

分类号 _____

U D C _____

密 级 _____

单位代码 10151 _____

离线环境下的集装箱堆场实时监控仿真 研究

陈 晓 希

指 导 教 师 张升文 职 称 副教授

学位授予单位 大 连 海 事 大 学

申请学位级别 工学硕士 学科（专业） 管理科学与工程

论文完成日期 2011 年 5 月 答辩日期 2011 年 6 月 25 日

答辩委员会主席 冯 宇



**The Simulation Research about Realtime Monitoring System
of Container Yard in Off-line Environment**

A thesis Submitted to

Dalian Maritime University

In partial fulfillment of the requirements for the degree of

Master of Engineering

by

Chen Xiaoxi

(Management Science and Engineering)

Thesis Supervisor: Associate Professor Zhang Shengwen

May 2011

大连海事大学学位论文原创性声明和使用授权说明

原创性声明

本人郑重声明：本论文是在导师的指导下,独立进行研究工作所取得的成果,撰写成硕士学位论文“离线环境下的集装箱堆场实时监控仿真研究”。除论文中已经注明引用的内容外,对论文的研究做出重要贡献的个人和集体,均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表或未公开发表的成果。本声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名: 陈晓希

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者及指导教师完全了解大连海事大学有关保留、使用研究生学位论文的规定,即:大连海事大学有权保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版,允许论文被查阅和借阅。本人授权大连海事大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索,也可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。同意将本学位论文收录到《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》(中国学术期刊(光盘版)电子杂志社)、《中国学位论文全文数据库》(中国科学技术信息研究所)等数据库中,并以电子出版物形式出版发行和提供信息服务。保密的论文在解密后遵守此规定。

本学位论文属于: 保 密 ☐ 在 _____ 年解密后适用本授权书。

不保密 ☒ (请在以上方框内打“√”)

论文作者签名: 陈晓希 导师签名: 张计文

日期: 2011 年 6 月 25 日

摘 要

集装箱运输是交通运输现代化的重要标志,从50年代中期我国集装箱运输开始起步到现在,经过近50多年的建设和发展,我国集装箱运输已成为全球集装箱运输发展的重要组成部分。尤其是近几年来,我国与世界各地贸易频繁,集装箱运输业也随之迅猛发展,集装箱船逐步向大型化转变,船舶的大型化使得集装箱堆场不得不向大型化发展,然而现在土地资源稀缺,不可能无限制的扩建港口。所以港口公司只能在现有堆场的规模下,不断改进自身管理水平,改进调度方案,缩短船舶在港时间,从而达到提高港口吞吐量的目的,然而由于堆场作业的复杂性和多变性,常常因为特殊船型的到达、机械故障等特殊情况导致原有的调度方案出现问题,而临时调度又常常使堆场管理处于混乱之中,影响后续堆场作业的完成。离线环境下集装箱实时监控仿真模型的研究可以预测集装箱堆场短期内的作业情况,有效控制集装箱堆场资源的调度问题,提升堆场管理水平,保证堆场工作的有序进行。本文的研究正是基于这个目的而提出的。

本文在分析了集装箱堆场作业工作流程的基础上,确定集装箱实时监控系统的建模理论对其进行建模仿真研究。首先是确定集装箱堆场的三个主要作业流程(船舶到港作业、集装箱卸载作业、集装箱装载作业)的仿真策略,然后通过仿真策略确定仿真模型应具有三个模块:总控制模块、公共子模块、单元子模块,结合了关联规则、统计学的相关理论对数据库中的历史数据进行分析,即对公共子模块的设计,利用类似于计算机流程图的方法对各单元子模块中的集装箱堆场子模型进行设计,并通过总控制模块的执行和总体控制建立了集装箱堆场的仿真模型。

最后,本文对仿真模型进行实现和运行,并与当前正在使用的在线实时监控系统进行整合,对集装箱堆场的后续工作做到了相对较准确的仿真,提升了用户体验,为管理者调度集装箱堆场资源和客户提供了定量依据。

关键词: 离线; 集装箱堆场; 仿真; 离散事件动态系统

ABSTRACT

Container transport is an important symbol of transport modernization, from China container transport starting of the mid-50s to now, after construction and development for over 50 years, China's container transport has become an important part of global container transportation development. In particular, in recent years, trade between China and various parts of the world is frequent, the development of container transport is also rapid, container ships gradually shift to large-scale, large scale ship container yard had to be made for large-scale ships, but now land resources are scarce ,we cannot be unlimited expansion of the port. Therefore, the port company can only be in the scale of the existing yard, constantly improve their level of management, and improve scheduling scheme to shorten the time that ships are in port, so as to achieve the purpose of improving the throughput of the port, however, due to the complexity and variability of the yard work, the arrival of special ship and mechanical failure or other special programs lead to the original scheduling problem, and the temporary scheduling makes yard management be often in disarray, affecting the completion of follow-up yard work. Container real-time monitoring system simulation model in off-line environment can predict operation situation of the short-term container yard, effectively control the scheduling problem of resources in container yard, to improve yard management level and to ensure the orderly conduct of the work yard. This study of this paper is made based on this purpose.

The paper based on analyzing the workflow of container yard operations, ensures container yard system which is monitored by container real-time monitoring system is a typical discrete event dynamic system, and in accordance with the modeling theory of discrete event dynamic system to research their model simulation. Firstly, we should determine the simulation strategy of the three main processes of the container yard (ship to port operations, container unloading operations and container loading operations), and then determine three modules that the simulation model should have through the simulation strategy: Total control module, public sub-module, unit sub-module, with the combination of association rules and the related theory of statistics, then analyze of historical data in the database, namely the design of public sub-module, and design

container yard sub-model in each unit sub module using the method similar to computer flow chart and build the simulation model of the container yard through executive of the total control module and the overall control.

Finally, the paper realized simulation model implementation and operation, and combined with the current online real-time monitoring system, and realized a relatively accurate simulation for follow-up work of the container yard, to enhance the user experience, for managers to provide a quantitative basis for scheduling container yard resources.

Key Words: Off-line; Container Yard; Simulation; Discrete Event Dynamic System

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 国内外集装箱港口发展现状	2
1.2.2 国内外集装箱堆场仿真研究现状	3
1.3 本文研究的主要内容	4
1.3.1 论文的研究内容	4
1.3.2 论文的组织结构	5
第2章 系统仿真相关理论	7
2.1 问题的提出	7
2.2 系统仿真相关理论	8
2.2.1 系统仿真的概念及其作用	8
2.2.2 系统仿真的类型	8
2.2.3 系统仿真的步骤	10
2.3 离散事件动态系统 (DEDS)	11
2.3.1 离散事件动态系统概念	11
2.3.2 离散事件动态系统基本要素	12
2.4 离散事件动态系统 (DEDS) 仿真策略	12
2.4.1 面向时间间隔的仿真策略	12
2.4.2 面向事件调度的仿真策略	13
2.4.3 面向活动扫描的仿真策略	14
2.5 基于混合仿真策略的仿真模型设计	15
2.5.1 设计仿真模型的关键理论	15
2.5.2 仿真模型的设计方案	19
第3章 基于 DEDS 的集装箱堆场实时监控系统模拟仿真的模型	21
3.1 集装箱堆场作业及其监控系统概述	21
3.2 仿真模型的目标和内容	23
3.3 仿真模型的抽象和简化	24
3.4 仿真模型的仿真策略确定	26

3.4.1 船舶到港作业仿真策略	27
3.4.2 集装箱卸载作业仿真策略	27
3.4.3 集装箱装载作业仿真策略	28
3.5 仿真模型总控制模块的建立	29
3.6 仿真模型的公共子模块的建立	31
3.6.1 集装箱船到港分布规律	32
3.6.2 集装箱船到港船型分布规律	35
3.6.3 船舶靠泊时间规律	45
3.6.4 集装箱船卸载集装箱箱量分布规律	45
3.6.5 集装箱船装载集装箱箱量分布规律	48
3.6.6 机械作业效率规律	50
3.7. 仿真模型单元子模块的建立	51
3.7.2 船舶到港子模型的建立	51
3.7.3 集装箱卸载作业子模型的建立	53
3.7.4 集装箱装载作业子模型的建立	55
3.8. 仿真模型的实现与运行	57
第 4 章 集装箱堆场实时监控系统的仿真模型的结果分析与应用	61
4.1 仿真模型的验证	61
4.2 仿真模型的结果分析	63
4.2.1 案例选取	63
4.2.2 案例一结果分析	63
4.2.3 案例二结果分析	65
4.3 仿真模型在实时监控系统中的应用	67
4.3.1 在/离线集装箱堆场实时监控系统的架构分析	67
4.3.2 在线集装箱实时监控系统的离线访问的实现	69
4.3.3 在/离线集装箱实时监控系统的实现	70
第 5 章 总结与展望	75
5.1 全文总结	75
5.2 研究展望	76
参考文献	77
攻读学位期间公开发表论文	81
致 谢	82

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

集装箱运输是运输领域的一场革命，是交通运输现代化的重要标志，是当今世界货物运输的发展方向^[1]。从50年代中期我国集装箱运输开始起步到现在，经过近50多年的建设和发展，我国集装箱运输已成为全球集装箱运输发展的重要组成部分。尤其是近几年来，我国与世界各地贸易频繁，集装箱运输业也随之迅猛发展，集装箱船逐步向大型化转变，船舶的大型化使得集装箱堆场不得不向大型化发展，然而现在土地资源稀缺，不可能无限制的扩建港口。所以港口公司只能在现有堆场的规模下，不断改进自身管理水平，改进调度方案，缩短船舶在港时间，从而达到提高港口吞吐量的目的。

近几年来，计算机技术、网络技术、EDI、GPS等高新技术的飞速发展，监控技术已经达到了一个新的高度，采用网络进行监控是计算机网络技术和远程控制技术发展的必然结果^[2]。通过网络对堆场进行切实有效的监控，可以在一定程度上提高堆场资源的利用率，提升堆场管理水平。

本课题来源于“港口集装箱堆场实时监控系统”，该系统除了包括传统实时监控监控系统所包含的单船计划、中控系统、综合计划、航运计费等近十个模块^[3]，还包括利用图形化显示集装箱堆场内集装箱堆放的情况。然而码头资源（泊位、机械等^[4]）有限，且堆场系统及其复杂，如何对短期内堆场可能到达的船型、机械利用情况进行预测，使调度人员能及时地掌握堆场作业可能发生的情况，对机械资源进行合理调度，以期达到充分利用堆场有限的资源，提高资源利用率的目的。另外，如何判断当前调度下，集装箱船能否按时完成装卸作业，从而有效地控制集装箱堆场后续工作的完成。因此研究离线环境下的集装箱堆场监控系统，对集装箱堆场作业情况进行仿真，为集装箱堆场机械调度的决策提供定量依据是当前国内外研究的一个热点话题。

