

基于 Agent 的 铁路集装箱货场系统可视化仿真

刘 放 吴 晓 程文明

西南交通大学，机械工程学院，成都 610031

摘 要：仿真是目前对集装箱货场装卸流程、工艺规划的有效手段。针对可视化仿真，文章提出了以数据库、模型库为核心的仿真思想并建立了仿真系统结构。采用 Agent 技术作为系统设计手段，提出了一种用于可视化仿真系统的 Agent 结构，并建立了基于 Agent 的系统设计流程。文中还分析和研究了仿真场景建模、运动学建模、碰撞检测等相关技术，并用 Visual C++ 开发了可视化仿真系统。

关键词：计算机仿真；可视化；Agent；集装箱货场

中图分类号：TP391.9；U169.65 文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2006)04-0063-06

Visual Simulation for Railway Container Yard Based on Agent

LIU Fang WU Xiao CHENG Wen-ming

School of Mechanical Engineering,

Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

Abstract: Simulation is an effective means when planning the operations of container yard and in the process of loading and unloading. A visual simulation method based on database and model is put forward for visual simulation. Agent technology is adopted in the system design. The architecture of agent and process of the system design are presented based on agent technology. The simulation scene modeling, kinematics modeling, collision detection and other relative technologies are analyzed and discussed. A visual simulation software is developed with Visual C++ at last.

收稿日期：2005-12-11.

基金项目：四川省应用基础计划研究项目(02GY029-034)，西南交通大学科技发展基金项目(2004A10)。

作者简介：刘放(1974-)，男，汉族，四川仁寿人，西南交通大学机械工程学院，博士研究生。研究方向：计算机控制与仿真、CAE、物流装备设计研究。

Key words : Computer simulation , visualization , Agent , container yard

0 前言

铁路集装箱货场作为铁路集装箱运输网络的一个重要环节,对整个运输网络的运行效率有直接的影响。集装箱货场是一个复杂的随机服务系统,从提高系统运行效率和降低运营成本的角度考虑,需要对货场布局、设备配置及工艺流程等作出科学有效的规划并进行决策。

目前,对复杂随机服务系统进行分析的主要方式是计算机模拟和仿真。通过模拟和仿真选择合理的方案,避免资金、人力和时间的浪费。迄今为止,国内外对集装箱货场的规划和工艺流程进行了许多研究,如采用动画模拟和数字仿真手段来确定货场布局、装卸设备配置、装卸工艺流程选择等。这些方法虽然取得了一定的效果,但也存在明显的不足:数字仿真结果不直观,给用户理解仿真结果带来很多不便;而动画模拟虽然直观,但显得过于粗糙,真实感差。可视化仿真是在数字仿真和动画模拟的基础上发展起来的一种新的仿真方法,较好地结合了二者的优点^{[1][2][3]}。本文从可视化仿真的角度,分析和探讨铁路集装箱货场仿真的相关技术与方法。

1 铁路集装箱货场系统仿真体系结构

1.1 铁路集装箱货场系统

铁路集装箱货场是专业办理集装箱班列、枢纽集装箱小运转列车到发和办理集装箱承运、发送、装卸、中转、保管、到达交付等运输业务的货运站,其基本构成包括四个部分:铁路装卸线、卡车作业通道、集装箱堆场和装卸作业机械。这四个部分构成集装箱货场的物流作业硬件环境,组成以集装箱装卸、中转和存储为目标的货场物流系统。在这个系统中,装卸机械是联系整个货场物流系统的桥梁。通过装卸作业把列车组、卡车、集装箱堆场联系在一起,维持整个货场物流系统的运转。因此,在很大程度上,装卸机械

