

基于虚拟现实技术的食品安全应急演练系统

Food safety emergency drill system based on virtual reality technology

李 晶¹ 邹吉涛²

LI Jing¹ ZOU Ji-tao²

(1. 国家药品监督管理局高级研修学院, 北京 100073; 2. 北京都市森林科技有限责任公司, 北京 102299)

(1. National Medical Products Administration Institute of Executive Development, Beijing 100073, China;

2. Beijing Urban Forest Technology Co., Ltd., Beijing 102299, China)

摘要:分析食品安全突发事件典型场景及产生的原因,利用虚拟现实技术基于 Unity3D 虚拟现实开发平台开发了食品安全应急演练系统,并优化系统运行的稳定性和流畅性。该系统实现了演练时沉浸式体验,人员通过仿真设备进入虚拟演练场景进行交互操作,进行实时演练有助于提升演练人员应急处置能力。

关键词:虚拟现实;食品安全;应急演练

Abstract: Analyze the typical scenes and causes of food safety emergencies, develop the food safety emergency drill system based on the Unity3D virtual reality development platform by using virtual reality technology, and optimize the stability and fluency of system operation. The system realizes the immersive experience during the drill. The personnel enter the virtual drill scene through the simulation equipment for interactive operation and carry out the drill in real time, which is helpful to improve the emergency response ability of drill personnel.

Keywords: virtual reality; food safety; emergency drill

食品安全应急演练是提升人员能力,保障人们“舌尖上的安全”,维护社会和谐稳定的重要手段。传统食品安全应急演练形式一般分为桌面演练、功能演练和综合演练等^[1-2]。桌面演练是指针对事先假定的突发事件依据应急预案讨论和推演应急处置的过程,一般为口头演练,在会议室完成。功能演练是一种更贴近实战的桌面演练。人员一般以其在应急工作中的实际角色参演,对某项应急响应功能进行演练,一般在应急指挥中心完成,调用有限的资源。综合演练是传统意义上的实战演练,是指针对突发事件发生及发展情景,通过实际操作完成真实应急响应过程,一般采取交互式方式进行,调用更多的应

急人员和资源。传统应急演练主要是在室内或者固定的场所完成,且受时间限制,存在真实性不足、形式单一、成本较高等问题^[3-6]。近年来,国家在推动人工智能、移动互联、虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等新一代信息技术深度应用,加强应急管理应用创新、模式创新^[7],以及促进 VR 教育资源开发^[8]等。VR 得到了快速发展,VR 主要是利用现实生活中的数据,通过计算机等设备将其转化为逼真的、三维的虚拟环境,具有多感知性、交互性、沉浸感等特点,将其用在应急演练领域,有利于提高应急演练真实性、推动建设快速反应的专业应急队伍,VR 应急演练系统在此特定的背景下应运而生。目前 VR 应急演练系统已经被广泛应用于自然灾害和重大事故应急演练工作中,如澳大利亚最大的列车客运公司 StateRail 研制了用于学习如何处置火灾、爆炸等紧急情况的虚拟仿真系统^[9];朱新平等^[10-11]构建了机场消防应急救援虚拟演练平台;金浩等^[12]将 VR 应用于水上应急救援模拟训练系统;万晶宇等^[13]设计了基于 VR 的配电盘火灾应急处置模拟系统;李敏等^[14-15]实现了基于 VR 的地震应急救援演练系统;侯建明等^[16]基于 Unity3D 虚拟现实开发平台设计了矿上救援虚拟仿真演练系统;张蕊等^[17-18]搭建了国际邮轮港虚拟仿真平台;田晶晶等^[19]将 VR 技术应用在化学工业安全隐患排查、生产模拟演练中。但是在现有研究成果中,针对食品安全领域,主要开发了食品安全仿真教学系统、检验检测试验仿真操作系统等^[20-22],并没有研究直接用于食品安全突发事件的仿真演练系统。

