

# 大型露天矿卡车调度系统面向对象的仿真建模

张 婕 张 莹 徐文立 赵 勇

(清华大学自动化系,北京 100084)

E-mail:zhangjie01@mails.tsinghua.edu.cn

**摘要** 大型露天矿卡车调度系统对提高矿山经济效益和实现矿山可持续发展具有重要的意义。该系统是规模大投入高的复杂系统,对其进行设计、控制和研究都离不开系统仿真。该文针对大型露天矿卡车调度系统仿真的总体需求,采用面向对象方法进行仿真设计,并以首钢水厂铁矿卡车调度系统为例,具体描述了面向对象的仿真建模,体现了面向对象方法建模的优越性。

**关键词** 露天矿 卡车调度 面向对象 仿真建模

文章编号 1002-8331-(2003)29-0214-04 文献标识码 A 中图分类号 TP391.9

## The Simulation Modeling for Truck Dispatching System in Surface Mine with Object-oriented Method

Zhang Jie Zhang Ying Xue Wenli Zhao Yong

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract:** The truck dispatching system has great meaningfulness to improve economic benefits and implement sustainable development in mine industry. It is a complicated system with large scale and high investment. It is necessary to design, control and research it with a simulation system. According to the requests of the whole truck dispatching system, the realization of simulation system by Object-oriented method is introduced in this paper. The simulation modeling is described concretely through an example of a system in Shougang Shuichang iron mine, which shows the advantages of Object-oriented method.

**Keywords:** surface mine, truck dispatching, Object-oriented, simulation modeling

### 1 引言

运输环节是露天开采生产过程各环节的动脉和纽带。卡车运输的灵活性使其成为露天矿的主要运输方式之一。大型露天矿卡车调度技术是一项效果显著的国际先进技术。卡车调度系统通过对系统资源的优化配置、对待令卡车的最优指派和对卡车行驶路线的优化选取,实现有效生产时间的增加和生产能力的提高。它还能节省投资、降低生产成本和强化矿山管理。大型露天矿卡车调度系统对提高矿山经济效益和实现矿山可持续发展具有重要意义。

大型露天矿卡车调度系统是规模大投入高的复杂系统。建立其仿真系统后,可以重复使用和灵活改变,可以对调度系统进行充分的研究。仿真研究可以对整个调度方案进行检验,对其调度效果进行评价。仿真研究能够明显降低现场调试的风险,减少现场调试对生产运行的影响,检验调度系统的稳定性和可靠性,并辅助确定实际系统的部分参数等等。当矿山运输系统资源配置调整或生产管理变化时,仿真系统能为管理和技术决策提供有力的支持。

国内对卡车调度系统的研究不仅能节约资金投入,提高矿山经济效益,更重要的是能逐步打破国外对先进技术的垄断。

减少我国露天矿企业对国外技术的依赖。近年来,我国在卡车调度理论和仿真建模方面取得了一定的进展,但总体上还处于设计、研究和试验阶段。由于条件限制,仿真一般采用面向过程的传统方法,采用面向过程语言进行开发<sup>[1]</sup>,对实际系统的仿真存在优化不足、模块化继承性差等问题。该文结合国家科技攻关计划十·五课题“大型深凹露天矿高效运输系统及强化开采技术研究”,采用面向对象方法对调度系统建立仿真模型,使仿真系统建模过程与人们对现实世界的认识过程相一致,并具有结构性强、模块化好和可扩充性优等特点。

### 2 大型露天矿卡车调度系统仿真的总体需求

露天矿的卡车运输过程是卡车将电铲采出的矿石或废石运到破碎站、育排点。调度系统目的是:在自动化硬件环境下,根据产量计划、运行计划合理配置系统资源,以实现班产量最大或固定产量下系统资源的最小使用。保证实时调度的硬件设施包括 GPS 系统,卡车、电铲和卸点上的智能终端,无线收发总站装置,中心控制机及管理机等。调度系统总体结构如图 1 所示。系统仿真的需求包括两个部分。一是模拟卡车调度系统的矿山应用环境,为卡车调度软件提供应用平台。通过对矿山

