

5G 通信网络规划与控制虚拟仿真实验系统设计与应用

雷 菁¹, 王广义², 黄 英¹, 刘 严¹

(1. 国防科技大学 电子科学学院, 湖南 长沙 410073;

2. 武汉丰迈信息技术有限公司, 湖北 武汉 430073)

摘 要:为解决 5G 通信网络这种大型综合系统实体训练中场地、成本受限, 通信流程操作关键环节/问题难以重复或集中展现等问题, 该文设计并实现了一个以支撑远程医疗为任务背景的 5G 网络规划虚拟仿真实验系统。运用先进的 Unity3D 平台结合 LayaAir2 框架, 逼真地模拟了一个 5G 通信网络系统, 还原了远程专家连线、人体参数监测、VR 病情查看、远程超声波诊断等远程医疗业务场景。特别提供了可无损害重复练习 5G 专网搭建、5G 切片配置、业务优化等训练环节。通过该实验, 可使学生掌握 5G 网络规划与控制、场景搭建、网络配置及优化相关的技术原理和实验方法, 对培养通信行业技术人员和 5G 通信技术爱好者有重要价值。

关键词: 虚拟仿真实验; 5G 网络规划与控制; 远程医疗; Unity 3D

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-4956(2022)08-0101-08

Design and application of 5G communication network planning and control virtual simulation experimental system

LEI Jing¹, WANG Guangyi², HUANG Ying¹, LIU Yan¹

(1. College of Electronic Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Wuhan FengMai Information Technology Co., Ltd., Wuhan 430073, China)

Abstract: In order to solve the problems of limited space and cost in the physical training of the large-scale integrated system of 5G communication network, as well as the difficulty in repeated or centralized presentation of key links/problems in communication process operation, the paper devises and implements the 5G network planning and control virtual simulation experimental system based on the task of supporting telemedicine. The advanced Unity3D platform combined with the LayaAir2 framework is used to simulate a 5G communication network system realistically, which can restore remote expert connection, human body parameter monitoring, VR condition checking, remote ultrasonic diagnosis and other telemedicine business scenarios. In particular, training links and effect verifications such as 5G private network construction, 5G slice configuration, and business optimization are provided, which are difficult to be repeated in real business scenarios without causing damage. Through the experiment, students can master the technical principles and experimental methods related to 5G network planning and control, scene construction, network configuration and optimization, which is of great value to the training of technical personnel in the communication industry and 5G communication technology enthusiasts.

Key words: virtual simulation experiment; 5G network planning and control; telemedicine; Unity 3D

近年来, 5G 成为全球热点, 它的到来将彻底改变人们的生活, 智慧校园、智能家居、车联网、远程医

疗、工业控制等应用的爆炸式增长, 将带来海量的设备链接, 最终实现“信息随心至、万物触手及”^[1]。

收稿日期: 2022-03-12

基金项目: 湖南省自然科学基金项目 (2018JJ3609); 2019 年湖南省教学改革研究项目 (湘教通〔2019〕291 号); 2020 年国防科大教学改革研究项目 (〔2020〕383 号)

作者简介: 雷菁 (1968—), 女, 江西南昌, 博士, 教授, 主要从事通信与信息系统设计与开发及相关实验教学研究, lejing@nudt.edu.cn。

引文格式: 雷菁, 王广义, 黄英, 等. 5G 通信网络规划虚拟仿真实验设计与应用[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(8): 101-108.

Cite this article: LEI J, WANG G Y, HUANG Y, et al. Design and application of 5G communication network planning and control virtual simulation experimental system [J]. Experimental Technology and Management, 2022, 39(8): 101-108. (in Chinese)

产业及应用的发展迫切需要 5G 技术相关人才,这依赖于高校对 5G 技术人才的培养与输出。但 5G 等大型通信网络系统都存在信号流程不可及、大型实体设备的构建及运行成本高、涉及场地广等特点,因此真实环境中进行 5G 系统网络架构的部署和管理实施属于难重复操作、难回溯重现的大型综合训练,且网络系统中的故障问题很难在真实设备上短期集中呈现,使现场实训难以系统、规范地展开。而大型通信网络系统建设的高成本也会限制其在院校实验室教学中的应用。

以信息技术应用为本质特征的虚拟仿真实验教学,是推进现代化信息技术与教育教学深度融合,促进高等教育内涵式发展的重要举措,它适应了当代高等教育开放办学、资源共享的变革要求,为实验教学改革和实验室建设增添了活力和动力^[2-4]。虚拟仿真实验教学实行课堂教学与虚拟空间教学协同运行,突破了传统实验教学模式的时空制约,成为一种新型实验教学模式^[5-7]。网络环境下的在线实验教学新方式,不只为开展探究性学习、自主性实验和创新性训练提供了信息化手段和可视化平台^[8-9],也契合了新工科发展和新时代要求,能更有效地激发学生求知欲、动手欲、感知欲。通过虚拟逼真的实验场景和数字形象的模型对象,学生可根据自己的需求和实际情况,灵活安排时间和进度,以开放、自主、交互方式高效、安全、经济地进行实验训练,且可进行重复操作分析,既能基本实现真实条件下的教学效果,又能收获实体或现场难以达到的实验体验^[10-12]。

