

8-3-2020

## Design of Drilling Jumbo Simulation Training System Based on Vega Prime

Youcai Wang

*The Second Artillery Engineering University Sergeant College, Qing Zhou 262500, China;*

Zilong Guo

*The Second Artillery Engineering University Sergeant College, Qing Zhou 262500, China;*

Xinhai Xiang

*The Second Artillery Engineering University Sergeant College, Qing Zhou 262500, China;*

Honghai Luan

*The Second Artillery Engineering University Sergeant College, Qing Zhou 262500, 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.

---

# Design of Drilling Jumbo Simulation Training System Based on Vega Prime

## Abstract

**Abstract:** A drilling jumbo simulation training system was developed based on the Vega Prime in the MFC framework. The interactive communication control platform was built based on PCI bus, and then multithreading technology was adopted to achieving the Synchronous data communication between acquisition card and computer. A variety of modeling software was studied to aid Creator modeling method, and then the motion simulation of the drilling jumbo double-arm realization method based on DOF nodes was studied, which realized the real-time dynamic interaction of the system. By using the active 3d stereo imaging principle, the realization method of 3d stereo display in Vega Prime was researched, combined with 3d glasses to achieve the 3d stereo imaging function of the system. The running results show that the system visual output stability and realistic, the adopted methods are effective.

## Keywords

drilling jumbo, vega prime, mfc, dof node, 3d stereo imaging

## Recommended Citation

Wang Youcai, Guo Zilong, Xiang Xinhai, Luan Honghai. Design of Drilling Jumbo Simulation Training System Based on Vega Prime[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(8): 1774-1781.

# 基于 Vega Prime 的凿岩台车仿真模拟训练系统设计

王友才, 郭子龙, 相鑫海, 栾洪海

(第二炮兵工程大学士官学院, 山东 青州 262500)

**摘要:** 采用 Vega Prime 在 MFC 框架下开发了凿岩台车仿真模拟训练系统。搭建了基于 PCI 总线的交互通信控制平台, 并采用多线程技术实现了多采集卡与计算机的同步数据通信。采用并研究了多种软件辅助 Creator 建模的方法, 研究了基于 DOF 节点的凿岩台车钻臂运动仿真实现方法, 实现了系统的实时动态交互。采用主动式 3D 立体成像原理, 研究了在 Vega Prime 中实现 3D 立体效果显示的方法, 结合 3D 眼镜实现了系统的立体成像功能。通过运行结果表明系统视景输出稳定逼真, 所采用的方法有效。

**关键词:** 凿岩台车; vega prime; mfc; dof 节点; 3d 立体成像

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 08-1774-08

## Design of Drilling Jumbo Simulation Training System Based on Vega Prime

Wang Youcai, Guo Zilong, Xiang Xinhai, Luan Honghai

(The Second Artillery Engineering University Sergeant College, Qing Zhou 262500, China)

**Abstract:** A drilling jumbo simulation training system was developed based on the Vega Prime in the MFC framework. The interactive communication control platform was built based on PCI bus, and then multithreading technology was adopted to achieving the Synchronous data communication between acquisition card and computer. A variety of modeling software was studied to aid Creator modeling method, and then the motion simulation of the drilling jumbo double-arm realization method based on DOF nodes was studied, which realized the real-time dynamic interaction of the system. By using the active 3d stereo imaging principle, the realization method of 3d stereo display in Vega Prime was researched, combined with 3d glasses to achieve the 3d stereo imaging function of the system. The running results show that the system visual output stability and realistic, the adopted methods are effective.

**Keywords:** drilling jumbo; vega prime; mfc; dof node; 3d stereo imaging

## 引言

虚拟现实技术在国内被广泛应用于车辆驾驶模拟器的研制<sup>[1-2]</sup>, 取得了巨大的社会与经济效益。在此基础上, 操作复杂性更强的工程机械模拟

器也得到了长足的发展, 被广泛应用于各型工程机械的培训教学中。为进一步提高模拟器模拟仿真效果, 文献[3]将 6 自由度动感平台引入挖掘机模拟训练平台的研制。而针对价格昂贵, 操作复杂的大型设备, 文献[4]采用半实物仿真的方案实现模拟训练。

凿岩台车作为一种广泛应用于隧道掘进施工与采矿作业的特种大型工程机械, 其通常是复杂的机电液一体化系统, 操控方式与其它机械有很大不



收稿日期: 2015-06-14

修回日期: 2015-06-25;

