doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2024.05.005

元宇宙环境下玉米免耕播种机作业机组仿真与试验

万　玲[1,2]　胡培钰[1]　吴俊杰[1]　陈黎卿[1,2]
(1.安徽农业大学工学院,合肥 230036;2.安徽省智能农机装备工程研究中心,合肥 230036)

摘要:针对玉米免耕播种机研发周期长和研发成本高等问题,本文将元宇宙技术应用于玉米免耕播种机作业机组的仿真试验。基于元宇宙系统架构构建仿真平台,在元宇宙环境下,采用标线法和转换法对虚拟农场中场景进行高度还原,构建沉浸式玉米免耕播种机驾驶平台并进行交互性能测试,验证沉浸式玉米免耕播种机驾驶平台交互性能。在此基础上,在不同行驶速度下进行播种性能仿真试验,当玉米免耕播种作业机组前进速度不断增大时,播种质量整体呈下降趋势,趋势接近实际田间试验结果,株距合格率大于 88.52%、重播率小于 6.97%、漏播率小于 4.51%。试验结果表明,本文设计实现的元宇宙虚拟播种仿真平台能够用于玉米播种试验,对降低玉米免耕播种机研发成本、缩短玉米免耕播种机研发周期具有重要意义。

关键词:玉米免耕播种机;作业机组;元宇宙;仿真;试验
中图分类号:S223.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2024)05-0053-10　　**OSID**:

Simulation and Experiment of Corn No-till Planter Operating Unit in Meta-universe Environment

WAN Ling[1,2]　HU Peiyu[1]　WU Junjie[1]　CHEN Liqing[1,2]
(1. *College of Engineering*, *Anhui Agricultural University*, *Hefei* 230036, *China*
2. *Anhui Province Engineering Research Center of Intelligent Agricultural Machinery*, *Hefei* 230036, *China*)

Abstract: Aiming at the problems of long R&D cycle and high R&D cost of no-tillage planter for maize, it was proposed to apply the meta-universe technology to the simulation of corn no-tillage planter operating unit. Based on the architecture of the meta-universe system, the simulation platform was constructed, and the scenes in the virtual farm were highly restored under the meta-universe environment by using the marking line method and the transformation method, and an immersive corn no-tillage planter driving platform was constructed and tested for the interactivity, to verify that the immersive corn no-tillage planter driving platform had better interactivity. The interactive performance of the immersive corn no-till planter driving platform was verified to be better. On this, seeding performance simulation tests were carried out at different driving speeds, and the overall seeding quality showed a decreasing trend when the forward speed of the corn no-tillage planter unit was increasing, and the overall trend was close to the actual field test results, and the spacing pass rate was greater than 88.52%, the reseeding rate was less than 6.97%, the omission rate was less than 4.51%. The test results showed that the virtual seeding simulation platform designed and implemented can be used for corn seeding experimental research, which was of great significance to reduce the research and development cost of no-tillage seeding machine and shorten the research and development cycle of no-tillage seeding machine for corn.

Key words: corn no-till planter; operating unit; meta-universe; simulation; experiment

0　引言

元宇宙是近几年在互联网较前沿用于虚实融合与互动的概念。虚拟现实技术具有多感知性[1-2]、沉浸式[3-4]、实时交互性[5-6]和自主性[7]。随着社会生产力和科学技术的发展,虚拟现实技术在农业、

收稿日期:2023-09-21　修回日期:2024-02-01
基金项目:安徽省高校合作协同攻关项目(GXXT-2020-011)和国家自然科学基金项目(52175212)
作者简介:万玲(1993—),女,实验师,主要从事智能农机装备研究,E-mail:wl2018@ahau.edu.cn
通信作者:陈黎卿(1979—),男,教授,博士生导师,主要从事智能农机装备研究,E-mail:lqchen@ahau.edu.cn

机械等各行业需求较大。

玉米作为三大主要粮食作物之一[8],已经发展成为我国重要的粮食、饲料和工业原料作物[9],提高其机械化和智能化程度意义重大[10],元宇宙的出现恰好可以缩短玉米免耕播种机研发周期,降低研发成本[11-12]。近年来,智能农机取得了跨越式进展[13-14],无人农场技术也在推广应用[15-17],虚拟现实技术也在逐步应用。国内外利用元宇宙在农业上开展了一些探索,兰翼[18]基于虚拟现实技术建立虚拟农田场景,用户可直接与农田虚拟现实中的农作物及地块、道路等场景交互,为农业装备的虚拟实验提供了接口和场景空间。王菲[19]通过模拟驾驶器的输入控制虚拟农机的运动状态,结果实时输出到投影屏幕,实现自走式农业机械虚拟试验的实时交互。王澍田[20]对小麦高通量和高精确度的点云数据进行建模,重构了小麦苗期株形,构建沉浸式虚拟场景,配合可视化系统,为表型组学的研究提供基础数据。王杰[21]利用虚拟现实技术,研究了三维虚拟环境中刚体碰撞、车辆驾驶、重力以及其他的力效果,在虚拟环境中进行了车辆控制、农作物收割模拟等。王东洋[22]设计了一个虚拟现实果园种植系统,帮助用户精准种植。张新昌[23]结合虚拟现实技术理论进行 VR 场景下农业机器人操作控制平台仿真试验,为农业机器人的深入研发提供一定参考。汤其建[24]为了实现玉米收获机可视化结构设计、缩短部件设计装配时间与误差率,引入 VR 技术对其展开设计分析,为类似农业机械结构设计提供优化思路。

在元宇宙中搭建一个田间作业实效环境,模拟播种作业实况,用田间作业效果评价作业机具性能鲜有报道。本文以玉米免耕播种机为研究对象,在基于虚拟现实技术的元宇宙环境下进行玉米免耕播种机的仿真试验,模拟播种作业质量,及时完成机具优化。以期降低玉米免耕播种机研发成本、缩短研发周期。

1 元宇宙仿真平台

元宇宙仿真平台是一种基于全息构建、全息仿真、虚实融合和虚实联动等技术的综合性平台[25]。该平台可以用于虚拟现实、增强现实、数字孪生等领域,可以实现虚拟世界的构建和管理,以及虚拟世界与现实世界之间的交互。物理仿真技术是数字孪生技术的支撑之一,可以模拟现实世界中的物理过程,为数字孪生提供更加真实的数据。