为此,本实验项目逼真地模拟了一个 5G+远程医疗虚拟仿真实验系统,以支撑远程医疗为任务背景,利用 5G 网络进行规划、搭建、配置、优化,真实地还原远程专家连线、人体参数监测、VR 病情查看、远程超声波诊断等业务场景,特别提供了 5G 专网搭建、5G 切片配置、业务优化等训练环节与效果验证,这些业务场景在现实 5G 网络操作中难以无损害地重复练习或切换操作,训练成本高。在实验教学的设计中强调“以学生为中心,问题导向、任务驱动”的研究型教学特点,使学生和受训人员可以循序渐进地进行 5G 网络新技术的实践与学习,对通信行业技术人员培养有重要价值。

1 系统开发平台与流程

为满足 3D 虚拟化沉浸式体验,以及产品发布后本校学生或校外用户在线使用虚拟仿真实验平台的需求,经过对市场主流框架的技术分析,筛选出 Unity3D 结合 LayaAir2 框架作为本虚拟实验系统平台的开发框架。传统的 Unity3D 主要用于快速 3D 模型的动画设计,动画设计形象、动作脚本开发效率高,但该框

架在线上使用时,3D 仿真内容加载时间长,操作体验顺畅度不够高。因此对线上平台的 3D 内容展示采用了 LayaAir2 框架技术,该框架基于 WebGL 及 canvas 技术,可以较好地支持浏览器访问并提供 3D 交互体验,一次开发可同时支持 IOS、Android、HTML5、微信小程序等跨平台的原生发布,同时 LayaAir2 框架具备完整的开源编辑器,可以大大提高场景开发效率。

在虚拟实验仿真系统开发过程中,首先对系统进行整体概要设计,确定系统以 5G+远程医疗的场景为原型,设计并实现 5G+垂直行业应用的仿真教学平台。其次研究系统包括哪些实验场景,对实验涉及的 5G 网络实体设备、5G 远程医疗急救车、远程会议诊断等场景图片、音视频素材进行分析,并针对 5G 远程医疗网络的技术标准进行解读,了解系统的整体架构及运行原理。然后,利用 3ds Max 对城市场景、医院及病房、机房、小区铁塔、5G 急救车、智能诊断仪等新设备进行建模、贴图渲染,将模型以 FBX 的格式导入 3D Unity 进行用户交互功能的设计和编程。基本动画设计完成后,通过 LayaAir2 平台进行二次动画脚本设计,并最终打包成 LayaAir2 的 Web 包发布,学生无需通过网络下载,直接在网页上进行在线实验操作,查看实验原理、实验步骤、实验设备、虚拟操作、观察实验现象、记录实验数据并填写电子实验报告。5G+远程医疗场景虚拟仿真系统开发流程和立体场景模型分别如图 1、图 2 所示。

2 实验系统教学设计

整个系统包含三大远程医疗场景——应急救援,远程手术和术后恢复,采用故事线的方式引导学生学习远程医疗的过程,并将 5G 网络规划、部署、切片编排等过程从易到难穿插到场景任务中去。医疗场景采用 VR 的方式进行,为提升学生的兴趣,将 5G 网络知识融入场景,打造有坡度的学习体系,将远程医疗、5G 网络切片、5G 基础知识紧密结合,使学生学以致用。各专业学生可根据各自工作实际有选择地自由组合施训。系统总体教学框架如图 3 所示。

2.1 教学内容规划

系统围绕“5G+远程医疗虚拟仿真实验”进行教学开展,主要培养学生对 5G 网络系统的认知、设计、实操及探究能力。以 5G 行业应用为落脚点,以实际工作任务为导引,通过 5G 远程医疗的场景化应用与保障任务,使学生在项目任务式的实践演练过程中,逐步掌握 5G 通信网络的基本原理、工程应用与操作分析,并进一步探索基于 5G 网络的行业应用设计与保障方案。如图 3 所示,实验系统分为 5 个主要教学模块,具体教学功能如下。