作者简介: 王友才(1983-), 男, 山东沂水, 硕士, 助教, 研究方向为复杂设备状态监测与仿真; 郭子龙(1988-), 男, 吉林双辽, 硕士, 助教, 研究方向为计算机仿真。

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

• 1774 •

同。目前国内的凿岩台车以国外进口产品为主, 价格昂贵, 操作使用复杂, 而且数量有限。这就为这种大型工程机械操作手的训练培养带来了很大困难。目前, 国内尚无针对凿岩台车的模拟训练设备, 本文针对这个问题, 利用虚拟现实技术开发了面向凿岩台车操作手的半实物仿真系统, 以满足凿岩台车驾驶与操作训练的需求。

Vega Prime 是先进的虚拟现实实时仿真渲染引擎系统, 其底层是基于 VSG(Vega Scene Graph) 的跨平台场景图形 API, 是真正跨平台、可扩展的开发环境。利用其 Lynx Prime 图形用户界面, 可以进行快捷的图形化配置, 而且 Vega Prime 配置的多种功能增强模块可以满足各种特定仿真需求。基于 Vega Prime 的仿真开发充分体现了面向对象的思想, 许多仿真功能被封装到各种类中, 只需调用其底层图形 API 即可进行特定仿真功能的创建。其强大功能可满足各种复杂强度的应用需求, 而且高度的易用性可以极大提高开发效率<sup>[5]</sup>。

## 1 系统总体设计

本系统以某型双臂凿岩台车为对象, 结合装备和应用实际进行统一设计。最终目的是构建一个面向操作手的基于 PC 机的桌面式虚拟现实系统, 通过该系统向凿岩台车操作人员提供一个具有较高真实感和沉浸感的操作环境, 并提供专业理论与施工作业规程的学习, 提高和加快操作手综合技能的形成。

从成本与实用性角度出发, 本系统主要由硬件系统和软件系统两部分组成。系统的开发框架如图 1 所示。软件系统包括各种 3D 实体仿真模型的建模、基于 Vega prime 和 C++ 的视景控制程序开发以及计算机与数据采集卡的通信程序开发。

由于凿岩台车的各种操控装置种类多, 且功能复杂<sup>[6]</sup>, 需要开发各操控台及控制装置的半实物模型进行功能仿真。因此, 硬件系统按照与实装功能一致的原则开发, 由于实装尺寸过大不便于系统使用, 因此按比例适当缩小进行设计。硬件系统主要

包括系统台架、左右钻臂操控台、驾驶操控台以及虚拟视景计算机。通过半实物的硬件系统与视景软件的交互实现凿岩台车的各种功能仿真。

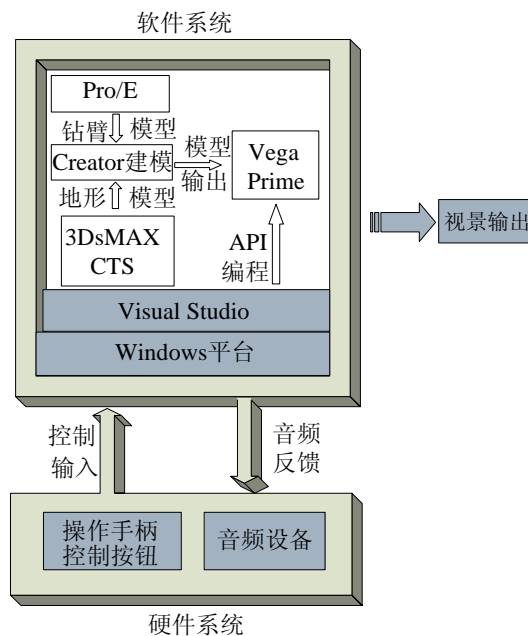


图 1 系统开发框图

### 1.1 系统硬件设计

系统硬件主要由左、右钻臂操控台和驾驶操控台组成, 其中左、右钻臂操控台上共布置有 23 个用于实现操控功能的各种操纵手柄和按钮开关。由于实装的操纵手柄为液压先导式控制手柄, 其控制量无法为计算机所使用, 所以本系统采用电传操作手柄来代替实装的液压先导式控制手柄以实现虚拟视景中凿岩台车的控制。操控台的控制信号包括各种开关信号和操作手柄信号, 开关信号反映各种开关的操作状态, 手柄信号反映手柄操作的幅度和方向, 为模拟量信号。由于系统数据 I/O 点位多, 为实现计算机与各操控台的实时通信, 系统采用基于 PCI 总线的数据通信方案, 用带有模拟量和数字量 I/O 通道的数据采集卡将相应控制信息进行采集, 并传输到计算机, 其中各部分信号要经相应的 A/D 模块将电流、电压值转换到数据采集卡的输入范围内。系统数据采集及通信结构如图 2 所示。