研究立足于食品安全领域,基于 VR 开发集动画、测试、声音与人机交互于一体的应急演练系统,实现在仿真环境中体验多种演练要素,以期弥补传统应急演练的不足、提升演练效果。

1 食品安全仿真演练系统特点

食品安全仿真应急演练系统依托于 VR 技术,仿真模拟典型的食品安全突发事件现场,通过人机交互的操

基金项目:“十三五”国家重点研发计划(编号:2018YFC1603703)

作者简介:李晶(1987—),女,国家药品监督管理局高级研修学院讲师,博士。E-mail:lj@nmpaied.org.cn

收稿日期:2022-05-20

改回日期:2022-11-24

作,实现应急演练时的沉浸式体验,其具有以下特点:

(1) 真实性:以现实环境为基础进行虚拟建设,操作规则同样立足于现实中实际的食品安全应急处置过程。

(2) 可扩展性:配备接口,实现不同的场景的三维动态配置。

(3) 科学性:依据科学的计算对场景进行演练,依据物理引擎计算虚拟场景的模拟演示效果。

(4) 实时性:演练中产生的各种命令或者行为能够实时地得到响应。

(5) 协同性:支持多台计算机终端在同一场景内进行协同演练和观察。

(6) 安全性:可模拟极端情况下(如地震、雪灾等)的食品安全突发事件场景,保证人员在实际操作中的安全。

(7) 灵活性:演练数据易于收集,系统可以选取不同的算法进行演练评估。

(8) 易用性:友好的用户界面,软件设计符合使用者的习惯与需求。

2 食品安全仿真演练系统构建

2.1 系统开发工具

系统软件技术主要包括:

(1) 场景设计:利用 AutoDesk 公司的 3D max 软件进行建模,还原真实的食品安全突发事件场景。

(2) 界面设计:利用 Unity3D 软件关联编辑模型和数据,进行系统界面和环境的配置等^[23-24]。

(3) 交互实现:控制逻辑使用 C# 脚本进行开发。

(4) 网络技术:采用 UDP、TCP 的数据传输。

(5) 服务器端:采用 VS 2019 开发,开发语言为 C#。

(6) 数据库接口:采用 mySQL 数据库连接情景库、演练数据等数据库内存内容。

系统硬件系统主要包括:服务器、头戴式仿真头盔、手持设备等。

2.2 系统总体架构

系统由操作层、业务层、逻辑层、虚拟层和基础服务层构成,总体架构如图 1 所示。

用户层:包括使用系统的演练人员和管理人员两个层级。

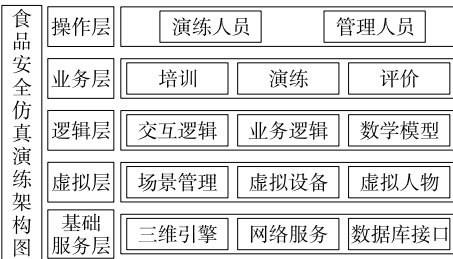


图 1 系统总体架构图

Figure 1 Overall system architecture

业务层:是整个系统架构的核心部分,形成系统的业务模块,包括培训、演练和评价等子系统。

逻辑层:是整个系统的运行逻辑结构,包括交互行为逻辑、业务逻辑以及相应的数学模型。

虚拟层:涵盖演练过程中需要的虚拟数据,包括三维场景库、事件情景库、虚拟物品、虚拟人物等。

基础服务层:是整个系统的支撑体系,主要包括支持虚拟仿真系统开发的三维引擎、数据存储设备、交互设备、数据库等系统所需等软硬件设施。

2.3 系统模块构成

系统设计为 C/S 模式,分为服务器端和客户端。系统模块组成如图 2 所示。

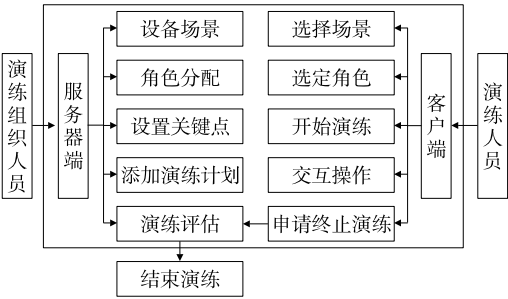


图 2 系统模块组成

Figure 2 System module composition

服务器端:进行演练事件类型选择、演练场景设置、演练关键点设置、交互语言设置、演练计划配置、演练评估规则设置等。

客户端:演练人员登录后,选择演练场景开始演练,根据演练目标进行现场勘查,并对场景中的突发事件进行处置,演练完成后查看演练得分等。

2.4 系统演练流程设置

系统演练流程如图 3 所示,系统通过头戴式仿真头盔、手柄等演练设备与演练人员进行交互,演练人员的操作数据通过网络通讯功能,实现多地区的演练人员之间的协同工作。每次演练开始前,由演练组织单位制定演练预案并进行推演,理论分析通过后进行实际演练,演练的数据进行汇总并对每个演练人员的行为进行评价。演练系统提供针对不同角色进行训练的功能。演练角色按照食品安全事故应急预案^[25]设置,包括综合协调组、事故

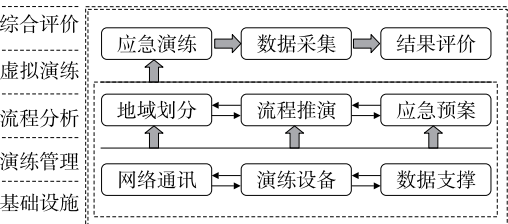