基金项目:国家科技攻关计划十·五课题“大型深凹露天矿高效运输系统及强化开采技术研究”

作者简介:张婕(1976-),女,工程师,硕士,研究方向为计算机仿真、调度系统及可视化建模。

应用环境的概括抽象,采用软件方法模拟与调度系统相关硬件环境的重要功能,提供调度软件需要的多种数据信息,同时处理调度软件返回的各种数据信息。二是结合随机服务系统理论(排队论)和系统实际要求提出多项系统性能指标,在模拟软件应用环境中进行数据采集、提取和统计,由性能指标检测整个调度系统对矿山装运卸生产过程的调度效果。同时为调度软件模型建模参数的确定提供数据支持。

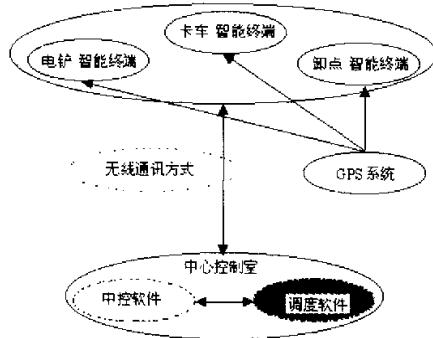


图1 调度系统总体结构图

卡车调度仿真系统为实现调度系统总体需求必备的基本功能包括以下六个部分。一是对矿山装运卸过程的模拟,包括出车过程、采装过程、运输过程、翻卸过程和其他过程的软件实现。二是对系统无线通讯方式的模拟,例如中心控制室与各终端之间采用的双向通讯方式、普通信息通讯的令牌环方式、调度信息通讯的中断方式等。三是对智能终端主要功能的模拟,包括相关信息的采集如卡车起斗信息、所有终端编号和采装品种信息等。四是对中控软件数据处理的模拟,主要是为调度软件提供各种数据信息并处理调度数据信息。五是对GPS系统的模拟,实现对系统中所有实体的位置进行定位。六是系统性能指标的确立和实现,在模拟软件应用环境中进行数据采集、提取和统计,得出系统性能指标,从而反映调度系统对生产过程的控制效果。

### 3 面向对象方法的优势

采用面向对象的方法能更加有效地对露天矿卡车调度系统进行仿真。所谓面向对象方法就是以事物(对象)的行为为中心来考察问题,就是将现实世界模型化。对象是自身具有的状态特征及操作结合在一起的独立实体。这里的操作是对对象的状态进行的操作。相同属性和方法的一组对象的集合就构成类。对象之间的联系通过消息来实现。对象和类的继承关系和消息等对应了真实系统中的事物间的各种关系<sup>11</sup>。

仿真系统通常的建模方式是面向问题和运行过程的建模方式。这种方法对系统进行分析设计和实现是一个瀑布模型。它和人们认识系统的进程和方法是不一致的,并且存在着问题发现晚和修改困难等不足。面向对象方法建模和编程体现了人们的思维方式,使仿真系统易于维护和修改,使系统具有好的可靠性和维护性。面向对象的仿真方法强调系统的总体结构,而不是传统仿真方法强调的系统涉及的过程。整个仿真系统的行为表现为对象之间的交互行为,使仿真系统自然模块化。

露天矿卡车调度系统是一个离散事件系统。系统状态只在随机的时间点上发生变化,系统对象的状态属性难以用时间函数表示。而面向对象的离散事件系统模型非常接近于真实系

统,能比较完整的应用面向对象的方法<sup>12</sup>。同时,采用面向对象方法建模为仿真实现可视化功能提供了更好的支持<sup>13</sup>。面向对象的建模方法为采用图形仿真实际系统的运行情况,提供了良好的接口和数据支持。

