

# 基于 OSG 的混合系统三维仿真技术的研究与实现<sup>①</sup>

陈奎 王毅刚 晏福兴 (杭州电子科技大学 图形图像研究所 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 在连续/离散混合系统的物流生产过程中,利用 OSG(Open Scene Graph)开源软件包实现虚拟车间物流生产过程的三维仿真。为了开发一个性能良好的虚拟仿真系统,建立了合理的虚拟对象体系,解决了场景建模时的模型对象和三维仿真时的仿真对象的关系,使得整个运行过程效率更高。最后将离散事件与连续系统有效结合,在仿真时钟推进机制和基于消息的事件调度的控制下,实现了新的混合系统的三维仿真。

**关键词:** 混合系统; 物流生产; OSG; 三维仿真

## Research and Implementation of the Technology in 3D Simulation of Hybrid System Based on OSG

CHEN Kui, WANG Yi-Gang, YAN Fu-Xin

(Institute of Graphics and Image, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In the material flowing production process of the continuous/discrete hybrid system, this paper implements three-dimensional simulation of a virtual workshop's material flowing production process by using the open-source software package of OSG(Open Scene Graph). To exploit a virtual simulation system with good performance, it has established a reasonable system of virtual objects, which works out the relationship of model object in the scene modeling with simulation object in the three-dimensional simulation making the whole operation process run with higher efficiency. The paper finally implements three-dimensional simulation of a new hybrid system by using the mechanism of simulation timer advancement and message-based event scheduling, which effectively combines discrete event with continuous system.

**Keywords:** hybrid system; material flowing production; OSG; 3D simulation

当前,仿真技术已经成为分析、研究各种复杂系统的重要工具,它广泛用于工程领域和非工程领域。仿真模型的建立,直接决定整个系统的运行过程。一般而言,仿真模型可分成离散系统仿真、连续系统仿真和混合系统仿真。目前,大部分控制系统都可以被看作是混合系统,所以混合系统的仿真成为近几年的研究热点<sup>[1]</sup>。

现有的仿真系统大多数是借助于一些比较成熟的仿真软件来实现其仿真过程,如: Arena、Em\_Plant、AutoMod 等。由于这些仿真软件功能强大,直接可以用来实现一个仿真系统,仿真度也比较高。但是,这些系统比较专业,仿真过程复杂,仿真过程和结果不

直观,更适用于一些专业人士的仿真实验,很难满足市场的需求。

为了更直观、更形象地表达仿真过程和仿真结果,本文应用虚拟现实技术来实现。这样我们不但可以得到所需的数据信息,而且还可以比较直观从虚拟的仿真场景中体验比较真实的仿真结果。目前在我国,虚拟现实技术多应用在城市规划、大型工程漫游、数字化酒店、展会、博物馆展示系统等领域。但作为一个制造业大国,虚拟现实技术在制造业的应用却比较少。在国外,这方面的应用相对比较成熟,早在 70 年代,波音公司就开始把虚拟现实技术应用在战斗机的设计中;随后, Wilson 等人 在 1996 年的项目中,实现了

<sup>①</sup> 基金项目:浙江省科技计划(2008C24014)

收稿时间:2009-08-24;收到修改稿时间:2009-09-21

在虚拟环境下的设备布局、物理系统、缓冲站和仓储系统等；之后，还有 Schaefer 等人设计了 ModFact 虚拟工厂系统和 LON 网连接，以控制物理生产系统等[2]。

本文主要研究的是，在利用跨平台的 OSG 开源库和 Qt 界面库所构建的虚拟现实环境中，实现连续/离散混合系统的三维仿真。

### 1 Qt与OSG结合的仿真环境的建立

#### 1.1 利用 QT 搭建仿真平台

Qt 是一个跨平台的 C++ 图形用户界面库，由挪威 TrollTech 公司出品[3]。相对于 MFC，MFC 功能虽然强大，但其 GUI 设计相对烦琐，消息机制层次复杂，软件产品也很庞大。而 Qt 不但具有优良的跨平台特性，其良好的封装机制使得 Qt 的模块化程度非常高，可重用性较好，对于用户开发来说是非常方便的。Qt 还提供了一种称为信号/槽(signals/slots)的安全类型来替代较老工具包使用的一种被称作回调的通讯方式，这使得各个组件之间的协同工作变得十分简单。