图 3 演练流程示意图

Figure 3 Schematic diagram of drill flow

调查组、危害控制组、医疗救治组、检测评估组、社会稳定组、新闻宣传组等,各小组根据分组不同,有不同的职能工作。

2.5 系统演练场景设计

通过分析实际食品安全突发事件场景以及应急处置

流程,结合专家咨询意见,选取了 10 个典型的食品安全突发事件发生场景以及应急处置关键控制点(演练关键点)进行系统的演练场景设计和建模。10 个场景如表 1 所示。人员进入模拟情景后,会进行应急处置关键点的演练,演练完成后会分析得到事件发生的原因。

表 1 系统演练场景及演练关键点

Table 1 System drill scenarios and key points

场景	模拟情景	应急处置关键控制点	分析原因
学校	食用白米饭引起食物中毒	1. 医疗救治;2. 事件调查(含流行病学调查); 3. 检验检测;4. 危害控制;5. 善后处置	食品运输不当,白米饭等粮食霉变造成霉菌毒素食物中毒
商超	食用大型连锁超市牛肉罐头引起食物中毒	1. 危害控制;2. 事件调查;3. 检验检测;4. 行政处罚	做罐头的原材料,生牛肉被大肠杆菌污染
重大活动	大型进博会期间食用肉制品引起食物中毒	1. 信息报告;2. 医疗救治;3. 事件调查;4. 善后处置	肉块太大,烹调时内部温度不够,细菌未被杀死
工地	食用工地饭堂提供的饭菜引起食物中毒	1. 事件调查;2. 医疗救治;3. 应急检验;4. 危害控制;5. 行政处罚	厨师将亚硝酸盐当作食盐,造成化学性食物中毒
农村聚餐	食用农村自办婚宴饭菜引起集体食物中毒	1. 信息报告;2. 流行病学调查;3. 应急检验; 4. 事件调查	食用含沙门氏菌的鸡蛋引起的细菌性食物中毒
自采自制自食	食用自采蘑菇引起食物中毒	1. 救治及调查;2. 发布提示或预警	毒蘑菇造成有毒植物性食物中毒
酒类	饮用烈酒引起酒精中毒	1. 危害控制;2. 事件调查;3. 检验;4. 行政处罚	出售的酒里掺杂大量假酒,假酒原料发酵生成甲醇
自然灾害	地震灾区在简易条件下生产经营的饮食业单位引起食物中毒	1. 信息报告;2. 危害控制;3. 在定性上注意区分病毒感染性腹泻与食物中毒;4. 消毒;5. 善后处置及舆情监测	食品从业人员感染诺如病毒,造成对食品的污染
农村小超市	食用酸奶引起食物中毒	1. 危害控制;2. 行政处罚	酸奶过期,滋生大量霉菌
游轮	食用海鲜引起食物中毒	1. 医疗救治;2. 流行病学调查;3. 危害控制; 4. 事件调查;5. 检验检测;6. 舆情监测	海鲜保存不当导致变质,造成副溶血性弧菌引起的食物中毒