1.1.2 研究意义

集装箱堆场是临时保管和向货主交接集装箱的地方^[5],其运作受到许多随机因素的影响,是一个复杂的离散事件动态系统。对于小型堆场,调度人员完全可以凭借经验判断调度的合理性和堆场运作的良好性。但是随着经济全球化,集装箱堆场向着大型化发展,堆场作业流程以及不确定因素越来越多,很难用数学方法或是其他某一种方法建立可靠的模型,即使是凭借经验也很难达到比较准确的判断。所以利用计算机仿真是一种建立模型行之有效的方式。对离线情况下的集装箱堆场的仿真模型进行研究,即通过建立公共子模块,分析各个随机变量的发生,并对每个作业流程通过不同的仿真策略建立子模型,最后将公共子模块和各个子模型连接起来共同组成了一个集装箱堆场仿真模型。尽管得出的仅仅是在一些假定条件下的仿真模型,但这种建立模型的方法对于以后研究堆场仿真的人员具有一定的指导作用。

另外,离线情况下的集装箱堆场仿真系统是嵌入在港口当前使用的EDI信息系统中,无需重新开发新的实时监控系統,只在原来的信息系统中嵌入仿真系统,节省了一部分开发系统的成本。对离线环境下的集装箱堆场仿真系统的研究首要需要依据当前正在使用的数据库中的历史数据找到船舶到港分布规律、装载集装箱量分布规律、堆场机械作业规律,通过对上述随机因素的规律研究,可以有助于堆场管理人员根据堆场实际工作情况确认较优的作业方案。而且,管理人员可以在在线实时监控系統当前监控的任何情况下切断当前网络进行离线仿真监控,通过监控到的模拟堆场作业,预测堆场作业未来可能发生的一些状况,以便管理者对客户和港口作业调度做出正确的决策。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国内外集装箱港口发展现状

从我国集装箱运输开始起步到目前近50年的时间里,国内港口发展非常迅速,主要的代表地区是长江三角洲和珠江三角洲。

长江三角洲发展最快、效益最高的是上海地区。上海港交通发达、经济腹地广阔,经过多年的建设和经营,已经形成集铁路、公路、水路、航空等多种运输

方式为一体的综合性航运中心。上海港的外高桥码头采用“码头运营信息系统”来管理堆场作业，该系统中包括作业处理、船舶配置、船舶计划、堆场监控、船舶监控、电子数据交换、集卡调度、客户查询、收费管理、统计分析等10个子系统^[3]。系统的使用提高了码头的装卸能力、机械的调度能力，使经营管理水平大幅度提高。

珠江三角洲地区以香港港为代表，香港港连续7年保持“世界第一繁忙货柜港”的美誉，是世界最大的港口物流中心。香港港以珠江三角洲为腹地、依托大陆、连接欧美、面向东南亚，使香港的物流业覆盖整个内地^[6]。香港港在政府的扶持下，不断的投入资金提升基础建设，其基础设施、信息化建设、港口运作效率堪称世界一流。

同样，国际上各大港口也在迅猛发展。荷兰的鹿特丹港，地处北海岸、莱茵河、马斯河三角洲，是荷兰和欧盟的主要货物周转中心，该港与铁路、公路、水路、空中运输相连接，有“欧洲门户”之称^[3,6]。该港位居世界第一，具有多样化的集装箱运输模式，码头全部的工作均有计算机控制，并配套形成功能齐全，一体化的物流园区。从货物到港再到欧洲许多地区，全程仅需不到48小时的时间，可见，鹿特丹港的信息系统是高效的、实用的、具有现代化气息。另外，位于比利时北部斯海尔河安特卫普港，是世界第四大港，其发展也非常迅速。安特卫普港除了具有完善的交通网络，还具有各式的专业设施和现代化的EDI信息控制和电子数据交换系统。

从国内外发展较迅速的港口发展情况可以看出，港口发展除了具有良好的交通条件，提高货物的集散效率之外，还应具有强大的EDI信息系统。打造技术密集型的“智能港”和发展虚拟型的“物流控制中心”是当前港口物流发展的主要特点和趋势。

1.2.2 国内外集装箱堆场仿真研究现状

系统是由相互作用和相互依赖的若干元素组合而成的具有特定功能的有机整体^[7]，集装箱堆场系统中的主要驱动对象船舶受许多自然条件影响，到达港口具有很大的随机性，加之锚地、泊位、岸桥、场桥、拖车等资源的共同作用，构成了

一个随机因素多、动态性强的复杂的离散事件动态系统。随着仿真技术的不断发展,目前,对堆场物流的仿真已经成为当前的一个热点问题,国内外的不同学者从不同的角度对堆场仿真进行了研究,主要集中在利用计算机模拟对系统的运行参数和资源分配问题的仿真,从而来确定装卸工艺流程、码头堆场布局和泊位利用率等问题^[8]。如:彭旺明(2004年)^[9]利用eM-Plant软件对集装箱堆场进行二维动画仿真,并利用天津港码头的实际数据对仿真结果进行验证,找到码头作业系统的薄弱环节,提出扩建后需要调整的设备数量。肖美贞(2010年)^[7]通过一些统计资料查阅了各类随机过程的统计学特征和规律,利用这些规律作为建模中的关键参数,对不同模块:船舶到港、靠泊、岸线、岸桥调度、天气条件等,进行选取,分析不同的参数选取对结果的影响,并利用灰色关联法和层次分析法等数理统计方法分析了仿真模型的可信性。国外的Nam KC(2002年)^[7]对釜山集装箱堆场的规划方案进行了评估,设计了四类不同的仿真场景,采用了不同的作业策略,优化了港口泊位和岸桥的数量大小。Shabayek&Yeung(2002年)^[10]为了预测香港的kwai chung码头的运作情况,利用Witness仿真软件建立了仿真模型。从以上研究情况说明以堆场为对象进行系统仿真研究是有其应用前景和实践意义的^[8]。

1.3 本文研究的主要内容

1.3.1 论文的研究内容

通过对国内外文献的大量阅读,发现港口堆场作业向着大型化、信息化发展,其复杂程度也越来越高。虽然国内外研究中已有很多依据现有港口建立了仿真模型,但是这些模型大部分都是独立的进行开发、运行。而本文是对集装箱堆场实时监控系统的离线仿真研究,是在现有的集装箱堆场实时监控系统的基礎上,直接从数据库中读取历史数据,对当前港口的随机因素:船舶到港、集装箱装卸量、机械作业效率等规律进行分析,并以得到的分布规律为基础,建立不同仿真策略下的各个仿真子模型,然后通过控制程序将以上子模型连接起来形成整体仿真模型,最后将此仿真模型嵌入到当前正在使用的集装箱堆场实时监控系统,使管理人员在任意情况下对堆场作业进行离线仿真模拟,预测堆场未来可能发生的情况,对客户和堆场作业做到及时的调度,提升堆场的管理水平。

本文主要做了以下几方面的研究:

(1) 集装箱堆场历史规律的分析

主要对当前实时监控系统所监控到的集装箱堆场作业进行分析,得到所监控到的堆场作业系统的特点和作业流程。通过这些特点和作业流程分析影响当前堆场的随机因素,从而确定建立模型所需参数,随后对分析规律的方法和步骤进行了研究。

(2) 集装箱堆场仿真建模

本文提出了基于DEDS的集装箱堆场实时监控系统仿真建模的一种方法。即将整个建模过程分成三个部分,先利用统计学和数据挖掘的相关理论从当前使用的监控系统中抽取一部分数据进行规律分析,将这些规律作为后续建模提供参数选择。然后利用不同的仿真策略对各个子模型进行分析建立,最后将各个子模型和公共模型连接起来嵌入到当前正在使用的实时监控系统中,与实时监控系统联合起来实施对堆场的监控。

(3) 仿真模型在当前实时监控系统中的使用

将建立起来的模型通过实时监控系统中留有的接口进行连接,使得使用监控系统的管理人员可以在实时监控系统运行的任意时刻进行离线仿真。本文主要研究了两者之间是如何进行协调工作的。

1.3.2 论文的组织结构

论文分为摘要、正文、参考文献三个部分,其中正文包括绪论、系统仿真相关理论、基于DEDS的集装箱堆场实时监控系统模拟仿真的模型、集装箱堆场实时监控模拟仿真模型的结果分析和应用、结论与展望共5章内容。下面对各章的主要内容做简要介绍:

第一章主要介绍了论文的研究背景,研究意义,国内外港口堆场、堆场信息系统、堆场仿真的研究现状,并说明了论文的研究思路 and 主要章节结构。

第二章主要介绍了建立集装箱堆场实时监控系统仿真模型所需要的相关理论,即仿真基本理论,离散事件动态系统的概念、仿真策略、仿真模型以及建立仿真模型所需要的相关理论。

第三章主要讲模型的建立，包括仿真策略的建立、公共模型的建立、各单元子模型的建立以及模型的运行和实现。

第四章主要是对模型的验证、结果分析，最后是对模型在集装箱堆场实时监控系统中的应用做了一些阐述。

第五章对本文进行总结，指出论文的不足之处以及未来的发展方向。

主要的章节结构图如图1.1所示：

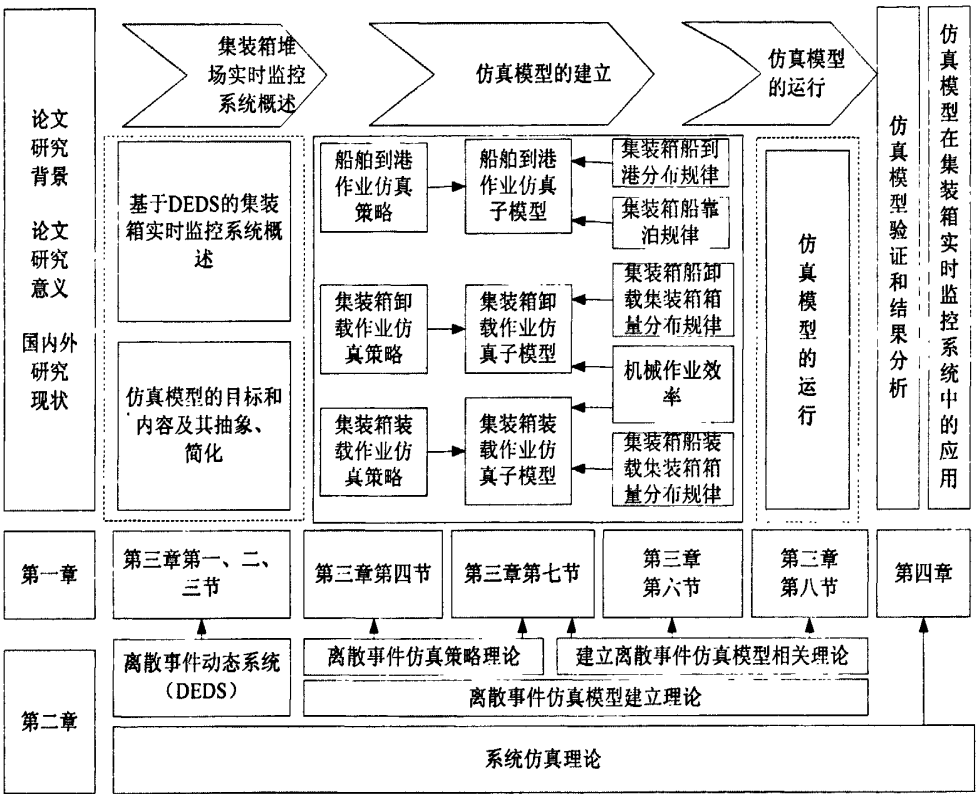


图 1.1 论文篇章结构图

Fig. 1.1 Structure of the Paper

第2章 系统仿真相关理论

2.1 问题的提出

集装箱堆场是堆放集装箱的场所，同时也是临时保管和向货主交接集装箱的地方^[5]。对集装箱堆场的管理是否科学将直接影响堆场的经济效益，集装箱堆场实时监控系统帮助管理者监控堆场工作情况，提高堆场管理的科学性。然而在集装箱堆场实时监控系统的使用过程中发现，堆场常常因为一些特殊情况，如天气原因、机械故障等特殊情况导致原有的调度方案出现问题，堆场装卸作业出现延迟，影响后续作业的完成。而实时监控系统所监控到的延迟事件都是已经发生过的，对后续工作造成的影响常常使管理人员没有准备，临时调度又常常使堆场陷入混乱之中。如何对堆场未来发生的情况进行预测，使管理者对突发状况有足够的准备时间，使堆场时刻处于正常工作状态是当前堆场管理者最感兴趣的问题之一。仿真系统的开发虽然在一定程度上解决了这个问题，但根据国内外各种文献的显示目前所建立起来的仿真系统初始化皆由堆场没有船舶和集装箱开始，且仿真模型的参数采用平均的分布规律，这种仿真模型无法准确的预测某堆场在某一个状态后的运作情况。另外，管理人员在实时监控系统与仿真系统来回切换界面，对于管理者的工作也十分不方便。本文的研究正是建立在解决这种问题的思想上，开发一种离线环境下的集装箱堆场实时监控系统仿真模型。使得管理者使用监控系统在线监控堆场的正常工作情况；离线监控堆场的仿真工作情况，在一定程度上预测了堆场未来可能发生的作业状况，为管理者对客户及堆场内的调度决策提供了定量依据。

如何建立行之有效的集装箱堆场仿真监控，是本文需要解决的主要问题。本文主要基于系统仿真的思想，从当前正在使用的集装箱监控系统中抽取数据，利用统计学和数据挖掘的知识研究出建立模型所需要的各个参数，然后通过这些参数以系统仿真的思想建立模型。通过上述分析，要想建立这样一个模型就必须具备一些有关系统仿真、系统建模和数据挖掘的相关知识。在本章的下几个小节将主要介绍一些理论知识。

2.2 系统仿真相关理论

2.2.1 系统仿真的概念及其作用

系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体^[11,12]。系统仿真,即系统模拟,是基于系统管理的思想,将系统和外部环境之间所具有的关系进行一定的抽象,然后建立一个反映系统本质的逻辑模型即仿真模型,进而了解系统的运作规律^[13-15]。由于系统的复杂性,不可能只用数学解析方法求出模型的解,必须借助计算机对所建立起的作业规则进行描述和分析,将获得的仿真结果作为进行决策分析的依据。这种以系统模型为依据,对系统模型利用计算机模拟实验的方法就是计算机系统仿真。应用在管理决策中的系统仿真技术,综合了系统工程、应用数学、计算机科学等多门学科,对于辅助企业管理决策和改进系统具有积极的作用^[15,16]。

具体地说,它有以下几方面的作用^[16]:

(1) 如果在正在运行的系统中进行仿真实验,则需要花费大量的人力、物力,有时候甚至会导致现行系统的崩溃。而通过仿真技术,可以干扰现在正常的工作,经过分析仿真结果,预测未来发展,提出改进方案,优化现有系统运行。

(2) 对于想要投资建设的新系统,由于不能确定其对现在工作的影响情况以及能否获得效益,可以先采用计算机仿真的方法,对新系统的可行性和经济效益进行分析,选取效益最大的方案。

(3) 在管理决策问题中,通过收集、分析已经得到的信息,可能拟合出多种不同的决策方案,通过计算机仿真,针对不同的参数选择和不同的设计方案进行比较,从中选出最优的解决方案。

2.2.2 系统仿真的类型

系统仿真有三种类型:离散型,连续型,离散-连续复合型^[13,15]。通常,仿真是系统仿真的主要自变量,其他变量为因变量,因变量是仿真时间的函数。系统仿真的类型往往与因变量的特点有关^[13]:

(1) 离散型仿真

在离散型仿真中，因变量在仿真时间点上呈离散型性变化，而仿真时间可以是连续性的，也可以是离散性的，这取决于因变量的离散性变化在什么时候发生。离散型仿真的因变量与仿真时间的关系如图2.1所示：

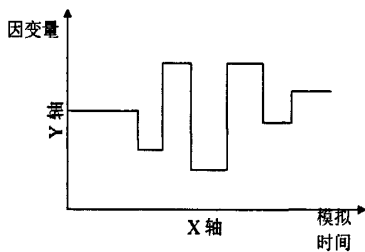


图 2.1 离散型仿真的因变量与仿真时间的关系

Fig. 2.1 Relationship between Response Variable and Simulation Time in Discrete Simulation

(2) 连续型仿真

在连续型仿真中，因变量随仿真时间呈现连续性变化。与离散型仿真一样，仿真时间可以是连续的或者是离散的，图2.2和图2.3分别表示了连续仿真时间或是离散型仿真时间下连续型仿真因变量与仿真时间的关系。

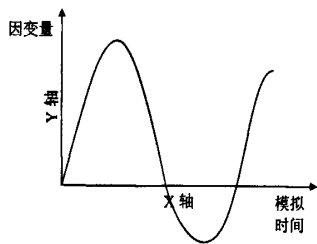


图 2.2 连续型仿真（具有连续仿真时间）

Fig. 2.2 Continuity Simulation (Consecutive Simulative Time)

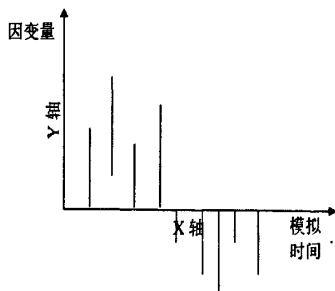


图 2.3 连续型仿真（具有离散仿真时间）

Fig. 2.3 Continuity Simulation (Discrete Simulative Time)

(3) 复合型仿真

在复合型仿真中，因变量可以是连续型的，或者是离散型的，或者具有离散型突变的连续性变化。自变量仿真时间可以是连续的，也可以是离散的。图2.4表示复合型仿真。

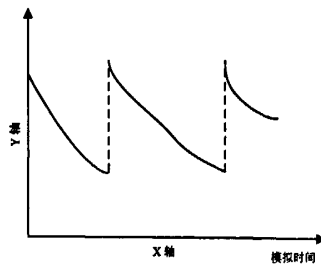


图 2.4 复合型仿真

Fig. 2.4 Complex Simulation

2.2.3 系统仿真的步骤

利用计算机进行系统仿真，大概需要两大步骤，一个是建立模型；一个是模型运行；其中建立模型包括模型抽象、建立、模型的确认；模型运行包括模型实验、模型结果输出和模型结果分析。为了更好的了解系统仿真的主要步骤，图2.5显示了系统仿真的主要步骤。

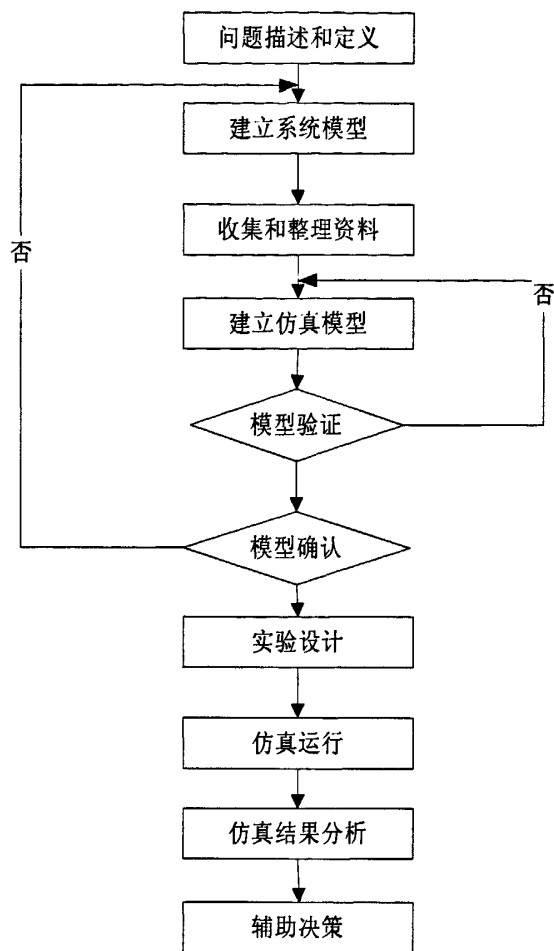


图 2.5 系统仿真的步骤

Fig. 2.5 Process of System Simulation

2.3 离散事件动态系统（DEDS）

2.3.1 离散事件动态系统概念

离散事件动态系统^[17,18]（Discrete Event Dynamic System 简称 DEDS），是由离散事件驱动的，并由离散时间按照一定运行规则相互作用，从而导致状态演化的一类动态系统。从上述定义来看，离散事件动态系统是由随机的离散事件驱动的，其系统属性大多是人为规定的。所以对于某一个离散事件动态系统，如果驱动事件和系统参数是给定的，那么其演化模式也是确定的。动态事件离散系统主要分析系统的行为性能或是分析系统的结构和参数之间的关系，可以用数学方程

式、图表和自然语言进行描述。然而对于现实中的 DEDS，系统参数的微小变化都会导致系统的状态的改变，所以 DEDS 一直被认为是复杂的系统。一般认为，DEDS 的模型是运筹学、系统与控制理论、人工智能与自然语言理解等多学科的混合^[17]。

2.3.2 离散事件动态系统基本要素

离散事件动态系统的类型多种多样，但是其基本要素却十分相似，其基本要素为实体、事件、活动、进程、队列^[17-19]。

(1) 实体 (Entity)：系统的描述对象，即系统的组成成份。实体可分为永久实体和临时实体，实体的状态由它的属性来描述，在某一时刻，系统的状态就是系统中全部实体的状态集合。

(2) 事件 (Event)：事件是引起系统状态发生变化的行为，它是某一时刻的瞬间行为，不具有连续性。离散事件动态系统就是由事件驱动的^[19]。

(3) 活动 (Activity)：两个事件之间保持某一状态的持续性动作。活动的开始和结束都是由事件引起^[17]。

(4) 进程 (Process)：由实体及其相关的事件、活动组成。包括了所有的实体、事件、活动之间的逻辑关系和时序关系^[17]。

(5) 队列 (Queue)：实体等待的序列。一般新到的实体排在队尾，按照“先到先服务”的原则组成队列，也可以将队列看成一种特殊的实体。

2.4 离散事件动态系统 (DEDS) 仿真策略

2.2节已经介绍了系统仿真的步骤，2.3介绍了离散事件动态系统的基本概念，为了建立离散事件动态系统的仿真模型，还必须了解DEDS的仿真策略，具体的说就是确定仿真模型的控制逻辑和仿真时钟的推进机制^[19-20]。下面的章节将简要介绍离散事件动态系统的仿真策略。

