

离散事件系统仿真原理与 AutoMod的应用

王国新 阎 艳 王爱娟 编著



原子能出版社

离散事件系统仿真原理与 AutoMod 的应用

王国新 阎 艳 王爱娟 编著

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

离散事件系统仿真原理与 AutoMod 的应用/王国新,
阎艳,王爱娟编著. —北京:原子能出版社,2010.12
ISBN 978-7-5022-5131-4

I. ①离… II. ①王… ②阎… ③王… III. ①离散系
统(自动化)—系统仿真—高等学校—教材 IV.
①TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 245241 号

内 容 简 介

本书共六章,可分为四个部分。第一部分主要是建模与仿真的相关基础,包括仿真的基本原理,参数化仿真建模方法,仿真优化基本原理及其应用。第二部分系统介绍了离散事件系统仿真软件 AutoMod 的使用,包括进程系统、运动系统、视频生成模块、图形建模工具和模型通讯模块。第三部分结合作者实施仿真项目的经验,以烟草自动立体仓库、汽车涂装生产线和集装箱港口物流系统为例,阐述了仿真模型的构建过程及相关技巧。第四部分介绍了仿真输出分析方法以及 AutoMod 的统计分析模块。

本书可作为高等院校制造工程、工业工程、管理工程和物流工程等专业本科生、研究生的教材,同时也可作为应用 AutoMod 软件实施仿真项目的企业工程技术人员和管理人员的培训或自学教材。

离散事件系统仿真原理与 AutoMod 的应用

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 王 青

技术编辑 冯莲凤

责任印制 潘玉玲

印 刷 中国文联印刷厂

经 销 全国新华书店

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 13.75 字 数 343 千字 彩 插 2

版 次 2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

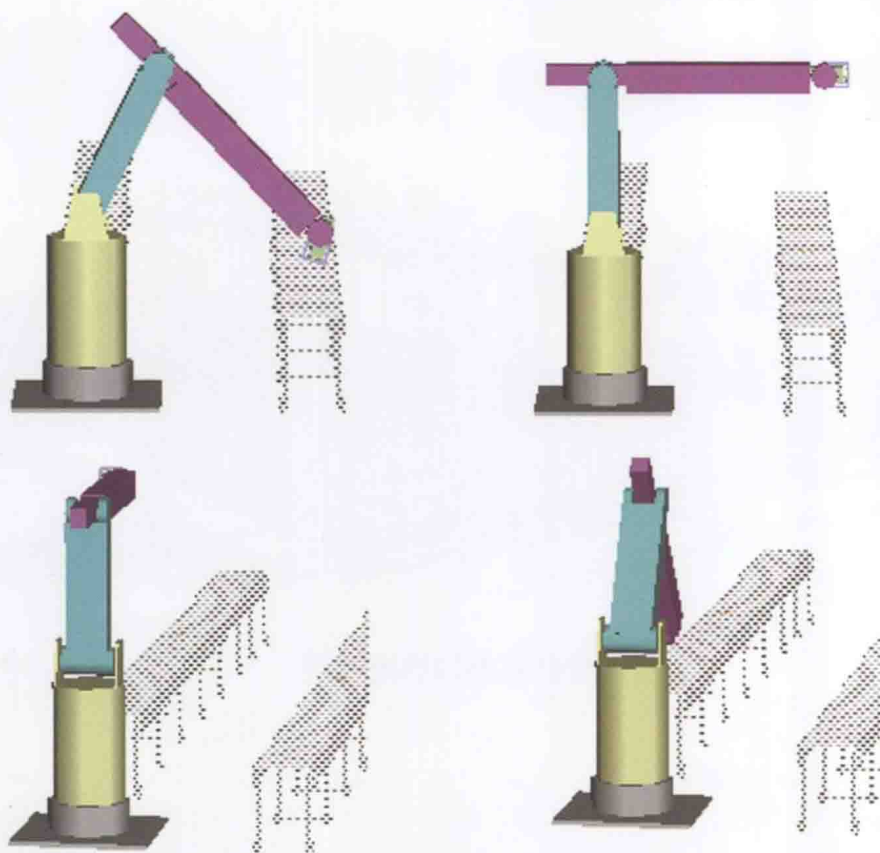
书 号 978-7-5022-5131-4 定 价 30.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: atomep123@126.com