的作业效率对整个货场的处理能力和效率起着决定性作用,对货场系统的仿真也主要以装卸机械为研究对象。图1是以装卸作业为核心的铁路集装箱货场作业流程。

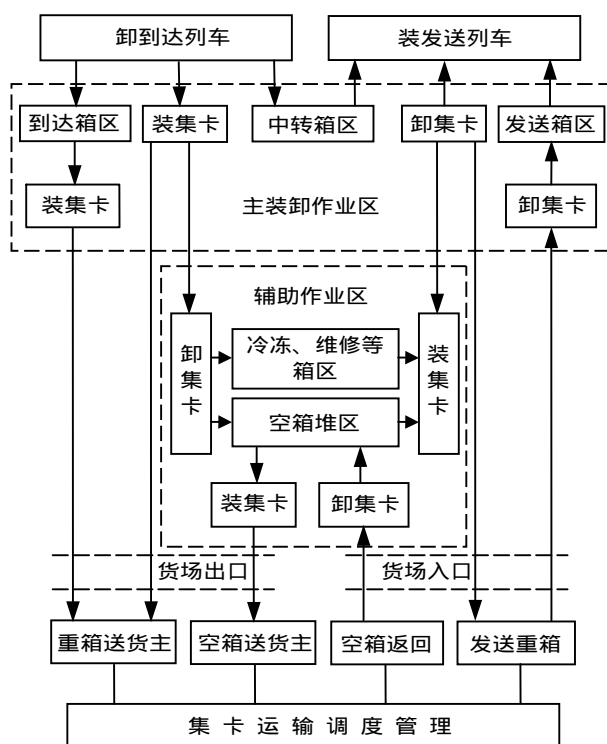


图1 铁路集装箱货场作业流程

Fig.1 Work process of railway container yard

1.2 可视化仿真系统结构

铁路集装箱货场系统结构复杂,相关因素众多且受许多随机因素的影响,这些特点决定了仿真的复杂性。从集装箱货场的物流过程来看,仿真的关键是要抓住装卸作业这个中心环节,准确控制作业流程、作业速度和作业时间,同时,要充分考虑系统的随机性。基于这样的思路,铁路集装箱货场可视化仿真采用基于数据库和模型库的仿真体系,数据库和图形系统数据共享,数字仿真与图形仿真同步进行,以数字仿真对系统进行分析 and 模拟,用图形仿真作为数字仿真的表现。铁路集装箱货场仿真系统结构如图2所示。

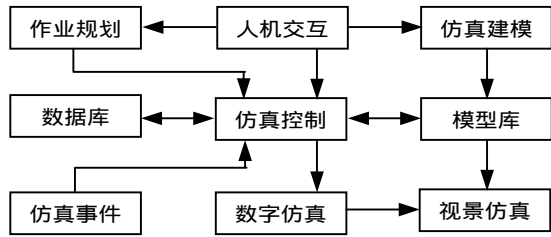


图2 可视化仿真系统结构

Fig.2 Visual simulation system structure

2 基于 Agent 的仿真建模

2.1 基于 Agent 的系统设计方法

铁路集装箱货场是一个动态、复杂的随机服务系统，系统中涉及到多种随机因素的处理、运动物体的控制以及作业机械之间的协同作业。对这类复杂的系统，基于数学模型的传统建模方式已经不能很好地进行描述，而采用基于 Agent 的建模方法，通过对系统中的基本元素及元素间的交互行为的建模，可以将复杂系统的微观行为和宏观现象有机地结合到一起，是一种自顶向下分析、自底向上综合的建模方式，比较适合于复杂系统的建模与仿真，特别是针对系统中的交互行为、智能行为、并行行为和系统控制等。综合国内外众多的研究文献和集装箱货场仿真的需要，在建立仿真系统时采用 Agent 技术进行系统设计。

2.2 可视化仿真系统中的 Agent 结构

可视化仿真系统中的 Agent 描述为：Agent 是运行于某一环境中的具有较高自治能力的实体，其目标是接受另外一个实体（用户、计算机程序、系统或机器等）的委托并为之提供服务，能够在目标的驱动下主动采取包括社交、学习等手段在内的各种必要的行为，以感知、适应并对环境的变化作出反应。系统中的 Agent 具备通常意义上所说的 Agent 的基本特征：自制性、通信性、反应性和协作性^[4]。

