

1-4-2019

Forestry Felling & Cultivation Machine Virtual Training System Based on Unity3D

Bowen Cheng

School of Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

Yili Zheng

School of Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

Qingqing Huang

School of Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

Jinhao Liu

School of Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Forestry Felling & Cultivation Machine Virtual Training System Based on Unity3D

Abstract

Abstract: A forestry felling & cultivation machine virtual training system based on Unity3D was developed. *The models of forestry felling & cultivation machine were built up using 3dsMAX with the assistance of SolidWorks based on a forestry felling & cultivation machine. The models of forestry felling & cultivation machine and trees were imported into Unity3D to create a virtual operating environment. Each part of forestry felling & cultivation machine needs to be processed for the establishment of paternity in accordance with the simulation, the corresponding mathematical model was established to simulate the motion of the manipulator based on the analysis of the motion principle of the manipulator. It realized the cutting on tree's model through a cutting algorithm which created a plane formed by the collision points and the saws.* The test results show that the virtual logging of forestry felling & cultivation machine is realized, and the system can meet the training needs of forestry felling & cultivation machine operator with strong sense of immersion and good interaction.

Keywords

forestry felling & cultivation machine, virtual reality, unity3d, virtual cutting

Recommended Citation

Cheng Bowen, Zheng Yili, Huang Qingqing, Liu Jinhao. Forestry Felling & Cultivation Machine Virtual Training System Based on Unity3D[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(4): 1310-1318.

基于 Unity3D 的林木联合采育机虚拟训练系统研究

程博文, 郑一力, 黄青青, 刘晋浩

(北京林业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 采用 Unity3D 研发了一套林木联合采育机虚拟训练系统。以某型林木联合采育机为原型, 采用 SolidWorks 辅助 3dsMAX 进行精细建模, 将三维模型导入 Unity3D 中, 搭建虚拟作业场景, 对林木联合采育机的各个部件按照仿真需要进行父子关系的处理, 通过分析机械臂运动原理, 建立相应的数学模型, 实现机械臂的运动仿真, 通过基于碰撞点和刀锯形成平面的切割算法来实现对树木的切割模拟。实验结果表明: 系统实现了林木联合采育机的虚拟采伐作业, 沉浸感强, 交互效果好, 可满足林木联合采育机操作人员的训练需求。

关键词: 林木联合采育机; 虚拟现实; Unity3D; 虚拟切割

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 04-1310-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201804013

Forestry Felling & Cultivation Machine Virtual Training System Based on Unity3D

Cheng Bowen, Zheng Yili, Huang Qingqing, Liu Jinhao

(School of Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: A forestry felling & cultivation machine virtual training system based on Unity3D was developed. The models of forestry felling & cultivation machine were built up using 3dsMAX with the assistance of SolidWorks based on a forestry felling & cultivation machine. The models of forestry felling & cultivation machine and trees were imported into Unity3D to create a virtual operating environment. Each part of forestry felling & cultivation machine needs to be processed for the establishment of paternity in accordance with the simulation, the corresponding mathematical model was established to simulate the motion of the manipulator based on the analysis of the motion principle of the manipulator. It realized the cutting on tree's model through a cutting algorithm which created a plane formed by the collision points and the saws. The test results show that the virtual logging of forestry felling & cultivation machine is realized, and the system can meet the training needs of forestry felling & cultivation machine operator with strong sense of immersion and good interaction.

Keywords: forestry felling & cultivation machine; virtual reality; unity3d; virtual cutting

引言

林木联合采育机是一种高性能的现代林业机

械,是集采伐、打枝、造材、归装、抚育等于一体的机械,极大的提高了采伐效率和林木生产安全性,使用林木联合采育机将成为一种必然趋势^[1]。林木联合采育机虽然效率很高,但其对操作人员的驾驶技能要求相应也很高,林区作业环境多样,有较高的危险性,因此林木联合采育机操作人员上岗前的操作培训对安全生产尤为重要,但实地教学存在一定的安全隐患,且教学成本过高,周期长,受



收稿日期: 2017-03-21 修回日期: 2017-05-10;
基金项目: 国家自然科学基金(31670719, 31300596),
林业公益性行业科研专项(201504508),中央高校基本
科研业务费专项(BLX2014-03);
作者简介: 程博文(1993-),男,江西南昌,硕士,研
究方向为虚拟现实及其应用,计算机仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 1310 •