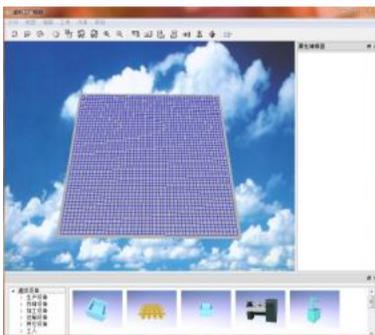


图1 仿真界面

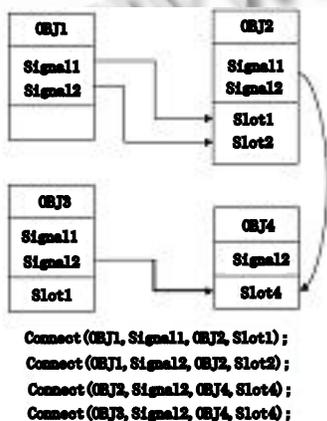


图2 信号与槽关系

本文首先利用 Qt 提供的 designer 工具，直接设计图形化界面，采用 Qt 主窗口框架布局来实现仿真界面的主窗口(如图 1 所示)。然后，利用 QT 的核心机制——信号与槽机制(如图 2 所示)[4]，来实现所有 Qt 对象的通讯。信号与槽关联的语法为：**connect (sender, signal, receiver,slot)**。不同的信号可以对应同一个槽，即不同的消息可以使用同一段代码，而 MFC 框架则只能一对一执行，不利于代码的重用并且代码量大[4]。

#### 1.2 利用 OSG 实现仿真的实时三维绘制和交互

为了满足高级绘制的需要，在 Qt 中支持 OpenGL 接口。使用 OpenGL 可以完成 3D 绘图。为了在 Qt 中使用 OpenGL，Qt 提供了 OpenGL 模块。在 Qt 中使用 OpenGL 的途径是使用 QGLWidget 类，它继承了基础窗口部件类 QWidget。QWidget 继承 QObject，是所有用户接口对象的基类，可接受鼠标、键盘和其它从窗口系统来的的事件，并把自己画在屏幕上[3]。



图3 OSG 层次结构图

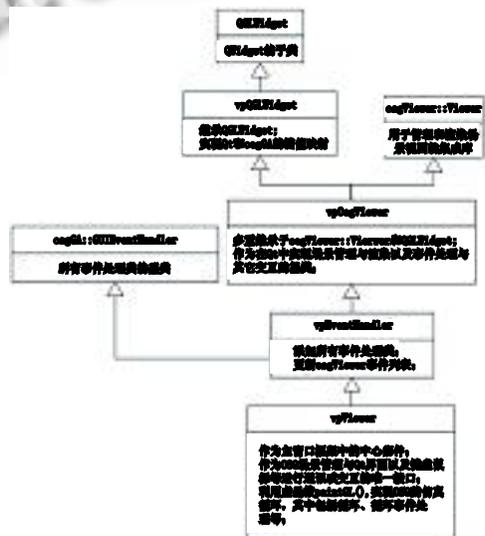


图4 类继承关系

为了实现场景复杂的三维仿真，需要一种高效的场景组织和管理形式。OSG 所采用的树型层次结构，具有高效的场景管理和渲染功能<sup>[5]</sup>。由于 OSG 对 OpenGL 进行了完全的类封装(其接口层次如图 3 所示)，你可以几乎不用写一条 OpenGL 语句就可以编写出非常绚丽的三维图形图像程序。因此，只要对 QGLWidget 类作一些多重继承的处理(类继承关系如图 4 所示)，并作为主窗口框架布局中的中心部件 (centralWidget)，就可以实现三维虚拟仿真的场景管理以及实时渲染和交互。