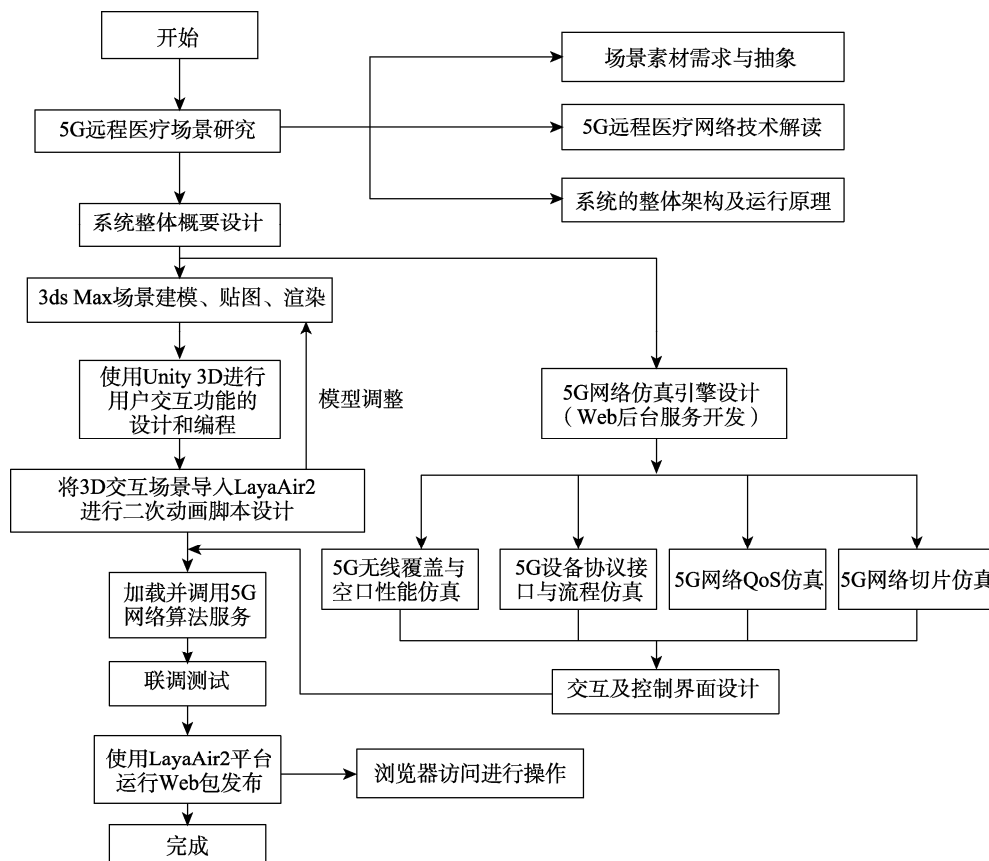


图1 5G+远程医疗虚拟仿真实验系统开发流程

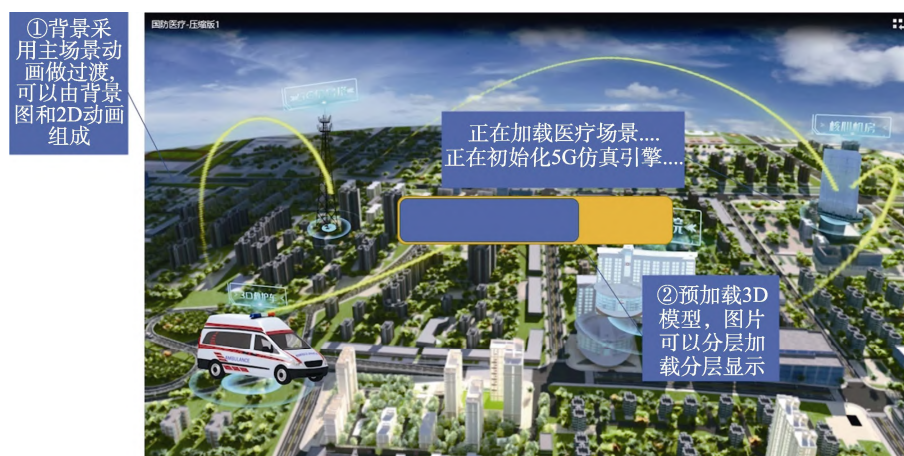


图2 5G+远程医疗虚拟仿真实验系统立体场景设计

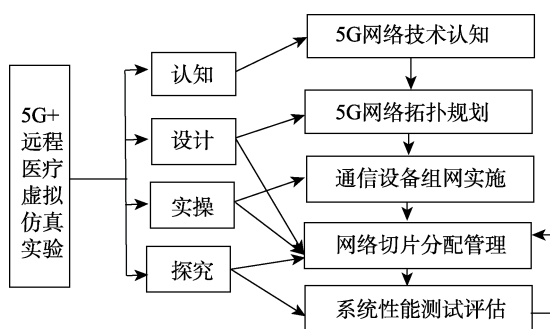


图3 5G+远程医疗虚拟实验系统总体教学架构

(1) 5G 网络技术认知: 将 5G 通信设备的内部结

构及内部运行原理以 3D 化、动画式的方式进行设计展示, 实现抽象及不可见的技术内容的可视化学习, 帮助学生理解 5G 基础知识及设备运行原理。

(2) 5G 网络拓扑规划: 构建灵活的 5G 网络拓扑编辑器, 能够根据实际工程及业务要求, 自由进行 5G 网络组网架构设计, 并通过架构演进动画及案例任务引导学生逐步掌握 5G 网络架构及各设备功能与作用, 建立学生的网络架构意识, 掌握 5G 网络规划的相关技能。

(3) 通信设备组网实施: 通过对 5G 设备的组成、结构及底层运行原理的仿真, 构建 5G 通信设备的实

施与运行系统,使学生能够在线对 5G 通信设备及应用服务设备进行安装、部署、配置、调试等操作,并学会利用测试及分析工具,对复杂的 5G 网络工程问题进行定位与处理,完成互联互通的组织实施。