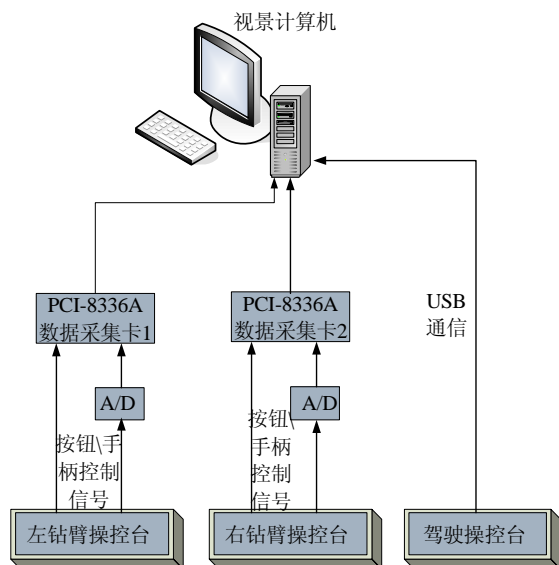


图 2 系统通信交互控制平台

数据采集卡采用 2 块中泰研创 PCI-8336A 数

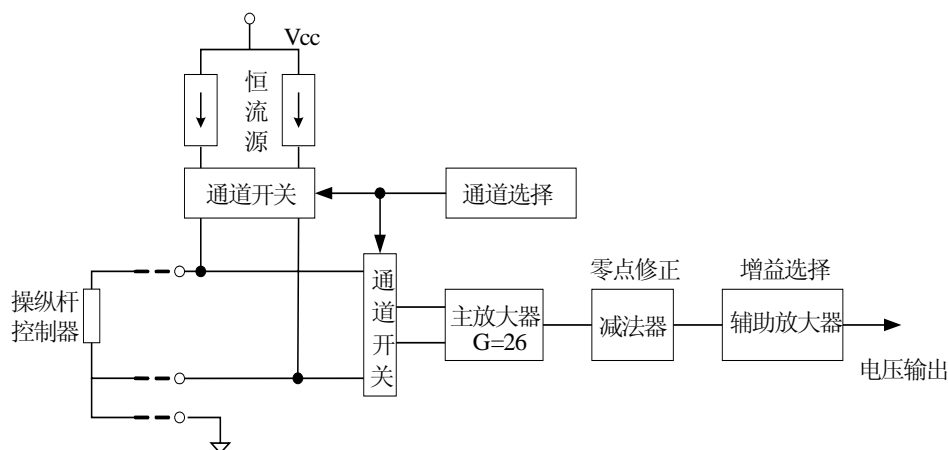


图 3 信号调理电路

本信号调理板共有 16 个测量通道，先通过 PCI-8336A 的 4 路可编程数字量输出驱动通道开关选通，再将选通的信号送入 PCI-8336A 的数据采集通道，信号输出为  $-5\sim+5\text{VDC}$ 。从而将来自于控制台操纵手柄的模拟量转换为 PCI-8336A 可接收信号。

## 1.2 系统软件设计

### 1.2.1 3D 模型建模

3D 模型构建主要包括凿岩台车实体建模和施工场景建模，它们是构建视景仿真系统的基础。为

数据采集卡，用于左、右钻臂操控台的数据采集，PCI-8336A 是基于 PCI 总线的多功能数据采集卡，适用于工业现场、实验室等多种场合。其具有 32 路模拟输入、4 路模拟输出、32 路可编程数字量输入/输出、3 路可编程计数器输入，3 路 PWM 输出，模拟输入最大采样频率为 250KHz，满足系统实时性要求。驾驶操控台的方向盘、油门以及制动控制量的采集则采用通用的 USB 接口实现。由于部分的左、右钻臂操控台操纵手柄控制信号不能满足 PCI-8336A 的输入要求，需要对这部分控制量进行 A/D 转换。A/D 转换电路主要由一信号调理板组成，其主要包括恒流源、主放大器、零点修正电路、辅助放大器以及通道开关，其电路组成见图 3。