发行电话: 010-68452845

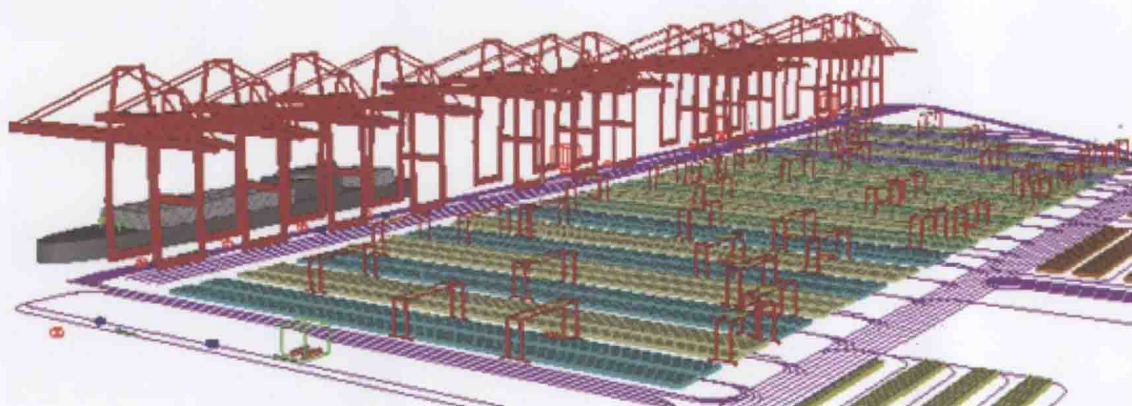
版权所有 侵权必究



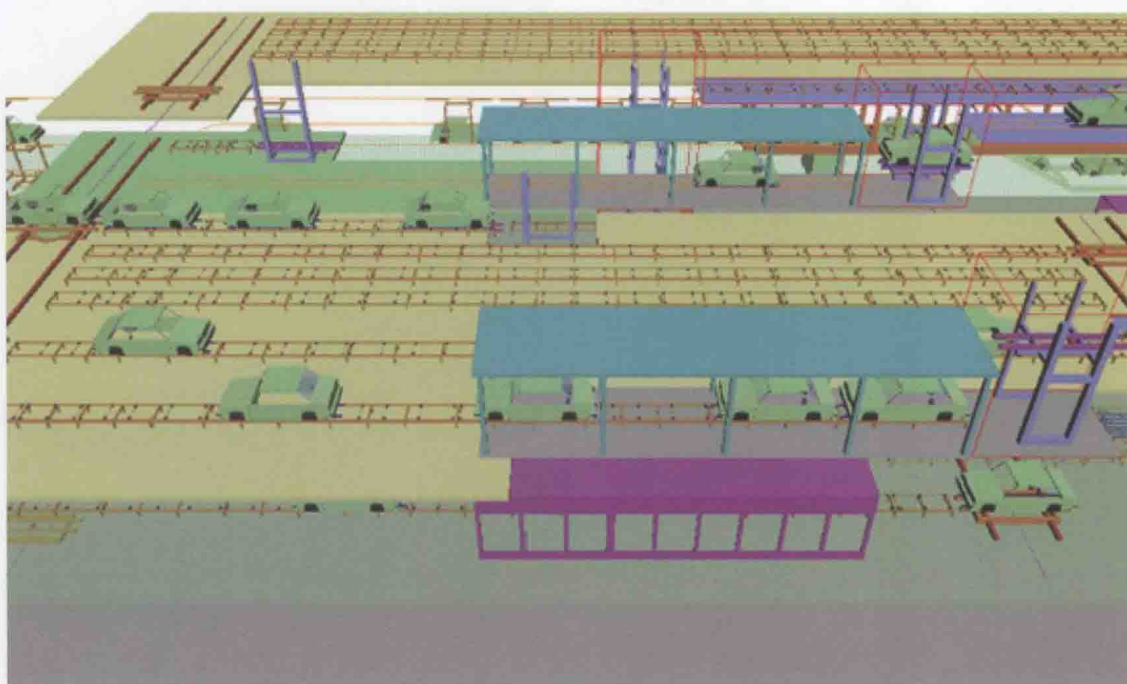
机构运动建模



烟草立体仓库模型



集装箱港口物流模型



汽车涂装线模型

前 言

目前,离散事件系统仿真技术被广泛地应用于制造、军事、服务、交通运输等各行各业,已成为系统规划、设计、分析和优化的重要技术手段。特别是近年来,多种国外商品化的离散事件仿真软件被引入国内,每种软件针对特定领域存在系统的解决方案并在实践中发挥着良好的效用,引起教育界和企业界的广泛关注,在高校教学和企业仿真项目实施过程中迫切需要相关书籍的支持。