### 4 大型露天矿卡车调度系统的仿真建模

离散系统建模常常用流程图或者网络图来表示临时实体在系统内部经历的过程、永久实体对临时实体的作用以及它们之间的逻辑关系。面向对象仿真建模的关键在于识别并且定义出组成系统的对象,正确描述出它们之间的相互作用和关系,并将它们组成系统的对象<sup>14</sup>。面向对象的仿真建模框架(Object-oriented Simulation Modeling)主要由建模框架和控制框架构成。露天矿卡车调度仿真系统的具体设计和实现,将针对系统需求从仿真模型的基础和仿真模型的核心两个部分进行阐述。内容包括仿真建模的基本结构、仿真结构和仿真建模结构的实现。这三种结构实际上是对仿真模型中各种类的划分。下面结合首钢水厂铁矿的卡车调度系统,选用面向对象语言Delphi6.0来建立模型,并且针对卡车调度仿真模型论述面向对象建模的优点。

#### 4.1 仿真模型的基础

面向对象方法建立的仿真模型的基础包括基本结构和仿真结构。基本结构是具有般功能的各种类。这些类不是直接面向仿真而是构造各种仿真类的基础<sup>15</sup>。例如:在卡车调度仿真系统中仿真类包括了电铲类、卡车类和卸点类。这些类的每一个对象都存在各自全局的List中来保存它们的数据。这些List就是Tlist类的具体对象。Tlist类虽然没有直接面向仿真但却是构造仿真类的基础。同时Tlist类还为仿真结构的事件管理提供了方法。这些提供一般功能的类构成了仿真系统的基本结构。

仿真结构提供基本的仿真功能,如随机数的产生,数据的采集与统计分析等。在卡车调度系统中,对卡车运行时间、电铲装车时间和卸点卸车时间等进行仿真,需要按照其发生规律模拟。这就需要产生随机数。对仿真时钟推进和事件表的管理如事件的产生、插入和排序等也属于仿真结构。由于离散事件系统由大量的事件进行驱动,所以事件表管理类就是离散事件系统仿真核心。它的主要功能是对不同的事件按照时间进行插入、排序、删除或按照其它属性进行查找、删除。

#### 4.2 仿真模型的核心

仿真建模结构是仿真模型的核心,它是直接用于构造仿真模型的各种类,主要包含动态实体类、事件类、资源类和策略选择类等。资源类是为动态实体提供某种服务的类<sup>16</sup>。在露天矿卡车调度系统中资源类就是服务台类(station)。仿真系统中还将服务台类细化为包括卸点类(dump)和电铲(Excavator)类。动态实体是仿真过程中的动态成分,在卡车调度系统中动态实体类指卡车类(Truck)。由于卡车调度系统的复杂性,系统中的动态实体并不象简单系统中的动态实体一样接受服务后就退出系统,而是在系统中不断循环。卡车类对象按照一定的规律进入系统经过相应的处理如排队、等待和服务,然后离开资源类的对象,运行到另一个资源类对象接受相应的处理。卡车对象也会在一定情况下退出系统。下面是对仿真建模结构的事件类和各种实体类的描述。

##### 4.2.1 仿真建模结构的事件类设计

对露天矿卡车调度系统,系统状态由各个实体的状态决

定。譬如原来有  $n$  个电铲工作,现在新添了一个电铲工作,那么系统状态改变。这个状态改变就是由某时刻某电铲开启事件导致的。在现实系统中令系统改变的事件是非常繁杂的。事件在整个系统中有着重要的地位。事件的抽象是事件表管理的基础,面向对象的方法的特点就是有抽象性,而不需要将各种事件进行罗列。对系统中的事件进行抽象得出不同的属性,在仿真系统中模拟不同的事件只需要对事件类的属性进行不同的赋值。下面是事件类的属性:

BeginTime:事件发生时间  
ObjectId:对象所属类编号  
包括卡车、电铲、卸点和路径;  
Index:对象编号,指各个对象的具体编号;  
TypeId:对象的工作类型  
包括空、矿石、岩石、大块和道砟;  
Status:对象的事件状态  
包括关闭、初始、等待、服务、故障;