1.1 元宇宙系统架构构建

1.1.1 虚拟立体显示

虚拟现实技术通过计算机模拟生成高度真实的虚拟环境,将计算机产生的电子信号通过代码的形式发送至输出设备,输出设备以图像或者音效等形式反馈给人体感官,使用户获得较为逼真的沉浸感并可以在虚拟世界中进行人机交互。为获得高度的沉浸感,则需要用立体显示技术[26]。视差状态如图 1 所示。

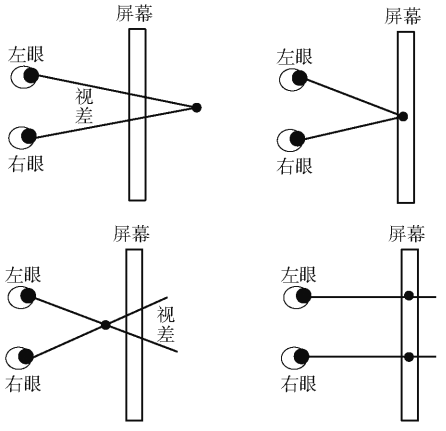


图 1 4 种视差状态

Fig. 1 Four parallax states

当通过技术手段,使得人处于左眼只能看见右边的图像,而右眼只能看到左边的图像的负视差情况下,人的大脑就会融合这对视差图,生成完美的立体感,如图 2 所示。

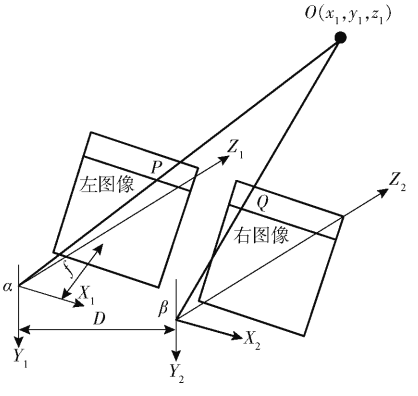


图 2 双目视觉摄像机理论模型

Fig. 2 Theoretical model of binocular vision camera

当使用两个视觉点 α 和 β 来模拟人体眼睛,已知点 $O(x_1,y_1,z_1)$ 为空间中某一点,在两视觉点 α 和 β 之间的成像点为 $P(X_1,Y_1)$ 和 $Q(X_2,Y_2)$,假设 D 为 α 和 β 两视觉点之间的直线距离,由于 α 和 β 两视觉点在同一平面内,所以点 O 的 Y 坐标轴和成像点 P、Q 的 Y 轴坐标相同,即 $y_1 = Y_1 = Y_2$,f 为焦距,由世界坐标关系可以得

$$\begin{cases} X_1 = f\dfrac{x_1}{y_1} \\ X_2 = f\dfrac{x_1 - D}{z_1} \\ Y = f\dfrac{y_1}{z_1} \end{cases} \tag{1}$$

由式(1)可以计算得出视差 ΔH 为

$$\Delta H = X_1 - X_2 \tag{2}$$

由式(1)、(2)可计算得到目标点 O 的空间坐标系为

$$\begin{cases} X_1 = D\dfrac{X_1}{\Delta H} \\ X_2 = D\dfrac{Y_1}{\Delta H} \\ Y = D\dfrac{f}{\Delta H} \end{cases} \tag{3}$$

由双目视差原理可知,较远处物体视差变的较小,难以看清和分辨位置,大脑深度感知融合能力较弱,产生的立体感也就较弱;而当近处物体视差变化较大时,能够轻易看清和分辨物体位置,深度感知能力较强,产生的立体感较强。

1.1.2　三维空间变换

虚拟世界中物体是运动的,在屏幕上显示物体运动以及运动行为,则需要三维空间变换技术。在虚拟世界中任意的一个模型,其都有 6 个自由度,分别为绕自身坐标系 X、Y、Z 3 个坐标轴平移和旋转,任意自由度的改变都会影响整个系统状态。对于刚体而言,由于其变换前后,物体形状和大小未发生变化,则通过物体在坐标系中的平移和旋转即可实现位置改变。对于非刚体变换,变换之后,主要通过缩放变换来实现物体形状改变。

(1)平移变换

将物体在空间中的坐标点沿着某一个直线方向进行移动即可实现平移变换,然后更新当前物体的所有坐标参数,如图 3 所示。

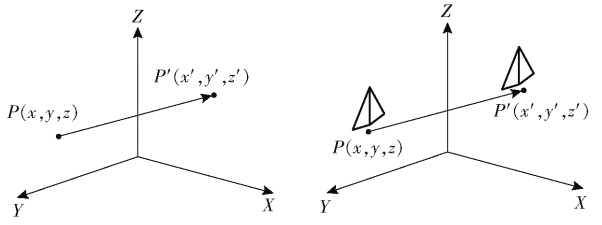


图 3　平移变换示意图

Fig. 3　Translation diagram

图 3 中点 P 在变换向量 $\boldsymbol{T}$ 的作用下进行平移。平移变换矩阵为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

式中　t_x、t_y、t_z——平移因子

(2)缩放变换

任意一个物体都是由点、线、面组成,通过将一个物体所有点与点之间的距离同时进行扩大或者缩小即可实现物体缩放变换,然后更新变换后物体参数,如图 4 所示。

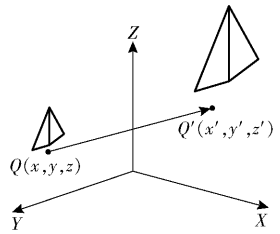


图 4　缩放变换示意图

Fig. 4　Scaling transform

虚拟世界中任意一点 Q 相对于坐标原点的缩放变换矩阵为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & t_x \\ 0 & s_y & 0 & t_y \\ 0 & 0 & s_z & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

式中　s_x、s_y、s_z——缩放因子

(3)旋转变换

物体在三维世界中绕某一个轴进行旋转即可实现物体旋转变换。旋转是三维变换中最复杂的过程,但绕平行于坐标轴的旋转较为简单。首先考虑物体在三维坐标轴上的旋转变换,假设只考虑物体在 Z 轴上的旋转,则可将二维旋转的理论应用于三维旋转,即

$$\begin{cases} x' = x\cos\theta - y\sin\theta \\ y' = x\sin\theta + y\cos\theta \\ z' = z \end{cases} \tag{6}$$