2.4.1 面向时间间隔的仿真策略

面向时间间隔的仿真策略就是将仿真时钟按照事件发生的最小间隔时间来建立^[39]，然后按照这个仿真时钟进行时间推进，判断在这个时间内是否有事件发生，

如果有事件发生，则执行事件，进行系统活动，同时改变系统状态。如果没有事件发生，则转入下一个仿真时钟，直至仿真结束。具体的流程如图2.6所示。

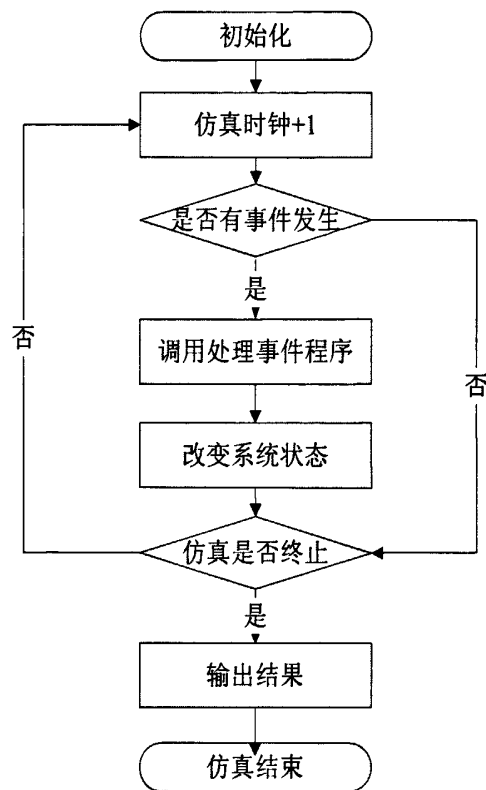


图 2.6 面向时间间隔的仿真策略流程图

Fig. 2.6 Simulation Flow Chart of Time-Unit

2.4.2 面向事件调度的仿真策略

面向事件调度法的基本思想是，将事件作为仿真模型的基本单元，仿真时钟按照系统发生事件的时刻进行推进，并以两次事件发生的时间之差作为时间间隔。每一次事件的触发将作为下次事件发生的驱动，可以预知下次事件的发生和发生的时间，由于事件发生具有很强的随机性，所以事件的时间间隔通常是不确定的，大多数也是不相同的，发生事件后系统的状态也随之改变。其具体的仿真策略如图 2.7 所示：

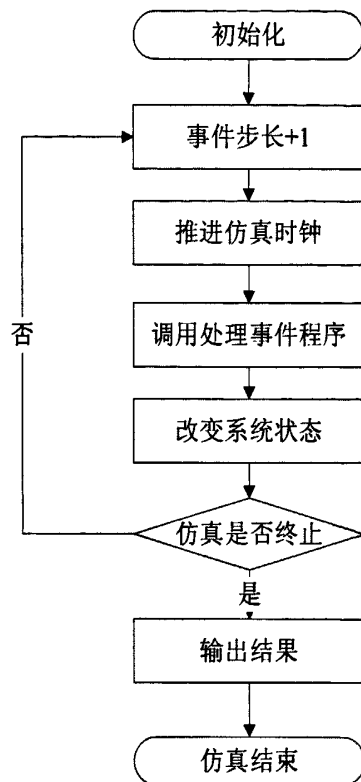


图 2.7 面向事件调度的仿真策略流程图

Fig. 2.7 Simulation Flow Chart of Event-Unit

2.4.3 面向活动扫描的仿真策略

面向活动扫描的仿真策略最早由英国的Buxton和Laski提出^[20]。活动能否被系统执行取决于是否满足一定的时间条件或者系统状态条件^[19,20]。其仿真的基本思想是：每一个实体执行活动都带有一个时间元—**cellTime**，将活动所用的时间作为仿真时钟，将时钟推进到一个活动起点时刻后，按照时间元的优先策略激活活动，使测试通过的事件发生，同时改变系统状态。面向活动的仿真策略与面向事件的仿真策略十分相似，只是该法以活动最为模型的基本单元。具体仿真策略如图2.8所示：

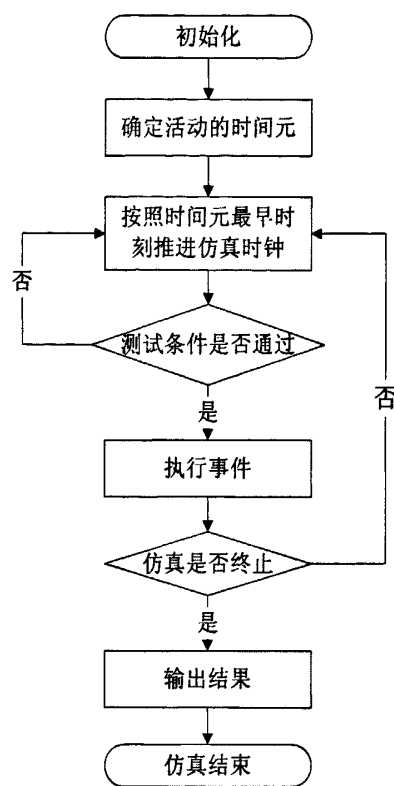


图 2.8 面向活动扫描的仿真策略流程图

Fig. 2.8 Simulation Flow Chart of Active Scan

在本文中，采用了三种策略混合的混合仿真策略，因为单纯的利用一种仿真策略，对于复杂的 DEDS 系统来说，并不能很好的反映现实系统。利用三种策略的混合，对于事件与事件之间间隔时间较小或者间隔时间一定的可以利用时间间隔仿真策略；对于时间间隔较长，且间隔时间不相等的可以利用事件仿真策略；对于两个活动同时发生，但活动结束时间不相同的可以使用活动仿真策略。三种策略的混合使用可以在某种程度上真实地反映现实系统的运行状态。

2.5 基于混合仿真策略的仿真模型设计

2.5.1 设计仿真模型的关键理论

(1) 多维数值关联规则

关联规则就是从大量数据中，快速的找到它们之间潜在的、有价值的联系，经过推理，得到关联理论，从而起到通信报警、预测、决策的目的^[22-24]。最早提

出关联规则问题的是“啤酒-尿布”事件，虽然这个实例的真实性我们无法考证，但是它提出的关联规则问题所起到的预警和决策作用是不容怀疑的。所谓关联规则，就是指在大型数据库系统（DBS）中的 A 与 B 存在形如 $A \Rightarrow B$ 的规则^[22]。依据不同的标准，对关联规则的分类也存在差异性。按所需处理变量的类别不同，可将关联规则分成布尔型、数值型；按数据存在的抽象层次，分成多层或是单层关联规则；按照数据的维数分类，关联规则可以分为单维的和多维的。在现实问题中，标准的单维布尔型关联规则基本很少，主要是关于数值型的，且是多层次、多维度的关联规则占大多数。本文所研究的仿真模型所涉及到的关联规则也是多维的、数值的。所以在本节中将主要对多维数值型关联规则及其求解算法进行介绍。

多维数值关联规则就是在一个事务集中存在形如 $X \wedge Y \wedge Z_i \Rightarrow A(i=1,2,3\dots)$ 的蕴含式，其中 X, Y, Z_i 的属性可以被划分成不同的数值区间，则 $X \wedge Y \wedge Z_i \Rightarrow A$ 被称为多维数值关联规则^[25,26]。

多维数值关联规则同单维布尔型关联规则一致，即在给定的事务集中，找到置信区间和支持度大于用户自定义的最小置信区间和最小支持度的规则，一般求解多维数值关联规则的步骤如下：

- ① 将每个维度的属性划分为多个不同的区间，确定与每个维度的相关原子集合。
- ② 将每一个原子集合映射为一个逻辑项目，即将其转化为布尔型。
- ③ 在事务集中利用求解单维布尔型关联规则的Aprior算法求出频繁项集，并依据给定的最小支持度和最小置信区间得到关联规则。
- ④ 从关联规则中得到有趣的规则。

具体的求解算法流程如图 2.9 所示^[21,25,27]。

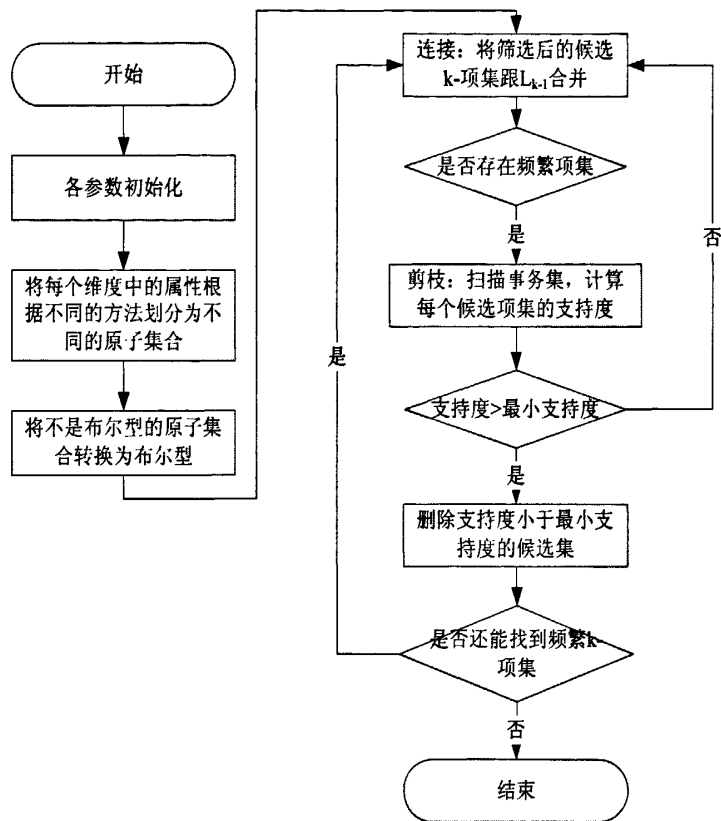


图 2.9 求解数值型多维关联规则的 Aprior 算法流程图

Fig. 2.9 Aprior Algorithm Flow Chart of Solving Numerical Multidimensional Association Rules

从上述步骤可以看出，求解多维数值性关联规则与求解关联规则的步骤的差别仅在于第一步对数值区间的划分，一般来讲，其中对数值型关联规则有以下几种处理方式^[27,46]。

- ① 数值字段按照用户自定义的方式进行分层，则称为静态数量关联规则。
- ② 通过聚类分析将数值字段分为几个区间，将每个区间定义为一个布尔型变量，落入其中就是1，反之，既是0。这种分法的关联规则被称之为布尔数量关联规则。
- ③ 将数值字段分成一些能体现其含义的区间，并将数值之间的距离考虑进去，这种关联规则称之为基于距离的关联规则。