(4) 网络切片分配管理:通过对 5G 切片新技术及网络资源分配管理的仿真与模拟,并设置 5G+远程医疗等特定业务(具备架构、带宽、时延等需求)的保障任务,展现通信网络各种业务的资源要求模型,让学生完成无线侧的资源分配与调度,掌握根据网络结构与业务需求进行网络切片资源的分配方法,并会管理该切片资源下的 QoS 保障,会解决任务要求(如远程医疗)中不同业务的资源冲突问题。

(5) 系统性能测试评估:通过基于拥塞排队、资源调度、QoS 等算法对系统性能影响因子的计算与仿真,学生可利用虚拟测试工具对系统及网络性能进行测试、分析与监控,并实时反馈到 5G 远程医疗场景中的业务状态,使之真实感受抽象的网络配置对实际需求的影响与匹配效果。通过该模块实践,使学生熟悉 5G 通信网络的性能测试手段,能对系统及网络参数进行调整与优化,掌握通信网络性能不足情况下的处置方法,提升针对实际通信任务的保障能力。

2.2 实验模式设计

为了进行基于业务的 5G 网络规划与控制,设计实验步骤和过程为:①完成医疗环境下的 5G 网络规划。主要为端到端的 IP 地址及数据转发端口的通信链路规划;5G 医疗专网终端的规模及选型规划;接入网边缘计算节点规模的规划;核心网 UPF 网元下层模式及智能路由规划等。②完成仿真网络的设备及环境部署。主要为部署接入机房、核心机房、中心机房、室外铁塔等无线环境,以及远程医疗环境下的各类终端部署等。然后针对部署完成的拓扑网络进行数据配置,主要为满足任务要求的切片实例、切片业务质量 QoS、切片路径的数据配置,以及在网络侧进行无线基站收发参数的数据配置,例如小区频带、小区 ID、帧结构、天线 MIMO 数据配置等。③完成网络性能指标测试。主要内容及步骤为 5G 专用终端注册入网成功率测试、上下行下载速率测试、对远程急救业务响应时延、切片通信质量是否满足要求的测试等。

整个实验训练模式按照“以问题为导向,以任务为驱动”思想执行。实验项目设计以某市某区发生急需医疗事故为任务想定。为解决该问题,设计了远程指导连线、现场人体参数监测、远程超声波诊断、专家视频连线等任务。以这些任务为驱动,学生开展网络规划与配置、资源分配及系统测试等完整的实验,真实模拟远程医疗实施全过程。

如图 4 所示为实验系统的入口界面,专为初学者

设计了“新手指导”,旨在学习和入门,进行规程认知;接下来的引导式实验,通过范例逐步指导学生了解实验全过程,旨在锻炼学生的实操初级能力;在设计性实验中,又规划了基础、进阶、挑战等三大模式。几个模块可顺次进阶式完成,也可灵活跳转完成,做到了循序渐进、因材施教。整个实验操作完成后,还需通过实验报告的撰写进行总结回顾与达成度评估。



图 4 5G+远程医疗虚拟仿真实验入口界面

3 实验系统技术架构与实现

系统在技术框架设计上分为三大部分,包括 5G 通信设备实施运行子系统、5G 切片资源编排与性能模拟子系统及 Web 3D 可视化展示与交互子系统,各子系统间共同配合完成仿真实验的运行与实践操作。

3.1 5G 通信设备实施运行子系统

5G 通信设备实施运行子系统主要完成对各类 5G 设备及相关应用服务设备的基础运行框架的仿真,能够实现设备的部署及配置操作,并可根据实际部署及配置情况,实现与真实设备一致的行为及现象的模拟。如图 5 所示,该子系统主要分为 3 层架构,各类仿真设备的运行依赖于底层数据交互仿真引擎及上层的实施配置管理模块。

该子系统的仿真按照 3GPP 标准协议构建了真实的数据仿真引擎,采用算法运行效率较高的 C 代码构建底层运行框架,完成 5G 设备协议接口的定义与仿真、3GPP 协议数据封包处理、信令流程的交互处理等功能。其中 5G 设备协议接口的定义与仿真,涵盖 5G 无线侧的 NG、F1 等协议接口^[13]及 5G 核心网侧的基于服务的接口和设备间参考点^[14]。通过协议接口的定义与仿真,完成设备间的接口连接与交互。3GPP 协议数据封包处理和信令流程交互处理部分则分别完成具体控制消息的数据封包及信令消息的响应,涵盖并实现无线侧 NGAP^[15]、F1AP^[16]等应用接口协议的流程与数据处理,核心网侧的 http2 协议^[17]、会话管理及服务接口间交互流程^[18]与数据处理。