式中　θ——物体绕 Z 轴旋转角度

物体在三维坐标系中绕 Z 轴的变换可表示为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

同理只需要替代矩阵中的参数,即可得到绕另外两个坐标轴变化矩阵。

对于绕与坐标轴不平行的轴进行旋转变化,可以将旋转轴进行平移和旋转,变换到与任意坐标轴重合,然后对该坐标轴进行旋转变换,最后再将旋转轴变回到原来位置。对于任意已知旋转轴和旋转角的旋转变换,可以通过平移对象使旋转轴经过原点;对旋转轴进行旋转使其与坐标轴重合;完成指定角度旋转;逆旋转回到初始原点位置;逆平移至初始位置等步骤来进行旋转变换,如图 5 所示。

基于虚拟现实技术的元宇宙系统架构由用户和虚拟现实系统构成。虚拟现实系统是以先进传感器

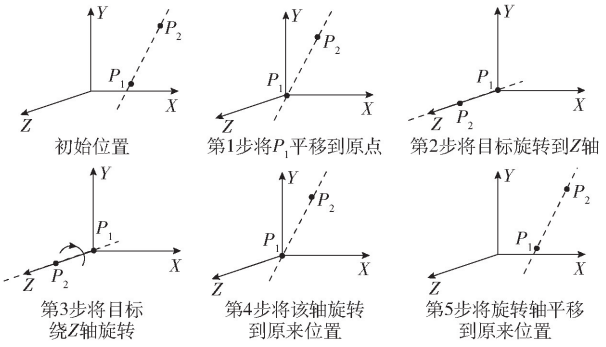


图 5 绕任意轴旋转变换

Fig. 5 Rotating transformation about any axis

的人机接口为基础,将具有专业图形处理技术的高性能工作站及其交互硬件设备与面向虚拟现实开发的软件系统进行连接[27]。从组成成分看,也可以分为硬件设备、软件系统和用户 3 部分。基于虚拟现实的元宇宙系统架构如图 6 所示。

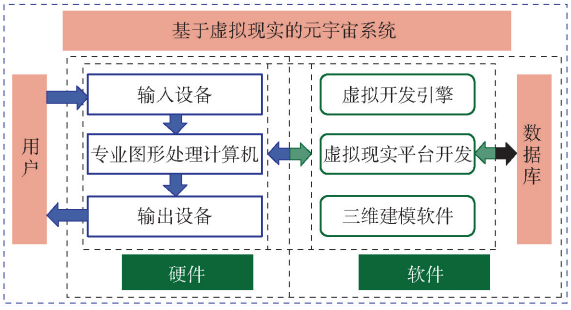


图 6 基于虚拟现实的元宇宙仿真平台架构

Fig. 6 Architecture of virtual reality-based meta-universe simulation platforms

1.2 软件组成

为了实现基于虚拟现实的元宇宙系统,需要增加辅助软件支持。在前期数据采集和图像整理时,使用 AutoCAD 和 Photoshop 等二维软件和建筑制图软件;在建模贴图时,使用 3ds Max、MAYA 等主流三维软件;在准备音视频素材时,使用 Audition、Premiere 等软件。在后期系统开发过程中,则需要使用虚拟现实引擎软件进行综合集成和数据处理。目前开发虚拟现实的引擎主要有 Unreal Engine 4、CryEngine 和 Unity 3D 3 种,综合对比本文选用与 Visio Studio 深度结合的 Unity 3D 引擎软件作为最终开发平台。

1.3 硬件组成

1.3.1 高性能工作站

本文建立的高性能工作站主要用于 3D 图形渲染和大型模型数据计算,显卡为专业图形制作显卡,CPU 为 10 核 20 线程,使得工作站在 64 位 Windows 平台上能够同时进行多种程序的 3D 场景及庞大的数据计算和存储。参数配置如表 1 所示。

采用 4 组 4K VR 场景管理器,进行场景储存和管理,其处理器拼接主要采用模块化插卡式,单台设备最大规模支持 304 路高清信号输入和 160 路高清信号输出,25 Gb/s 串行带宽。

表 1 工作站服务器配置参数

Tab. 1 Workstation server configuration parameters

组件	配置参数
CPU 处理器	Intel Xeon 10 Sliver4210(10 核 20 线程)
内存	32GBDDR4 - 2133 (2 × 16GB)
显卡	NVIDIA Quadro RTX4000
双硬盘	总容量 2 ~ 4TB
网卡	千兆以太网卡
操作系统	Windows 10 Professional 64bit

1.3.2 I/O 设备

I/O 设备不同于传统的鼠标键盘交互,沉浸式虚拟现实的 I/O 设备以更加趋近于自然的交互方式进行体验。对于输入设备,设计的系统使用具有方向盘踏板的驾驶室作为外接设备,达到用户通过现实设备操纵实现对虚拟世界中对象控制的人机交互效果。整套设备包括力反馈方向盘、挡位器、离合器、油门踏板、刹车踏板、支架和座椅等,如图 7 所示。选用的方向盘设备采用双马达力反馈技术,最大转角可达到 900°,响应速度快且精准度高。对于输出设备使用 HTC VIVE PRO 系列的一体式头戴显示器,通过 HMD 头显、Lighthouse 定位跟踪系统为用户提供沉浸式体验。



图 7 元宇宙环境搭建硬件组成

Fig. 7 Hardware composition of meta-universe environment

2 元宇宙环境建立

2.1 玉米地与玉米种子建模

元宇宙环境建立为最大程度贴合实际玉米农田特征,建模时考虑农田地表不平整度,通过文献[28]确定虚拟环境下农田建模参数,最终选择 0.035 m 作为虚拟田间模型土壤地表不平度幅值。在 3ds Max 中建立田地模型。以 10 m × 10 m 范围的土地区域为基础田面,通过细化将其进行网格划分。在视图中应用波浪修改器,以正弦波的形式在田面沿 X 轴、Y 轴方向进行空间扭曲,实现田间地表高低起伏效果。对场景进行纹理贴图等过程修饰,获得可在 Unity 3D 中适用的 3D 农田模型。土壤地表无明显凹凸不平状态,拖拉机播种机组会因农田高低起伏变化引发振动,最大化增加元宇宙环境下播种机组作业的真实性。玉米田间地表建模流程如