本书在总结作者多年的教学、培训和科研的基础上,以仿真项目的实施为牵引,系统地介绍了针对复杂多变的系统环境实现快速仿真建模的理论,以及代表仿真技术最新发展趋势的仿真优化技术,并归纳总结了仿真建模与仿真优化的国内外研究前沿。上述的快速仿真建模理论和仿真优化技术具有一定的通用性,不局限于任何一款仿真软件,书中应用 AutoMod 和 eM-Plant 两款仿真软件对该方法进行了详尽阐述,为读者实施仿真项目提供参考思路。同时考虑到仿真软件 AutoMod 在国内外具有广泛的应用市场和前景,而国内却缺乏一部关于 AutoMod 软件的中文版教材,因此作者结合应用 AutoMod 软件实施仿真项目的经验,通过精心设计的一系列示例,图文并茂、由浅入深地介绍了 AutoMod 软件的使用。内容包括模型编辑模块 AutoMod Editor、三维视频生成模块 AutoView、图形建模工具 ACE、模型通讯模块 MCM、统计分析模块 AutoStat 等的介绍,旨在使读者对 AutoMod 软件的基本功能、使用方法和建模技巧有深入的理解和全面的掌握。为了帮助读者应用 AutoMod 仿真软件顺利实施仿真项目,本书以烟草自动化立体仓库、汽车涂装生产线、集装箱港口物流系统三个面向不同类型系统的大型仿真项目为例,详尽阐述了仿真项目的实施全过程,并给出每个项目核心业务环节的仿真实现方法。

本书按照仿真建模与仿真优化理论、仿真软件应用及仿真项目实施案例的顺序进行组织。

第 1 章概述,介绍了离散系统建模与仿真技术的概念和原理,系统地论述了系统建模与仿真的基本元素,简要介绍了主流的系统建模与仿真软件。第 2 章参数化仿真建模方法,归纳总结了快速仿真建模方法的最新研究现状,阐述了参数化仿真建模的基本原理,以离散型制造系统的零件加工过程为例论述了参数化仿真建模方法的实现过程。第 3 章仿真优化原理及其应用,归纳总结了仿真优化技术的最新发展前沿,介绍了仿真优化的基本原理,并以车间生产调度

为例,论述了基于遗传算法的仿真优化实现过程。第4章仿真软件 AutoMod 建模基础,通过典型示例方式详细介绍了 AutoMod 各个模块的功能,包括每个模块基本操作及仿真程序的编写。第5章基于 AutoMod 的仿真项目实施案例,以仿真项目的实施过程为线索,对烟草自动化立体仓库、汽车涂装生产线、集装箱港口物流三类系统的仿真建模过程进行了详尽的阐述。第6章仿真输出分析,介绍了仿真结果分析的基本概念、原理,以及不同类型仿真的分析方法,并重点介绍了仿真分析模块 AutoStat 的分析功能。

总体来说,本书关注实用有效的仿真建模方法,注重理论联系实际、重点突出仿真技术在工程中的应用,是离散事件系统仿真领域一本新颖、实用的参考读物。本书可作为高等院校制造工程、工业工程、管理工程和物流工程等专业本科生、研究生的教材,同时也可作为应用 AutoMod 软件实施仿真项目的企业工程技术人员和管理人员的培训或自学教材。

本书的成稿过程中得到了五洲工程设计研究院(中国兵器工业第五设计研究院)陈素敏研究员的悉心指导和帮助,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中不尽完善之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 概 述

1.1	仿真的概念	1
1.2	模型的概念	1
1.3	仿真的分类	1
1.4	离散事件仿真模型的组成要素	3
1.5	离散事件仿真程序的结构	5
1.6	离散事件系统仿真策略	6
1.6.1	事件调度法	6
1.6.2	活动扫描法	12
1.6.3	进程交互法	13
1.7	仿真软件	14

第 2 章 参数化仿真建模方法

2.1	仿真建模的研究现状	15
2.1.1	模型的概念设计及数据驱动建模	15
2.1.2	面向模型结构控制的建模	17
2.1.3	智能化仿真建模	18
2.2	面向离散制造系统建模的总体框架	18
2.3	数据驱动建模方法	19
2.3.1	仿真数据的分类	19
2.3.2	仿真系统功能模型	20
2.3.3	仿真系统数据模型	21
2.3.4	数据驱动建模机制	21
2.4	仿真控制模型	23
2.4.1	仿真模型的控制结构	23

2.4.2 模块化控制模型	25
2.5 模型生成器	31
2.6 基于 AutoMod 的参数化建模	31
2.6.1 AutoMod 中实现参数化建模的机制	31
2.6.2 设备模型的参数化建模	32
2.6.3 应急生产预案的参数化建模	33
2.7 基于 eM-Plant 的参数化建模	35