满足系统兼容性和工业标准要求<sup>[7]</sup>，本系统 3D 模型均采用 OpenFlight 数据格式，以 Multigen Creator 为基础建模工具，采用多种专业建模软件辅助建模方法<sup>[8]</sup>分别对凿岩台车实体和施工场景进行建模。

由于凿岩台车结构非常复杂，面向操作手的视景仿真要求有高度的细节呈现，仅利用 Creator 建模软件对凿岩台车进行实体建模难度大而且很难满足仿真要求。因此结合视景仿真的特点和要求，在利用 Creator 对凿岩台车车体建模的基础上，重点对其复杂工作装置进行建模。复杂工作装置建模指的是对凿岩台车两根双三角支撑钻臂的建模，其



结构复杂而且是实现面向操作手交互式仿真的关键, 为了实现视景仿真的高度逼真, 根据采集的实际数据采用参数化建模软件 Pro/E 进行精细化建模, 并通过减面软件对模型进行处理<sup>[9]</sup>, 构建了便于进行视景交互的模型对象。最后通过 Creator 软件对两部分模型的整合处理得到凿岩台车实体模型。而施工场景建模采用地形建模软件 CTS 和 3DsMAX 建模相结合的方式。首先利用选择的原始 DEM 和纹理数据在 CTS 中生成符合凿岩台车施工环境特点的大规模山地地形<sup>[10]</sup>, 然后利用 3DsMAX 软件的强大功能专门对凿岩台车的具体作业环境隧道进行建模, 经过纹理和贴图渲染处理后构建逼真的凿岩台车作业环境。经过处理的实体模型如图 4 所示。



图 4 凿岩台车实体和场景模型

### 1.2.2 基于 MFC 框架的 VegaPrime 视景程序开发

在 Windows 平台上进行 Vega Prime 视景仿真开发, 可以采用控制台应用程序、传统的 Windows 应用程序和基于 MFC 的应用程序 3 种方法<sup>[11]</sup>。由于 MFC 框架是典型的面向对象方法, 利用其封装的大量 Windows API 函数, 并结合 Vega Prime 的底层 API 函数可以方便地进行视景程序开发。在具体实现中, 通过 MFC 中的 CView 类而派生一个 CJumboSimulatorView 子类。为实时响应外部消息, 在 CJumboSimulatorView 子类的一个消息映射函数里启动一个 Vega Prime 工作线程, 同时完成外部输入设备的初始化。其实现代码可参考如下:

```

Int CJumboSimulatorView::OnCreate( )
{
//打开数据采集卡, 创建 USB 设备对象, 完成硬件设置。
ZT8336A_OpenDevice(m_cardNO_1) = 0;
...
dlgJoyStrick = new CDialogJoyStrick;
//开始 Vega Prime 初始化。
Int result;
result = vp::initialize(__argc, __argv);
assert(result == vsgu::SUCCESS);
//设置应用程序配置文件。
CString acfFile;
acfFile = AppDir + "\\data\\acf\\jumbo.acf";
//加载应用程序配置文件。
result = vpKernel::instance()->define(acfFile);
assert(result == vsgu::SUCCESS);
//配置 Vega Prime。
result = vpKernel::instance()->configure();
assert(result == vsgu::SUCCESS);
//在成员函数 vpInitialization()中完成各种实例的关联和外部数据准备。
vpInitialization();
// 首先获得 Vega Prime 窗口。
vpWindow *vpWin = *vpWindow::begin();
// 设置 MFC 窗口为 Vega Prime 窗口的父窗口
vpWin->setParent(m_hWnd);
// 去除 Vega Prime 窗口边界, 用 MFC 父窗口代替并全屏显示
vpWin->setBorderEnable(false);
vpWin->setFullScreenEnable(true);
//第一帧画面显示
int frameNum = vpKernel::instance()->beginFrame();
assert(frameNum != 0);
result = vpKernel::instance()->endFrame();
assert(result == vsgu::SUCCESS);
// 设置定时器, 并以 60Hz 的频率更新 VP 窗口
const int TIMER_ID = 1;
int timeout = 16;
int returnValue = SetTimer(TIMER_ID, timeout, NULL);
assert(returnValue == TIMER_ID);
//启动 Vega Prime 工作线程
pCurveThread = AfxBeginThread (CurveThreadProc,
this,THREAD_PRIORITY_NORMAL,0,CREATE_SUSPEN