图 8 所示。

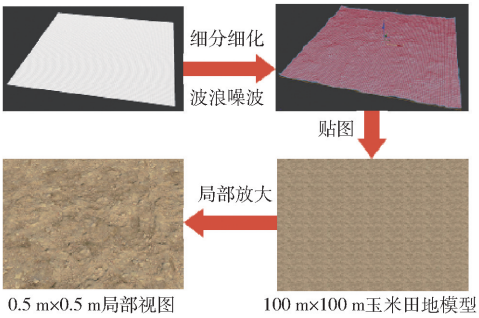


图 8　玉米田间地表建模流程

Fig. 8　Maize field surface modeling process

使用 3ds Max 以实际玉米种子图像为参考，构建虚拟 3D 几何模型[29]，单粒、多粒玉米种子效果如图 9 所示。

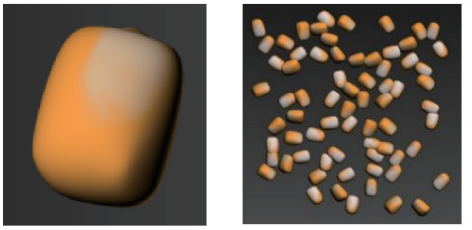


图 9　玉米种子建模效果

Fig. 9　Modeling effect of single corn seeds

2.2　玉米免耕播种机建模

农业机械建模主要包括拖拉机和玉米免耕播种机，拖拉机主要用于驱动和转向，播种机主要进行播种作业。

实际拖拉机几何结构极为复杂，由于在驱动时主要通过 C#编写脚本进行驱动，为节约拖拉机在虚拟场景驾驶过程中的渲染时间，减少不必要的数据损耗，只保留拖拉机车轮、方向盘、引擎盖、整车等主要运动组成部分。而对于播种机部分，将非重点的细小零件适当删减，同时进行简化处理，保留机架和播种单体关键部分。

通过 Solidworks 软件对现有的农机模型进行建模，建模过程如图 10 所示，在 Unity 3D 中建成的完整玉米免耕播种机组模型及其主要结构图如图 11 所示。

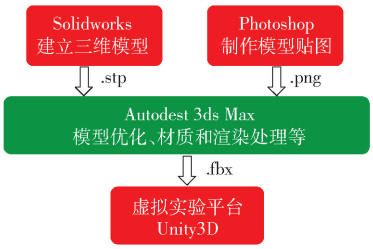


图 10　三维模型建立流程

Fig. 10　3D model building process

构建农场场景，包括田间土壤、玉米种子、苗期植株、机库等主要对象建模和其他周边环境农场场景构建，添加了视景特效，建立更加贴合实际的元宇宙环境下农场场景。整体农场场景效果如图 12 所示。



图 11　玉米免耕播种机组主要结构图

Fig. 11　Main structure diagram of maize seeding unit

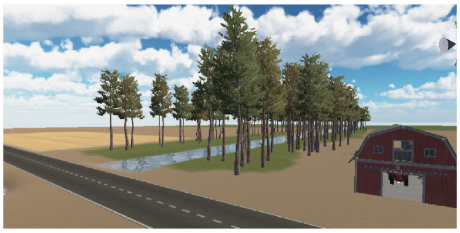


图 12　元宇宙农场整体场景

Fig. 12　Whole scene of meta-universe farm

3　沉浸式玉米免耕播种机运动与作业

3.1　玉米免耕播种机驾驶平台驱动

设计的系统驱动和控制主要由 Input Controller、LogitechGSDK、Driving 3 个脚本决定。其中，LogitechGSDK. cs 主要接收来自用户操控 Logitech 方向盘硬件时的信号，并对外输出接口；Driving. cs 主要作为拖拉机模型底层设计，可对其进行动力学仿真计算；Input Controller. cs 是联通 LogitechGSDK 脚本和 Driving 脚本的中转站，负责识别设备和接收硬件方向盘事件，将对 Driving 仿真计算的结果在 Unity 3D 中的虚拟农机模型上输出，实现对场景中拖拉机虚实结合的驱动和控制。对玉米免耕播种机组、拖拉机实现控制的主要脚本流程图如图 13 所示。

3.1.1　玉米免耕播种机驾驶平台移动与转向控制

用户可通过操控 Logitech 方向盘踏板设备，实现对虚拟玉米免耕播种机组在场景中的前进、后退和转向功能。在玉米免耕播种机组田间完成一列播种作业，由直线自主导航切换至操纵转向驾驶，需转至指定标定点后，方能顺利切换为直线自主导航行驶的播种模式。考虑手动操纵转向便捷性，编写倒车程序，增加拖拉机倒车功能辅助用户驶回预定位置。