到场地、天气、时间等因素影响。

针对传统培训方式的不足, 基于虚拟现实技术的培训方式受到科研人员的广泛关注, 并且广泛应用于农业机械、林业机械、矿用机械等相关领域^[2-6]。利用虚拟现实技术, 张红彦等^[7]基于 OpenGL 和 OpenSceneGraph 设计开发的液压挖掘机视景仿真系统, 实现了挖掘机作业区域地形网格的真实感渲染, 并通过多屏幕视景的无缝拼接, 增强了操作人员的沉浸感。姚鹏飞等^[8]研究了虚拟现实技术在船舶行业中的应用, 利用 Unity3D 设计开发的绞吸式挖泥船的虚拟仿真系统, 实现了绞吸式挖泥船信息展示、施工展示和操作训练等功能。刘立等^[9]针对铰接式地下矿车的特点, 基于开源图形渲染引擎 ORGE 开发了一套铰接式矿车驾驶模拟系统, 驾驶员通过真实的方向盘和脚踏板等硬件设备控制矿车的运动, 增强了驾驶员的沉浸感。在林业机械方面, 美国 JohnDeere 公司、芬兰 Ponsse 公司、Mevea 公司等都开发出了高沉浸感、稳定性良好的林木联合采育机虚拟训练平台, 操作人员利用训练平台, 可以完成林木联合采育机的虚拟采伐作业训练^[10-13]。葛桃桃等^[14]和赵红艳等^[15]也开发了林木联合采育机视景仿真系统, 但开发的视景仿真系统沉浸感不强, 且只能用键盘进行控制, 交互性不好。

针对已有林木联合采育机虚拟仿真系统存在的一些问题, 本文采用 Unity3D 引擎, 结合 C# 编程语言, 研发了一套林木联合采育机虚拟驾驶训练系统, 实现了虚拟采伐作业, 同时支持可编程方向盘 ClubSport Wheel Base V2 和 Penny Giles 可编程手柄输入控制。该系统克服了林区复杂环境的限制, 很好的实现了林木联合采育机作业场景的仿真模拟, 辅助学习人员反复培训演练, 从而大幅度降低了林木联合采育机操作人员的训练成本, 更好地保证了实地采伐作业的安全性和高效性。

1 系统总体结构

本系统以某型林木联合采育机为对象, 结合实际研发林木联合采育机虚拟驾驶训练系统。通过该

系统向林木联合采育机操作人员提供一个具有较高真实感和沉浸感的操作环境, 提高和加快专业驾驶技能的形成。

本系统主要由硬件系统和软件系统两部分组成, 系统开发框图如图 1 所示, 软件系统包括虚拟场景的建模和视景驱动的开发; 硬件系统包括驾驶操控台、采伐操控台、六自由度运动平台以及虚拟视景计算机。通过半实物的硬件系统与视景系统的交互实现林木联合采育机的各种功能仿真。

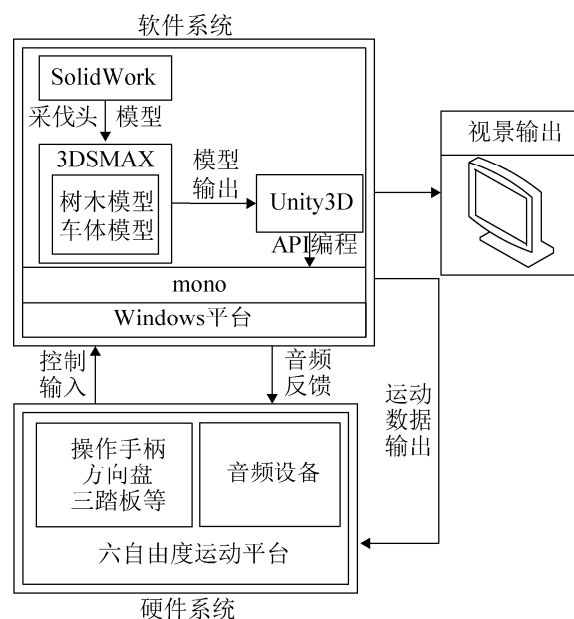


图 1 系统开发框图

Fig. 1 System development block diagram

1.1 硬件系统

系统硬件主要由驾驶操作台、采伐操控台和六自由度运动平台组成。驾驶操作台采用 Fanatec 公司生产的专业可编程方向盘 ClubSport Wheel Base V2, 包括方向盘、油门踏板、制动踏板、离合器踏板及档位杆等输入设备, 方向盘通过 USB2.0 接口连接到计算机, 使用 Unity3D 提供的输入接口来实现方向盘与计算机的通信, 采集方向盘转角、油门踏板位置、制动踏板位置、离合器踏板位置以及档位杆位置等数据。采伐操控台使用 Penny Giles 公司生产的可编程手柄, 该手柄信号是 CAN 总线信号输出, 通过 ZLG 公司的 CAN 总线模块获取手