```

```
DED);
pCurveThread->ResumeThread ();
return 0;
}
```

在 Vega Prime 视景窗口定时器触发函数中利用 2 个用户定义的成员函数来分别实现两钻臂操控台的视景交互。

## 2 关键技术及解决方案

### 2.1 多采集卡的数据同步处理方法

系统的交互功能要求系统的通信处理程序能够实时采集并响应左、右两个钻臂操控台的控制信息，左、右钻臂控制信息的采集分别通过两块 PCI-8336A 数据采集卡实现，通过其提供的 PCI8336A.H 和 PCI8336A.lib 可以方便编写通信处理程序。在 CJumboSimulatorView 子类的消息映射函数中完成两数据采集卡的初始化，之后调用该子类的另一个成员函数 vpInitialization()完成两数据采集卡的数据处理准备工作，其具体实现步骤如下：

```
//数据采集卡 1 申请数组空间
m_pReadData_1=(unsigned short*)malloc(819200
*sizeof(unsigned short));
//定时 AD 准备工作
ZT8336A_ADDisable(m_cardNO_1)=0;
//设定 FIFO 中有 1024 个数后触发 FIFO 半满中断,
ZT8336A_ADSetHFifoThrdNum(m_cardNO_1,1024) == 0;
//设置 32 个通道循环采集, 采集总速率 250K, 返回原
码值
ZT8336A_ADInit(m_cardNO_1, 1, 32, 0, 0, 1, 63, 0) = 0;
```

数据采集卡 2 的数据准备同上，此时数据已经采集到两数据采集卡的驱动缓冲区 FiFo 中。此时两操控台的控制信息便可以进入 MFC 的消息队列并交由 Vega Prime 视景窗口进行响应，但由于在 MFC 中开启的是一个 Vega Prime 工作线程，这对多个数据采集卡的数据同步处理带来了问题，即先得到该线程的采集卡数据会始终占据该线程，而使其他数据采集卡的数据无法得到处理，这样就使得两钻臂操控台的同步操作无法实现。为了解决其

他采集卡数据得不到线程处理的问题，这里的解决方案是为每个采集卡单独开启一个处理线程。其具体实现过程是在 Vega Prime 工作线程上，利用 CJumboSimulatorView 子类中设计单独的成员函数用于对数据采集卡 1 的数据进行处理和响应。同时在 CJumboSimulatorView 的消息映射函数中利用 AfxBeginThread()函数创建另一线程用于数据采集卡 2 的数据处理和响应。具体实现现代码可参考如下：

```
//初始 Vega Prime 线程进行采集卡 1 控制数据的更新及
响应
void CJumboSimulatoView::vpUpDataControl()
{
    long wantCount_1, retCount_1, currCount_1;
    wantCount_1 = 32*1000;
    currCount_1=ZT8336A_ADGetSFifoDataNum(m_cardNO_1)
;
    if( currCount_1 >= wantCount_1 )
retCount_1 = ZT8336A_ADReadSFifo(m_cardNO_1,
m_pReadData_1, wantCount_1);
    ...//数据响应程序
}
//重新启动一个工作线程, 进行采集卡 2 控制数据的更新及
响应
UINT CurveThreadProc(LPVOID lpParam)
{
    CJumboSimulatorView*pView=(CJumboSimulatorView*)lpP
aram;
    long wantCount_2, retCount_2, currCount_2;
    wantCount_2 = 32*1000;
    currCount_2=ZT8336A_ADGetSFifoDataNum(pView->m_ca
rdNO_2);
    if( currCount_2 >= wantCount_2 )
retCount_2=ZT8336A_ADReadSFifo(pView->m_cardNO_2,
pView->m_pReadData_2, wantCount_2);
    ...//数据响应程序。
}
```