3.1.2　玉米免耕播种机驾驶平台制动功能

在 Driving 脚本中编写制动程序，若用户踩下刹

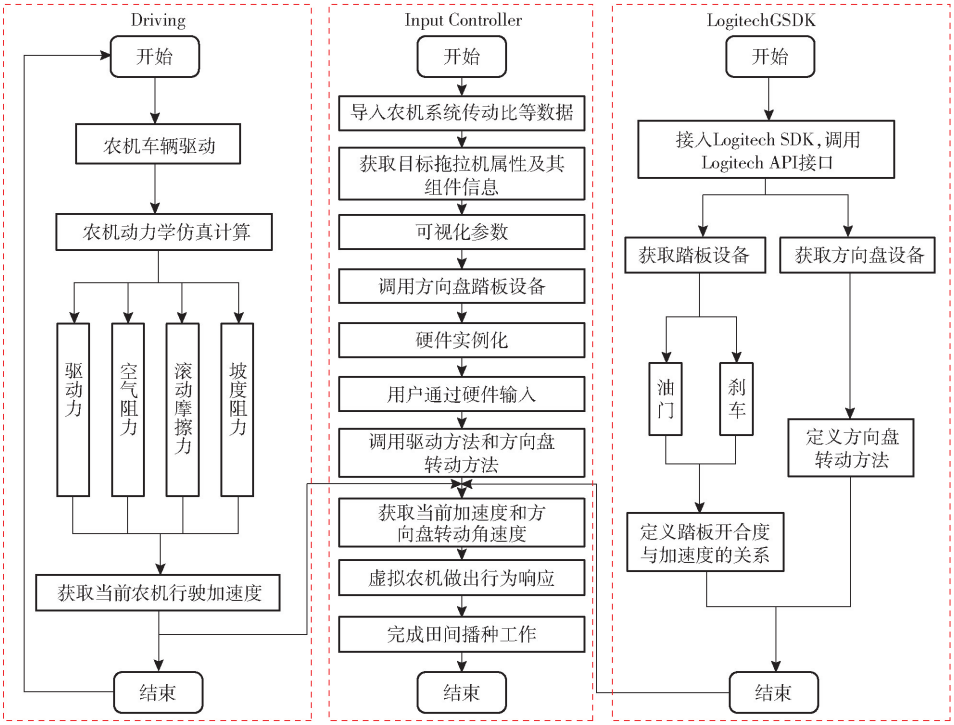


图 13 实现拖拉机控制的主要脚本流程图

Fig. 13 Realizing main script flowchart of agricultural machinery control

车踏板,则给车轮赋予一定制动扭矩,使拖拉机停下并输出其制动力;若用户未踩则不赋予制动扭矩,拖拉机正常行驶。

3.2 交互测试

元宇宙环境下虚拟玉米无人农场人机交互测试主要从以下 3 方面进行检验:HTC Vive Pro 头显设备连接情况,并显示相应三维效果。力反馈方向盘与虚拟农机接入情况,农机自主导航直线行驶与操纵转向两种状态切换,及用户操纵实际方向盘进行前进、转向、制动等操作所设计的功能对应情况。通过操作手柄实现位置的移动,观察不同区域玉米生长情况。

3.2.1 HTC Vive Pro 头显三维视觉交互测试

在运行程序后,应检验用户的 HTC Vive Pro 头显设备是否成功连接并显示三维效果。验证当用户转动头部时,其头显中所显示的场景是否同步转动[30]。以此完成 VR 头显设备整个环顾过程的三维视觉交互验证,效果逼近真实视觉场景,三维视觉交互测试结果如图 14 所示。

3.2.2 方向盘踏板设备交互测试

在有效标桩区进行标桩,设计 6 组标桩,每个标桩间距 30 m 水平直线布置。首尾两端间距 30 m 处的出入口处再各布置 2 个标桩。再进行行驶路径的规划,使得拖拉机以一定的速度按规定路线行驶。S 形试验道路示意如图 15 所示。

对于数据的采集,在 Unity 3D 中主要分为世界

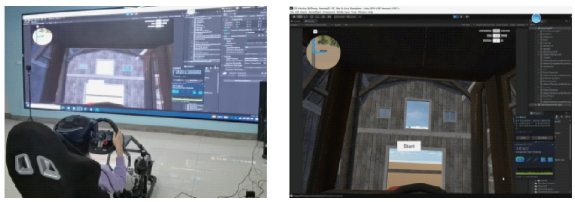


图 14 三维视觉交互测试结果

Fig. 14 3D visual interaction test results

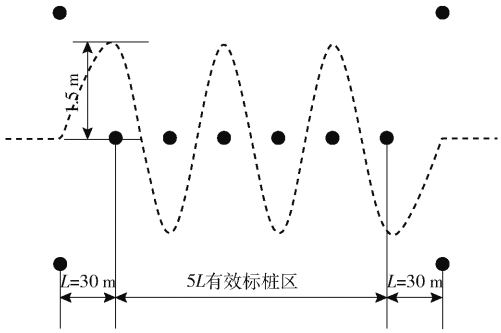


图 15 S 形试验道路

Fig. 15 S-shaped test road

坐标系和局部坐标系,以 X、Z 平面为水平面,则数据模拟不考虑 Y 轴方向。假设在入口处起始位置世界坐标系坐标为 $P(x,z)$,任意蛇形道路位置在 X、Z 平面坐标为 $P_1(x_1,z_1)$,假设将点 P 作为原点 $O(0,0)$进行数据输出,对于任意位置的蛇形道路坐标 $P_2(x_2,z_2)$的坐标变换公式为

$$\begin{cases} x_2 = x_1 - x \\ z_2 = z_1 - z \end{cases} \tag{8}$$

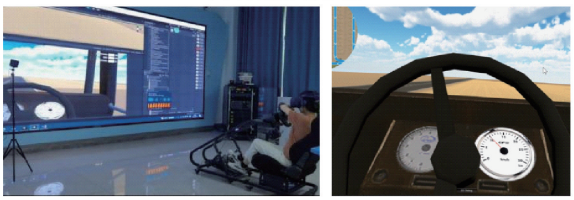
则对于任意的蛇形道路输出坐标有 $P_2(x_1-x,$

$z_1 - z$)。将输出的坐标输入到指定文件表格中进行数据存储。对于拖拉机转角则是通过监测转角变量直接输出至同样路径下的文件名为 Angel 的表格中进行数据存储。

拖拉机置于原点，拖拉机重心位置与原点重合，开始进行测试练习。方向盘转向交互功能测试如图 16 所示。拖拉机初始试验以速度 10 km/h 进行测试，若顺利通过则以车速 10 km/h 增加至 30 km/h，通过对方向盘的转角进行监测来反映输入设备的交互性，通过拖拉机实际行驶路线和标准试验路线来反映输入设备响应性。



(a) 方向盘左转同步



(b) 方向盘右转同步

图 16　方向盘转向交互性能测试

Fig. 16　Steering wheel interaction test

经过多次熟练驾驶和操作试验得到试验速度 10、20、30 km/h 的方向盘转角和行驶轨迹如图 17 所示，对比图 17 中方向盘转角随时间的变化可得实际操作中方向盘转角的响应性较好，对比行驶轨迹

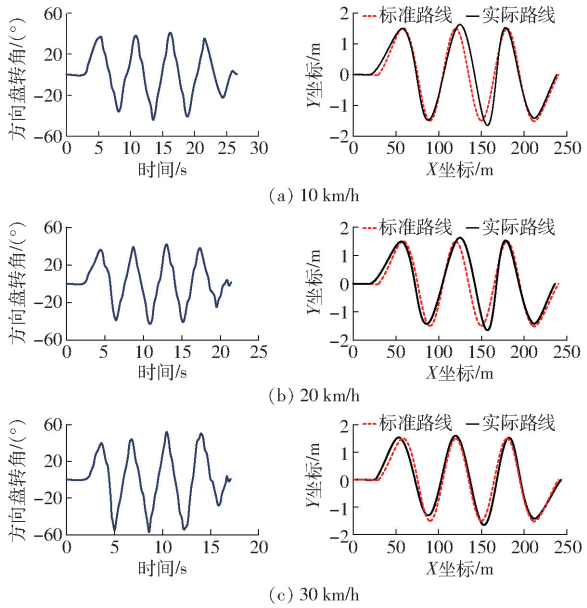


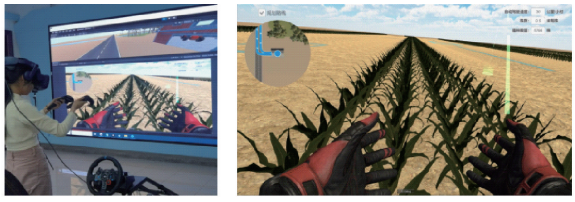
图 17　不同速度下方向盘转角与行使轨迹对比

Fig. 17　Comparison of steering wheel angle and driving trajectory at different speeds