2.6 系统关键技术实现

2.6.1 系统三维模型和场景建立 场景和模型的建立是整个系统功能实现的基础。常规的虚拟三维模型,是一个完整的数字化真实场景信息库,它不仅包含场景构件的几何信息、专业属性和状态信息,还包含非构件对象的状态信息,如空间和运动行为等。食品安全仿真演练系统运行环境为头戴式 VR 一体机设备,需适配该设备的计算平台和显示分辨率,以达到展现大型场景的同时又不损失显示效果和显示效率,故系统建模时有以下关键点。

(1) 降低模型的三角形面数,对于有明显视角变化的集合体,采用实体模型进行绘制,尽量使用规则几何体展示,对于没有视角变化的一些表面细节,采用纹理欺骗视觉的方式利用平面展示显示内容,可以减少模型显示效率损失,保留尽可能多的模型细节。

(2) 实体模型中的边角部分和凹凸部分,采用凹凸贴图或法线贴图^[26]的方式进行展示,在不添加多边形的

前提下,为模型添加细节。

(3) 图形显示设备绘制图形时,对于所有使用同一张纹理的模型,建立一个独立的物体(不以实际物体的构成规律构建物体),减少切换次数,显著提高显示效率。同时,采用光照贴图,对于光照效果需要不明显的部分,直接记录光线反射效果,不需要实时计算,进一步降低显示时的性能需求,增加效果且不增加系统计算压力。

(4) 简化真实场景描述的虚拟模型。在食品安全应急演练场景模型中,许多信息被删除,以方便人们在计算机中直观地看到并编辑。它不包含材质信息、光影描述、环境物理信息等细节,只包含三维几何数据,没有(或很少)物体属性数据,以便于图形可视化。

(5) 程序流程控制技术。系统所有的场景总体的运行逻辑相同,仅仅是场景内容和系统选项不同,为提升系统运行可靠性,开发过程中采用建立抽象管理层的方式控制程序流程,场景、交互形式、交互文字、饰品、语音内容等均视为可配置元素。对于不同的演练场景,主要的变化就是可配置元素,整体运行逻辑不变,将单个场景的

开发流程工作变化为业务驱动引擎开发工作,增加不同的训练场景工作仅需变化为开发不同的模型以及约定交互内容,确保系统易于调试修改,便于动态编辑配置演习内容,且单个场景运行稳定后,所有的虚拟训练场景均稳定。

2.6.2 食品安全应急演练场景模型特点 与常规虚拟三维场景模型相比,食品安全应急演练场景模型具有以下特点:

(1) 可视化。食品安全应急演练场景模型的可视化是一种可以与场景形成交互和反馈的可视化。不仅可以通过插入图文视频资料等进行展示,还可以通过评价体系生成演习评分数值,更重要的是医疗救治、事件调查、检验检测等过程中的沟通、讨论、决策都是在可视化的状态下进行的。

(2) 协调化。协调是品安全应急演练的核心内容。无论是综合协调组,还是事故调查组,危害控制组,医疗救治组,新闻宣传组等,都在做协调配合。

(3) 最佳化。食品安全应急演练,本质上就是一个食品安全事故设计、各组协调的过程,是一个不断优化流程的过程。优化受到 3 个因素的制约:事故信息、事故复杂度和各组处理时间。食品安全应急演练系统及其支持的优化工具为复杂食品安全事故的流程优化提供了可能。