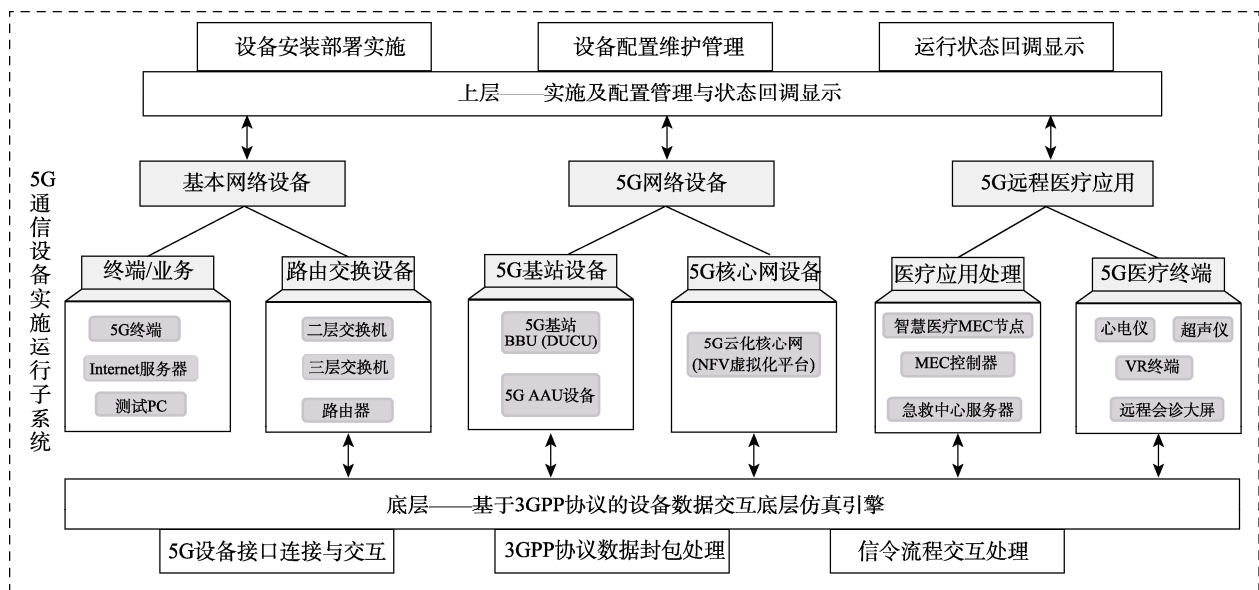


图5 5G通信设备实施运行子系统-技术架构

通过底层仿真引擎的构建,使所有仿真设备间的交互数据与交互流程与真实设备情况保持一致,使设备能够按照真实协议运行,并支持与实际设备的互通,使仿真设备趋近真实。

该子系统上层 UI 按照真实设备操作与配置管理方式进行仿真,使操作内容更贴近工程实际应用。仿真配置下发后,由底层引擎进行交互控制。

另外,由于仿真平台中所有关键数据和状态都可以被系统提取和记录回放,本实验在仿真模拟实际设备运行的基础上,构建了一个新的虚拟环境,将实际设备内部不可见的过程、协议交互等内容通过状态回调显示模块进行可视化展示,将抽象的网络通信过程以生动具象化方式形象展现,既保证了仿真设备运行的真实性,又提升了教学效果及学习体验。这也是虚拟仿真实验在训练中较实体实验的一大优势。

3.2 5G 切片资源编排与性能模拟子系统

5G 切片资源编排与性能模拟子系统主要分为两大模块(图6),即5G切片资源编排模块及5G切片网络性能模拟模块。前者主要完成切片资源及切片网络的编排,依据实际业务需求设计并完成基于5G传输的远程医疗等业务切片的构建;后者则根据已编排的切片资源、网络架构及参数等影响因子进行切片网络的性能计算与模拟,并将实时性能指标反馈给其他子系统。

该子系统在实现时,在切片编排部分,按照NFV及SDN的通用模型仿真了基础设施平台,仿真后台采用容器技术装载并运行“5G通信设备实施运行子系统”中仿真的云化网络设备功能。在编排管理上,为简化实现难度,主要采用手动配置方式,完成切片资源分配与切片实例^[19]的创建与实施,其中共享部分主

要基于QoS流完成5G定制化切片网络^[20],专用部分通过S-NSSAI等标识进行识别与选择,最终实现切片网络的设计、编排与运行。

在切片网络性能模拟方面,主要考虑核心网与无线网切片性能模拟。其中核心网切片在架构、距离、硬件资源等方面,通过路径计算、流量控制等算法完成基础的网络流量性能仿真;在QoS保障方面按照5G QoS Flow/5QI^[21]进行优先级、误包率、时延预算、GBR等流控方案进行仿真实现。无线网切片的性能仿真则通过5QI到无线承载的映射及空口切片资源的设置,按照当前空口切片的带宽、子载波间隔、上下行配置、MIMO、信号质量、调度算法等实际参数与方案,完成空口性能的性能模拟。通过该模块性能仿真算法的运行及模拟,最终将网络实时的性能指标结果反馈到切片测试与监控的UI界面或其他子系统,最终影响实际业务应用的状态与体验。