第 3 章 仿真优化原理及其应用

3.1 仿真优化的基本原理	38
3.2 仿真优化方法	39
3.2.1 常用的仿真优化方法	39
3.2.2 进化计算	39
3.2.3 模拟退火算法	40
3.2.4 禁忌搜索算法	40
3.2.5 其他启发式方法	41
3.3 仿真优化研究现状	41
3.3.1 国外仿真优化的研究现状	41
3.3.2 国内仿真优化的研究现状	43
3.4 仿真优化在离散制造系统中的应用	44
3.4.1 问题描述	45
3.4.2 生产系统运行规则优化框架	45
3.4.3 系统运行规则及性能评价指标	45
3.4.4 遗传算法设计	49
3.5 仿真优化实例	56
3.6 仿真优化存在的不足及发展趋势	58

第 4 章 AutoMod 建模基础

4.1 AutoMod 软件基础	60
4.1.1 AutoMod 软件介绍	60
4.1.2 AutoMod 的操作	61
4.1.3 AutoMod 的基本概念	65

4.1.4 AutoMod 的基本语法	66
4.2 进程系统	69
4.2.1 进程	69
4.2.2 实体类型(Load Types)	70
4.2.3 队列(Queues)	73
4.2.4 资源(Resource)	76
4.2.5 变量(Variables)与实体属性(Load Attributes)	81
4.2.6 无限延时列表(Order List)	88
4.2.7 统计图表(Business Graphic)	91
4.3 运动系统(Movement System)	92
4.3.1 输送带系统(Conveyor)	92
4.3.2 路径移动系统(Path Mover)	102
4.3.3 自动化立体仓库系统(AS/RS)	115
4.3.4 机构运动系统(Kinematics)	123
4.4 AutoView 视频生成模块	131
4.4.1 AutoView 概述	131
4.4.2 创建视频文件	131
4.4.3 相关语法	134
4.5 ACE 图形建模工具	135
4.5.1 ACE 概述	135
4.5.2 基本操作	135
4.5.3 建立动态图形实例	139
4.6 模型通讯模块(Model Communications Module)	141

第 5 章 基于 AutoMod 的仿真项目实施案例

5.1 烟草自动化立体仓库系统仿真	142
5.1.1 系统描述	142
5.1.2 系统仿真目标	145
5.1.3 建立系统仿真模型	145
5.1.4 模型检验与验证	159
5.1.5 仿真分析与结果	159
5.2 汽车涂装生产线仿真	161
5.2.1 涂装生产线概述	161
5.2.2 系统仿真目标	164
5.2.3 建立仿真模型	164
5.2.4 模型验证与确认	179

5.2.5 仿真分析与结果	180
5.3 集装箱港口物流系统仿真	181
5.3.1 系统描述	181
5.3.2 系统仿真目标	182
5.3.3 建立系统仿真模型	182
5.3.4 模型验证与确认	189
5.3.5 仿真结果	189

第 6 章 仿真输出分析

6.1 仿真输出分析的概念	191
6.2 离散事件系统仿真的类型	192
6.2.1 终止型仿真	192
6.2.2 非终止型仿真	193
6.3 方案比较	194
6.3.1 方案比较概述	194
6.3.2 双系统方案比较	194
6.4 正交设计	195
6.4.1 基于正交设计的仿真分析	195
6.4.2 基于正交设计的仿真分析案例	195
6.5 AutoStat 中的统计分析方法	199
6.5.1 AutoStat 的功能	199
6.5.2 AutoStat 的打开与设置向导	200
6.5.3 AutoStat 的分析过程	200
6.5.4 公共随机数	203
6.5.5 单变量分析	206
6.5.6 预热分析	206
6.5.7 优化分析	209
参考文献	212

第 1 章 概 述

1.1 仿真的概念

仿真是对现实世界的过程或系统随时间运行的模拟。它是一种融系统科学、运筹学、概率统计及计算机应用于一体的综合性理论和方法,借助计算机和仿真软件模拟现实世界中各种情景以及仍然处在概念阶段的各种设想,并以此达到对系统进行分析、设计与评价的目的。

无论是对实际系统还是设想系统的仿真,均需要通过设计和建立实际系统或设想系统的计算机模型实现,因此,仿真本质上是一种基于模型的实验活动。

1.2 模型的概念

既然仿真活动的开展是基于模型的,也就是说模型是一切仿真的基础,因此了解模型的概念对掌握仿真至关重要。那么何谓模型?一般来说,模型是对实际系统的一种抽象,是系统本质的表述,是人们对客观世界反复认识、分析并经过多级转换、整合等相似过程而形成的最终结果,它具有与系统相似的数学描述形式或物理属性,以各种可用的形式给出系统的信息。如排队系统模型、库存系统模型等,均是对某一类问题的抽象描述,应用这些模型可以解释一类问题的运行机理。