这样通过对系统中各种事件的抽象得出了事件类的属性。它能完整地反映计算机调度系统中的各种事件。各个事件在系统中起到了驱动系统运行的作用。

#### 4.2.2 仿真建模结构的各实体类设计

面向对象仿真建模中至关重要的是仿真建模结构中的动态实体类和资源类的实现。在构造仿真建模结构的时候,和人们认识卡车调度系统一致,根据对象在系统的不同作用分成了不同的类。在实际系统中,人们看到了卡车工作在电铲和卸点之间实现物流。卡车的工作是必须基于道路的,而道路是由各个节点组成的路段构成。卸点又分为破碎站和直排点。卸点和电铲点是给卡车提供服务的,从排队论的角度看也就是服务台。节点、道路、卡车、电铲、直排点和破碎站是构成实际卡车调度系统的大多数物体。不同的物体抽象出不同的类。各类的属性包括公有属性和私有属性;各类的方法是为了实现一定目的对类的某些属性所进行的操作,这些数据和操作经过封装有很好的模块化。这样随着调研的深入和整体方案的更新,对仿真模型的修改和扩展是非常方便的。文章以图 2 为例叙述面向对象的仿真建模结构中动态实体类和资源类的实现。

仿真模型中的 Entity 类对应了实际系统中的实体。它的属性 Id 是每个对象自己的唯一标识。属性 Objt 用来区分不同的实体:电铲、卡车和卸点。属性 phyproduction 直接体现了系统指标——各对象的生产效率。Entity 类的方法包括 Run()、DoEvent() 和 GenerateEvent()。通过 Run() 和 DoEvent() 实现仿真建模对象和控制框架对象之间信息交流。GenerateEvent() 用来产生系统的各种事件;Run() 用来处理对象和时间有关的内容,并且产生相关的事件。DoEvent() 用来处理各种事件。Entity 类是一个非常抽象的父类。它派生出卡车类 Truck 和服务台类 station 两个子类,即仿真建模结构中的动态实体类和资源类。卡车类就对应了实际系统中的临时实体,而服务台类对应了实际系统中的永久实体。从图中可以看出这两个类区别很大。譬如卡车类的私有属性道路 Path 和前方节点 NextNode 指的是给卡车指派的当前道路和卡车运行中的前方道路节点。卡车类的方法 CalcuNextNode() 就是实现前方道路节点的监测。这两个方法的构造模拟实现了卡车智能终端和 GPS 系统的部分功能。服务台类的私有属性等待卡车队列 WaitTruckList 描述了各服务台前排队等待的卡车的状况。服务台类的公有属性 MaxQueueLength 和 CurQueueLength 描述了各服务台的系统指标最大队长和当前队长。其方法 OnTruckArrived() 和

OnTruckLeft() 用来处理卡车到来和离开时的事务。它们是服务台对象和卡车对象之间进行信息交流的接口。卡车类和服务台类继承了 Entity 类的属性和方法,譬如服务台类的方法 Run() 中对排队卡车进行了处理。对服务台类进行细化可以派生出电铲类和卸点类。卸点类(dump)和电铲类(Excavator)继承了服务台类大量相同的属性和方法。它们之间一个显著的区别在于其重要的方法卸车 UnLoadTruck() 和装车 LoadTruck()。电铲类还有其它一些私有方法如 Wait()、Start()、Serve()、Stop() 和 Close() 用来处理不同的电铲事件。同样卸点类(dump)派生出破碎站类(Crusher)和直排类(Yard)。这两种卸点在服务卡车的方式上是完全不同的。它们继承了卸点类(dump)的方法 UnLoadTruck(),但是在方法的具体实现上存在着差别。以上介绍了面向对象仿真模型中仿真建模结构各类的主要属性和方法。