在可视化仿真中对各种物体进行定义时，除了定义它的属性（包括颜色、材料、形状等）外还要考虑与该物体相关的运动，以及相应的速度、转速，还要考虑物体之间的相互作用（约束、碰撞等）。在集

装箱货场可视化仿真中，Agent 的结构组成及逻辑关系如图 3 所示：

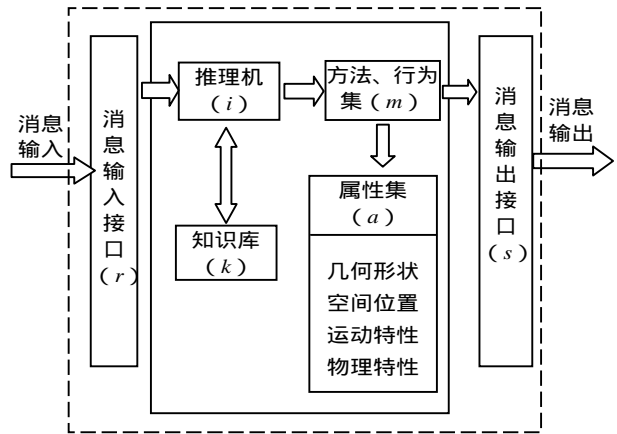


图3 可视化仿真系统中的 Agent 结构

Fig.3 Agent structure in visual simulation system

2.3 基于 Agent 的可视化仿真建模流程

图 4 是基于 Agent 的集装箱货场可视化仿真建模的主要流程，在这个流程中，建立系统的 Agent 层次结构和建立 Agent 模型是工作的重点，是基于 Agent 的仿真建模的精髓。

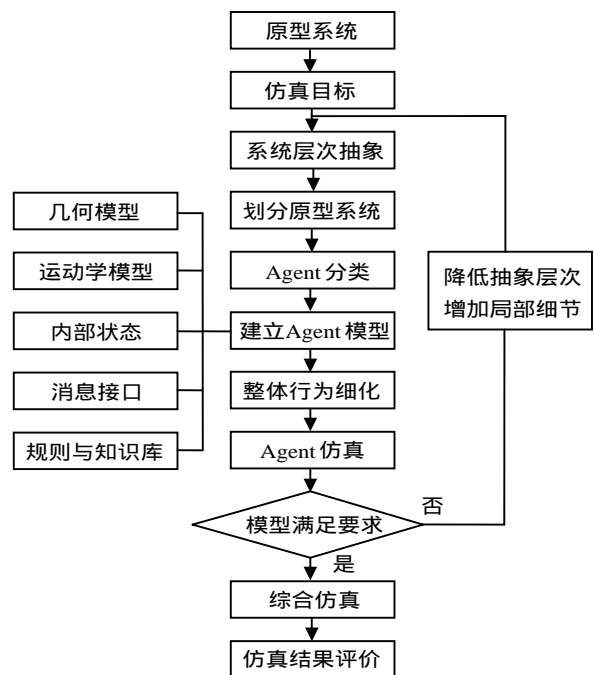


图4 基于 Agent 的仿真建模流程

Fig.4 Modeling process based on Agent

3 关键技术及解决方案

3.1 三维场景建模

三维场景建模目前主要有两种方式：一种是基于计算机图形学和纹理技术的三维建模；另一种是基于图像的建模与绘制技术。这两种方法各有优点，同时也各自具有暂时无法克服的技术难点。对于前者，人机交互容易但纹理映射速度慢，影响系统的实时性；对于后者，图像逼真但存在数据融合困难和人机交互性能差的问题^{[5][6][7][8]}。