由于第二种方法的简单，可行，所以本文在建立仿真模型时采用的是第二种方法对数值型关联规则进行处理。

(2) 堆场系统仿真中常用的概率分布

① 泊松分布

泊松分布 (Poisson分布) 是一种常见的离散概率分布^[12], 其概率密度函数为:

$$P(x=k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (2.1)$$

其中, λ 为单位时间内平均到达的顾客数。

② 指数分布

在概率论和统计学中, 指数分布 (Exponential Distribution) 是一种连续概率分布^[12,28]。其概率密度函数为:

$$P(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

其中, $\lambda = 1/E(x_i)$, 一般来说, 指数分布多半用来表示随机变量到达的间隔时间分布^[28]。

③ 正态分布

正态分布 (Normal Distribution) 又被称作高斯分布 (Gaussian Distribution), 是概率论中常见的一种较重要的分布^[29]。其概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

其中, μ 为期望值, σ 为标准差。若 $\mu=0$, $\sigma=1$ 为标准正态分布。

(3) 随机数的生成

在仿真过程中, 存在着大量的随机因素, 所以在建模的过程中就需要用服从各种分布的随机变量来描述系统中的偶然性事件。从而使多次仿真或是较长时间的仿真更接近现实系统。而随机变量产生的基础就是随机数的生成, 随机数的产生主要有蒙特卡罗法和伪随机数法。本文主要使用蒙特卡洛法产生随机数, 蒙特卡洛法的主要思想是: 当实验次数达到一定次数时, 某一事件发生的概率近似的等于该事件出现的频率。当所求解的问题具有某种数学特征的时候。可以通过统计推断的方法, 获得样本参数代表的总体参数的置信区间, 从而确定事件发生的

概率或者服从的随机分布。通过利用随机分布函数生成随机数作为系统的随机变量。采用蒙特卡洛法，在一定置信区间下求解得出的解，是解决实际工作中随机问题的一个相对较好的办法^[14,15,20]。

2.5.2 仿真模型的设计方案

2.4节已经详细的介绍了驱动仿真模型运行的仿真策略，但是仿真策略的确定仅仅明确了仿真模型的整体控制算法，还需要对仿真模型进行详细的设计。2.5.1已经介绍了设计仿真模型需要的具体理论。下面将详细的介绍仿真模型的具体设计方法。

本文所研究的离线环境下的集装箱实时监控仿真模型采用的是利用混合调度策略的建立仿真模型，可以分成三个部分进行设计^[12,20,48,50]：

- 仿真模型的总体控制模块设计；
- 仿真模型公共模块设计；
- 仿真模型各子模块设计。

第一部分一般是对公共模块和仿真模型各子模块中的所有子模型进行整体概述，主要控制仿真模型的仿真策略、仿真时钟和对仿真测试事件的判断执行，是仿真模型的执行者和控制者。一般来说，对于仿真语言，如 Witness、e-Plant 等已经嵌入了仿真模型的总体控制执行机制；但本文为了与现行集装箱堆场实时监控系统进行整合，采用的是计算机程序语言，所以需要自己编写总控程序控制总体仿真模型的运行。

第二部分是仿真模型的公共模块，其主要是为第三部分子模型的建立提供随机变量的参数，主要包括用于分析、统计规律的数据；统计分析各个随机变量的规律；生成随机变量等等。建立此部分的相关理论已经在 2.5.1 进行了简要概述。

第三部分是对各个模型的子单元进行设计，主要描述每个事件、实体、活动等之间的逻辑关系，尽可能的模拟现实系统的运行过程，是建模者主要关心的问题。一般来说采用不同的仿真策略，模型的第二部分也有不同的构造，也就是说组成仿真模型的基本单元是不相同的。由于本文所研究的内容最终是要在计算机

上实现，并与现行系统进行接合，所以本文对模型的建立主要采用类似于计算机流程图的方法。

第 3 章 基于 DEDS 的集装箱堆场实时监控系统模拟仿真的模型

3.1 集装箱堆场作业及其监控系统概述

本文主要内容是对离线环境下的集装箱堆场实时监控系统仿真情况进行研究，即在离线情况下，对实时监控系统所监控到的集装箱堆场作业情况进行仿真。所以首先需要了解集装箱堆场的作业流程和实时监控系统的相关概念。

集装箱堆场是指临时堆存、保管和转运集装箱的露天场地^[30]。包括船舶、泊位、堆场、装卸机械、水平运输机械和道路等若干个相互联系、相互制约的动态要素^[5]。一个典型的集装箱堆场如图3.1所示。

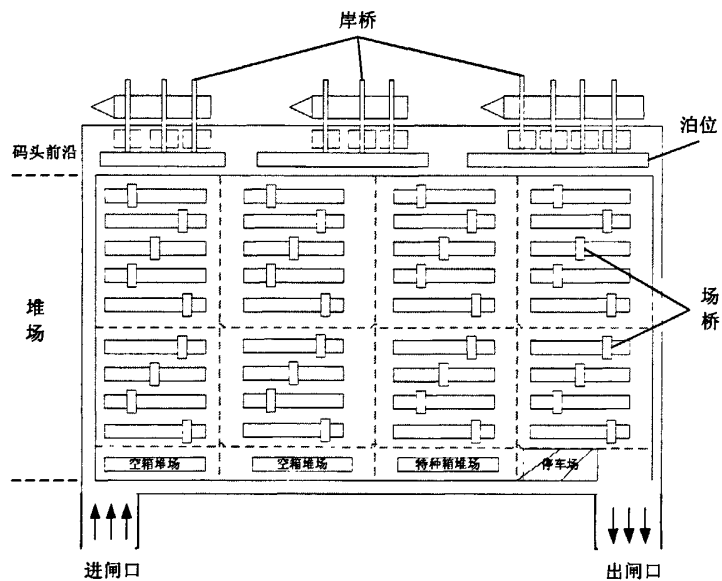


图 3.1 集装箱堆场图

Fig. 3.1 the Diagram of Container Yard

从上述集装箱堆场图可以看出，集装箱堆场主要包括船舶到港子系统、岸桥装卸子系统、堆场存取子系统、水平搬运子系统、集卡疏运子系统。集装箱堆场主要以船舶到港作为驱动力，驱动整个集装箱堆场的运作。首先在进口流程中，船舶到港后，码头上的装卸机械将集装箱从船舶上卸载下来，可以直接放在集装箱堆场指定的位置上，也可以放到拖车上由拖车直接运送到闸口，办理完手续后，将集装箱交给客户。在出口流程中，调度员根据预期的船舶到港时间对集运卡车

进行调度，由集运卡车将集装箱运输到集装箱码头，经过闸口检查后送达堆场，办理相关手续后，由船舶运送出港^[30-32]。另外，由于船舶上对集装箱装载的限制，有些时候需要对堆场进行倒箱作业。具体的作业如图3.2所示。

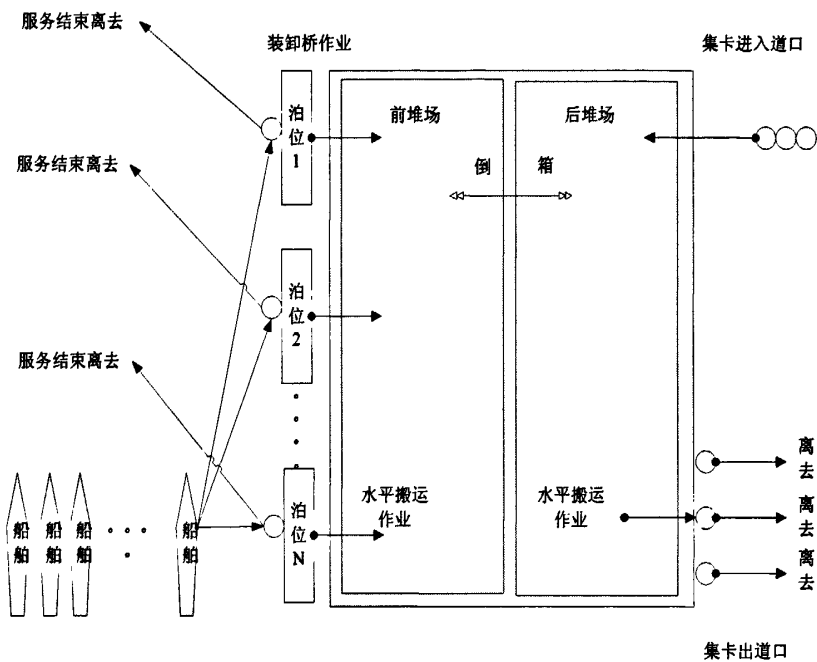


图 3.2 集装箱堆场作业

Fig. 3.2 The Operation about Container Yard

通过上述分析可知，由于船舶到港的随机性，导致整个堆场作业具有很强的随机性，并且一个事件的发生可以触发另一个事件的发生。例如，船舶到港事件可能触发靠泊事件的发生，而船舶靠泊后会触发与集装箱有关的一系列事件的发生，这些事件共同演绎着整个堆场的作业活动。所以整个堆场作业组成的系统符合离散事件动态系统的概念，是一个典型的离散事件动态系统。

由于堆场作业的随机性和复杂性，堆场常常会发生排队等候现象，由此可能造成堆场道路阻塞等突发状况。所以港口企业开发监控系统，通过监控得到堆场运作情况，及时将信息传给中控系统，由中控室发出作业指令，调配机械运作，减少了机械的等待时间和集装箱堆场机械拥挤情况的发生，也避免了“场桥”等机械不必要的移动，提高了机械运作的效率，使堆场管理更科学化。所以可以认

为，堆场实时监控系统就是监控堆场作业运作情况的 EDI 信息系统。具体的监控示意图如图 3.3 所示。

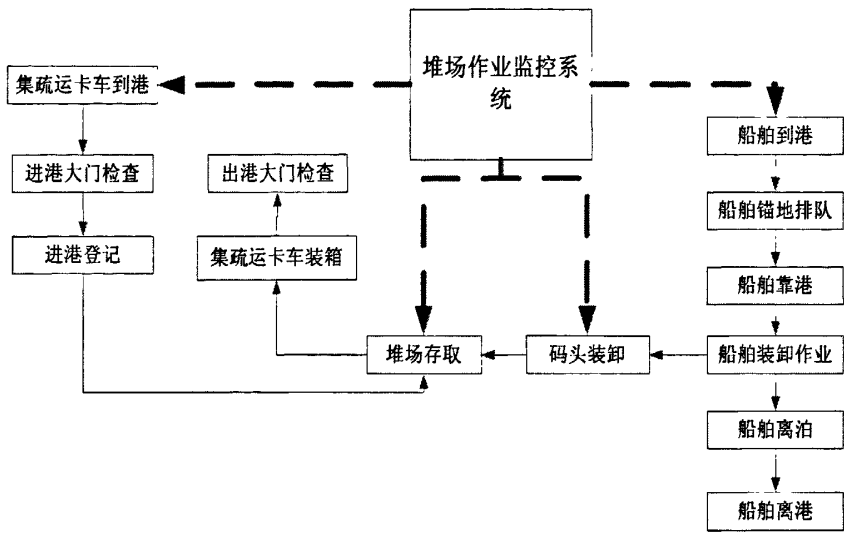


图 3.3 集装箱堆场监控示意图

Fig. 3.3 Schematic Diagram of Monitoring Container Yard

3.2 仿真模型的目标和内容

通过上述对集装箱堆场和集装箱实时监控系统的分析，可以得知实时监控系统在某种程度上提高了机械运作的效率，减少了堆场发生混乱的可能性。但由于堆场作业的复杂性，难免会有很多随机情况发生。例如某些船舶未通知堆场即到达了港口，堆场作业由于船型特殊导致作业延迟，影响后续工作的进行。如何在最短的时间内给予最好的处理方式，就必须在系统调配前做到充分的预测，对短时间内堆场可能发生的情况进行仿真就是本文需要解决的主要问题。