柄按钮的状态数据。计算机将视景系统中的林木联合采育机的运动数据通过 UDP 方式发送到六自由度运动平台,达到模拟真实驾驶状态的效果。系统数据采集及通信结构如图2所示。

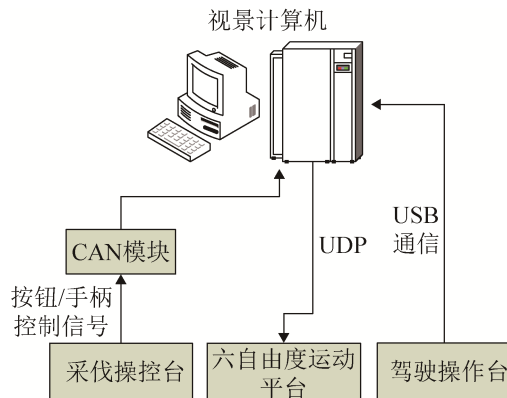


图2 系统通信结构
Fig. 2 System communication structure

1.2 软件系统

林木联合采育机虚拟仿真训练系统的软件包括仿真环境的建模和视景驱动。

1.2.1 仿真环境的建模

仿真环境的建模主要包括林木联合采育机的三维建模和场景建模,它们是构建视景仿真系统的基础。

场景建模主要包括地形建模和树木建模两部分。地形建模可以采用 Unity3D 提供的 Terrain 组件,使用笔刷工具,根据需要绘制相应的地形;场景里的树木模型如果都采用 3dsMAX 建模,会对计算机造成很大的负担,由于只需少量的树木与林木联合采育机发生交互,因此树木建模分为动态树木建模和静态树木建模,静态树木模型不与外界进行交互,可采用 Unity3D 提供的 Terrain 组件批量创建;对于动态树木,需要与林木联合采育机进行交互,则采用 3dsMAX 精细化建模。

林木联合采育机的结构主要分为车体、机械臂和采伐头三个部分,车体细分为底盘和履带,机械臂细分为动臂、斗杆、液压缸,采伐头细分为夹抱机构、刀锯、滚轮和各种连杆机构。由于采伐头的

结构复杂,活动零件较多,因此采用 SolidWorks 进行精细化建模;对于车体等不要求有高度细节呈现的则用 3dsMAX 建模,最后通过 3dsMAX 软件对两部分模型整合处理得到林木联合采育机实体模型,将三维模型导入 Unity3D 中,最后得到的林木联合采育机三维模型和场景模型如图3所示,1是车体;2是动臂;3是动臂缸筒;4是动臂缸活塞杆;5是斗杆缸筒;6是斗杆缸活塞杆;7是斗杆;8是履带;9是采伐头。

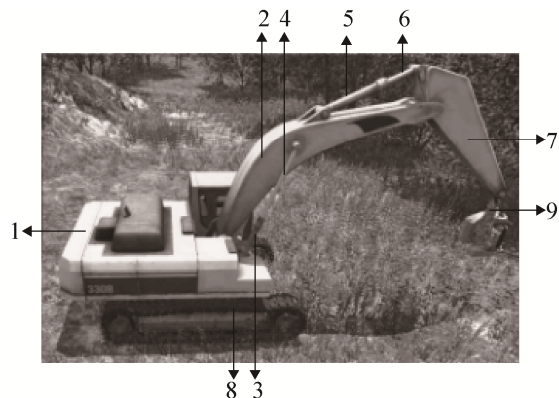


图3 林木联合采育机实体和场景模型
Fig. 3 Models of forestry felling & cultivation machine and scene

1.2.2 视景驱动

视景驱动是指采用面向对象的编程方式,通过调用应用程序编程接口(API),完成虚拟场景的实时生成和动态漫游,主要包括:场景渲染、碰撞检测处理、机械臂运动仿真、树木切割模拟、视角控制处理等。在林木联合采育机视景仿真训练系统中,操作者通过两个手柄控制林木联合采育机各液压杆的伸缩,以此实现动臂、斗杆、采伐头的运动,完成虚拟采伐作业;通过方向盘、油门踏板、刹车踏板、离合器踏板和档位杆等操纵机构控制履带行走。

本系统的软件开发平台选择 Unity3D,作为系统的场景建模管理平台和软件算法控制平台。Unity3D 具有图形化的集成开发环境、脚本驱动的开发模式,非常适合三维应用的设计开发,而且对 DirectX 和 OpenGL 拥有高度优化的图形渲染管道,虚拟仿真主要的场景搭建和渲染都在 Unity3D 平