模型可以划分为物理模型和数学模型。物理模型是实际系统的物理复制品或按比例缩放的实物模型。例如,车间布局时,利用与设备同比例的卡片(纸制或塑料等)表示物理设备,卡片轻便灵活、易于移动,通过改变卡片位置很容易分析出设备布局效果;零件在首件加工或进行机床调试时,为避免对原材料的浪费,经常采用与原材料同比例的石蜡模型进行试切。数学模型是指以符号标记或数学方程等方式来反映现实系统要素间逻辑关系的模型。数学模型可以进一步分为符号模型、解析模型和仿真模型。仿真模型是系统的一类特殊数学模型,是一种适合在计算机上进行运算和试验的模型。仿真模型与符号模型、解析模型相比,更适合对复杂系统进行分析,其在探索复杂系统深层次的运作机理并揭示其规律性方面的优越性比其他模型无法比拟的。例如,广泛采用仿真模型分析调度规则与制造系统性能之间的关系(每种调度规则在不同的性能评价指标下表现出的效果是不同的,当前加工时间最短规则使零件的平均流通时间最短,最早交货期规则在保证零件的交货期方面优于其他规则)。

1.3 仿真的分类

仿真模型可以被进一步划分为静态的或动态的、离散的或连续的、确定的或随机的,因此存在与不同类别仿真模型对应的仿真形式。

(1) 静态与动态

静态模型是指模型的运行与时间没有关系,代表了在一个特定时间点上的系统。静态仿真模型通常被称为蒙特卡洛仿真。动态模型代表了随时间变化的系统,时间在动态模型

中扮演着不可或缺的角色,绝大多数的模型是动态的,如银行排队系统、零件的排队加工等。

(2) 离散与连续

离散系统是指系统的状态变量只在离散时间点发生变化的系统,而且这些离散时间点一般是不确定的。引起状态变化的原因是事件,通常状态变化与事件的发生一一对应。事件的发生一般带有随机性,由此带来离散系统时间点的离散性和不确定性。例如,加工系统、银行、医院等都是典型的离散系统。系统状态变量在离散时间点上的变化如图 1-1 所示。与离散系统概念相似,离散模型是指系统状态变量只在离散时间点发生变化的模型。

与离散系统相对应,存在着连续系统。连续系统是指系统状态变量随时间连续变化的系统,如行驶中的汽车速度的变化,水库中水位的变化等。系统状态变量在连续时间点上的变化如图 1-2 所示。连续模型用于表达连续系统的内在机理,是指系统状态变量随时间连续变化的模型,可以用方程式(常微分方程、偏微分方程、差分方程)进行描述。

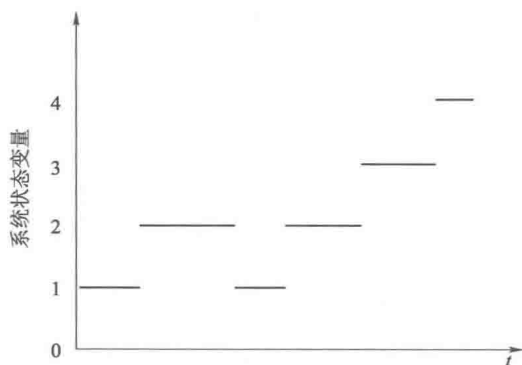


图 1-1 离散系统状态变量

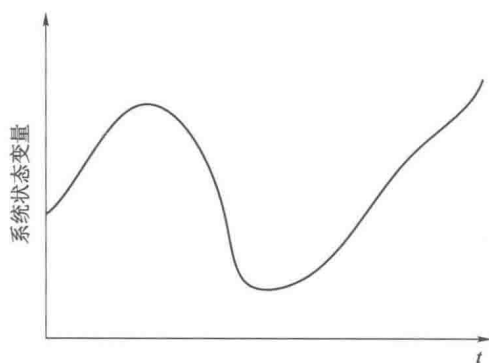


图 1-2 连续系统状态变量

特别注意的是,离散模型不总是对离散系统建模,连续模型也不总是应用于连续系统。例如,对烟草生产线上烟丝连续运送问题的建模,就可以用离散模型描述。如图 1-3 所示,制丝线上可以连续传送不同品牌的烟丝,传送来的烟丝进入贮丝柜,贮丝柜中的烟丝满了以后通过震盘传送给机台,由机台完成后续加工。在整个制丝的过程中,烟丝在制丝线上的传送是连续的。为了便于对制丝线建模,假定制丝线上传来的一批烟丝为一个工件,不同品牌的烟丝即为不同的工件。这些工件(烟丝)要经过两个阶段的加工,其加工时间可按如下方