和实际行驶轨迹，拖拉机偏移理论行驶路线的最大偏移为 0.2 m，运动路线与理论路线运动趋势一致，侧面反映了方向盘踏板设备交互性和响应性较好。

3.2.3　手柄交互测试

当播种作业完成后，若用户在元宇宙三维场景中想返回田间观察植株生长情况时，需通过 HTC Vive Pro 头显套装中的手柄进行位置移动。手柄交互功能测试如图 18 所示。



(a) 选中目标位置移动前



(b) 移动至目标位置后

图 18　手柄移动交互性能测试

Fig. 18　Handle mobile interaction test

3.3　元宇宙虚拟播种仿真及效果

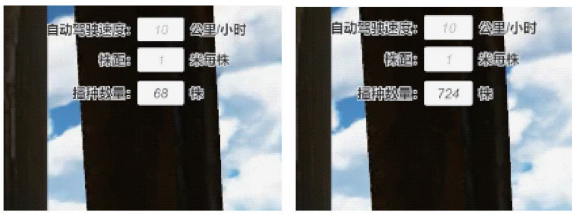
3.3.1　虚拟播种仿真

设计播种机组在进行田间播种作业前，可在初始化界面中的 UI 文本框内输入本次播种作业目标行驶速度与目标播种株距，获取播种机移动距离，当移动距离接近于播种距离时，随机生成已制作出的玉米种子模型，因地表土块波动使得落种距离有差异，以接近真实播种情况。将已播种子存放于同一父物体下以便管理，输出种间距离。最后统计目前已落种数量，并在屏幕页面上可视化。

在播种过程中，记录播种坐标，并实时计算种间距以可视化形式输出。在每次田间作业完成后，运行面板上会以文本框形式计算并输出本次播种作业所播种的总数量，同时以 txt 形式存储已做过的所有试验结果数据，方便试验结果数据的获得与分析。播种功能实现主要逻辑为：首先获取播种机移动距离，当移动距离接近于播种距离时，随机生成的玉米种子模型，经播种机组落入土里，因地表土块波动使得落种距离有差异。将已播种子存放于同一父物体下以便管理，输出种间距离。统计目前已落种数量，并在屏幕页面可视化。在播种作业过程中，UI 文本框内实时更新显示已播种种子数量，如图 19 所示。

3.3.2　虚拟播种效果

利用高性能服务器将 VR 与 3D 农机模型有机结合进行元宇宙环境下的玉米无人农场播种虚拟



(a) 开始播种 (b) 第1列播种完成时

图 19 播种状态可视化

Fig. 19 Visualisation of seeding status

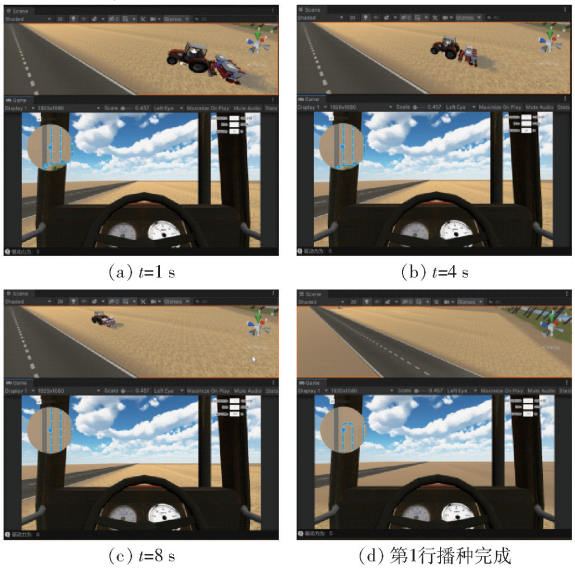
试验。通过脚本编译与理论数学的应用,以操控元宇宙世界中模型的方式将真实物理规律客观反映。本文所设计的虚拟是基于虚拟现实的元宇宙技术在玉米播种仿真环节的初步探索,通过现实中控制方向盘-脚踏板设备和头显设备的方式,实现用户与虚拟场景人机交互。图 20 为程序运行后效果,此时可设置本次播种环节所使用的拖拉机车速与目标株距。



图 20 拖拉机速度及目标株距设置起始页面

Fig. 20 Starting page for farm machine speed and target plant distance setting

图 21 为前进速度 10 m/s、目标株距 1 m 时不同时刻播种作业表现情况。此时可通过观察方向盘前方随速度快慢实时更新的车速表,印证自主导航状态下的拖拉机是否按已设置的速度进行匀速播种。在 Hierarchy 面板中会输出各株距,也会以文本文件



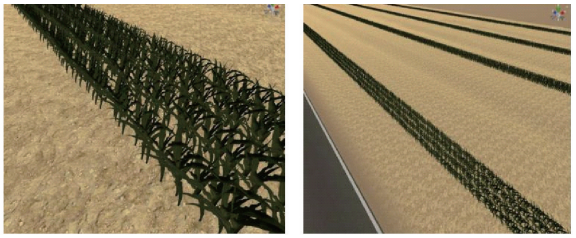
(a) t=1 s (b) t=4 s

(c) t=8 s (d) 第1行播种完成

图 21 虚拟播种作业仿真

Fig. 21 Virtual seeding operation simulation

形式保存每次播种的数据。在本轮播种作业完成后,点击“生长植株”后方可返回农田查看根据播种位置所生长出的苗期植株,植株生长仿真如图 22 所示。



(a) 植株效果 (b) 整田效果

图 22 植株生长情况仿真

Fig. 22 Plant growth simulation

4 播种作业试验

在玉米生产全过程中,玉米机械播种质量是影响产量的关键作业环节之一。播种机组性能将直接影响播种合格率[31]。在符合 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》的基础上,将设定虚拟拖拉机不同前进速度,验证虚拟播种试验的可行性并对播种机械性能进行分析。