台下完成, 除此之外, Unity3D 的输入管理类可以获得方向盘、油门踏板、刹车踏板、离合器踏板、档位等输入信号, 极大的降低了开发的难度。

2 关键技术及解决方案

2.1 机械臂运动仿真

2.1.1 林木联合采育机机械臂层次关系分析

通过对林木联合采育机的机械臂运动观察发现, 机械臂是利用液压杆的伸缩带动来进行运动, 仿真比较复杂, 常规的平移、旋转算法很难实现这一效果, 一般的做法是将机械臂的动作做成动画, 在 Unity3D 中控制动画的播放来实现机械臂的运动^[16], 但此方法误差较大, 实时性效果不好。因此, 要实现机械臂实时运动仿真, 首先要确定机械臂各构件的父子关系。在合理规划机械臂各相关构件的父子层次关系的基础上, 利用父物体旋转时, 子物体会继承父物体的运动动作, 跟随做同样的旋转, 而子物体运动时, 父物体不受影响, 可大幅度简化仿真算法。根据父子关系特性及机械臂运动过程分析, 机械臂的父子关系示意图如图 4 所示。

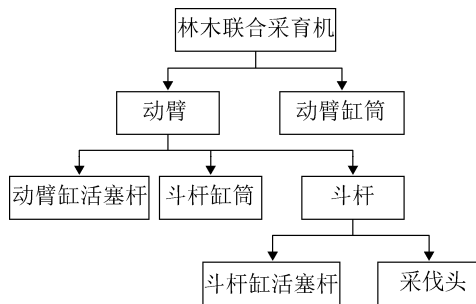


图 4 父子关系示意图

Fig. 4 Relationship diagram between parent and son object

2.1.2 机械臂的提升和下降

由于动臂以及斗杆的提升和下降原理相似, 因此以动臂为例, 对其进行模拟分析, 当将右手柄向前推进时, 林木联合采育机动臂在液压杆的作用下会下降, 过程如图 5 所示。

显然, 在动臂下降过程中, 动臂液压杆也要进行随动, 从仿真的角度看, 只要保证动臂缸筒和动

臂缸活塞杆在同一条直线上即可, 利用父子关系和旋转运动相结合的方法即可实现动臂和液压杆联动效果。

首先, 利用数学方法弄清各构件的旋转角度关系。将各构件投影到平面, 结合图 5 制作动臂运动简图, 如图 6 所示, 辅助点代表含义如表 1 所示。

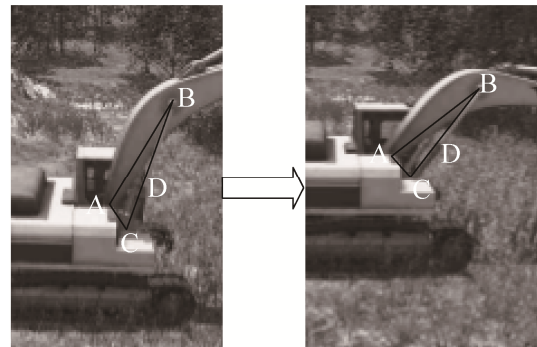


图 5 动臂下降过程

Fig. 5 Boom descent process

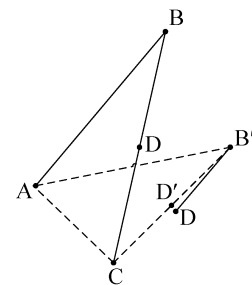


图 6 动臂运动简图

Fig. 6 Motion diagram of boom

表 1 辅助点含义对照表

Tab. 1 Meaning of auxiliary point

辅助点	代表含义
A	动臂轴心点
B	动臂缸活塞杆轴心点
C	动臂缸筒轴心点
D	动臂缸活塞杆端点
B'	B 点到达的位置
D'	D 点到达的位置
AB	动臂轴心点与动臂缸活塞杆轴心点之间的距离
BC	动臂缸活塞杆轴心点与动臂缸筒轴心点之间的距离
CD	动臂缸筒长度
BD	动臂缸活塞杆长度