3 食品安全仿真演练系统演练效果

以工地食品安全突发事件的应急演练为例。演练人员登录系统后,选择工地食品安全突发事件情景并点击确定,界面如图 4(a)所示。演练人员进入工地虚拟场景后,到达突发事件现场,按照系统给出的指示了解突发事件发生的过程,随即如图 4(b)所示选择不同的虚拟身份参与到不同的演练内容,对事件进行处置,分别进行事故调查、信息报告、医疗救治、检测检验、善后处置等具体操作。比如事件调查组点取场景中的可交互的人物,询问症状、事件起因、经过、时间、事发单位情况、涉事食品相关情况等信息,并进行事故的信息报告;医疗救治组可进行现场救治交互行为,对事件涉及的伤病人员进行诊断治疗,选择胸外按压、喂药、催吐、转运到有条件的医疗机构加强救治等方式。检测评估组可开展相关应急检验检测工作,点取食物,进行滴定测试,随机显示不同的颜色,随机产生不同的化验结果,综合分析检测数据从而进行事故原因和趋势的分析,如图 4(c)~图 4(e)所示。演练结束后,对演练人员的操作进行评价,包括人员对各种不同情形下的应急处置流程的了解程度,应急处置过程的操作流程熟悉度,实际处置过程中是否存在次序错误,是否遗漏处置必要的操作环节,是否充分表现出专业的处置技巧、是否有全局观、是否能够有效降低突发事件引起的社会效应等。最后得出演练得分,如图 4(f)所示。

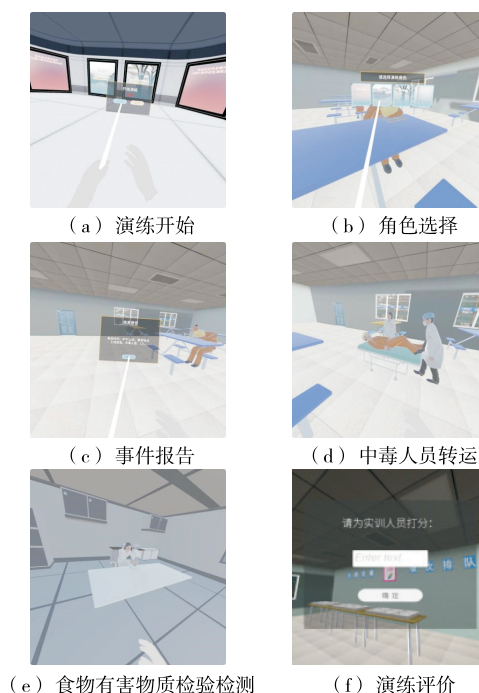


图 4 演练交互操作

Figure 4 Drill interactive operation

该系统已成功应用于食品安全监管部门。应用部门反馈表明,系统场景设置合理,演练模块设计科学,较好地还原了真实食品安全突发事件场景和实际应急处置流程,体验真实,操作简洁、在食品安全应急演练领域具有首创性,有助于提升人员专业水平和处置能力。

4 结论

食品安全仿真演练系统比传统演练具有更高的真实性和灵活性,能够实现人员沉浸式演练,具有较好的应用前景。随着虚拟现实技术在体验感和成本控制以及应用推广方面的快速发展,虚拟演练必然为各级政府提供更多的食品安全突发事件应急处置的辅助决策手段。下一步,可以进一步探索实现多人协调虚拟演练以及构建相应的演练效果评价体系。

参考文献

- [1] 李雪峰. 应急演练规划指南[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2018: 40-45.
LI X F. Emergency drill planning guide[M]. Beijing: China Renmin University Press, 2018: 40-45.
- [2] 李亦纲, 张媛, 赖俊彦, 等. 应急演练指南: 设计、实施与评估[M]. 北京: 地震出版社, 2019: 25.
LI Y G, ZHANG Y, LAI J Y, et al. Introduction to emergency exercise: Design, conduct and evaluation[M]. Beijing: Seismological Press, 2019: 25.
- [3] 李晶, 房军, 姚立辉, 等. 我国食品安全突发事件应急保障重点研究领域建议[J]. 中国酿造, 2019, 38(12): 200-204.