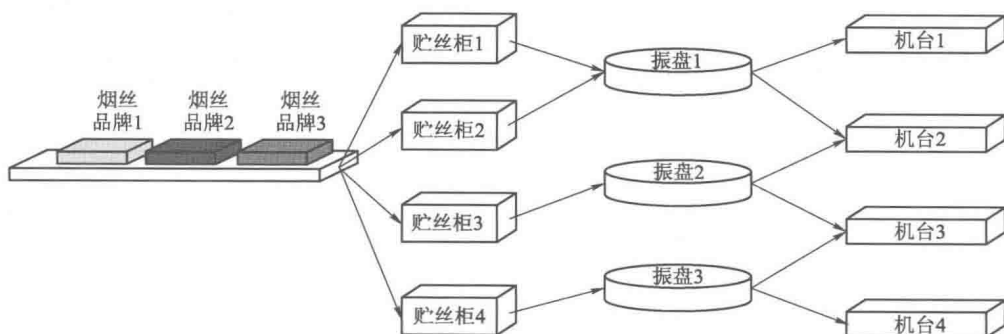


图 1-3 烟草制丝生产线的流程

法确定:对于第一阶段中的贮丝柜,开始进烟丝的时刻为工件的开始加工时间,一批烟丝完全进入贮丝柜时刻为工件的加工完成时间。贮丝柜开始出烟丝的时刻为该“工件”在第二阶段机台上的加工开始时间,烟丝消耗完毕时刻则为该“工件”在第二阶段机台上的加工完成时间。通过上述过程将烟丝连续运送过程进行了离散化处理,由此建立的模型为离散模型。

(3) 确定与随机

没有随机输入的模型为确定模型,在该类模型中,系统状态变化及其间隔可以预先完全确定。随机模型的输入可以是一个或多个随机变量,例如在银行中,顾客的到达时间与服务时间都是随机变化的。此外,一个模型中也可能同时包含确定的和随机的输入,例如,具有固定生产节拍的流水线上,工件在每个工位上的加工时间是完全确定的,而设备的故障是无法准确预知的。

1.4 离散事件仿真模型的组成要素

对离散系统进行仿真建模,首先应将实际问题转化为便于计算机处理的形式,这些形式包括实体、属性、事件、活动、状态、仿真时钟等,它们是仿真模型的基本组成要素。本书将通过一个典型的离散系统来描述仿真模型的组成要素。图 1-4 表示了零件的加工过程,如果零件到达时机床是空闲的,则立刻开始加工,否则将进入队列等待,零件加工完成后离开机床。

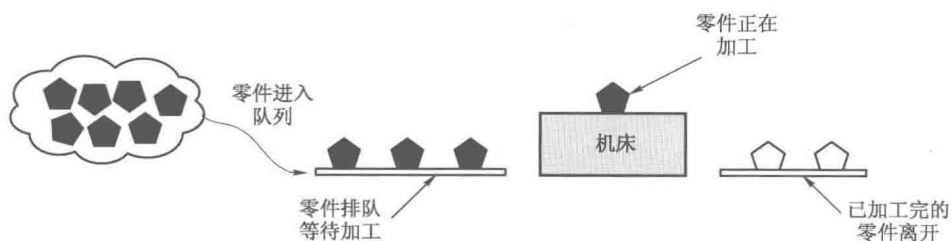


图 1-4 零件的加工过程

(1) 实体

实体可分为临时实体和永久实体两大类。在系统中只存在一段时间的实体叫临时实体,也称为活动实体,这类实体按一定规律由系统外部到达系统,然后在系统中活动一段时间,最后离开系统。临时实体离开系统意味着在物理上被清除或在逻辑上不予考虑。图1-4中的实体是被加工的零件。零件到达系统时实体被创建出来,该实体代表零件,如果需要排队,则在队列中等待,否则直接接受机床的加工,然后在离开系统时被清除。

永久驻留在系统中的实体叫永久实体。系统要对临时实体产生作用,就必须有永久实体,通过临时实体与永久实体的相互作用系统才完成了某项活动。例如,零件在队列中排队、在机床上加工,这里队列、机床都是永久实体,它们在整个仿真期间始终存在着并对零件产生作用。

(2) 属性

实体通过属性来描述,属性是实体所具有的共同特征,通过属性值的个性化来标识不同的实体。例如,零件都具有编号、名称、规格、颜色、进入队列时间、离开队列时间、开始加工

时间、完成加工时间等属性,通过对这些属性赋值,可以区分不同的实体或实现对实体的描述和分析。在这里,零件的编号可以作为区分实体的属性,规格属性则实现对实体的描述,通过分析零件离开队列时间与进入队列时间的属性值,获得零件的排队时间。需要注意的是只有与仿真相关的特征才称为属性,像颜色等对分析零件加工过程没有作用的特征不能称为实体的属性。

