

VR 仿真平台在自动化仓储系统中的设计与实现

张鹏举, 陈昆昌, 李仁旺, 张志乐, 杨 贵
(浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018)

摘要: 针对自动化仓储系统的构建及运行特点, 设计一种基于虚拟现实(VR)技术的仿真平台。阐述该平台的设计思想和实现手段, 根据仓库运行方式的离散化, 研究立体仓库堆垛机的路径优化方法, 完成对算法的仿真分析。以一个仿真实例展现系统仿真平台的沉浸感、交互性和构想力, 验证了其可行性。

关键词: 虚拟现实; 仿真; Java3D 技术; MVC 模式

Design and Realization of VR Simulation Platform in Automatic Storage and Retrieval System

ZHANG Peng-ju, CHEN Kun-chang, LI Ren-wang, ZHANG Zhi-le, YANG Gui

(College of Mechanical and Automation Control, Zhejiang Science and Technology University, Hangzhou 310018)

【Abstract】 According to the structure and running property of automatic storage and retrieval system, this paper proposes a simulation platform based on Virtual Reality(VR). The design and implementing means of this platform is discussed. Path optimization methods of solid warehouse laneway-stacker are studied after dispersing the warehouse's running fashion. The analysis and simulating of arithmetic are accomplished. The practicability and validity of the simulation platform are verified by an instance of simulation platform which is in possession of immersion, interaction and imagination.

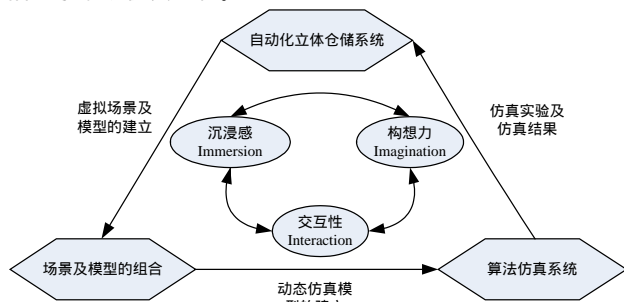
【Key words】 Virtual Reality(VR); simulation; Java3D technology; Model-View-Control mode

1 概述

自动化立体仓储系统是当代物流技术、仓储技术、自动化技术发展的优秀产物, 它集存储、搬运、输送、分发于一体, 已成为生产和流通的重要环节。随着现代工业的发展, 自动化立体仓储系统逐渐向具有沉浸感、交互性、构想力(Immersion Interaction Imagination, 3I)的方向发展。自动化立体仓储系统的建造具有投资大、风险高的特点, 且需要考虑其运行效率、布局等因素, 因此, 建立系统前需要进行预先评估。虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术的出现和发展为上述问题提供了解决方案。本文系统 VR 仿真平台在虚拟现实技术的基础上对立体仓储系统进行多方面的可靠仿真实验, 为实际仓储系统的建造和出入库决策提供了精确的参考依据。

2 虚拟现实技术

VR技术是一种模拟人类视觉、听觉、触觉等感知行为的具有高度逼真感的人机交互技术^[1], 其主要特点是 3I。图 1 描述了系统仿真过程。

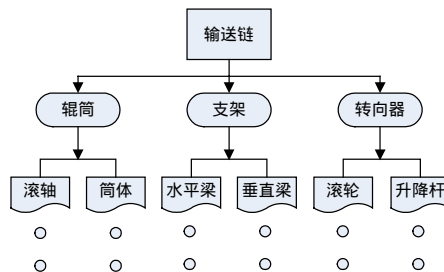


2.1 场景及实体模型的实现方法

系统VR仿真平台将Java3D^[2]和VRML有机结合, 共同完成虚拟立体仓储的场景构建、交互操作、虚拟漫游、动态仿真等。Java3D通过Loader接口导入VRML文件, 将其加入场景中, 并利用丰富的Java3D API实现对三维实体的操作, 减轻了Java3D对繁杂细小零部件构建的负担。

场景的构建对象包括室内装饰、办公桌椅、电脑等琐碎复杂的永久实体。可用现有成熟的 3D 建模工具辅助完成, 并通过其 VRML 接口直接导出完整场景的标准 VRML 文件, 实现逼真的场景沉浸效果。

图 2 描述了输送链的层次树结构。



基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50675208); 浙江省自然科学基金资助项目(Y605187)

作者简介: 张鹏举(1983 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 先进制造技术; 陈昆昌, 教授; 李仁旺, 教授、博士生导师; 张志乐、杨 贵, 硕士研究生

收稿日期: 2008-04-23 E-mail: zpj.1102@yahoo.com.cn

为了提高实体建模的速度和柔性,在模型构建中采用面向对象思想的层次化建模策略。层次化是将复杂系统分为多个部件,并部件进行再划分,直至分为底层的基本几何形体后,通过布尔运算进行装配实现最终的复杂实体。