由于船舶到港是整个集装箱堆场作业的主要驱动事件，一些后续事件、活动的产生均是由船舶到港事件驱动，所以仿真堆场在一段时间内的运作情况，最根本的问题就是研究驱动事件的可能发生情况，根据模拟的船舶到港时间间隔，装卸集装箱量，装卸桥、堆场内拖车、场桥的作业时间来推测集装箱堆场在短期内可能出现的状况，帮助管理者有效控制集装箱堆场的管理，及时准确的调配集装箱堆场拖车、场桥等机械，提高机械利用率，减少堆场拥挤现象的发生；在应对

突发问题的发生起到了一定程度的预警、提示作用，为管理者的决策提供定量依据。

本文研究内容主要有两个：第一是在系统短期断网的情况下，对港口可能发生的船舶到港、集装箱存取等活动进行仿真，以提高原有系统的用户体验；第二是在任何情况下由用户自行切断网络模拟演示以当前情况作为初始化状态，仿真船舶在港这段时间所发生的全部活动，以达到判断泊位分配、机械调度是否合理的目的。

3.3 仿真模型的抽象和简化

在3.2节中已经阐述了模型仿真的目标和内容，由于实际系统的复杂性，要建立一个与实际系统完全相同的模型需要过多的参数，过多的数据，并且周期也比较长。仿真模型应抓住主要因素，忽略对结果影响较小的因素，将模型简化成更利于计算机表达的仿真模型。所以仿真模型应紧紧围绕着仿真目标展开，不同的仿真目标对仿真细节的要求也是不相同的，只要能满足目标要求，可以尽可能的简化模型。对模型进行简化一方面可以减少工作量，另一方面可以减少对仿真模型造成的不必要的干扰^[33]。

所以对3.1节分析的集装箱堆场作业进行简化，将堆场作业的主要驱动事件作为本文的研究内容，即研究船舶到港、装卸集装箱作业、水平移动集装箱等几个关键方面。由于集装箱堆场作业符合DEDS的概念，所以建立模型是依据DEDS的相关概念进行建立的。根据DEDS基本要素的概念得到的实体有：泊位、船舶、装卸桥、堆场、水平搬运机械、堆场场桥、集装箱。还可以得到事件、进程、活动等要素，具体如表3.1所示^[47,49,50]。

表 3.1 本文主要研究的事件和活动表

Tab. 3.1 The Events and Activities Table in the Paper

进程	事件/活动	解释
船舶到港	事件	拥有各种特征的船舶到达锚地
	事件	如果码头泊位空闲，则船舶驶入泊位；如果码头泊位没有空闲，则船舶在锚地排队等待

表 3.1 本文主要研究的事件和活动表（续）

Tab. 3.1 The Events and Activities Table in the Paper (Continued)

进程	事件/活动	解释
卸船 进程	事件	船舶停靠在泊位，装卸桥开始作业
	活动	装卸桥将集装箱运到水平机械上
	事件	装卸桥卸船作业结束，水平机械开始作业
	活动	水平机械将集装箱运输到前方集装箱
	事件	水平机械作业结束，堆场场桥开始作业
	活动	场桥将集装箱按一定规则将集装箱堆放在堆场
	事件	堆场场桥卸船作业结束
装船 进程	事件	船舶停靠在泊位，场桥作业开始
	活动	场桥按船舶配载图将集装箱堆放取出送给水平机械
	事件	堆场场桥结束作业，水平机械作业开始
	活动	水平机械将集装箱从堆场运输到泊位前沿
	事件	水平机械作业结束，装卸桥开始作业

通过表3.1可以看出，本文所仿真的内容是由船舶到港这个事件驱动，而后发生卸船进程，卸船进程又驱动装船进程的发生，其具体的活动图如图3.4所示。

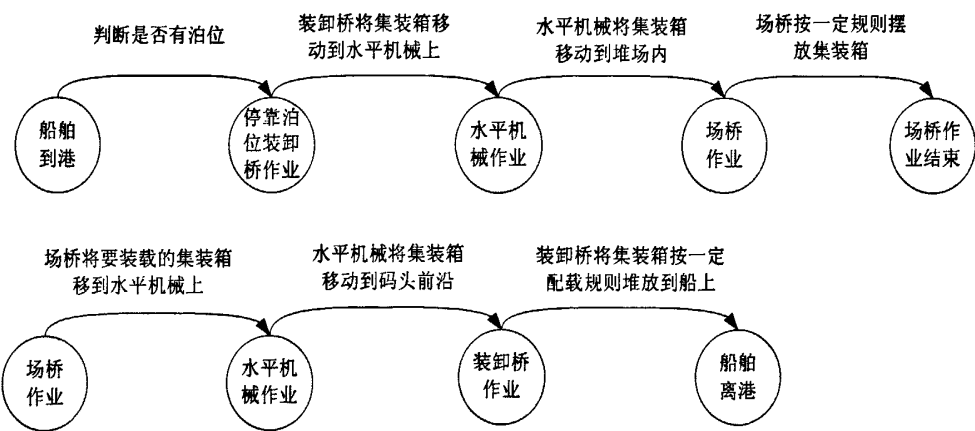


图 3.4 集装箱堆场活动图

Fig. 3.4 Activity Diagram of the Container Yard

虽然已经对港口作业进行了一定程度的简化，但由于实际情况下的随机因素过多，如果考虑的过多将增加工作量，并会对仿真结果造成不必要的干扰。综合本文的研究目的和研究内容对所建立的港口仿真模型做如下假设，以达到在最小影响因素下真实的模拟港口运作情况。

(1) 模型中假设泊位与堆场相邻, 船舶靠泊后只有两种情况: 一种是卸载后直接由拖车送到大门; 另一种是直接存放到堆场, 无需拖车运送。

(2) 模型不考虑特殊箱型, 如冷藏箱、危险箱、特高箱的影响。

(3) 模型忽略了装船时根据配载图装船所造成的移箱、倒箱作业, 只考虑机械装船、卸船的平均作业时间。

(4) 因为多泊位港口运作模型仅仅是单泊位港口的多线程并发作业, 所以本文的模型仅考虑单泊位下的集装箱堆场运作情况。

(5) 模型中假设泊位符合所有船舶的停靠条件, 任何一种船舶都可以在这个泊位上停靠。

(6) 模型主要是为管理者提供优化调度机械的策略, 所以在本模型中, 不考虑机械出现故障的概率, 并假设船舶到港时, 拖车等已经调配到位, 忽略船舶等待拖车的时间。

3.4 仿真模型的仿真策略确定

3.2节已经确定了仿真模型研究的目标和内容, 并在3.3节对模型的研究目标和内容进行了简化和假设, 下面的章节将主要讲述模型的建立。从3.1节可知, 本文所研究的集装箱堆场实时监控系统仿真模型, 是对监控系统监控到的集装箱堆场作业进行模拟仿真。基于DEDS的集装箱堆场实时监控系统仿真研究是建立在现代化管理的基础上, 根据堆场所发生的离散型随机事件、堆场运作过程中涉及的实体和仿真时钟的推进机制, 按照堆场的作业规则建立起模型。所以对模型的设计首要问题是对仿真策略的确定。

在2.4节已经阐述了仿真策略的基本调度方式, 下面将对建立的集装箱堆场实时监控系统的仿真模型所需要的仿真策略进行说明。由于堆场作业系统的复杂性, 如果单纯的采用一种仿真策略无法准确的描述现实中监控系统监控到的堆场作业。所以本文采用将面向时间间隔、面向事件调度、面向活动扫描三种仿真策略结合的混合仿真策略。

3.4.1 船舶到港作业仿真策略

船舶到港这个作业过程，涉及三个实体：两个永久实体：锚地和泊位；一个临时实体：船舶。通过对实时监控系统监控到的整个堆场作业的流程描述，可以看出其仿真机制符合活动扫描法。船舶到港后，靠泊事件能否发生，主要取决于泊位这个永久实体是否空闲，且锚地是否存在等待队列。但如果采用活动扫描仿真方法，则需要反复扫描两个活动事件来判断执行，因此效率比较低。所以本文借鉴了事件调度仿真策略的方法，将活动分为了两种，一种是确定事件的执行，一种是条件事件的执行^[20]，当系统仿真时钟达到某一时刻时，则必然会执行确定事件，而条件事件的执行是需要满足特定条件时才可以执行。基于这种思想，船舶到港作业的具体仿真策略如下：

(1) 初始化：

- ① 设置仿真开始时间 t_0 为系统时间；
- ② 扫描实体初始化状态：锚地是否有船舶等待——条件事件；
- ③ 确定船舶到港个数 N 和每艘船到港的时间元 $cell[i]$ ；

(2) 如果锚地有等待船舶，则将仿真时钟设置为当前时间，并将到港的船舶放入锚地等待队列；否则将仿真时钟设置为 $cell[i]$ ，执行船舶靠泊事件——确定事件。

(3) 执行船舶靠泊事件：

```
{
M1: 船舶靠泊准备活动；
M2: 船舶靠泊活动；
If (锚地是否有等待船舶) 有，则转 (2)；无，则转 (4)
}
```

(4) 仿真结束。

3.4.2 集装箱卸载作业仿真策略

集装箱卸载作业，由于机械作业特殊性，所以每间隔一分钟左右就要对仿真模型进行执行，以判断机械是否对集装箱进行作业，所以集装箱卸载作业的仿真

策略采用时间间隔仿真策略,但是由于集装箱卸载机械作业时间较长,如果单独采用时间间隔仿真策略,很有可能发生在一段相当长的时间内系统状态没有变化,所以集装箱的卸载作业采用的是时间间隔仿真策略和事件间隔仿真策略相结合的方式。具体的仿真策略如下:

(1) 初始化:

- ① 设置仿真开始时间 t_0 为系统时间。
- ② 扫描实体初始化状态: 是否开始卸载集装箱;
- ③ 设置时间步长 t ;

(2) 仿真时钟+时间步长 t , 执行下列事件:

{

M1: 如果当前时间存在机械调度则执行机械调度事件;

M2: 判断岸桥等机械作业时间, 如果当前存在机械作业完成情况, 则执行机械完成事件;

If (集装箱卸载全部调度完成) 是, 则转 (3), 否, 则转 (2);

}

(3) 扫描事件表中未完成的机械作业完成事件, 将仿真时钟推进到最早的机械卸载作业完成事件 t_1 。

(4) 执行事件后 if (事件表为空) 是则转 (5), 否则转到 (2);

(5) 仿真结束

3.4.3 集装箱装载作业仿真策略

由于装载作业是卸载作业的反过程, 通过上述对卸载作业的仿真策略分析, 可以认为装载作业可以同时采用时间间隔和事件间隔相结合的仿真策略。

(1) 初始化:

- ① 设置仿真开始时间 t_0 为系统时间。
- ② 扫描实体初始化状态: 是否开始装载集装箱;
- ③ 设置时间步长 t ;

(2) 仿真时钟+步长 t , 执行下列事件:

{

M1: 如果当前时间存在机械调度则执行机械调度事件;

M2: 判断岸桥等机械作业时间, 如果当前存在机械作业完成情况, 则执行机械完成事件;

If (集装箱装载全部调度完成) 是转 (3), 否转 (2);

}

(3) 扫描事件表中未完成的机械作业完成事件, 将仿真时钟推进到最早的机械装载作业完成事件 t_1 。

(4) 执行事件后 if (事件表为空) 是则转 (5), 否则转到 (2);

(5) 仿真结束

3.5 仿真模型总控制模块的建立

虽然 3.4 节对集装箱堆场各个作业的仿真策略已经确定了, 但仿真策略仅仅是驱动仿真模型运作的算法, 还需要确定对仿真模型进行具体的设计。从 3.4 节确定的仿真策略来看, 基于 DEDS 的集装箱堆场实时监控系统仿真模型是一种基于混合仿真策略的仿真模型, 所以此仿真模型主要分三部分进行设计: 总控制模块、公共子模块、单元子模块。首先是对仿真模型的总控制模块的设计。总控制模块主要根据仿真策略来控制仿真时钟和条件事件的执行, 并确定整个仿真模型存在的子模块, 并协调每个子模块之间的运行, 同时, 协调在线/离线实时监控系统的参数传递工作, 是集装箱堆场实时监控系统仿真模型的控制者和执行者。

由于仿真模型中需要很多随机变量, 所以仿真模型需要建立一个公共子模块存储数据并生成随机变量, 为单元子模块中的各个单元子模型提供参数依据。通过上几节对集装箱堆场作业流程的分析可知箱码头堆场作业工作环节非常多, 其作业受到许多随机因素的影响^[5], 如, 船舶到港情况受随机变化的天气影响; 泊位、设备运作等情况随时间变化而变化; 船舶到港间隔时间和装卸集装箱量根据不同的船公司和船舶的不同的型号而有所不同; 还有海关通关时间; 集装箱到港的箱量、尺寸、重量等。要在模型中考虑所有因素是不现实的, 也是没有必要的。通

过对仿真模型的目标和内容进行分析，可以得到建立模型所需要的参数情况如表 3.2所示。

表 3.2 仿真模型的主要参数

Tab. 3.2 the Main Parameters in Simulation Model

过程	参数
船舶到港	每天船舶到港数量
	船舶到港时间
	集装箱船船型分布
	到港船所需卸载集装箱数量
	到港船所需装载集装箱数量
卸船进程/装船进程	集装箱等待装卸桥时间
	装卸桥作业时间
	集装箱等待场桥时间
	场桥作业时间

所以总体控制模块中所控制的公共子模块中应包括船舶到港分布、船舶到港船型分布、船舶靠泊时间规律、集装箱船装/卸载集装箱箱量分布。而通过 3.4 节的仿真策略的确定可以知道总体控制模块中所控制的单元子模块中应包括船舶到港子模型、集装箱船卸载作业子模型、集装箱船装载作业子模型。具体的控制结构图如图 3.5 所示。

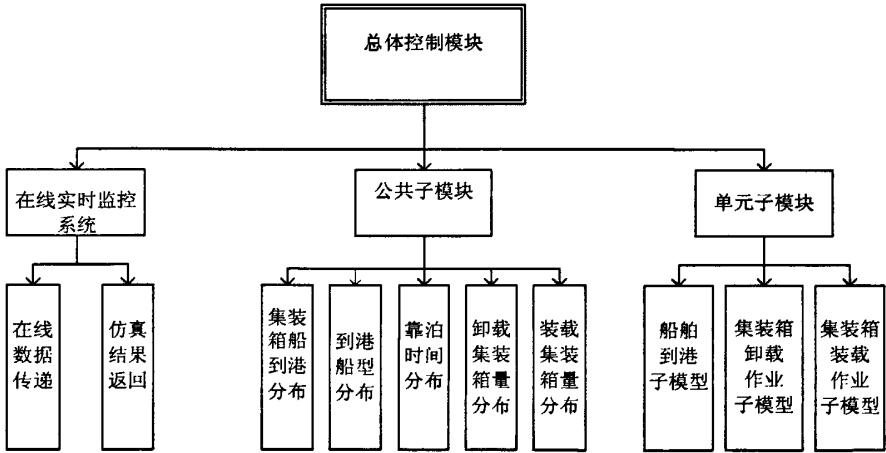


图 3.5 总体控制模块的控制结构图

Fig. 3.5 The Overall Structure Diagram of Control Module

当离线情况发生后，即开始进行系统仿真时，将执行仿真模型的总控制模块，从在线实时监控系统中将刚离线时的状态及其相关参数传递给船舶到港子模型，执行船舶到港部分，判断泊位情况，空闲则执行船舶子模型的船舶靠泊事件，否则将事件表和参数返回给总体控制部分，然后由总体控制部分来判断离线时实时监控系统的当前状态，如果为“卸载状态”则执行卸载作业子模型，为“装载状态”执行装载作业子模型。在整个过程中，始终存在着在各个子模型中进行参数传递和事件表的传递，整体上由总体控制程序控制仿真时钟进行。具体控制流程如图3.6所示。

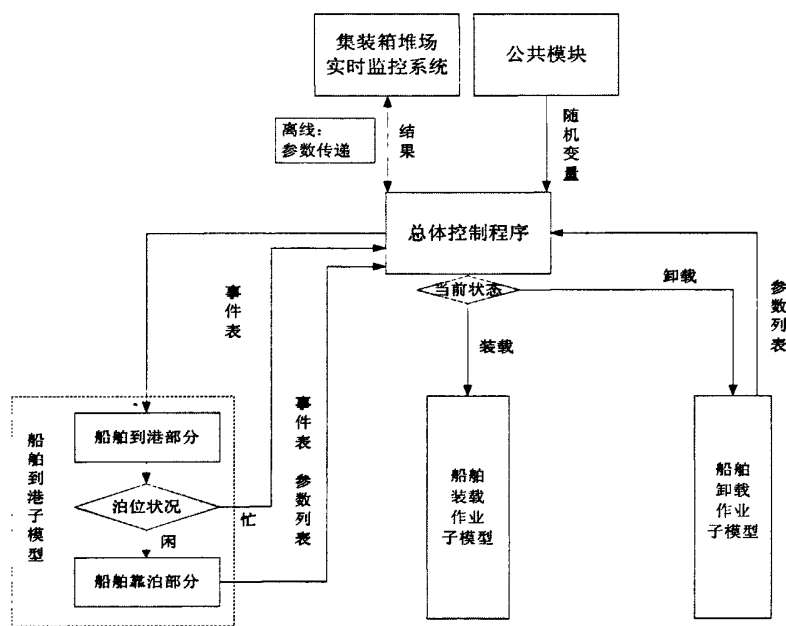


图 3.6 总控制模块设计图

Fig. 3.6 Design Figure of Control Module

具体的子模块中包含的子模型运作情况和公共子模块中所包含的具体部分将在下几个章节中给予详细阐述。

3.6 仿真模型的公共子模块的建立

在3.5节对仿真模型总控制模块的建立中已经介绍了仿真模型公共子模块所包含的主要部分，在使用计算机仿真的过程中，分析以上分布规律是建模的基础，本文研究中所使用的数据均是来源于某集装箱堆场的真实数据，通过样本数据得

到集装箱堆场参数的分布规律。以下小节将逐个对公共子模块所包含的具体分布规律进行详细研究。

3.6.1 集装箱船到港分布规律

集装箱船到港规律主要包括集装箱船每天到港的个数和每艘船舶可能到港的时间。下面将对以上两个问题的分布规律进行研究。

(1) 船舶每天到港个数分布

研究所用的数据是从集装箱实时监控系統所使用的数据库中的船期表 (tplan_vessel_voy) 中利用 SQL 语句 (select count(t.vss_code) as ship_count, trunc(t.to_port) as arrival_date from tplan_vessel_voy t group by trunc(t.to_port) order by trunc(t.to_port)) 得到的。取两年内每天到港的集装箱船数量为一个样本, 样本容量为612。部分样本数据如表3.3所示。

表 3.3 每天到港船舶数量

Tab. 3.3 Ship Number Arriving Every Day

序号	船舶数量	到港日期	序号	船舶数量	到港日期
1	5	2003-4-1	16	1	2003-4-17
2	2	2003-4-2	17	3	2003-4-18
3	5	2003-4-3	18	2	2003-4-19
4	1	2003-4-4	19	3	2003-4-20
5	2	2003-4-5	20	3	2003-4-21
6	5	2003-4-6	21	6	2003-4-23
7	3	2003-4-7	22	2	2003-4-24
8	3	2003-4-9	23	2	2003-4-25
9	3	2003-4-10	24	4	2003-4-26
10	4	2003-4-11	25	5	2003-4-27
11	4	2003-4-12	26	1	2003-4-28
12	2	2003-4-13	27	3	2003-4-30
13	7	2003-4-14	28	3	2003-5-1
14	4	2003-4-15	29	3	2003-5-2
15	3	2003-4-16	30	6	2003-5-3

首先对到港船舶进行独立性检验，利用SPSS软件的游标检验，得到船舶每天到港数量样本均值为 $\bar{u}=2.89$ 。样本数据大于均值的有146个，小于均值的有109个，得到的渐近显著性为0.917，远大于显著性水平0.05，故可知，则每天到港船舶的样本具有独立性。

利用SPSS软件的“图形-直方图”的到样本均值为(3.1)：

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i = 3.04 \quad (3.1)$$

样本标准差为(3.2)：

$$S = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2} = 1.578 \quad (3.2)$$

得到的直方图如图3.7所示：

从船舶到港数量直方图，即图3.7，可以看出，到达港口的船舶数服从泊松分布(3.3)：

$$P(x=k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (3.3)$$

其中， λ 为每天到港的平均船舶数，经上面的推算，可得到 $\lambda=3.04$ 。

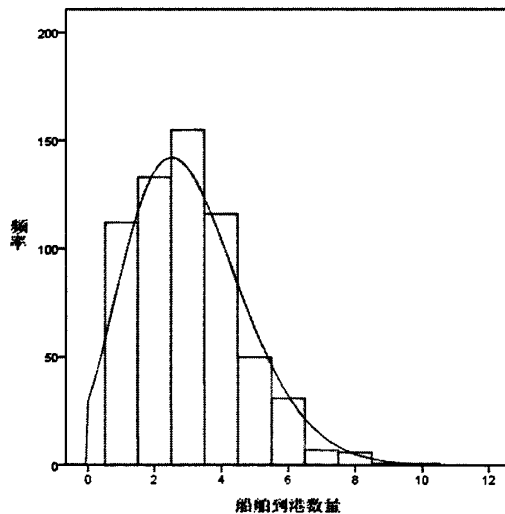


图 3.7 船舶到港数量直方图

Fig. 3.7 Histogram of the Arriving Ship Number

由于需要验证假设的分布规律是否合理，所以需要进行检验。在本文中利用非参数检验^[34,35]来检验总体假设是否合理。SPSS软件提供了二项检验、卡方检验、两对立样本检验、两配对样本检验、多独立样本检验、对配对样本检验、游标检验和单样本K-S检验等八种非参数检验方法^[36]。本节利用SPSS软件的单样本K-S检验，得到显著性概率 $p=0.120>0.05$ ，表明样本服从泊松分布，其检验结果如表3.4所示。