$\triangle ABC$ 为动臂静止时辅助点形成的关系,

$\triangle AB'C$ 为动臂旋转一定角度后辅助点形成的关系。将 AB 旋转的角度设为每一帧逐渐增加的角度, 即 $\angle BAB'$ 为主动角, 随着 $\angle BAB'$ 的变化, 求得动臂缸筒和动臂缸活塞杆需要旋转的角度, 即 $\angle BCB'$ 和 $\angle DB'D'$, 时刻保持 B 、 D 、 C 在同一条直线上。具体计算公式如下:

$$\angle BCB' = \angle BAB' + \angle ABC - \angle AB'C \quad (1)$$

$$\angle DB'D' = \angle ABC - \angle ABC' \quad (2)$$

通过公式(1)和(2)的角度关系, 可以实时计算得知动臂缸活塞杆和动臂缸筒需要旋转的角度, 使他们始终保持在同一条直线上。斗杆、斗杆缸筒和斗杆缸活塞杆之间的运动也做同样的处理, 从而实现了机械臂的运动仿真。

2.2 树木模型的虚拟切割

一般的三维模型都是由三角网格拼接而成, 因此, 对三维模型的切割处理实际上可以归结为对三维模型的三角网格进行切割操作^[17-18]。三维空间中, 已知三个顶点的坐标以及它们的索引可以确定一个三角网格。虚拟切割算法过程如下:

Step1: 创建切割平面。

Step2: 遍历模型顶点, 对顶点进行分组。

Step3: 切割平面与三角网格相交的位置创建新的顶点。

Step4: 根据新生成的顶点组成新的三角网格
要想实现对树木模型的切割首先要创建切割平面, 见图 7, OC 为伐木头的刀锯, OC' 为切割树木后刀锯的位置, A 为刀锯上的一个空物体, 当刀锯碰撞树木即将切割树木时, 利用碰撞检测函数, 记录此时空物体 A 的位置, A' 为切割的终点, 用 AA' 向量和 AC 向量的叉乘可以得到切割平面的法向量 n 。

$$n = AC \times AA' \quad (3)$$

因为空物体 A 是在切割平面上的, 利用 AA' 和切割平面法向量 n 可以确定切割平面。

遍历模型的所有顶点, 判断顶点与切割面的位置关系, 然后将顶点坐标存入上下链表, 再用另一链表记录原模型顶点在上下两链表中的索引值。

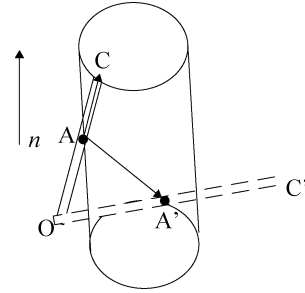


图7 树木模型切割原理示意图

Fig. 7 Sketch of tree model cutting principle

顶点分组原理如图 8 所示, 设 V_0 为切割面之上的一个顶点, V_1 为切割面之下的一个顶点, Q 为切割面上的一点, n_0 为切割面单位法向量, 且方向向下, n_1 是顶点 V_0 指向 Q 点的向量, n_2 是顶点 V_1 指向 Q 点的向量, 则有如下关系:

$$n_1 \cdot n_0 \geq 0 \quad (4)$$

$$n_2 \cdot n_0 < 0 \quad (5)$$

然后遍历目标模型的所有三角网格, 将顶点索引存入上下链表。此过程需要判断切割面与三角网格的位置关系, 三角网格与切割面的位置关系分为以下两大情况:

1) 三角网格与切割面没有交点, 如图 9 所示。

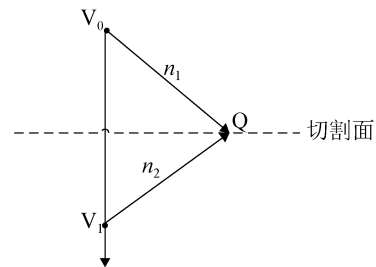


图8 顶点分组原理图

Fig. 8 Diagram of vertex grouping principle

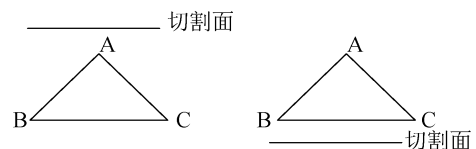


图9 三角面片与切割面没有交点的情况

Fig. 9 No intersection between triangle and cutting surface

2) 三角网格的三个顶点中有两个顶点在一侧 (由公式(4)可知, 三角网格与切割面的顶点交点属于上侧模型), 另一个顶点在另一侧, 如图 10 所示。

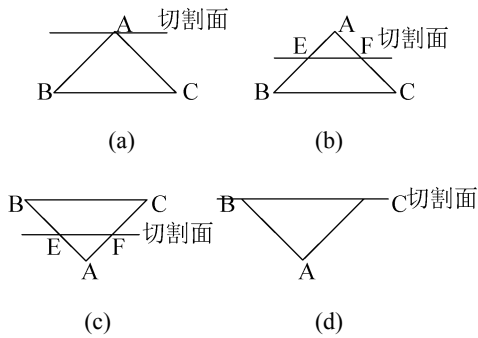


图 10 三个顶点分居两侧的情况

Fig.10 Three vertices separated on both sides

在上述这两种位置关系中,重点和难点是三角网格与切割面有交点的情况,如图 10(b)所示,三角网格会被切割为两个部分,发生的变化是原三角网格被破坏而生成了新的三角网格,要得到新三角网格的顶点坐标信息,就要求出三角网格与切割面的交点坐标信息。

设 E 点坐标为 $E(x,y,z)$, 切割面的单位法向量为 $\mathbf{n}_0$, 已知顶点 A 坐标为 $A(x_0,y_0,z_0)$, 顶点 B 坐标为 $B(x_1,y_1,z_1)$, 取切割面上一点 G, 则有如下关系:

$$\mathbf{AB} \cdot \mathbf{n}_0 = H \quad (6)$$

$$\mathbf{AG} \cdot \mathbf{n}_0 = h \quad (7)$$

$$\frac{\mathbf{AE}}{\mathbf{AB}} = \frac{h}{H} = t \quad (8)$$

则有:

$$\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} = \frac{y - y_0}{y_1 - y_0} = \frac{z - z_0}{z_1 - z_0} = t \quad (9)$$

所以 E 点坐标为:

$$x = x_0 + (x_1 - x_0)t \quad (10)$$

$$y = y_0 + (y_1 - y_0)t \quad (11)$$

$$z = z_0 + (z_1 - z_0)t \quad (12)$$

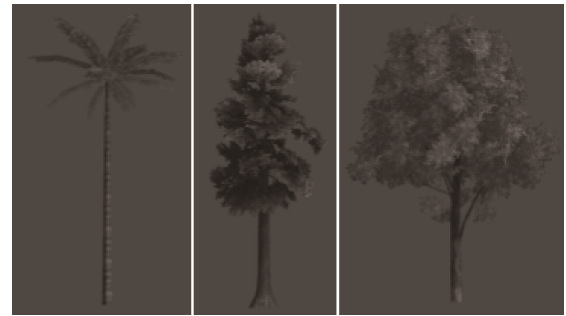
同理,可求得 F 点坐标,将新生成的顶点坐标 E、F 分别存入上下链表,由图 10 (b)可知,原来的 $\triangle ABC$ 会生成三个新的三角形: $\triangle AEF$ 、 $\triangle BEF$ 、 $\triangle BFC$,然后将 $\triangle AEF$ 存入上链表,将 $\triangle BEF$ 、 $\triangle BFC$ 存入下链表,最后可以根据顶点坐标和顶点(三角形)索引生成上下两部分模型。

3 系统仿真实验

本文相关实验均在 Window7 操作系统的 PC 机(Intel Corei7-6700 处理器,主频 3.4GHZ,8GB 内存,NVIDIA GTX980 显卡)上进行,Unity3D 版本为 5.3.3。

3.1 树木模型的虚拟切割实验

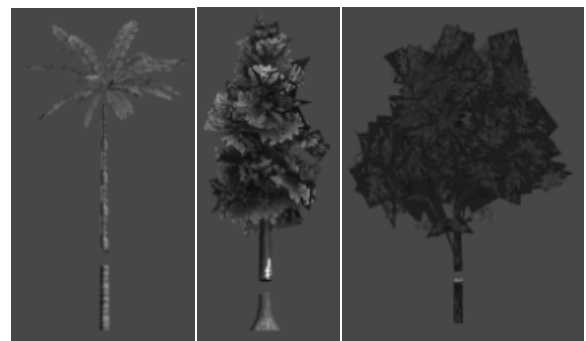
本文提出的树木模型虚拟切割算法必须满足切割的准确性和实时性的要求,为了验证准确性和实时性,本实验选取 3 种网格个数不同的树木模型进行虚拟切割实验,如图 12 所示。切割后的效果图如图 13 所示。



(a) 网格个数 660 (b) 网格个数 4300 (c) 网格个数 13600

图 12 切割前的模型

Fig. 12 Model before cutting



(a) 网格个数 660 (b) 网格个数 4300 (c) 网格个数 13600

图 13 切割后的模型

Fig. 13 Model of cutting

上述 3 种不同网格个数的树木模型经切割后模型上下两部分网格信息的变化和切割所花费时间如表 2 所示。

表2 切割实验结果数据
Tab. 2 Cutting experiment data

树木模型	原始网格个数	切割后网格个数	切割消耗时间/ms
a	660	上部分 684	44.82
		下部分 99	
b	4 300	上部分 4 572	62.07
		下部分 192	
c	13 600	上部分 14 553	122.31
		下部分 1 261	