2.2 动态仿真模型的构建技术

根据仓储系统的离散性特点,在动态仿真中,要实现实体及其属性的仿真,并完成事件和进程的仿真。本文采用仿真时钟的推进方式和事件驱动^[3]方式。

仓储系统的仿真根据时间变化会产生各种离散事件,在仿真时钟里定义了事件发生的时刻和推进的事件间隔。这种面向事件的推进方式执行效率很高,但必须事先确定系统事件的先后顺序。为了解决与离散事件的无序性不符问题,本文在系统仿真中引入事件驱动机制,提高了仿真的灵活性。

事件驱动机制是采用事件与事件之间的因果关系建立的。先定义了一个事件集 $E\{e_1, e_2, \dots\}$, 然后对事件集中的事件元分别建立前驱和后续关系,再根据已建立的时间驱动规则集合 $R\{r_1, r_2, \dots\}$ 进行系统仿真。在事件集 E 中只包括设备事件类型,如输送链传送、堆垛机取货等。还有另一种任务事件类型,如出库、入库、调库等,这类事件可作为某个设备事件的驱动事件,任务事件是完成交互的主要事件类型。

3 自动化立体仓储系统 VR 仿真平台

自动化立体仓储系统在不直接进行人工干预的情况下自动存储和取出货物。该系统采用多货架及机械化自动存取,并通过计算机控制管理仓库的运行,构成了整个制造信息网络。自动化立体仓储系统 VR 仿真平台将实物的仓储系统虚拟化,在计算机上完成整个建造过程及人机交互,并仿真其实施方法和评估效率。图 3 描述了自动化立体仓储系统 VR 仿真平台框架结构。

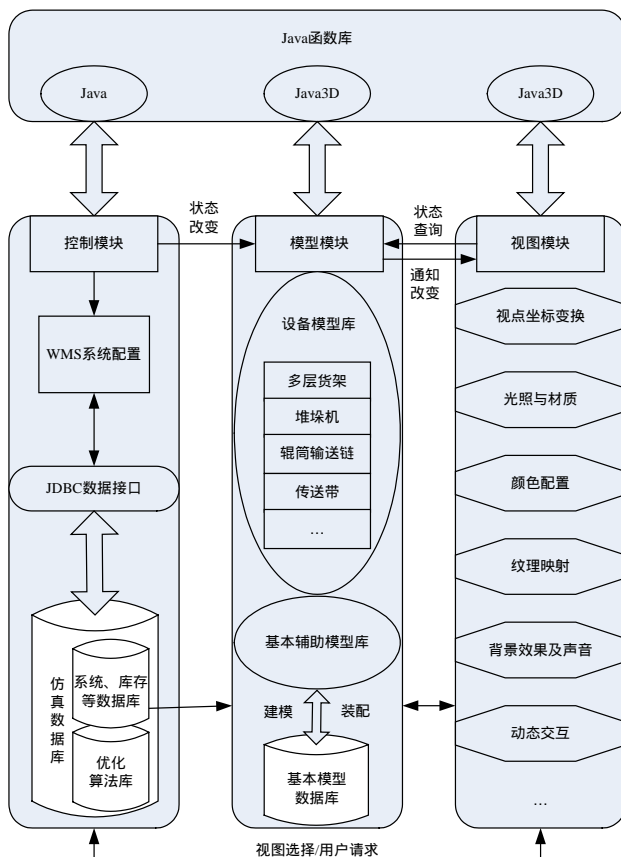


图 3 自动化立体仓储系统 VR 仿真平台框架结构

3.1 自动化立体仓储系统的构成

自动化立体仓储系统的构成如图 4 所示。

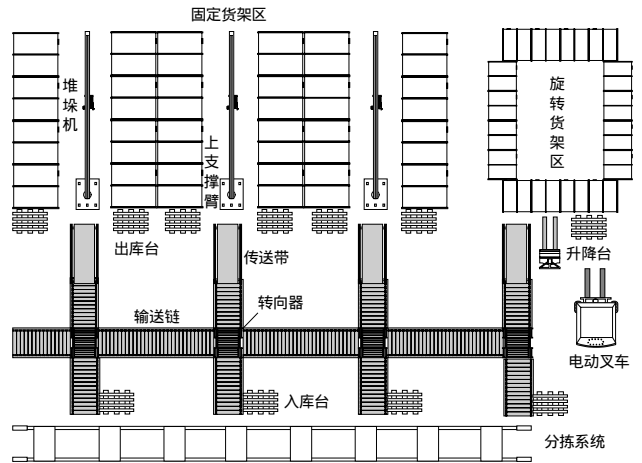


图 4 自动化立体仓储系统的构成

自动化立体仓储系统主要由 4 个模块组成:自动存取系统(Automatic Storage and Retrieve System, AS/RS),自动传送系统(Automatic Conveyor System, ACS),自动分拣系统(Automatic Picking System, APS)和仓库管理系统(Warehouse Management System, WMS),它们构成一个有机整体,共同完成整个自动化仓储过程。

