主要是接入网配置,利用3D建模技术,对移动通信设备进行3D建模,让学生充分了解移动通信的设备设计组成,对功能区分、接口的定义、样式、功能、板卡形态、架构形态有充分的认识。通过与知识点的结合,让学生知道原理、知识是如何运用到实际的,达到举一反三、理论联系实际的目的,开拓学生的视野和认知。设计性实验教学主要是5G基站开通,通过对设备底层功能的仿真特别是基站的仿真,让学生可以根据需要完成基站的开通以及参数的配置,仿真设备具备参数校正的作用。针对不同的应用场景,完成基站参数的配置,让学生对基站相关参数的作用有更深入的理解。综合性实验主要是大型覆盖场景下应用场景的业务优化,以工程项目中的内外部制约因素为原则,构建多重冲突问题,并引入到应用场景中,使得实验解决方案多样化,没有标准答案,只有最佳答案,从而提高学生解决复杂工程问题的能力。

实验教学过程分为以下3个步骤。

1) 学生对线下实验原理及方案教学进行讨论,在对实验流程有初步认识后制定实验方案,并与教学经验丰富的老师论证方案的合理性和可行性。

2) 开展虚拟仿真实验教学与实操,让学生根据制定的实验方案完成基站设计、接入网组网配置、基站开通与配置、小区参数设置、路测系统设计、路测路线设计、问题发现、参数调试、复测等操作过程。系统带有自检能力,能够同时根

据学生的操作, 仿真出相应的结果, 生成实验报告。

3) 开展模拟考核, 在规定的时间内完成实验, 系统记录学生的操作过程, 根据学生的操作设置仿真出实验结果, 并自动评分, 给出学生的实验成绩。

本平台不仅是一个实验教学平台, 更是一个科研平台。通过开放算法模型的对外接口, 学生可以导入自己开发的算法模型到平台中进行对比分析。如果将人工智能 AI 与 5G 融合形成的移动通信算法模型导入到平台中便可以开展科研项目的仿真验证。

3.3 实验教学特色

本实验仿真教学平台是一个集移动通信理论知识学习、5G 移动覆盖工程全流程、情景式实验教学及考核为一体的虚拟仿真实验教学平台。从 5G 接入网配置、5G 基站开通和 5G 大型覆盖场景下的应用覆盖设计及业务优化 3 个层次进行实验教学, 使学生了解移动通信系统总体架构, 能对中间各个步骤的具体配置和设计方法有深刻的理解, 掌握设置和优化的流程及方法, 达到理论和工程实际相结合的目的, 从而实现移动通信系统与应用的工程系统性教学与培养学生解决“工程复杂问题”能力相融合。经过 3 年多的实验教学实践表明, 该实验平台较好地解决了 5G 大型复杂场景通信覆盖实体实验环境搭建成本高、环境危险性高、效率低和内容局限的困难, 拓展了课程实验教学内容的广度和深度, 延伸了实验教学的时间和空间, 提升了专业硕士研究生的实验教学质量水平。

4 结束语

5G 移动通信仿真平台的构建弥补了专业硕士研究生实验实践教学的不足, 有效地解决了学校对于 5G 移动通信的实验需要真实电信级设备来进行实验操作、实验操作容易造成设备损伤、实验设备套数太少和学生需要长期排队轮流实验等问题。5G 移动通信虚拟仿真实验教学将移动通信知识和原理融入教学实践工程中, 并结合具体的仿真案例, 可以提高学生的学习兴趣和学习效率, 加深学生对 5G 网络架构、基站数据配置及开通、辅材设备的认知与掌握。本系统也适合于本科生的工程实践教学, 可以提高本科生的工程意识,

有利于培养学生创新思维和解决复杂工程技术问题的能力。该虚拟仿真实验教学课程已入选国家级虚拟仿真实验教学一流课程。为更好地服务于学生, 培养更多的高素质工程硕士专业人才, 今后将继续加强与华为、大唐和中兴等知名企业合作, 不断开发和优化虚拟仿真实验项目, 丰富虚拟的实验教学资源, 提升课程影响力。

参考文献

- [1] 陈美娟, 朱晓荣, 沈建华, 等. 基于成果导向教育理念的无线网络实践课程教学模式探索[J]. 实验研究与探索, 2020, 39(8): 166-170.
- [2] 彭宏, 应颂翔, 徐志江, 等. 高校4G移动通信创新实验平台的建设与应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(12): 105-109.
- [3] 屈代明, 徐争光, 李玮. 虚拟仿真与在线实境技术在通信原理实验教学中的应用[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(12): 205-209.
- [4] 徐军. 移动通信系统仿真平台设计与实现[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(4): 72-77.
- [5] 李勇. 移动通信虚拟仿真实验教学平台的创建[J]. 吉林工程技术师范学院学报, 2021, 37(3): 93-95.
- [6] 郑云, 吴怡. 移动通信虚拟仿真实验教学中心的建设与管理[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(3): 127-131.
- [7] 张泽, 吕新, 侯彤瑜, 等. 高校虚拟仿真实验教学中心建设与探讨[J]. 教育教学论坛, 2021(15): 80-83.
- [8] 沈建华, 李飞, 程崇虎, 等. 通信与信息网络国家级虚拟仿真实验教学中心建设与实践[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(1): 161-164.
- [9] 杨克虎. 虚实结合的分层次通信原理实验教学体系探讨[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(7): 162-165.
- [10] 赵铭超, 孙澄宇. 虚拟仿真实验教学的探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(4): 90-93.
- [11] 李海涛, 赖敏, 董莉. 虚拟仿真技术在高等职业教育LTE课程教学中的应用实践研究[J]. 无线互联科技, 2017, 3: 98-99.
- [12] 王恩亮, 姚玲, 彭霞. 移动通信虚拟仿真实验室建设研究[J]. 集宁师范学院学报, 2019, 41(4): 46-49.
- [13] 刘小莉, 王俊, 余翔, 等. LTE移动通信实训教学平台的构建[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(5): 154-156.
- [14] 孙豪, 梁瑞, 王国林. “虚拟仿真平台”在移动通信课程实验教学中的应用研究[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(28): 266-268.
- [15] 郑云, 吴怡. TD-LTE基站安装虚拟仿真实验设计与管理[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(10): 125-128.