集装箱货场可视化仿真中，需要对场景中的对象进行实时控制，因此，采用基于计算机图形学和纹理技术的三维建模方式，至于实时性问题，可以通过对场景模型的特殊处理和简化得到改善。具体做法是首先建立系统各对象的三维模型，生成场景图形轮廓，再利用事先设置的纹理和贴图融合到场景中，生成仿真场景。

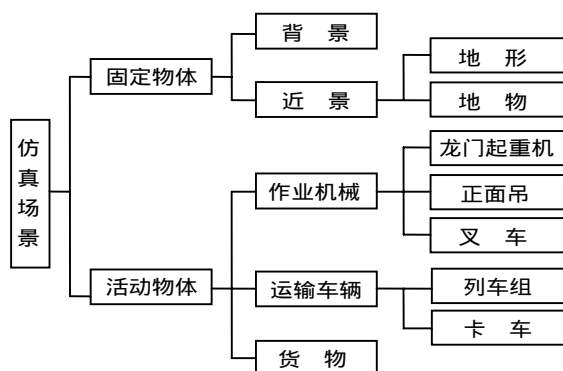


图5 仿真场景的构成

Fig.5 Simulation scene composition

仿真场景的组成如图5所示。对场景中的简单物体，直接用三维建模软件建立模型，对于复杂的物体在建模时采用两种技术进行处理：一种是采用层次细节处理技术（Level of detail, LOD），建立同一对象的多个模型副本，从简单到复杂，逐步逼近真实对象，系统根据视点距离自动调用细节水平不同的模型，使得在不同的视点位置都能得到具有真实感的图像，同时也能提高系统处理速度；二是对运动物体建立层次结构模型，根据运动链的传递关系，将物体划分为基

本的运动部件，组成一种具有层次结构的模型，每一运动部件都可以独立进行运动控制。

3.2 运动学建模

集装箱货场仿真主要涉及到两类物体的运动学建模：一是各类运输车辆，如列车组、卡车，这类物体的运动比较简单，在仿真过程中只需要控制车辆的速度和方向；另一类是各种装卸机械，这类物体的运动比较复杂，不仅机械本身要运动，同时其部件也要动作。例如，龙门起重机从列车上卸下一个集装箱到堆场，其整机和部件要在速度、加速度、时间、约束条件等的控制下，完成卸货、运输、堆码等动作。建立运动学模型的思路是将运动物体按照相对运动关系进行分解，将复杂物体分解为多个独立运动部件，建立用基本运动参数（如速度、位移）表示的运动物体与整个场景的变换关系，以及运动部件之间的相对运动关系^[9]。

(1) 建立运动物体的层次结构模型。按照运动链的传递关系将运动物体进行分解，建立从机体到末端运动部件的层次结构，每一个分解后的“子”运动部件既受其“父”部件运动的影响，同时，也可以在运动约束条件下独立进行运动。这种层次结构模型的每一个运动部件都可以进行单独的运动控制，通过组装又能合成为一个完整的运动物体。例如，叉车模型的层次结构为：车体 门架 货叉；龙门起重机的层次结构为：大车 小车 吊具。

(2) 建立以实际运动参数表示的运动变换矩阵。系统采用了三种坐标系：世界坐标系、机体坐标系和附体坐标系。世界坐标系用来描述整个仿真场景的布局 and 仿真对象在场景中的定位，对整个仿真场景来说，该坐标系是唯一的。机体坐标系表征作业机械在世界坐标系中的位置，通过该坐标系的变化反映作业机械在仿真场景中的位置和空间方位。附体坐标系是为了反映部件之间的运动继承关系而建立的一种坐标系，由于部件之间相对运动关系的存在，子部件的空间位置不仅与自身的运动有关，还与其“依附”的父部件的空间位置有关，附体坐标系就是为了表示部件之间的这种运动依赖关系而建立的坐标系。通过建