## 2 建立虚拟对象体系

为了对物流规划与生产过程中的各类虚拟对象进行仿真，需要建立各种对象模型，这不单是几何模型，更重要的是建立行为模型。只有当虚拟实体对象表现出与其对应的物理对象相一致的行为的时候，这个虚拟世界才会显得真实可信，用户才会“沉浸”其中。

面向对象的技术是实现虚拟对象、表现对象行为的理想技术，国内已有很多这方面的研究。本文的虚拟对象主要是包括参与生产物流仿真的虚拟设备类以及这些设备所生产、加工、运输等处理的工件类等。对于具有行为能力的虚拟设备而言，面向对象技术中的对象属性反映虚拟设备的属性；对象的方法反映设备的行为；对象的封装性使对象之间相互独立而又保持良好的接口；对象的继承性体现了设备的分类层次，使类库具有良好的可扩充性。

本系统首先根据物流生产仿真的需求，对各种虚拟设备及其它虚拟对象实体进行了抽象，建立了如图 5 所示的虚拟对象结构图：

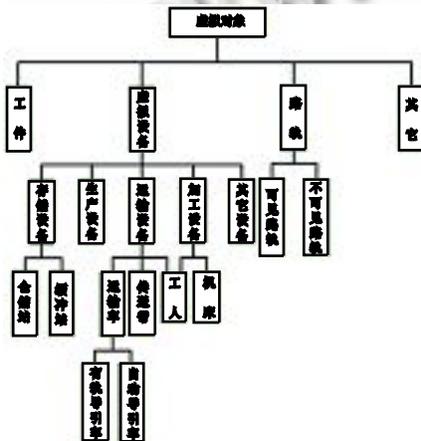


图 5 虚拟对象结构图

为了处理好场景建模时的模型对象和三维仿真时的仿真对象的关系，本文在类设计过程中，分别为两者对应的类设计了一个指向对方的成员指针。在场景建模时，我们不但可以改变三维模型对象的位置、大小等属性，同时还可以通过指向仿真对象的成员指针，对仿真对象的逻辑行为属性进行编辑；同时，在三维仿真过程中，仿真对象的仿真行为，会通过不断地改变其对应的三维模型或与其相关的三维模型的对象属性显现出来。

## 3 混合系统三维仿真

包含离散动态子系统和连续动态子系统并且两者又相互作用的系统称为混合系统<sup>[6]</sup>。本文综合考虑了生产物流仿真过程中离散部分和连续部分，结合两者在仿真过程中的自身特点，形成新的混合系统三维仿真。

### 3.1 仿真过程设计

在本文的第 1.2 节中，已经说明了如何利用 OSG 实现仿真的实时三维绘制和交互。其中本文的生产物流的三维仿真过程也是一个循环地实时三维绘制过程。在图 4 的类继承关系中，我们可以发现，整个三维仿真过程可以写成一个事件处理类，在 Qt 界面中单击仿真“运行”项，就可以利用 Qt 的信号/槽机制，在槽函数中，触发当前事件。在 OSG 的仿真循环过程中，可根据当前事件的类型，不断更新当前的事件处理方法，将暂时不起作用的事件从 osgViewer 事件列表中删除，将优先级高的事件首先处理，使得整个三维仿真过程高效地可控制地循环进行。

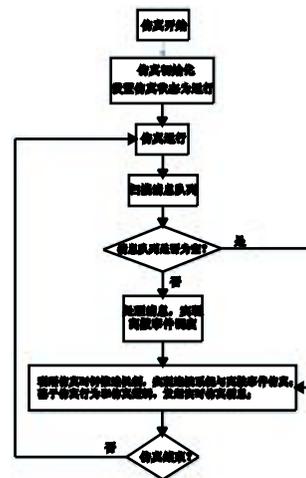


图 6 仿真过程流程图

有了 OSg 的支持,我们只需关心该仿真事件处理类的设计。首先,本文将仿真过程分为仿真开始、仿真运行、仿真暂停和仿真结束四个状态。一旦仿真开始,仿真时钟也开始启用,仿真系统将一直处于仿真运行或仿真暂停状态,直到接收到仿真结束的消息为止。对于仿真状态的控制也是通过 Qt 的信号/槽机制实现,因此用户可以随时方便地改变仿真状态。