3.3 3D 可视化展示与交互子系统

3D 可视化展示与交互子系统主要完成该仿真实验系统的业务效果展示及原理拓展学习。在仿真实现上,该子系统利用Web 3D可视化技术实现在通用浏览器平台上的3D模型加载与交互操作,使仿真系统支持跨平台的运行与体验,并且通过三维沉浸式的效果提升了该仿真系统的展示及教学效果。

如图7所示,该子系统主要分为两个模块,其中Web 3D基础认知模块主要完成5G工程原理的拓展学习,通过3D仿真的方式,形象化地展示抽象或不可见的5G工程理论知识与相关原理。3D场景及业务模拟模块则主要在与现实一致的三维场景下辅助动画设计,完成5G+远程医疗业务的展示与体验,使学生对5G实际应用的效果与工程现场有较深的印象与理解。

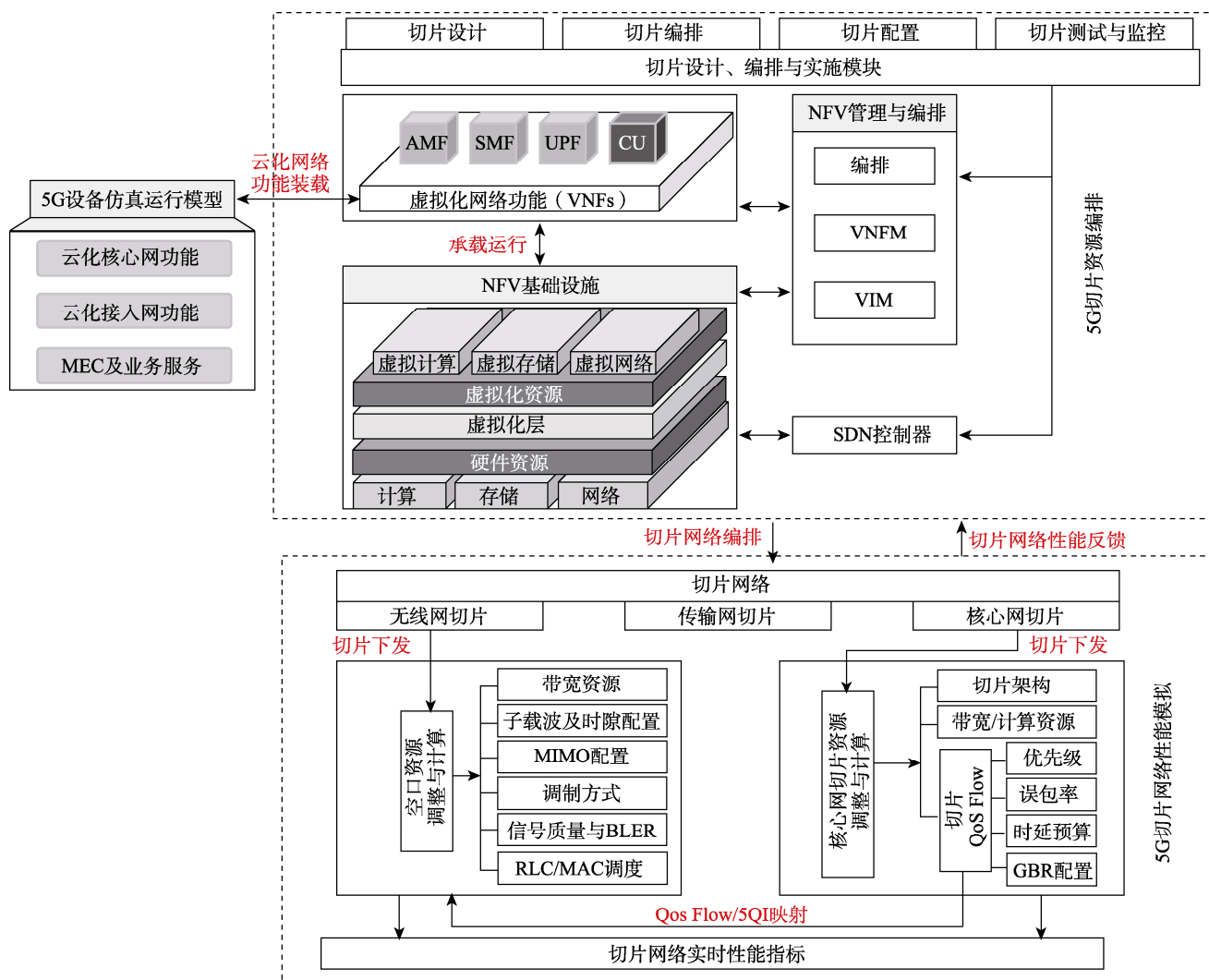


图 6 5G 切片资源编排与性能模拟子系统

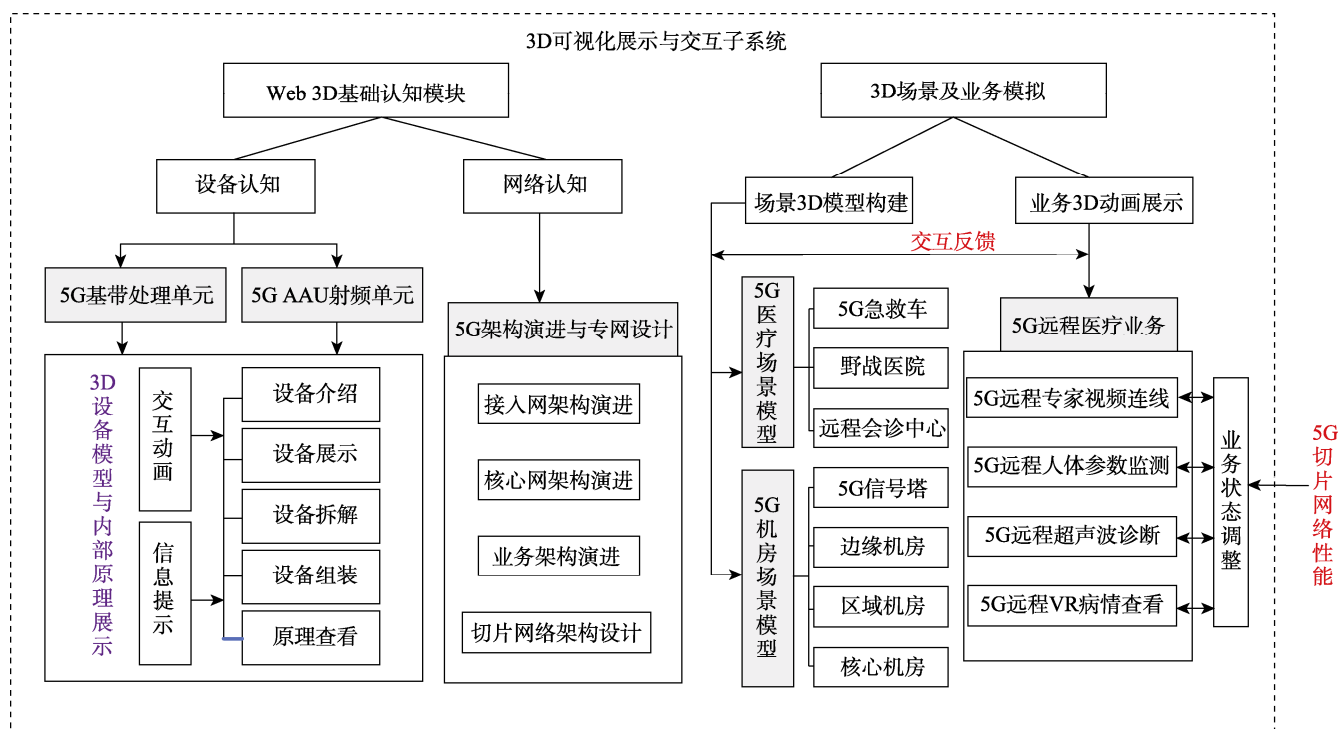


图 7 3D 可视化展示与交互子系统

另外该模块中的业务状态及现象由实际 5G 切片网络性能进行控制, 学生也可根据仿真场景中的业务现象, 对 5G 网络及应用服务设备进行调整优化, 最终达到与业务需求的匹配。

4 系统效果展示