### 2.2 多 DOF 节点的动态交互

凿岩台车的一个重要特点是其钻臂结构复杂，运动节点多，其运动学模型复杂<sup>[12]</sup>，利用多体运动学方法进行视景仿真开发难度很大。而凿岩台车

作为一个整体, 其运动状态具有典型的继承性, 因此非常适合利用 DOF 技术实现凿岩台车刚体部件的运动仿真, 其中以两根钻臂的运动仿真为重点。

本系统研制对象的钻臂是一个典型的具有多余自由度的关节型机械手, 它是由一系列关节连接起来的连杆构成, 共有 9 个运动关节, 包括 3

个移动关节和 6 个转动关节。除钻臂运动节点外, 凿岩台车还有车轮的转动、转向、液压支腿以及钻杆的转动与振动节点。根据该型凿岩台车实际运动节点状态在其 Creator 模型中完成各节点类型、参数以及父子关系的设置, 其关系结构图见图 5。

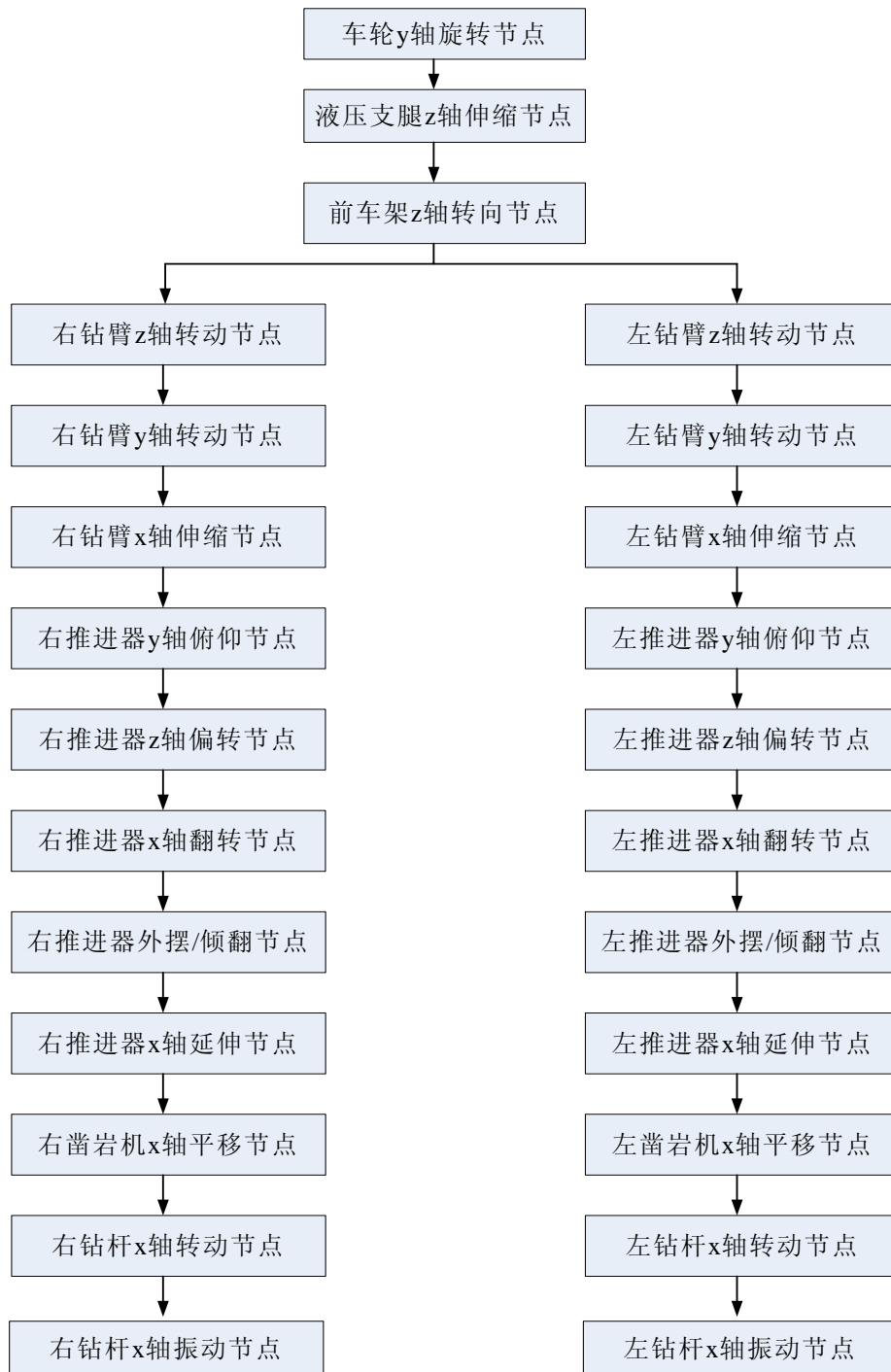


图 5 凿岩台车 DOF 节点父子关系图



设置好 DOF 节点后, 在 Vega Prime 线程的初始化模块中使用 find 方法<sup>[13]</sup>完成各 DOF 节点的实例关联, 并根据两数据采集卡的控制数据在前面所述的两个线程中分别进行响应, 并更新视景, 实现模型与人的交互。为便于交互操作, 以操作手的视角将视点设置在驾驶室内, 其动态交互视景如图 6 所示。



图 6 系统动态交互视景