3.2 交互仿真的实现

为了体现系统 VR 仿真平台的交互性特点,本文从自动化立体仓储系统的 4 个关键技术展开设计方案,具体如下:

(1)自动寻址技术,分为绝对寻址和相对寻址。如果考虑绝对寻址,则多层货架上的库位都要有一个绝对代码与系统数据库的库位表一一对应,此时数据多且查找烦琐,增加了仿真时间。因此,本文采用相对寻址,先将多层货架进行编号,分别对应各自的表单,然后将货架第 1 行第 1 列的库位作为参考原点,用基本的换算确定货架上其他库位在表单中的映射。

(2)自动识别技术,在实际操作中使用 RFID 自识别技术,在货物入库或出库的必经之处配备有识别装置。由于 VR 仿真平台是靠仿真时钟和事件驱动的,因此在货物入堆垛机平台的事件中加入记录货物属性的子事件,在堆垛机放货物入库的事件中就能取出货物属性中的货物代号,放入正确的分类库位,完成识别技术的仿真。

(3)堆垛机自动监管调度的控制技术。在自动化立体仓储系统中堆垛机需要监管调度,滚筒输送链、转向器、传送带等需要监管控制。堆垛机调度时,利用 Java3D 技术将时间分割法和取坐标点法相结合,便于路径优化算法的运用和仿真。

堆垛机动作的 Java3D 实现代码如下:

```
private Group creatObject(BranchGroup b,
float xpos,float ypos,float zpos,int equipflag){
... //定义坐标系对象及变换对象
switch (equipflag){
//根据实体事件驱动标志位判断并创建模型
...
case 5:{//堆垛机臂
if(i==1){
//判断运动标志位,为 0 则复位,非 0 则启动
float knot[ ]={...};
//设置推进时钟分割点
```

```

Point3f pos[ ]={ //时钟作用下的坐标段
new Point3f(70.0f,-20.5f,-66.0f),
...};
Transform3D tr=new Transform3D();
//堆垛机局部坐标变换
Alpha xtranAlpha=new Alpha(1,
Alpha.INCREASING_ENABLE,
0,30000*(i-1-h),30000,0,0,0,0,0);
PositionPathInterpolator tran=
new PositionPathInterpolator(xtranAlpha,
objTrans,tr,knot,pos);
... //堆垛机动作的实现
objTrans.addChild(tran);
//将创建的堆垛机及动作添加到主场景
}
else if(i==n1+1){ //判断堆垛机托盘入库动作
float knot[ ]={...};
Point3f pos[ ]={...
new Point3f(70.0f-13.2f*(10-ypos),-20.5f,-66.0f),
...
};

```

(4) 计算机管理系统。主要由Java语言完成，Java通过JDBC与SQL数据库相连，明细了系统的数据需求，分为系统参数设置层、库存管理层、入库管理层、出库管理层、调库管理层和堆垛机调度层，使虚拟场景的库位坐标以及场景交互有据可依。系统的设计采用MVC模式^[4]，将模型、视图和控制分离，使模型的属性修改更方便，且不会影响控制和视图显示，而对控制或视图的修改，如时间、路径、坐标等，也不会影响其他2个方面。该管理系统主要完成仓库的出入库以及调库的作业，对其进行数据记录和统计分析，并附带算法仿真管理、记录仿真数据和图表。

4 仿真举例与优化

4.1 虚拟仿真举例

构建并运行一个自动化立体仓储系统VR仿真平台的主要步骤如下：

- (1) 构建系统场景及其实体的三维立体模型；
- (2) 设置设备模型的控制参数，使交互模型处于准备状态；
- (3) 根据仿真时钟和事件驱动机制建立各个模型间的关联，完成场景与设备的动态组合；
- (4) 确定并设置系统仿真算法和仿真任务；
- (5) 按流程运行系统程序并分析仿真结果。