(3) 状态

状态用于对实体活动的特征状况进行划分。例如,零件有排队、加工等状态;机床有忙、闲的状态,以及正常工作和故障的状态等。用于表示系统状态的变量称为状态变量。

(4) 事件

改变系统状态的瞬间变化的行为称为事件。可以定义“零件到达”为一类事件。由于零件到达,机床的状态可能由闲变忙,或者系统中零件总数发生变化。一个零件加工完毕后离开系统的行为也可以定义为一类事件,即“零件离开”,该事件使机床的状态由忙变闲。在该示例中,除了上述两个事件外,还有一个是仿真结束的事件,这类事件称为程序事件。程序事件不是系统固有的,在仿真过程可以根据需要进行设置。

(5) 活动

实体在两个事件之间保持某一状态的持续过程称为活动。活动的开始与结束都是由事件引起的。在上例中,零件到达机床开始加工到该零件加工完毕后离开可视为一个活动,在此活动过程中,零件始终保持加工状态。同时,活动也是系统状态转移的标志,加工活动的开始或结束标志着零件的到达和离开,也标志着机床的忙与闲的转变。

(6) 进程

进程是由若干个有序事件及若干个有序活动组成的过程,描述了其中所包括的事件、活动间的相互逻辑关系及时序关系。零件到达系统、排队、加工、离开系统的整个过程可称为一个进程。事件、活动、进程之间的关系如图 1-5 所示,可以看出,事件是发生在某一时刻的行为,活动和进程则是发生在某个时间段的过程。

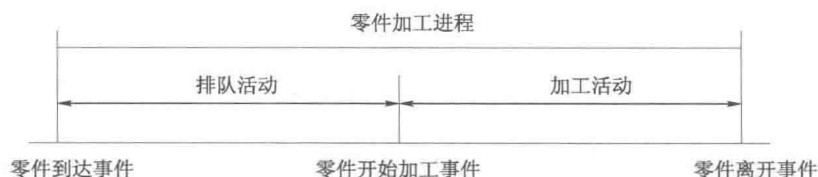


图 1-5 事件、活动和进程的关系

(7) 仿真时钟

仿真时钟是用来记录仿真过程中当前时间值的一个变量。它是系统运行时间在仿真过程中的表示,而不是计算机执行仿真程序的时间。仿真时钟的推进机制因仿真策略的不同而不同,一般采取事件单位推进和时间单位推进两种方式。事件单位推进是指仿真时钟从一个事件发生时刻直接推进到下一个事件发生的时刻。时间单位推进是选择适当的时间单位作为固定的时间推进步长,每推进一步,扫描一下该时刻可能发生的事件。采用事件单位推进机制,仿真时钟不是连续推进的,而是从当前事件发生的时刻直接跳跃到下一个事件发

生的时刻,避免了对相继两个事件之间时间段的扫描,相比时间单位推进机制而言具有更高的执行效率。

(8) 统计累计器

通过仿真可以了解系统状态的具体变化,但这不是仿真的真正目的,仿真的最终目的是想获得系统中变量的统计信息。例如,通过对零件加工过程的仿真,希望统计分析出零件的最长排队时间、平均队长,机床利用率等性能指标值。当系统中发生某一事件时,与之相关的系统变量会发生变化,变化的结果均存储在统计累加器中,通过累加器的计算分析得到相关的性能指标值。每次仿真开始执行前,统计累加器都要更新,其初值均为零。

1.5 离散事件仿真程序的结构

基本概念从总体上对模型的组成进行了概括,而仿真程序可以从内部执行逻辑的角度描述模型。仿真程序的执行需要不同的子程序或功能模块的支撑,通常包括:系统状态、仿真时钟、事件列表、统计计数器、初始化程序、时间推进程序、事件发生程序、随机数生成器、报告生成器、主程序等。这些组成部分之间的逻辑关系可以用仿真的控制流程来描述,图1-6给出了按事件推进仿真时钟的仿真程序控制结构图。