整个虚拟实验系统逼真模拟了 5G 移动通信网、光传输与交换设备、服务器与终端、网络搭建工具材料、测试仪器仪表以及机房环境与场地等 6 种类型、近 40 种实验设备与材料, 并真实呈现了 5G 移动通信系统在网络规划与管理方面的操作流程、运行过程和执行现象。在应急医疗救援方面, 主要展示了 5G 急救车进行远程诊断过程(图 8 示出了模拟的 3D 场景), 设计以下 4 个教学子场景的实验内容。

(1) 远程专家连线: 了解 5G 视频通话业务的拓扑框架, 熟悉 5G 基本网元, 熟悉 5G 新型网络切片资源分配与管理的基本配置过程。

(2) 人体参数监测: 了解低速率高可靠业务的拓

扑框架, 了解多维数据展示业务。

(3) VR 病情查看: 了解 VR 高速率、低反馈业务的拓扑架构, 了解 VR 云端业务过程, 熟悉 VR 切片配置过程。

(4) 远程超声波诊断: 了解利于 MEC 赋能终端设备业务的拓扑框架, 了解 MEC 对终端设备业务增强过程, 了解 MEC 切片配置过程。

整个 5G 远程医疗网络由 5G 移动网络, 医院间专线网络, 医院内 5G 无线专网和远程医疗云平台组成。每个部分通过 5G 的网络切片功能为医疗业务提供高可靠、高安全、高效率的承载基础。可见, 本实验项目中设计与实操的核心单元是切片编排任务, 需完成 5G 通信网络的资源分配与管理。包括以下关键环节。