本文所设计的仿真过程(如图 6 所示),是基于连续系统与离散事件相结合的混合三维仿真过程,因此对于时钟推进和事件调度机制的合理设计尤为重要。接下来将对这两方面的设计进行详细阐述。

### 3.2 仿真时钟推进机制

仿真时钟用于表示仿真时间的变化。在连续系统仿真中,是将连续模型进行离散化而成为仿真模型,仿真时间的变化是基于仿真步长的确定,可以是定步长,也可以是变步长,因此仿真时钟就体现在该步长的推进上<sup>[7]</sup>;在离散事件系统仿真中,其状态本来就只在离散时间点上发生变化,因而不需要进行离散化处理,而且,两个相邻发生的事件之间系统状态不会发生任何变化,因此仿真时钟可以跨过这些“不活动”周期,从一个事件发生时刻推进到下一事件发生时刻,仿真时钟的推进出现跳跃性<sup>[7]</sup>。

本文的仿真时钟利用 Qt 中的 QTimer 类来控制推进,当仿真运行开始, QTimer 就被创建并启动。由于连续系统仿真和离散事件系统仿真有着不同的时钟推进机制,因此需要对其进行同步处理。

本文将所有仿真时钟分成三类,分别是仿真全局时钟  $gt$ 、离散事件仿真局部时钟  $dt$ 、连续系统仿真局部时钟  $ct$ <sup>[8]</sup>。仿真运行开始后,全局时钟  $gt$  设置为当前的物理时钟,并一直以实际物理时钟向前推进;当某个离散事件发生时,离散时钟  $dt$  重新设置为全局时钟  $gt$  的当前值,并根据最早离散事件的发生向前推进;如果某个事件引起了一个连续的仿真过程,则当连续过程正式开始时,设置连续时钟  $ct$  为全局时钟  $gt$  的当前值,根据定长时间步长  $\tau$  向前连续地推进,并且可以在适当的时间,通过重置  $ct$  为  $gt$  的当前值,将连续时钟重新校正到物理时钟的准确值。

根据上述方法,可将整个混合系统的推进用仿真时钟关系图来表示(如图 7 所示),其中每个离散事件在图中用  $e_x$  表示。离散事件的调度是基于消息机制实现的,此内容将在 3.3 节作详细说明。在仿真时钟关

系图中,离散事件  $e_1$  在调度之后,引起了一个连续过程,因此在为其设计一个离散时钟  $dt_1$  后,还会产生一个连续时钟  $ct_1$ ,这两者的关系如公式(1)所示,其中  $t_1$  表示仿真对象行为属性所设置的初始延时。

$$ct_1 = dt_1 + t_1 \tag{1}$$

由于整个虚拟仿真过程实际上是一个连续的三维重绘过程,在重绘过程中往往会有一定的延时,因此在连续时钟  $ct_1$  经过一段时间后,需用  $gt$  对其进行校正,以保证仿真结果的精确性。另外,离散事件  $e_2$ 、 $e_7$ 、 $e_{10}$  引起同一种离散过程,这些事件仿真成一个间断性的连续过程。因此在为每个事件各设计一个离散时钟  $dt_2$ 、 $dt_7$ 、 $dt_{10}$  后,还需设计一个共同的连续时钟  $ct_2$ 。其中,连续时钟  $ct_2$  表现出间断性,它的连续过程是以定长时间步长  $\tau_2$  向前推进,一旦下一个同种离散事件被调度,该间断性连续时钟  $ct_2$  将被重置为当前的  $gt$ ,其中重置时间可用公式(2)表示:

$$gt = dt_x + t_x (t_x \geq 0) \tag{2}$$

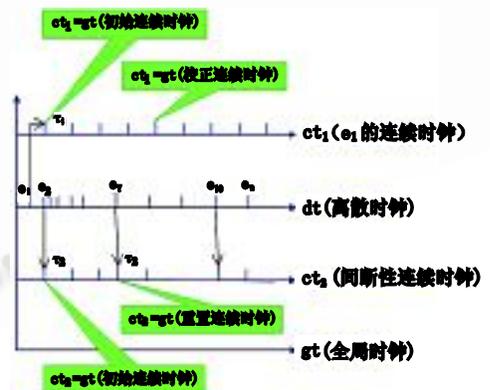


图 7 仿真时钟推进机制

### 3.3 基于消息的离散事件调度策略

基于消息的离散事件仿真方法是将面向对象的程序设计方法、分布式仿真和并行算法的概念结合起来的一种更加灵活直观的模型仿真的方法。其方法与传统的仿真方法在表达能力上相差并不很大,但它为分布式仿真提供了一个更加自然的开发环境,更真实地反映了现实世界中的对象<sup>[9]</sup>。

由于本系统所建立的仿真对象模型,不但具有几何特性,还具有行为特性。在仿真过程中,用户可以

改变仿真对象的行为属性,从而影响整个虚拟场景中某些几何模型属性;同样,由于仿真模型在仿真中,其几何位置或其它几何属性发生变化,也会影响其自身的逻辑行为,以及与之相关的其它仿真模型的逻辑行为。为了更好地实现这种用户与虚拟对象、对象自身与对象之间的交互,本文采用了基于消息的离散事件调度策略<sup>[10]</sup>。

在本系统的基于消息的离散事件仿真过程中,整个系统被仿真成为一个集合,这个集合不仅表示虚拟场景中所有三维模型的集合,还表示其对应的行为模型的集合,它们之间通过消息机制来进行通信。由于消息发送者和接收者本身就建立了行为模型,因此对于消息的设计相对比较简单。

在传统的离散事件仿真环境下,事件按事先规定好的时间和顺序执行。然而,这种限制对于三维仿真系统来说常常会发生错误。例如,一台机床加工工件时,一般都是按流水线定时定长地进行加工,并生成加工后的产品;但在三维仿真过程中,往往会出现加工条件不会定时定长地满足,因为在实时三维绘制中,不能保证仿真时钟与仿真场景的完全协调,经过一段时间,有可能会发生仿真场景与仿真数据的不一致,使得仿真过程和仿真结果不真实。而采用基于消息的机制,可以在场景条件和仿真条件同时满足的情况下,向系统发送一条加工事件的消息,实现仿真事件的调度。

#### 4 实现结果

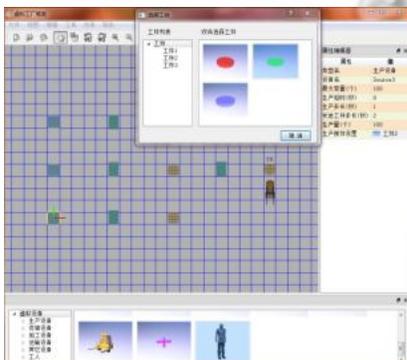


图8 建立虚拟仿真环境

首先,需建立虚拟仿真环境。本系统提供了多种视图模式,在建模过程中可选择更易布置场景的顶视

图模式(如图8所示)。在建模过程中,只要双击下方模型的缩略图,就可以在场景中添加新的虚拟设备,所有设备都可以进行复制、粘贴和删除操作,还可以进行模型的拖放、放大缩小、旋转和对齐等编辑,最重要的是在建立虚拟对象的三维模型的同时,建立了其对应的行为模型,即可设置对象的仿真属性,如图8所示。