在机组开始整个下田播种作业前,为虚拟播种机组种箱添加已构建好玉米种子模型,按照玉米播种农艺要求,设理论株距为 25 cm。分别在既定 UI 文本框内设置行驶速度 3 ~ 12 km/h 进行虚拟播种试验[32],播种作业完成后,将种间距在 YuMiParent 对象中以空物体为载体在 Hierarchy 面板中输出数据,不同作业速度下分别随机选取 250 组长度 20 m 的田间区域测量记录各区间落种结果。虚拟拖拉机在不同行驶速度下所得到样本区间的统计结果如表 2 所示。

表 2 不同行驶速度下样本区间统计结果

Tab. 2 Sample interval statistics at different driving speeds

速度/(km·h^{-1})	长度/cm				
	0 ~ 12.5	12.5 ~ 37.5	37.5 ~ 62.5	62.5 ~ 87.5	≥87.5
3	10	232	8	0	0
4	11	231	8	0	0
5	13	230	7	0	0
6	11	230	9	0	0
7	13	228	9	0	0
8	14	228	8	0	0
9	13	230	7	0	0
10	15	227	8	0	0
11	16	225	9	0	0
12	17	222	11	0	0

以 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验

方法》为参照，选择播种株距合格率、重播率、漏播率为排种性能指标。较快验证播种环节的质量情况，以便调整播种机关键部件设计。虚拟试验统计结果如表 3 所示。

表 3　不同行驶速度下虚拟机组株距 25 cm 播种结果

Tab. 3　Sowing results at different driving speeds of virtual seeding units in 25 cm plant spacing

虚拟拖拉机行驶速度/(km·h^{-1})	播种株距合格率/%	重播率/%	漏播率/%
3	92.74	4.03	3.23
4	92.31	4.45	3.24
5	91.80	5.33	2.87
6	91.94	4.44	3.63
7	91.06	5.28	3.66
8	90.98	5.74	3.28
9	91.80	5.33	2.87
10	90.53	6.17	3.29
11	89.71	6.58	3.70
12	88.52	6.97	4.51

由表 3 可知，当播种机组以同一目标株距在前进速度不断增大的情况下，播种质量整体呈下降趋势，但数值范围较小。虚拟播种机组播种株距合格率大于 88.52%、重播率小于 6.97%、漏播率小于 4.51%，所得数据结果均在国家标准范围内。且整体趋势符合实际田间试验所测真实结果，表明虚拟场景下播种作业可行。

5　结论

(1)基于元宇宙系统的架构，从软硬件两方面设计并搭建了能够支持元宇宙系统的仿真平台，通过标线法和转换法分别对玉米土壤地和拖拉机进行建模还原，所搭建的元宇宙环境还原度高。

(2)在元宇宙环境下实现虚拟拖拉机的驱动和软硬件的交互，完成了沉浸式玉米免耕播种机驾驶平台构建并使用 S 形道路进行速度 10、20、30 km/h 的测试，测试结果表明，方向盘转角响应性较好，拖拉机偏移理论行驶路线最大偏移量为 0.2 m，运动路线与理论路线运动趋势一致，方向盘设备的交互性较好。

(3)在元宇宙环境下进行不同行驶速度拖拉机播种作业试验，当虚拟播种机组前进速度不断增大播种质量整体呈下降趋势，整体趋势接近实际田间试验结果，且播种株距合格率大于 88.52%、重播率小于 6.97%、漏播率小于 4.51%。试验结果表明本文设计实现的元宇宙虚拟播种仿真试验结果符合实际田间播种结果，能够用于玉米播种。

参　考　文　献

[1] SAITO Y, KAWASHIMA K, HIRAKAWA M. Effectiveness of a head movement interface for steering a vehicle in a virtual reality driving simulation[J]. Symmetry, 2020,12(10):1645.

[2] LI M Q, WANG G H, FU X, et al. Interactive design of museum display space based on virtual and reality technology[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2022(4): 8662037.

[3] CHO I H, YOON Y K, JUNG M S. A study on entertainment video game content industry using virtual reality technology[J]. Journal of the Korea Entertainment Industry Association,2018,12(2):1 - 13.

[4] KIM D J, LEE S H, KIM J Y. A comparative analysis of user interface through virtual reality media art works case analysis[J]. Journal of Next-generation Convergence Information Services Technology, 2018, 7(2): 163 - 176.

[5] ZHANG X. Virtual digital communication feature fusion based on virtual augmented reality[J]. Security and Communication Networks, 2022(4): 6345236.

[6] YING L, ASHIMA K, ASIF S M. Study of industrial interactive design system based on virtual reality teaching technology in industrial robot[J]. Journal of Behavioral Robotics, 2022, 13(1): 45 - 55.

[7] YANG Z, XIANG D, CHENG Y. VR panoramic technology in urban rail transit vehicle engineering simulation system[J]. IEEE Access, 2020, 8:140673 - 140681.

[8] 张福锁, 范明生, 张卫建. 主要粮食作物高产栽培与资源高效利用的基础研究[M]. 北京:中国农业出版社, 2013.

[9] 王韦韦, 蔡丹艳, 谢进杰,等. 玉米秸秆粉料致密成型离散元模型参数标定[J]. 农业机械学报,2021,52(3):127 - 134.
WANG Weiwei, CAI Danyan, XIE Jinjie, et al. Parameters calibration of discrete element model for corn stalk powder compression simulation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021,52(3):127 - 134. (in Chinese)

[10] 杜岳峰, 傅生辉, 毛恩荣, 等. 农业机械智能化设计技术发展现状与展望[J]. 农业机械学报, 2019, 50(9): 1 - 17.
DU Yuefeng, FU Shenghui, MAO Enrong, et al. Development situation and prospects of intelligent design for agricultural machinery[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(9): 1 - 17. (in Chinese)

[11] 万玲, 谢东波, 李杨, 等. 玉米行间滚轮式穴施排肥器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(11): 64 - 73.
WAN Ling, XIE Dongbo, LI Yang, et al. Design and experiment of roller hole fertilizer application between corn rows[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(11): 64 - 73. (in Chinese)

[12] 刘立超, 孙可可, 张千伟, 等. 玉米植保无人机热雾喷施系统设计与雾滴分布特性试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(12): 80 - 88.
LIU Lichao, SUN Keke, ZHANG Qianwei, et al. Thermal spray system design and droplet distribution characteristics test of maize plant protection UAV[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(12): 80 - 88. (in Chinese)

[13] 王韦韦, 陈黎卿, 杨洋, 等. 农业机械底盘技术研究现状与展望[J]. 农业机械学报, 2021, 52(8): 1 - 15.