### 2.3 三维立体效果实现

3D 立体成像技术<sup>[14-15]</sup>可以产生强烈的画面纵深效果, 对于提高仿真系统的真实感和沉浸感非常有帮助。目前, 眼镜式立体成像技术主要有色差式 3D 技术、偏振式 3D 技术、主动快门式 3D 技术 3 种, 其中以主动快门式 3D 技术立体成像效果最

好。主动快门式 3D 技术的原理是通过模拟现实世界中左右两眼的视角差别, 来让左右眼看到不同的信号, 进而在人的大脑中产生 3D 立体感, 当前实现 3D 立体显示的关键在于对左/右眼画面的分帧送达。

根据基于计算机平台的立体成像原理<sup>[16]</sup>, 首先在图像源上将视景输出图像按帧分为两个相等部分, 可通过在 Vega Prime 的图像用户接口 LynX Prime 中开启两个视景通道, 完成视场角和画面偏移量等参数的设置, 形成对应左眼和右眼的两幅画面, 并提高画面刷新率, 使其连续的交错显示。同时在图像接收设备上 3D 眼镜需要与视景输出平台同步分帧信号, 以确保左右眼镜只收到属于各自的画面。目前基于 PC 平台的 NVIDIA 快门式 3D 解决方案通过红外信号发射器或线缆实现 3D 眼镜与显示平台信号的同步分帧, 其实现方案见图 7。

此方案的实现需要 NVIDIA 3D 眼镜、刷新频率 120Hz 以上的显示器和 NVIDIA 独立显卡 (8600GT 以上) 的支持。本系统采用的硬件配置包括 CPU: E5-2603×4; RAM: 8GB; 显卡: NVIDIA Quatro 2000M; NVIDIA 3D VISION 3D 眼镜 WIRELESS; 显示器为华硕 VG278。输出的 3D 立体分频图像如图 8 所示。