下文根据上述方法，对一个自动化立体仓储实验室系统VR仿真平台的构建加以分析。

先根据仓库属性表，建立实验室属性的仓库系统场景，其中包括仓库名称(WarehouseName)、仓库编码(Code)、仓库容积(Capacity)等。然后添加各种设备，并根据设备属性表定义各种参数，如设备名称(EquipName)、所属仓库编码(WarehouseCode)、设备坐标(XCd,YCd)、水平运行速度(HSpeed)、垂直运行速度(VSpeed)、工作状态(WorkingState)等。最后通过设备的属性关系接口以及事件集合和驱动规则，建立各个设备关联，生成如图5所示的仓储实验室系统的VR仿真平台主界面，包括左侧的交互控制区和右侧的视图动作演示区，菜单栏和快捷操作栏方便了用户对数据库以及任务事件的仿真操作。

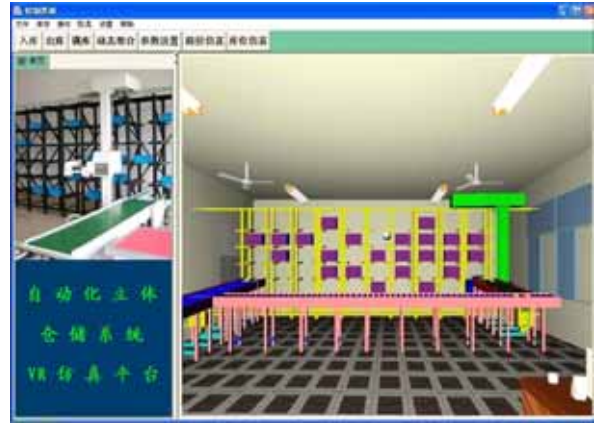


图5 仓储实验室系统的VR仿真平台主界面

4.2 堆垛机路径优化

堆垛机的工作方式有单一和复合2种。在研究堆垛机路径优化时，由于仓库采用固定的存取模式，因此规定库位的托盘与库位号是一一对应的，每个托盘在完成操作后要放回原位，即堆垛机在复合作业情况下的路径优化。

由视图坐标变换得到货架的XY平面坐标系，以坐标 (x, y) 标志库位结点，其中，货位点 $(0, 0)$ 视为巷道口的原点；货架宽度为 a ，高度为 h 。堆垛机水平运行速度为 V_x ，垂直运行速度为 V_y ，且 $V_x = 2V_y$ （根据货架尺寸而变化），水平方向和垂直方向同时匀速运行，暂时忽略启动和制动的的影响以及货物的存取时间。此时可设堆垛机从库位 $i(X_i, Y_i)$ 运行到库位 $j(X_j, Y_j)$ 所用时间为

$$t(i, j) = \max\{|X_j - X_i| / V_x, |Y_j - Y_i| / V_y\}$$

因此，批量操作的 n 个库位 $\{1, 2, \dots, n\}$ 花费的时间为

$$T = \sum_{k=0}^{n-1} t(k, k+1) + 2 \sum_{k=1}^n t(k, 0) + t(n, 0)$$

其中， $t(0, 1)$ 为堆垛机从原点到第1个库位的时间，依此类推， $\sum_{k=0}^{n-1} t(k, k+1)$ 为堆垛机遍历各个库位花费的总时间（不包含返回原点的时间），而 $t(k, 0)$ 为堆垛机由第 k 个库位运行到原点的时间，由于堆垛机要把托盘送回原位，因此执行完一个库位操作就要完成库位与原点的往返路线， $2 \sum_{k=1}^n t(k, 0)$ 记录了堆垛机往返于库位和原点的总时间（不包含返回原点的时间）。

合理确定堆垛机的复合作业路径，可以使运行时间 T 最小，此离散优化问题与旅行商问题(TSP)相同，属于NP-C问题。仿真系统采用改进遗传算法^[5]来仿真该路径优化过程。

根据 T 的表达式，路径优化问题的目标函数为

$$F(x) = \min\{\sum_{k=0}^{n-1} t(k, k+1) + t(n, 0)\}$$

选取 $f(x) = f_{\max} / [1 + F(x)]$ 为适应度函数，其中， f_{\max} 为当前代的最大值。为了防止运算延时影响堆垛机实时运行，整个算法以遗传代数作为终止条件。图6是一个二维输送链的单货架体系仓储系统的堆垛机路径优化遗传算法适应度变化图界面，其中，货架与堆垛机的参数设定为 $a = m, h = m, V_x = 2m/s, V_y = m/s$ 。系统从数据库中随机产生出库单以及25个库位点集合，即

$\{(0, 0), (9, 4), (9, 2), (5, 3), (8, 0), (1, 2), (6, 4), (0, 3), (4, 4), (7, 3), (7, 0), (9, 0), (3, 3), (2, 4), (4, 0), (1, 1), (7, 1), (6, 3), (0, 4), (8, 3), (5, 2), (2, 2), (4, 2), (1, 3), (5, 1)\}$

其中，遗传代数为50。

(下转第255页)