WANG Weiwei, CHEN Liqing, YANG Yang, et al. Development and prospect of agricultural machinery chassis technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(8): 1 - 15. (in Chinese)
[14] 王晴晴, 郑侃, 陈黎卿. 我国免耕播种机发展现状与趋势[J]. 农业机械,2021(3): 57 - 60.
[15] 罗锡文,廖娟,胡炼,等. 我国智能农机的研究进展与无人农场的实践[J]. 华南农业大学学报,2021,42(6):8 - 17.
LUO Xiwen, LIAO Juan, HU Lian, et al. Research progress of intelligent agricultural machinery and practice of unmanned farm in China[J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(6): 8 - 17. (in Chinese)
[16] 兰玉彬, 赵德楠, 张彦斐, 等. 生态无人农场模式探索及发展展望[J]. 农业工程学报, 2021, 37(9): 312 - 327.
LAN Yubin, ZHAO Denan, ZHANG Yanfei, et al. Exploration and development prospect of eco-unmanned farm modes[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(9): 312 - 327. (in Chinese)
[17] 李道亮, 李震. 无人农场系统分析与发展展望[J]. 农业机械学报, 2020, 51(7): 1 - 12.
LI Daoliang, LI Zhen. System analysis and development prospect of unmanned farming[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(7): 1 - 12. (in Chinese)
[18] 兰翼. 大型作业机组虚拟作业环境的建模及性能的虚拟试验研究[D]. 淄博:山东理工大学, 2009.
LAN Yi. The study on modeling the virtual operating environment of large-scale equipment and virtual experiment of its capability[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2009. (in Chinese)
[19] 王菲. 基于虚拟现实的自走式农业机械试验方法研究[D]. 北京: 中国农业大学,2014.
WANG Fei. Research of self-propelled agricultural machinery virtual experiment method based on virtual reality[D]. Beijing: China Agricultural University, 2009. (in Chinese)
[20] 王澍田. 面向小麦可视化的沉浸式虚拟场景的研究与实现[D]. 郑州: 河南农业大学, 2019.
WANG Shutian. Research and implementation of immersive virtual scene for wheat visualization[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2019. (in Chinese)
[21] 王杰. 虚拟环境下收割机爬坡性能及其收获行为仿真[D]. 广州: 华南农业大学, 2019.
WANG Jie. Simulation of harvester in virtual environment research on harvesting performance and harvesting behavior[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2019. (in Chinese)
[22] 王东洋. 基于三维重建的 VR 果园种植系统设计与实现[D]. 银川: 宁夏大学, 2021.
WANG Dongyang. Design and implementation of VR orchard planting system based on 3D reconstruction[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2021. (in Chinese)
[23] 张新昌. VR 技术在农业机器人操作上的应用[J]. 农机化研究, 2019, 41(11): 210 - 215.
ZHANG Xinchang. Application of VR technology in the operation of the agricultural robot[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2019, 41(11): 210 - 215. (in Chinese)
[24] 汤其建. 基于 VR 技术的玉米收获机机械结构设计[J]. 农机化研究, 2020, 42(9): 196 - 201.
TANG Qijian. Mechanical architectural design of the corn harvesting machine based on VR technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2020,42(9): 196 - 201. (in Chinese)
[25] 周忠, 周颐, 肖江剑. 虚拟现实增强技术综述[J]. 中国科学:信息科学, 2015, 45(2): 157 - 180.
ZHOU Zhong, ZHOU Yi, XIAO Jiangjian. Survey on augmented virtual environment and augmented reality[J]. Scientia Sinica(Informationis),2015, 45(2): 157 - 180. (in Chinese)
[26] 张凤军, 戴国忠, 彭晓兰. 虚拟现实的人机交互综述[J]. 中国科学:信息科学, 2016, 46(12): 1711 - 1736.
ZHANG Fengjun, DAI Guozhong, PENG Xiaolan. A survey on human-computer interaction in virtual reality[J]. Scientia Sinica(Informationis), 2016, 46(12): 1711 - 1736. (in Chinese)
[27] 薛仕硕. 基于 Multigen creator 和 Vega prime 汽车虚拟试验场的设计[D]. 西安: 长安大学, 2015.
XUE Shishuo. Research on virtual test field of vehicle based on Multigen creator and Vega prime[D]. Xian: Chang'an University, 2015. (in Chinese)
[28] 刘立超, 魏国梁, 张青松, 等. 基于激光雷达的农业耕作微地貌测量装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(7): 84 - 92.
LIU Lichao, WEI Guoliang, ZHANG Qingsong, et al. Design and experiment of microtopography measuring device for agricultural cultivation based on LiDAR[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2019, 50(7): 84 - 92. (in Chinese)
[29] LI L M, ZHU W Y, HU H W. Multivisual animation character 3D model design method based on VR technology[J]. Complexity, 2021, 1155: 9988803 .
[30] 王明羽. 基于 Unity 3D 与 VR 技术的虚拟驾驶系统[D]. 西安:西安电子科技大学, 2020.
WANG Mingyu. Virtual driving system based on Unity 3D and VR technology[D]. Xi'an: Xidian University, 2020. (in Chinese)
[31] 耿端阳, 李玉环, 孟鹏祥, 等. 玉米伸缩指夹式排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 38 - 45.
GENG Duanyang, LI Yuhuan, MENG Pengxiang, et al. Design and test on telescopic clip finger type of metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016, 47(5): 38 - 45. (in Chinese)
[32] 王韦韦, 朱存玺, 陈黎卿, 等. 玉米免耕播种机主动式秸秆移位防堵装置的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(24): 10 - 17.
WANG Weiwei, ZHU Cunxi, CHEN Liqing, et al. Design and experiment of active straw-removing anti-blocking device for maize no-tillage planter[J]. Transactions of the CASE, 2017, 33(24): 10 - 17. (in Chinese)