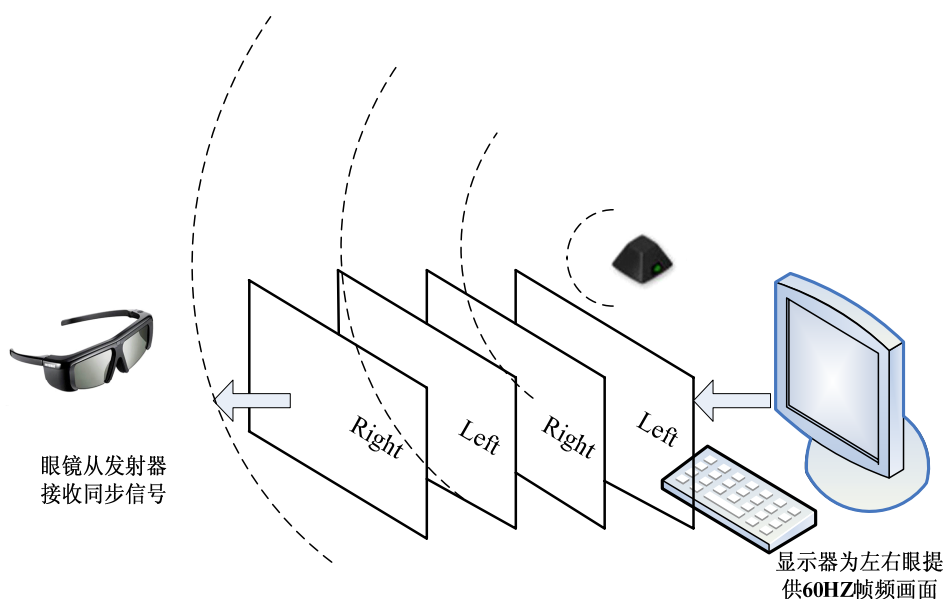


图 7 NVIDIA 快门式 3D 成像方案

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

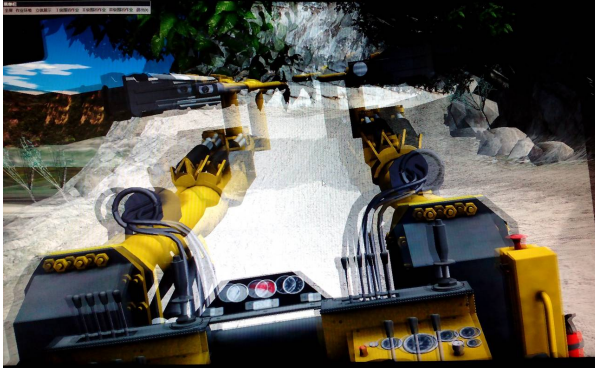


图 8 三维立体成像输出图像

### 3 结论

本文在 MFC 框架下采用 Vega Prime 开发了凿岩台车仿真模拟训练系统, 解决了国内尚无凿岩台车的模拟训练设备的问题。并利用 PCI 总线搭建了系统半实物交互控制平台, 其中采用多线程技术可以有效解决多数据采集卡的数据同步处理问题。而采用多种建模软件辅助 Creator 建模的方法可有效提高仿真模型的质量, 增大系统开发的灵活性。同时采用 DOF 技术实现了凿岩台车钻臂的多关节运动仿真, 提高了系统的交互特性。最后研究了主动式 3D 立体成像技术在 Vega Prime 中的实现方法, 采用 NVIDIA 快门式 3D 成像方案实现了系统的立体成像功能, 提高了系统的交互真实感。运行结果表明系统稳定, 效果良好, 所采用的方法对类似仿真系统的研制具有很好的参考价值。

### 参考文献:

[1] 王晶, 刘小明, 李德慧. 驾驶模拟器现状及应用研究

[J]. 交通标准化, 2008(11): 160-163.

- [2] 刘东波, 缪小冬, 王长君, 等. 汽车驾驶模拟器及其关键技术研究现状[J]. 公路与汽运, 2010(5):53-59.
- [3] 高勇, 姚凯, 牛红攀, 等. 新型挖掘机模拟训练平台设计[J]. 建筑机械, 2010(21): 79-81,87.
- [4] 薛雪东, 徐兵, 洪光, 等. 基于 Creator/Vega Prime 的某导弹发射设备模拟训练系统[J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(6): 307-310.
- [5] 王孝平, 董秀成, 郑海春, 等. Vega Prime 实时三维虚拟现实开发技术[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2012.
- [6] 赵燕. 全液压凿岩台车液压系统的分析[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2010.
- [7] 王乘, 周均清, 李利军. Creator 可视化仿真建模技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004.
- [8] 许永强. 基于 Vega 与 VC++ 的全断面掘进机视景仿真研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2010.
- [9] 王辰辉. 基于 Creator/Vega Prime 和 C++ 的液压挖掘机虚拟仿真研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [10] 张晶, 陈义军, 张倩, 等. 基于 CTS 的大规模复杂地形建模研究[J]. 自动化技术与应用, 2010, 29(10): 43-50.
- [11] 王云翔, 赵经成, 付战平, 等. 基于 Vega Prime 的视景仿真驱动技术研究[J]. 微计算机信息, 2008, 24(8-3): 214-216.
- [12] 刘泽鑫. 电脑凿岩台车钻臂动力学分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [13] 张华磊, 魏思东, 李哲煜. 大型运输机综合训练器虚拟仿真环境的设计[J]. 计算机仿真, 2008, 25(5): 64-68.
- [14] 赵亮. 3D 立体成像研究[J]. 计算机与网络, 2011(8): 626.
- [15] 张博. 眼镜式立体成像方法的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- [16] 杨富宝. 基于计算机三维立体视差的双目立体成像研究[J]. 电脑知识与技术, 2011, 7(12): 2929-2931.