(1) 编排该任务所要求的网络拓扑结构, 完成针对该任务的 5G 网络业务处理及服务架构, 完成网络的组织。

(2) 自定义设置空口资源相关网络参数, 完成无线侧的资源分配与调度, 以满足网络指标的要求(图 9(a), 9(b)为其典型界面)。



图 8 5G 远程医疗教学场景 3D 模型



图 9 5G 网络资源分配与管理的关键步骤界面

(3) 根据网络结构与业务需求,对核心网进行网络切片资源的编排(图9(c)为其典型界面),并管理该切片资源下的 QoS 保障,完成全网的资源分配与管理工作。

(4) 在完成 5G 新型网络的资源分配与管理后,学生需要将分配好的资源应用到网络中去,并可以根据当前状态进行网性能的测试与分析(图9(d)),以方便学生的反复调测。当资源分配与管理后的网络能够满足业务对网络指标的要求时,在 VR 场景中完成业务的展示,并判定成功。当网络不满足业务需求指标要求时,在 VR 场景中的业务显示故障点,学生需根据故障原因重新进行网络各参数及资源的分配,直到 VR 场景下的任务完成。

5 结语

本文设计并实现了 5G+远程医疗虚拟仿真实验系统,运用先进的 Unity3D 平台结合 LayaAir2 框架,参照实际场景,仿真 5G 通信网络的核心网、接入网、传输网等主要网元设备,基于 NFV 实现 5G 新型网络的组织规划、动态的网络切片资源组织调度等功能,并加入远程医疗实际应用场景的 3D VR 模拟,实现模拟场景与虚拟网络的数据互通,使学生既能够进行 5G 新型通信网络各项新技术的学习,又能基于实际场景对网络指标需求进行通信网络资源分配与管理。将移动通信前沿技术体验与远程医疗现实应用相结合,并且生动形象地展现了移动通信网络规划与管理过程中复杂、抽象的信号处理与协议执行流程及其效果。系统以能力培养为目标,设计多个可灵活实施的教学模块,以任务驱动方式引导学生完成,有利于以学生为中心的实验教学开展,为学生进行真机、现场操作打下坚实基础。

参考文献 (References)

- [1] 张晨璐.从局部到整体:5G 系统观[M].北京:人民邮电出版社,2020.
- [2] 王卫国,胡今鸿,刘宏.国外高校虚拟仿真实验教学现状与发展[J].实验室研究与探索,2015,34(5):214-219.

- [3] 宫莹,张振宇,陈剑.教育信息化发展进程及其对高校实验教学改革思考[J].高教学刊,2015(20):1-2,4.
- [4] 钟华,牟雯雯,张倩榕,等.虚拟仿真实验在社会工作实践教学中的应用研究[J].中国教育信息化,2021(20):38-41.
- [5] 熊宏齐.国家虚拟仿真实验教学项目的新时代特征[J].实验技术与管理,2019,36(9):1-4.
- [6] 司娟宁,张晓青,郭阳宽.工程认证背景下虚拟仪器实训课程教学改革探索[J].科技视界,2020(25):15-17.
- [7] 郭雅楠,王掩刚,牟蕾等.航空动力系统虚拟仿真实验教学体系建设的探索与实践[J].高教学刊,2019(3):121-123.
- [8] 杨秀萍,胡文华,徐晓秋.液压专业课的虚拟仿真实验教学[J].液压与气动,2021,45(11):112-116.
- [9] 刘清堂,马晶晶,余舒凡.虚拟实验对学生学习效果的影响研究:基于 30 项实验与准实验研究的元分析[J].中国远程教育,2021(1):8-16,26,76.
- [10] 付百学,朱荣福.新工科背景下虚实结合的实验教学模式研究[J].黑龙江教师发展学院学报,2021,40(5):40-42.
- [11] 蔡佩君,王晓萍,王立强,等.虚实结合、层次培养的多元实践教学探索[J].电气电子教学学报,2020,40(6):140-144.
- [12] 牟宗龙,万志军,张源等.基于虚拟仿真技术的实验类课程资源建设及教学模式探索[J].教育教学论坛,2020,1(1):384-386.
- [13] 3GPP. G-RAN; Architecture description: TS 38.401[S]. 3GPP, 2019.
- [14] 3GPP. System architecture for the 5G system: TS 23.501[S]. 3GPP, 2018.
- [15] 3GPP. NG-RAN; Ng application protocol(NGAP): TS 38.413[S]. 3GPP, 2019.
- [16] 3GPP. NG-RAN; F1 application protocol(F1AP): TS 38.473[S]. 3GPP, 2019.
- [17] BELSHE M, PEON R, THOMSON M. Hypertext transfer protocol version 2 (HTTP/2): RFC 7540[R]. IETF, 2015.
- [18] 3GPP. Procedures for the 5G system(5GS): TS 23.502[S]. 3GPP, 2019.
- [19] 3GPP. Management and orchestration; Provisioning:TS 28.531[S]. 3GPP, 2019.
- [20] 李昆仑,李凯,朱雪田.基于 QoS 流的 5G 定制化网络实现与应用[J].电子技术应用,2019,45(12):29-33.
- [21] 3GPP. Policy and charging control architecture:TS 23.203[S]. 3GPP, 2011.