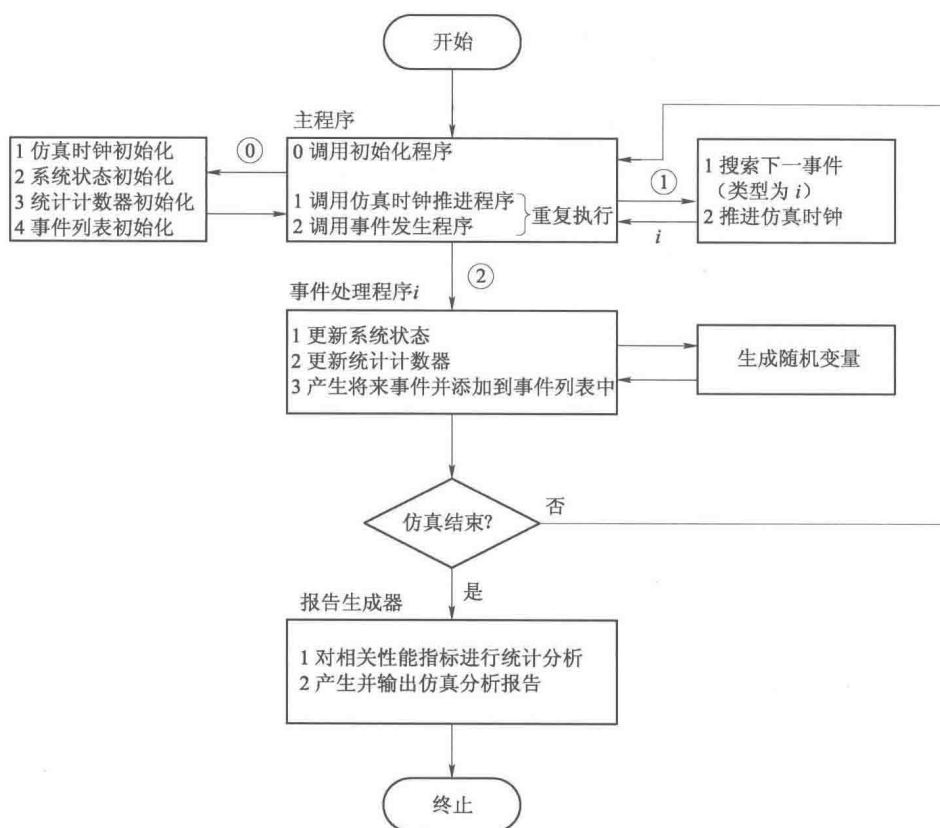


图 1-6 离散事件系统仿真程序流程结构图

1.6 离散事件系统仿真策略

在离散事件系统中,由于离散事件的发生导致系统状态的变化,并由此产生一系列的相关活动。因此,离散事件系统仿真要解决的核心问题是如何安排和处理离散事件及仿真时钟的推进,使仿真能够及时响应事件并完整、准确记录每一时刻系统状态的变化,其中仿真时钟的推进算法是关键。仿真算法就是确定仿真时钟推进策略的控制方法,是仿真控制的核心。目前,最常用的仿真算法有事件调度法(Event Scheduling)、活动扫描法(Activity Scanning)和进程交互法(Process Interaction)。

1.6.1 事件调度法

(1) 事件调度法的原理

事件调度法的基本思想:通过建立事件表,将预定的事件按照时间发生的先后顺序存入事件表中。仿真时钟始终推进到最早发生的事件时刻,然后调用事件例程处理该事件发生时的系统状态的变化。仿真时钟不断从一个事件发生时间推进到下一个最早发生的事件时间,直到仿真结束。在事件调度法中,由于事件都是预定的,状态变化发生在明确的预定时刻,所以这种方法适合于活动持续时间比较确定的系统。这种按时间顺序自然发生的预定事件被称为确定事件。除此之外,仿真过程还存在一些人为控制系统状态的行为,这些也是一类特殊的事件,如仿真开始和仿真结束等。

事件调度法的算法如下:

步骤 1:执行仿真初始化操作

设置仿真开始时间和仿真结束时间;
初始化事件表,设置初始事件;
计数器初始化;
系统状态初始化。

步骤 2:设置仿真时钟为仿真初始时间

步骤 3:WHILE(仿真时钟 $\leq$ 仿真结束时间)执行

操作事件表:

取出发生时间最早的事件,设类型为 i ;
将仿真时钟推进到该事件的发生时间。

Case 事件类型 i

$i=1$:执行 1 类型事件例程;产生后续事件及发生时间;

.....

$i=n$:执行 n 类型事件例程;产生后续事件及发生时间;

EndCase

ENDWHILE

步骤 4:仿真结束

在事件调度法中,事件例程实现对事件的响应,不同类型的事件调用的例程也不同,每种类型的事件例程均有自己内部的处理逻辑。例如,在图 1-4 所描述的零件加工过程的例子中,假设需要统计分析零件在系统中的平均逗留时间、平均等待时间、平均队长、机床的利用率等性能指标值,这些性能指标值或其计算的数据基础是通过响应两个事件获得的,分别