立这三种坐标系，根据作业机械的速度、方向以及相对运动关系，就可以建立机体、部件相对于整个仿真场景的变换关系。

3.3 碰撞检测

在集装箱货场可视化仿真中，主要涉及两种类型的碰撞检测问题：第一类是作业机械在装、卸作业时的碰撞检测；第二类是作业机械、卡车等行驶过程中的碰撞规避。

碰撞检测问题作为计算几何、计算机动画、机器人仿真和虚拟现实等领域中的一个经典问题，多年来一直受到较多的关注，并产生了许多针对某些特定问题的碰撞检测算法^[10]。这些算法虽然在特殊的情况下较为有效，但往往由于过于理论化，而难以在一般的系统中实现。在三维视觉仿真中，碰撞检测的实时性是所有算法所面临的主要问题。为了提高检测的实时性，仿真系统针对不同的运动类型采用了两种碰撞检测技术。

(1)对装卸作业采用基于包围盒技术的二次分割检测算法。这种方法是包围盒技术与 HV 分割技术结合的一种检测方法，其思想是先用传统的包围盒技术进行粗略的碰撞检测，将需要进行精确碰撞检测的范围缩小，然后对可能碰撞的物体进行 HV 分割再进行检测。通过这种方式既满足精确检测的需要，又能提高检测速度。

(2)对作业机械和车辆行驶过程中的碰撞规避采用简化的平面检测算法。在货场中的行驶碰撞规避是以保持一定的安全距离为基准的，对碰撞检测的精度要求不高，并且，行驶车辆的运动基本上是在货场平面内进行，因此，将包围盒技术进行平面简化，简化为平面内的包围框。具体方法为：将物体向水平面投影，依据其投影形状，将其转化为矩形或多边形，建立矩形或多边形检测框。这样就只需判断平面内的检测框之间是否碰撞，检测速度可以大幅度提高。

3.4 仿真数据库

仿真数据库用于存储货场系统相关的各种动态和静态信息，为整个仿真系统提供分析、处理和仿真的数据资料，同时也存储部分数字仿真的结果。按照

数据库的组织思想及铁路集装箱货场的特点，把数据分为静态数据、动态数据和随机数据三大类，分别组织数据，建立数据库。静态数据描述系统的组成、结构和规模等，在一定的时期内维持不变，如作业机械的种类、数量，货场布局、仓位数量等。动态数据则反映系统的变化，在事件驱动下系统状态发生改变，使相关数据发生变化，如堆场状态。随机数据主要用于描述一些不确定的影响和输入因素，比如列车组、车辆到达等。

4 软件开发与仿真实例

铁路集装箱货场仿真平台构建于基于 Windows 系统的 PC 机或图形工作站上。仿真平台主要由以下模块组成：仿真数据库、模型库、随机事件发生器、人机交互模块、仿真运算及管理模块、三维图形显示模块等。仿真系统采用 3DS Max 建立几何模型，然后转化为 OpenGL 格式，并用 OpenGL 作为三维图形接口。系统采用 Visual C++ 作为软件开发平台，能够很方便地与 OpenGL 接口，同时，也便于编写各种算法和控制程序。