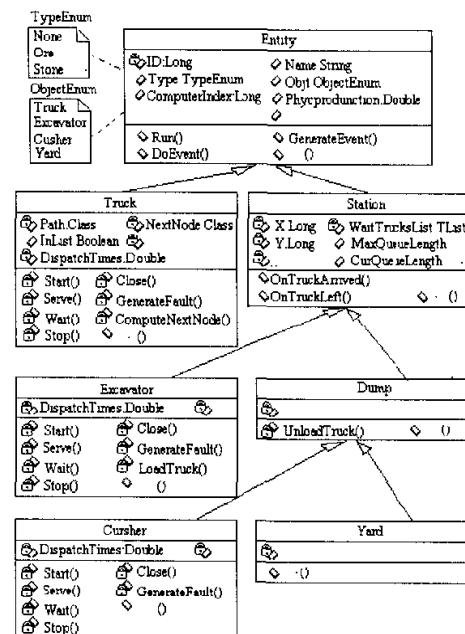


图 2 仿真系统实体类及其关系设计图

#### 4.2.3 仿真模型对卡车调度系统的描述

以上通过逐步识别和定义组成露天矿卡车调度系统的对象,构建了系统的基本结构、仿真结构和仿真建模结构,从而建立了仿真模型。仿真逻辑控制 Simulation Logic Control 决定主控制流包括仿真时钟的推进和事件表的管理等;在界面上对于仿真实验参数可以进行直接的修改,并显示系统的性能指标,还可以进入动画显示界面。

下面具体地采用面向对象建模方法描述临时实体卡车在系统内部经历的过程、永久实体电铲和卸点对卡车的作用以及它们之间的逻辑关系:某台卡车进入调度系统后对象 Truck 根据调度指令信息生成 Path 信息,通过 Run() 配合时钟推进由 CalcuNextNode() 不断监测前方节点。当卡车到达电铲产生卡车到达事件,卡车和电铲之间发生联系。这时电铲类具体对象的方法 OnTruckArrived() 进行处理或者让卡车排队等待,或者进行装车。进入电铲装车调用电铲方法 LoadTruck() 实现了电铲对卡车的装车功能。电铲装车完毕,由电铲方法 OnTruckLeft

(1) 处理卡车离开,产生信号请求调度。当卡车得到调度信息产生卡车离开事件,卡车离开。运行过程同上。卡车运行到达破碎站产生事件,破碎站 OnTruckArrived()进行处理或者让卡车排队等待,或者由 UnLoadTruck()进行卸车。卸车完毕,破碎站 OnTruckLeft()处理卡车离开,产生信号请求调度。卡车得到调度信息产生卡车离开事件,卡车离开。同时,在任何时候卡车、电铲和卸点都有可能发生故障。当发生故障则产生相应的故障事件。各种事件都是在事件管理类中进行插入、排序和删除的。电铲和破碎站随着时钟推进不断处理排队等待的卡车。这样,清晰地实现了对露天矿卡车调度系统的描述。

#### 4.3 面向对象方法建立卡车调度系统仿真模型优点

采用面向对象的方法建立露天矿卡车调度系统仿真模型完全符合人们认识系统的方式。面向对象的仿真模型由各个仿真结构构成,而仿真结构又由各个类构成,因此模型的模块化非常好。面向对象建模方法随着对实际系统认识的加深可以相应地进行模型修改,而不必象面向过程方式一样需要对系统有一个彻底的掌握,否则就难以修改。譬如对于系统无线通讯方式的模拟,在仿真模型建立后,实际系统无线通讯方式有了很大的变动。针对现在的通讯方式只需要在 Entity 类的属性中添加通讯编号 CommunicationIndex,并对 Run() 内部稍做修改,接口形式无需任何改动。这样就避免了面向过程建模中常出现的对模型整体从上而下地进行修改。可见面向对象的仿真建模方式有着良好的扩展性。此外,由于面向对象方法的继承性改变

(上接 210 页)

B,还推出了 $\sim A \rightarrow \sim B$  以及 $\sim B \rightarrow \sim A$  这样两个规则,而且 $\sim B \rightarrow \sim A$  的可信度更高,更加有利于人们做出决策。另外,还可以看到, $\sim A \rightarrow \sim B$  和 $B \rightarrow A$  并不同时成立,说明了在关联规则的推导中两者并不等价。

### 8 算法评价

#### 8.1 提高了关联规则产生式的完整性

(1) 从形式上,引入了负规则,在事务数据库相同的条件下,扩充了原有算法的挖掘结果。

(2) 从推导的前提来看,原有算法在推导 A 和 B 的关系时,要求  $A \cup B$  也是频繁集,而新算法只要求 A 和 B 是两个互不相交的频繁集。拿上面的例 2 来看,如果 minsup 定为 0.3,原有的算法就什么都发现不了,而新算法就能得到 $\sim A \rightarrow \sim B$  和 $\sim B \rightarrow \sim A$  的规则,而且可信度比较高。这就揭示了两个频繁事集如果不是同时频繁出现的话,可能存在的一种关系。