从表2可以看出,模型的网格数量越大,切割消耗的时间也越多,当模型网格数量达到13 600时,切割消耗时间仅为122.31 ms,能够满足系统对切割过程的实时性要求。

3.2 系统整体实验

将硬件系统与视景系统建立连接后,林木联合采育机虚拟训练系统效果如图14所示。在所建立的虚拟训练系统上进行虚拟采伐作业试验,系统运行界面如图15所示,为第一人称视角,虚拟采伐作业过程如图16所示,在图16(a)中,操作人员用手柄控制机械臂实时运动完成了目标立木的捕获作业,在图16(b)中,采伐头的刀锯完成了树木的切割模拟并将其伐倒。在图16(c)中,采伐头完成了目标立木的打枝作业。在图16(d)中,采伐头完成了目标立木的造材作业,操作人员利用控制手柄完成了虚拟采伐作业的整个过程,从图中可以看出,场景视觉效果逼真,沉浸感强。

图14 林木联合采育机虚拟训练系统
Fig. 14 Forestry felling & cultivation machine virtual driving training system图15 林木联合采育机虚拟驾驶训练系统主界面
Fig. 15 The main interface of forestry felling & cultivation machine virtual driving training system

(a) 捕获立木

(b) 伐倒



(c) 打枝

(d) 造材

图16 虚拟采伐作业流程

Fig. 16 Process of virtual logging operation

为验证该平台能否用于林木联合采育机操作人员的训练教学,我们在森林工程专业挑选了15名学生,并请专业老师按照采伐作业的流程进行测试,然后与测试者交流感受,实验结果如表3所示。实验交流表明,林木联合采育机虚拟训练系统在采伐作业过程中,机械臂能够按照控制手柄的指令信号实时运动,无停顿感,采伐头的刀锯切割树木逼真度较高。证明本文提出的机械臂运动仿真和树木模型的虚拟切割方法是有效的。实验者也提出在切割树木时,会有一点点迟钝感,后期需要对树木模型切割算法作进一步的优化。

表 3 实验者测试结果表

Tab. 3 Part data contrast of system simulation

测试项目	好	一般	较差
画面流畅度	15	0	0
场景逼真度	14	1	0
交互效果	13	1	1

4 结论

本文将新兴的虚拟现实技术与林木联合采育机驾驶员培训相结合,通过 Unity3D 研发了一套林木联合采育机虚拟训练系统。通过多个三维建模软件的运用,实现了林木联合采育机及相关模型的建模,成功搭建了林木联合采育机虚拟作业环境。在观察机械臂提升和下降的运动规律的基础上,通过合理规划模型对象的父子关系,实现了机械臂的实时动态运动仿真。本文提出的树木模型切割算法实现了树木的切割模拟,能够满足虚拟采伐作业的实时性要求,对于顶点和面片数量较多的树木模型,还需对算法作进一步的优化。实验结果表明,本系统沉浸感强,交互效果良好,可以满足林木联合采育机操作人员的训练需求。

参考文献:

- [1] 赵文锐, 刘晋浩. 伐木联合机的现状及发展[J]. 林业机械与木工设备, 2008, 36(11): 10-12.
Zhao Wenrui, Liu Jinhao. Current status and development of harvesters[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2008, 36(11): 10-12.
- [2] 臧宇, 朱忠祥, 宋正河, 等. 农业装备虚拟试验系统平台的建立[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9): 70-74, 127.
Zang Yu, Zhu Zhong-xiang, Song Zheng-he, et al. Establishment of virtual experiment system platform for agricultural equipment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 70-74, 127.
- [3] 苑严伟, 张小超, 吴才聪, 等. 农业机械虚拟试验交互控制[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 149-153.
Yuan Yanwei, Zhang Xiaochao, Wu Caicong, et al. Interaction control system of agricultural machinery virtual test[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 149-153.
- [4] 刘立, 刘雪伟, 孟宇. 基于 OGRE 的铰接式地下矿车驾驶模拟系统[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8):

38-44,68.