- LI J, FANG J, YAO L H, et al. Suggestions on priority research areas of emergency safeguard for food safety emergencies in China [J]. *China Brewing*, 2019, 38(12): 200-204.
- [4] 杨晨, 周露, 王佳, 等. 我国食品安全事故应急演练现状及建议[J]. *中国食品卫生杂志*, 2022, 34(1): 143-147.
- YANG C, ZHOU L, WANG J, et al. Present situation and suggestions on food safety accident emergency exercise in China[J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2022, 34(1): 143-147.
- [5] 李晶, 杨爱民, 张秋. 食品安全突发事件应急演练建模引擎的设计方法研究[J]. *中国食物与营养*, 2022, 28(7): 10-15.
- LI J, YANG A M, ZHANG Q. Design of food safety emergency exercise modeling engine[J]. *Food and Nutrition in China*, 2022, 28(7): 10-15.
- [6] 李雪峰. 提升应急演练实效的分析与建议[J]. *中国应急管理*, 2018(12): 44-45.
- LI X F. Analysis and suggestions on improving the effectiveness of emergency drill [J]. *China Emergency Management*, 2018(12): 44-45.
- [7] 中华人民共和国应急管理部. 应急管理部信息化发展战略规划框架(2018—2022年)[EB/OL]. (2020-06-19) [2022-03-10]. http://yjgljt.jiangxi.gov.cn/art/2020/6/19/art_37823_1917424.html. Ministry of Emergency Management, PRC. Strategic planning framework for informatization development of the ministry of emergency management (2018—2022) [EB/OL]. (2020-06-19) [2022-03-10]. http://yjgljt.jiangxi.gov.cn/art/2020/6/19/art_37823_1917424.html.
- [8] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业和信息化部关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见[EB/OL]. (2018-12-21) [2022-03-10]. http://www.cac.gov.cn/2018-12/26/c_1123903256.htm. Ministry of Industry and Information Technology, PRC. Guidelines of the ministry of industry and information technology on accelerating the development of the virtual reality industry[EB/OL]. (2018-12-21) [2022-03-10]. http://www.cac.gov.cn/2018-12/26/c_1123903256.htm.
- [9] Fiona Love. Australia's State Rail employs SGI reality center technology to improve system safety[EB/OL]. (2007-06-21) [2022-03-10]. <http://www.sgi.com/pdfs/3419.pdf>.
- [10] 朱新平, 徐海瑶, 万健. 基于虚拟现实的机场消防救援虚拟演练平台[J]. *计算机仿真*, 2020, 37(2): 102-105.
- ZHU X P, XU H Y, WAN J. Airport fire emergency rescue virtual drill platform based on virtual reality technique [J]. *Computer Simulation*, 2020, 37(2): 102-105.
- [11] 潘卫军, 徐海瑶, 朱新平. 基于VR技术的机场应急救援虚拟演练平台[J]. *中国安全生产科学技术*, 2020, 16(2): 136-141.
- PAN W J, XU H Y, ZHU X P. Virtual drilling platform for emergency rescue of airport based on VR technology[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2020, 16(2): 136-141.
- [12] 金浩, 张英香, 王吉武, 等. 水上应急救援模拟训练系统总体研究[J]. *舰船科学技术*, 2021, 43(17): 165-169.
- JIN H, ZHANG Y X, WANG J W, et al. General research on simulation training system of water emergency rescue [J]. *Ship Science and Technology*, 2021, 43(17): 165-169.
- [13] 万晶宇, 赵毅锋, 杨丽君, 等. 基于虚拟现实技术的配电盘火灾应急处置模拟系统设计[J]. *电子设计工程*, 2020, 28(17): 169-173.
- WAN J Y, ZHAO Y F, YANG L J, et al. Design of fire emergency disposal simulation system for distribution board based on virtual reality technology [J]. *Electronic Design Engineering*, 2020, 28(17): 169-173.
- [14] 李敏, 张世邀, 钱珣. 基于虚拟现实技术的地震演练系统设计与实现[J]. *电子技术与软件工程*, 2020(19): 26-30.
- LI M, ZHANG S A, QIAN X. Design and implementation of earthquake drill system based on virtual reality technology [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2020(19): 26-30.
- [15] 王东明, 陈敬一, 高杰. 基于地震巨灾情景构建的应急救援演练虚拟仿真系统架构与设计[J]. *自然灾害学报*, 2021, 30(4): 18-34.
- WANG D M, CHEN J Y, GAO J. Architecture and design of virtual simulation system for emergency rescue drill based on earthquake catastrophe scenario construction[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2021, 30(4): 18-34.
- [16] 侯建明, 杨俊燕. 基于虚拟现实技术开发的矿山救援虚拟仿真演练系统[J]. *矿业安全与环保*, 2018, 45(5): 47-50, 54.
- HOU J M, YANG J Y. Virtual simulation training system of mine rescue based on virtual reality technology [J]. *Mining Safety & Environmental Protection*, 2018, 45(5): 47-50, 54.
- [17] 张蕊, 郑燕华, 刘燕婷. 基于虚拟现实的国际邮轮港突发事件应急演练研究[J]. *价值工程*, 2020, 39(2): 207-210.
- ZHANG R, ZHENG Y H, LIU Y T. Research on emergency rehearsal of international cruise port based on virtual reality [J]. *Value Engineering*, 2020, 39(2): 207-210.
- [18] 张蕊. 基于虚拟现实国际邮轮虚拟仿真实训系统建设与应用研究[J]. *对外经贸*, 2019(12): 127-129.
- ZHANG R. Research on the construction and application of international cruise ship training system based on virtual reality [J]. *Foreign Economic Relations & Trade*, 2019(12): 127-129.
- [19] 田晶晶, 孔德印, 尹学文, 等. VR技术在化学工业安全隐患排查、生产模拟培训及演练中的应用实践[J]. *湖北大学学报(自然科学版)*, 2022, 44(4): 455-460.
- TIAN J J, KONG D Y, YIN X W, et al. Application practice of VR technology in potential safety hazard checking, production simulation training and drill of chemical industry [J]. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 2022, 44(4): 455-460.
- [20] 孙海燕, 张辰露, 耿敬章, 等. 新工科背景下食品质量与安全专业虚拟仿真实验室建设初探[J]. *当代化工研究*, 2022(18): 147-149.
- SUN H Y, ZHANG C L, GENG J Z, et al. Preliminary study on the construction of virtual simulation laboratory for food quality and safety specialty under the background of new engineering [J]. *Modern Chemical Research*, 2022(18): 147-149.