接下来就是通过本文所采用的仿真时钟推进机制和基于消息的事件调度方法,对图9的生产物流过程的混合系统三维仿真实例进行解析。

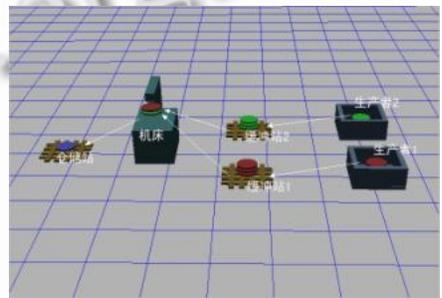


图9 混合系统三维仿真实例

在实例中,生产者1和生产者2作为本系统的生产设备,具有生产工件、传送工件等行为特征。当仿真开始,生产设备将首先发送生产工件的消息来进行生产事件的调度。生产事件的调度将引起一个连续生产的过程,这是由生产者本身的行为模型所决定,因此在其设计一个离散时钟  $dt_1$  后,还会产生一个连续时钟  $ct_1$ , 这两者的关系是:  $ct_1 = dt_1 + \text{生产延时}$ 。事实上,这个连续的生产过程,还可以看成是  $n$  个等步长的离散事件,一旦仿真时钟推进到一定时刻,就会触发一个生产事件发生,只是这些引起同一行为的事件只需内部时钟推进即可实现,无需外部消息来调度;另外,机床作为本系统的加工设备,具有加工工件、传送工件等行为特征,其行为都无法产生一个始络如一的连续过程,是典型的连续系统和离散事件仿真的结合。因为如果想要实现一个加工事件的发生,首先需要满足加工的条件,比如说机器设备加工处是否存在需被加工的工件,一旦加工条件完全满足,系统将会发送一条加工事件的消息,接着才会触发加工事件产生,而整个加工过程一般也是等步长的,只要条件满足,这个过程就会连续发生;最后,对于缓冲站、仓储

站等存储设备以及具有存储能力的生产设备和加工设备来说,不但具有存储工件的行为特征,还具有传送工件的行为能力。其传送过程可以看作一个间断性的连续过程,与加工过程类似,只有满足自身有工件可传和下一站可接受工件的传送条件,这个传送事件才会发生,传送过程才会连续进行。

## 5 结语

本文主要介绍了基于 **OSG** 实现的混合系统三维仿真的实现方法,并结合 **Qt** 界面库构建了较为简单的虚拟现实仿真平台。**OSG** 树型层次结构很好地解决了复杂虚拟场景的管理和渲染,利用 **OSG** 插件库可对大多数二维和三维的格式模型进行采集,建立起更加真实的虚拟仿真环境,使整个仿真过程更加形象。

对于混合系统的仿真,本文采用的基于消息的事件调度,可以更加灵活地与虚拟对象的行为模型相结合,更好地适应三维虚拟场景的事件调度。为了更好地解决离散事件和连续系统的混合仿真,必须设计合理的仿真时钟推进机制,本文所采用的时钟机制,明确了不同仿真过程的时钟设计,使整个仿真的过程和结果更加形象、更加准确。

目前该仿真平台只是一个原型系统,我们将在此基础上进一步完善,最后构建一个供虚拟工厂规划使用的自主开发的虚拟现实环境,实现虚拟工厂的建筑设计规划、生产流水线规划、物流规划等,以及实现实时交互和三维仿真。

## 参考文献

- 1 郑刚,潭民,宋永华.混杂系统的研究进展.控制与决策,2004,19(1):7-12.
- 2 Schaefer D, Borgmann C, Scheffter D, Factory Planning And The Potential Of Virtual Reality. AVRII and CONVR 2001 October.
- 3 Blanchette J, Summerfield M. C++ GUI Programming with Qt4. Prentice Hall, 2006.
- 4 顾国松,范永刚. Qt Framework 的研究与应用.机电工程,2008,25(9):85-88.
- 5 程菊明,李梅莲,刘连芳.虚拟场景的管理及其在 OSG 中的应用.微计算机信息,2008,24(6):280-281.
- 6 莫以为,萧德云.混合动态系统及其应用综述.控制理论与应用,2002,19(1):1-8.
- 7 熊光楞,肖田元,张燕云.连续系统仿真与离散事件系统仿真.北京:清华大学出版社,1991.
- 8 王永超.连续/离散混合型制造系统的生产过程虚拟仿真建模.系统仿真学报,2008,20(9):2445-2453.
- 9 曹阳,张维明,徐磊.基于消息的离散事件仿真方法.小型微型计算机系统,2000,21(7):752-755.
- 10 Prasant V. Rekapalli, Julio C. Martinez. A message-based architecture to enable runtime user interaction on concurrent simulation-animations of construction operations. Washington D.C: Proc. of the 39th conference on Winter simulation:40 years!The best is yet to come table of contents. 中国科学院软件研究所 <http://www.c-s-a.org.cn>