- Liu Li, Liu Xuewei, Meng Yu. Driving simulator of articulated underground mining vehicle based on orge[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 38-44, 68.
- [5] 朱小晶, 权龙, 王新中, 等. 大型液压挖掘机工作特性联合仿真研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 27-32.
Zhu Xiaojing, Quan Long, Wang xinzong, et al. Co-simulation analysis of working characteristic for large hydraulic excavator[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 27-32.
- [6] 王友才, 郭子龙, 相鑫海, 等. 基于 Vega Prime 的凿岩台车仿真模拟训练系统设计[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(8): 1774-1781.
Wang Youcai, Guo Zilong, Xiang Xinhai, et al. Design of drilling jumbo simulation wining system based on Vega Prime[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(8): 1774-1781.
- [7] 张红彦, 于长志, 赵丁选, 等. 基于虚拟现实的液压挖掘机视景仿真[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(3): 87-91.
Zhang Hongyan, Yu Changzhi, Zhao Dingxuan, et al. Visual simulation for hydraulic excavator based on virtual reality[J]. Huazhong University of Science and Technology(Natural Science), 2013, 41(3): 87-91.
- [8] 姚鹏飞, 陈正鸣, 童晶, 等. 基于 Unity3D 的绞吸式挖泥船虚拟仿真系统[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(9): 2069-2075,2084.
Yao Pengfei, Chen Zhengming, Tong Jing, et al. Virtual Simulation System of Cutter Suction Dredger Based on Unity3D[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(9): 2069-2075, 2084.
- [9] 刘立, 刘雪伟, 孟宇. 基于 OGRE 的铰接式地下矿车驾驶模拟系统[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 38-44,68.
Liu Li, Liu Xuewei, Meng Yu. Driving Simulator of Articulated Underground Mining Vehicle Based on OGRE[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 38-44,68.
- [10] LAPOINTE J F, ROBERT J M. Using VR for efficient training of forestry machine operators[J]. Education and Information Technologies(S1360-2357), 2000, 5(4): 237-250.
- [11] BAHARUDIN M E, ROUVINEN A, KORKEALAAKSO P, et al. Real-time multibody application for tree harvester truck simulator[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K journal of Multi-body Dynamics(S1464-4193), 2014, 228(2): 182-198.

- [12] Joshua Marshall, Timothy Barfoot, Johan Larsson. Autonomous underground training for center-articulated vehicles[J]. Journal of Field Robotics(S1556-4959), 2008, 25(6/7): 400-421.
- [13] Park Y, Shiriaev A, Westerberg S, et al. 3D log recognition and pose estimation for robotic forestry machine[C]//Robotics and Automation (ICRA), 2011, IEEE International Conference on. IEEE, 2011: 19(6): 5323-5328.
- [14] 葛桃桃, 郑一力, 刘晋浩. 林木联合采育机自主作业的虚拟仿真系统[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(1): 71-76.
Ge Taotao, Zheng Yili, Liu Jinhao. Autonomous task of a logging harvester in virtual simulation system[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2017, 45(1): 71-76.
- [15] 赵红艳, 刘晋浩. 伐木机视景仿真系统探讨[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(9): 2255-2259.
Zhao Hongyan, Liu Jinhao. Discussion on Vision Simulation System for Harvester[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2009, 48(9): 2255-2259.
- [16] 王志强. 基于移动增强现实的虚拟机械臂系统研究与实现[D]. 河北工程大学, 2015.
Wang Zhiqiang. Research and implementation of virtual robot arm system based on mobile augmented reality[D]. Heibei University of Engineering, 2015.
- [17] 朱经纬. 三维数据场的三维重建与模型的虚拟切割研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
Zhu Jingwei. Research of 3D reconstruction for 3D data set and virtual cutting for model[D]. Wu Han: Huazhong University of Science and Technology, 2007.
- [18] 陈泽. 三维模型剖切算法的研究与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
Chen Ze. Research and realization on the approach to 3D model segmentation[D]. Wu Han: Huazhong University of Science and Technology, 2007.

《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”证书

由中国学术期刊（光盘版）电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心，发布了 2017 版《中国学术期刊国际引证年报》，《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”。

《年报》（2017 版）采用的统计源期刊为 20192 种，涵盖 WoS 收录的 SCI 期刊 8874 种、SSCI 和 A&HCI 期刊 4645 种，ESCI 期刊 5578 种；增补期刊 1762 种。参照中外文学学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标，计算期刊影响力指数(CI)，对国内 6210 种学术期刊排序，遴选了人文社科、自然科学与工程技术两个类别的 TOP10%为国际影响力品牌学术期刊。TOP5%以内的期刊为“最具国际影响力学术期刊”、TOP5-10%之间的为“国际影响力优秀学术期刊”。