(下转第126页)

参考文献

- [1] 张俊雄, 荀一, 李伟, 等. 基于计算机视觉的柑橘自动化分级[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2007(2): 100-103.
ZHANG J X, XUN Y, LI W, et al. Automatic citrus grading based on computer vision [J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2007(2): 100-103.
 - [2] 王旭, 赵志衡. 基于机器视觉的柑橘分级技术研究[J]. 怀化学院学报, 2016, 35(5): 60-63.
WANG X, ZHAO Z H. Research on citrus classification technology based on machine vision[J]. Journal of Huaihua University, 2016, 35(5): 60-63.
 - [3] 朱蓓. 苹果全表面图像信息获取方法的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 16-17.
ZHU B. Method for complete-surface image information acquisition of apples[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013: 16-17.
 - [4] 王干, 孙力, 李雪梅, 等. 基于机器视觉的脐橙采后田间分级系统设计[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2017, 38(6): 672-676.
WANG G, SUN L, LI X M, et al. Design of postharvest in-field grading system for navel orange based on machine vision[J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2017, 38(6): 672-676.
 - [5] ISSAC A, DUTTA M K, SARKAR B. Computer vision based method for quality and freshness check for fish from segmented gills[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 139: 10-21.
 - [6] 魏文松, 邢瑶瑶, 李永玉, 等. 适于餐厅与家庭的叶菜外部品质在线检测与分级系统[J]. 农业工程学报, 2018, 34(5): 264-273.
WEI W S, XING Y Y, LI Y Y, et al. Online detection and classification system of external quality of leaf for dining hall and family[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(5): 264-273.
 - [7] 陈进, 顾琰, 练毅, 等. 基于机器视觉的水稻杂质及破碎籽粒在线识别方法[J]. 农业工程学报, 2018, 34(13): 187-194.
 - CHEN J, GU Y, LIAN Y, et al. Online recognition method of impurities and broken paddy grains based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(13): 187-194.
 - [8] GUANJUN B, MIMI J, Yi X, et al. Cracked egg recognition based on machine vision[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2019, 158: 159-166.
 - [9] 王风云, 封文杰, 郑纪业, 等. 基于机器视觉的双孢蘑菇在线自动分级系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(7): 256-263.
WANG F Y, FENG W J, ZHENG J Y, et al. Design and experiment of automatic sorting and grading system based on machine vision for white agaricus bisporus[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(7): 256-263.
 - [10] 杨意, 初麒, 杨艳丽, 等. 基于机器视觉的白掌组培苗在线分级方法[J]. 农业工程学报, 2016, 32(8): 33-40.
YANG Y, CHU Q, YANG Y L, et al. Online grading method for tissue culture seedlings of *Spathiphyllum floribundum* based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(8): 33-40.
 - [11] SOFU M M, ER O, KAYACAN M C, et al. Design of an automatic apple sorting system using machine vision [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 127: 395-405.
 - [12] 饶秀勤. 基于机器视觉的水果品质实时检测与分级生产线的关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007: 73-75.
RAO X Q. Real-time inspection technology of fruit quality using machine vision[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007: 73-75.
 - [13] ZHAO G, QUAN L, LI H, et al. Real-time recognition system of soybean seed full-surface defects based on deep learning-ScienceDirect[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 187: 106230.
-
- (上接第 69 页)
- [21] 金萍, 邸佳妮. 虚拟仿真实验在微生物实验教学中的应用[J]. 中国继续医学教育, 2022, 14(14): 168-171.
JIN P, DI J N. Application of virtual simulation experiment teaching in microbiology experiment teaching [J]. China Continuing Medical Education, 2022, 14(14): 168-171.
 - [22] 汤轶伟, 桑亚新, 张志胜, 等. 虚拟仿真技术在食品安全快速检测技术课程实验教学中的应用[J]. 广州化工, 2022, 50(10): 179-181.
TANG Y W, SANG Y X, ZHANG Z S, et al. Application of virtual simulation technology in experimental teaching of rapid detection technology of food safety[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2022, 50(10): 179-181.
 - [23] 罗盛誉. Unity 5.x 游戏开发指南[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2015: 55.
LUO S Y. Unity 5.x game development guide[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2015: 55.
 - [24] 王寒, 张义红, 王少笛. Unity AR/VR 开发[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018: 34.
WANG H, ZHANG Y H, WANG S D. Unity AR/VR development [M]. Beijing: China Machine Press, 2018: 34.
 - [25] 国务院. 国家食品安全事故应急预案[EB/OL]. (2011-10-05) [2022-03-10]. http://www.gov.cn/yjgl/2011-10/14/content_1969572.htm.
State Council. State emergency plan for food safety accidents[EB/OL]. (2011-10-05) [2022-03-10]. http://www.gov.cn/yjgl/2011-10/14/content_1969572.htm.
 - [26] 邓恩, 帕贝利. 3D 数学基础: 图形与游戏开发[M]. 史银雪, 陈洪, 王荣静, 译. 北京: 清华大学出版社, 2005: 158-187.
DUNN F, PARBERRY I. 3D math primer for graphics and game development[M]. SHI Y X, CHEN H, WANG R J. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 158-187.