#### 8.2 提高了关联规则产生式的有效性

通过引入兴趣度和负规则,避免了原有算法可能推出的矛盾结论,同时提供了更加令人信服的挖掘结果,切实提高了结论的有效性。

#### 8.3 没有降低运行效率

通过一系列的定理和推论的分析,新算法中也只用到了  $P(A)$ 、 $P(B)$  和  $P(A \cup B)$ ,这些都是原有算法本身需要的数据,而且未曾涉及到任何复杂的搜索和计算过程。因此同原算法相比,没有增加额外的系统开销。

#### 8.4 具有可扩充性

在该文的讨论中,以兴趣度和 1 的关系作为出发点,得到了新的算法。对于一些具体的应用,可以提出最小兴趣度

了传统方法中对于不适合要求的用户定义数据类型进行改写和重写的方法,还克服了传统方法设计难以重复使用造成资源浪费的缺点。最后仿真系统建立了仿真模型还需要设计仿真程序。普通的建模方式存在着模型和程序之间的转换问题,而采用面向对象方式建立的仿真模型有利于模型和程序之间无缝转化。

### 5 结论

通过面向对象方法对大型露天矿卡车调度系统进行仿真建模,对象对应着调度系统中的事物,突出了仿真模型优良的易理解性、可维护性和可扩展性。面向对象建模方法不仅为动画显示提供有力支持,还减少了传统建模方式存在的模型和程序之间的转换问题。此仿真系统在国家科技攻关计划十.五课题“大型深凹露天矿高效运输系统及强化开采技术研究”中取得了良好的应用效果,成为设计、控制和研究露天矿卡车调度系统的有力工具。(收稿日期:2003 年 6 月)

### 参考文献

1. 冯允成,邹志红,周泓.离散系统仿真[M].机械工业出版社,1998-12
2. 李仲学,赵文广,李翠平.离散事件仿真及其应用的某些新进展[J].计算机仿真,1999;(10)
3. 吴重光主编.中国系统仿真学会组织编写仿真技术[M].化学工业出版社,2000-05
4. 冯惠军,冯允成.面向对象的仿真综述[J].系统仿真学报,1995-09

(minint) 的要求,  $\text{minint} > 1$ , 当规则的兴趣度大于最小兴趣度时,才能作进一步的有效性判断。对于这个要求,还是可以根据前面定理的推导过程,利用现有的数据在算法相应的地方加入对最小兴趣度 (minint) 的判断,实现在不增加系统开销的同时,提高结果满意程度的要求。

### 9 结论

关联规则是数据挖掘的重要方法之一,原有产生规则的算法由于其自身的局限性,可能会推导出相互矛盾的结论。通过分析,在引入兴趣度和负规则的前提下,提出了在不降低运行效率的同时提高挖掘出的关联规则的有效性和完整性的算法。从算法的分析过程和应用举例来看,得到了比较满意的结果。下一步的工作是要将这个算法应用到笔者正在开发的一个数据挖掘系统当中,希望通过进一步的应用能够提出更加完善的改进方案。(收稿日期:2002 年 10 月)

### 参考文献

1. Agrawal R et al. Database Mining: A performance Perspective[J]. IEEE Transaction on knowledge and Data Engineering, 1993
2. Agrawal R, Imielinski T, Swami A. Mining association rules between sets of items in large databases[C]. In: Buneman P, Jajodia S eds. Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD Conference on Management of Data, New York: ACM Press, 1993: 207-216
3. 朱扬勇,周欣,施伯乐.规则型数据挖掘工具集.AMINER[J].高技术通讯,2000;10(3):19~22
4. 周欣,沙朝峰,朱扬勇等.兴趣度—关联规则的又一个阈值[J].计算机研究与发展,2000;37(5):627-633
5. 程继华,施鹏飞.多层次关联规则的有效挖掘算法[J].软件学报,1998;9(12):937~941