图 6 是铁路集装箱货场仿真的基本流程。其中的

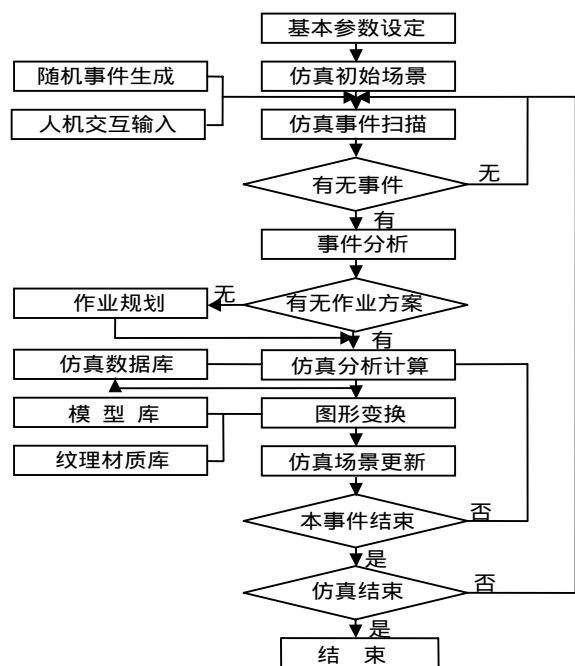


图 6 集装箱货场仿真流程

Fig.6 Container yard simulation process

基本参数设定包括仿真周期、步长、堆场初始状态、作业机械运行参数等信息。仿真事件扫描的事件来自两个方面：一是由随机事件发生器生成的事件，二是由用户通过人机交互添加的事件。图7是仿真环境中

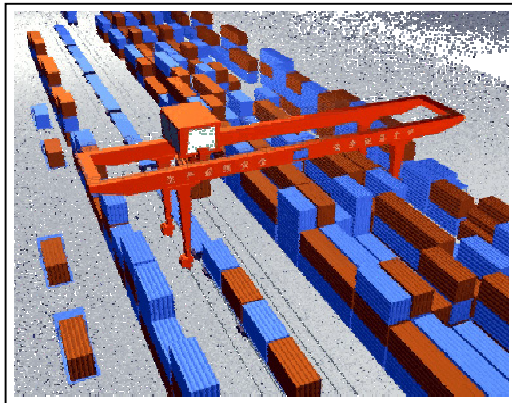


图7 仿真场景实例

Fig.7 Example of simulation scene

龙门起重机装卸作业的场景。

5 结束语

可视化仿真目前已经应用于许多领域,但在铁路集装箱货场仿真方面的应用还很少。采用可视化技术对铁路集装箱货场进行仿真,克服了数字仿真与动画模拟不够直观的缺点,让仿真过程及结果变得形象和易于理解。通过可视化仿真对铁路集装箱货场的规划、设计、分析、装卸机械的配置与选型、运营管理等方面进行分析和研究,可以为决策提供参考,节约资金、人力和时间。可视化仿真对铁路集装箱货场系统是一种行之有效的方法,而采用 Agent 技术可以使复杂系统的设计变得容易和易于实现。

参考文献

- [1] 吴镇,朱金生,张新艳. 虚拟现实在港口集装箱码头仿真中的应用[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(11): 336-338.
- [2] Michael R. A discrete-event simulation model for seaport operations [J]. Simulation, 1998, 70(4): 213-223.
- [3] Michael R., Charles M., Richard J., and Mark J. Simulation, animation and visualization of seaport operations [J]. Simulation, 1998, 70(2): 96-106.
- [4] 赵龙文,侯义斌. 多 Agent 系统的组织结构与协同[J]. 计算机工程与应用, 2000, (10): 59-62.
- [5] 刘学慧,吴恩华. 虚拟现实的图形生成技术[J]. 中国图象图形学报, 1997, 2(4): 205-211.
- [6] Mark Green, Sean Halliday. A geometric modeling and animating system for virtual reality [J]. Communication of ACM, 1996, 39(5): 46-53.
- [7] Besl P. J., Jain R. C. Three-dimensional object recognition [J]. ACM Computer Surveys, 2001, 17(1): 75-95.
- [8] Alyn R., Jim W. Three-dimensional object reconstruction from two-dimensional images [J]. Computer Aided Design, 1997, 29(4): 279-285.
- [9] 吴晓,王金诺,丁国富. 虚拟环境中叉车运动学仿真建模研究[J]. 起重运输机械, 2001, (7): 4-7.
- [10] 王志强,洪嘉振,杨辉. 碰撞检测问题研究综述[J]. 软件学报, 1999, 10(5): 545-551.