表 3.4 单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验
Tab. 3.4 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		船舶到港数量
N		612
Poisson 参数 ^{a,b}	均值	3.04
最极端差别	绝对值	0.048
	正	0.034
	负	-0.048
Kolmogorov-Smirnov Z		1.186
渐近显著性（双侧）		0.120

所以船舶到港个数分布符合泊松分布(3.4)：

$$P(x=k)=\frac{3^k e^{-3}}{k!} \tag{3.4}$$

利用此函数产生船舶到港个数的随机变量。

(2) 船舶到达时间间隔分布

一般来讲，泊松事件流的等待时间（相继两次出现之间的间隔）服从指数分布(3.5)^[15,28]。

$$P(x)=\begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0 \\ 0, x \leq 0 \end{cases} \tag{3.5}$$

其中， $\lambda = 1/E(x_i)$

由上述数据中得到两时间间隔的期望值为4.85（小时）^[37]，则 $\lambda \approx 120$ （分钟）。利用此函数求得两艘船舶到港的间隔时间，从而确定船舶到港时间的随机变量。

3.6.2 集装箱船到港船型分布规律

为了得到集装箱船到港的船型分布情况，首先需要了解停靠港口的集装箱船共有几种船型，从船舶编码表 (tcode_vessel) 中得到到达船舶的基本资料。但得到的船舶资料中存在大量观测变量，其中船舶自身情况包括：船舶代号、船舶名称、国籍、净重、船公司、船舶载量、船舶最大载重量、船舶长度、船舶宽度、载箱量、船舶最大贝位、最大层数、甲板上最大列、甲板下最大列、航线代码、航线属性、机舱位置等等二十多个变量，这些变量中许多变量存在着相关联系，如果全部都考虑进来的话，势必导致信息的重叠，增加问题的复杂性，而且也是没有必要的^[38-40]。因子分析即是解决以上问题的方法。因子分析^[36](Factor Analysis) 是一种数据简化的技术，它通过研究众多变量之间的内部依赖关系，探求观测数据的基本结构，并用少数几个独立的不可观测的变量来表示其基本的数据结构。因子分析采用SPSS18.0进行。

利用SQL语句 (select t.vss_code, t.vsslname, t.weight, t.load_wt, o.owern_name, t.laterdeep, t.shiplong, t.shipwidth, t.cnt_capacity, t.maxbay, t.maxlevel, t.maxrow, t.maxrowu, l.line_type, s.line_name from tcode_vessel t, tcode_line l, tcode_line_ship s, tcode_owner_ship o where t.line_code=l.line_code and l.line_code=s.line_code and o.owern_code=t.owner) 从数据表中读取的到达港口的船舶数据，样本容量为230，从船舶所有的二十多个变量中抽取了十三个变量^[41-43]：船舶代号、净重、船舶载量、船舶最大载重量、船舶长度、船舶宽度、载箱量、船舶最大贝位、最大层数、甲板上最大列、甲板下最大列、航线代码、航线属性。将这些数据放入SPSS数据文件中，以免每次都要从数据库中读取数据。部分船舶属性数据如图3.8所示。

序号	船舶代码	净重	载重	所属船公司	吃水	船长	船宽	载箱数	最大贝	最大层	甲板上最大层	甲板下最大层	航线属性	航线
1	新华泰6	1270	3500	青岛正和	5	88.1	12.6	300	11	9	7	5	内贸	韩国
2	恒泰9	1563	4262	青岛正和	5.6	95.8	13.8	200	11	9	6	4	内贸	韩国
3	永信2	1676	5000	青岛正和	5.9	98	15.8	200	11	9	6	4	内贸	韩国
4	成功68	1239	3373	青岛正和	5.3	87.6	12.6	200	10	9	6	4	内贸	韩国
5	振大2	1288	3300	青岛正和	5.2	86.8	13.2	300	10	9	7	5	内贸	韩国
6	新鸿祥7	1537	4433	青岛正和	5.9	95.6	13.5	300	10	9	7	5	内贸	韩国
7	振大3	1288	3500	青岛正和	5.2	86.8	13.2	200	11	8	6	4	内贸	韩国
8	宝兴5	1869	4000	青岛正和	5.8	104	14.6	200	11	10	6	4	内贸	韩国
9	浩丹2	2478	6736	青岛正和	6.2	109	16.9	200	11	10	6	4	内贸	波斯湾
10	华顶山1	1625	4368	青岛正和	5.2	98	13.8	200	11	11	6	4	内贸	韩国
11	新锦朋	2244	4400	青岛正和	5.2	103.4	15.7	300	11	10	7	5	内贸	韩国
12	金福星20	1643	4431	青岛正和	5.2	96.8	14.2	300	11	9	5	4	内贸	韩国
13	国华6	1508	4150	青岛正和	5.8	94	13.4	300	6	9	5	4	内贸	韩国
14	德勤9	1443	4150	青岛正和	5.2	91.6	13.2	200	11	10	6	4	内贸	韩国
15	德勤18	1427	4200	青岛正和	5.8	93.5	13.5	200	11	10	6	4	内贸	韩国
16	泰祥城	1760	3720	青岛正和	7.1	101.5	16.4	214	8	9	6	7	内贸	台湾
17	远迪	2080	5904	青岛正和	6.7	107	16.4	300	1	10	10	8	内贸	沿海
18	善宇11	1666	5200	青岛正和	5.6	106.7	16.2	300	19	14	8	6	内贸	内支线
19	新鸿源11	2347	6300	青岛正和	5.9	112	16	400	11	9	6	4	内贸	韩国
20	德勤3	1452	2536	青岛正和	5.2	92.8	13.5	200	11	9	6	4	内贸	韩国
21	浙南11	1391	4100	青岛正和	5.7	93.6	13.5	200	11	12	6	4	内贸	韩国
22	德勤5	1462	4300	青岛正和	5.8	93.5	13.8	200	11	9	8	4	内贸	韩国
23	SUNNYMAPLE	2002	5834	天敬海运	7.2	107.5	17.2	342	12	9	7	5	国际航线	澳大利亚
24	SUNNYPALM	1967	3996	天敬海运	5.5	107.5	17.2	342	12	9	7	8	国际航线	澳大利亚
25	SUNNYLAURE	1903	4025	天敬海运	5.5	107	17.2	334	12	9	7	8	国际航线	澳大利亚
26	SUNNYLINE	2023	3996	天敬海运	6.5	107	17.2	342	12	9	7	8	国际航线	澳大利亚
27	SUNNYLINE	1878	5965	天敬海运	6.5	107	17.2	342	12	9	7	8	内贸	韩国
28	LEYJUAN	1855	4280	天海	5.9	104.2	16.5	300	10	9	6	5	国际航线	东红东
29	金茂富源	4556	17170	天海	9.9	170.9	24.6	852	16	12	9	8	内贸	沿海

图 3.8 船舶属性数据

Fig. 3.8 The Date of Ship Attribute

由于因子分析中所有变量必须是数值型，所以将航线和航线属性转化为数值型。即用不同的数字代替航线属性和航线。利用SPSS18.0的因子分析工具中的KMO和Bartlett检验方法^[36]，检测出KMO值为0.851，大于1；并且Sig值为0.001，明显小于显著水平0.05，因此拒绝原假设，变量之间存在相关关系，适合进行因子分析。另外在表3.5中的提取项表示变量的共同度，从该表可以看出变量的共同性较高，变量中的大部分信息可以被因子提取，说明因子分析的结果有效。

表 3.5 公因子方差

Tab. 3.5 Variance of Common Factor

	初始	提取
净重	1.000	0.824
载重	1.000	0.804
后吃水	1.000	0.683
船长	1.000	0.914
船宽	1.000	0.910
载箱数	1.000	0.619
最大贝	1.000	0.687
最大层	1.000	0.692

表3.5 公因子方差（续）

Tab. 3.5 Variance of Common Factor (Continued)

	初始	提取
甲板上最大层	1.000	0.798
甲板下最大层	1.000	0.707
船舶属性	1.000	0.361
航线	1.000	0.598

利用SPSS18.0对船舶数据进行因子分析，得到如图3.9所示的碎石图。从碎石图可以看出，从第四个因子开始斜率就变得平缓了，而一般因子的选择在斜率较大的位置，所以需要提取三个因子才能完整的代替整个船舶的所有特征。

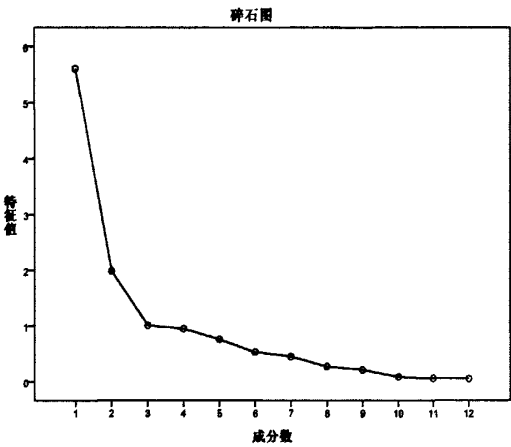


图 3.9 碎石图

Fig 3. 9 Stone Figure

如何确定哪些因素才能划分到一起作为同一个因子，同样利用SPSS18.0的因子分析工具得到如表3.6所示的相关矩阵和表3.7所示的成份得分系数矩阵。

表 3.6 相关矩阵

Tab. 3.6 Correlative Matrix

		净重 ^ρ	载重 ^ρ	吃水 ^ρ	船长 ^ρ	船宽 ^ρ	载箱量 ^ρ	最大贝 ^ρ	最大层 ^ρ	甲板上最大层 ^ρ	甲板下最大层 ^ρ	船舶属性 ^ρ	航线 ^ρ
相 关 ^ρ	净重 ^ρ	1.000 ^ρ	.930 ^ρ	.636 ^ρ	.899 ^ρ	.859 ^ρ	.540 ^ρ	.302 ^ρ	.386 ^ρ	.315 ^ρ	.267 ^ρ	-.192 ^ρ	.342 ^ρ
	载重 ^ρ	.930 ^ρ	1.000 ^ρ	.620 ^ρ	.906 ^ρ	.865 ^ρ	.509 ^ρ	.304 ^ρ	.382 ^ρ	.278 ^ρ	.229 ^ρ	-.198 ^ρ	.285 ^ρ
	吃水 ^ρ	.636 ^ρ	.620 ^ρ	1.000 ^ρ	.745 ^ρ	.759 ^ρ	.736 ^ρ	.279 ^ρ	.367 ^ρ	.282 ^ρ	.256 ^ρ	-.120 ^ρ	.285 ^ρ
	船长 ^ρ	.899 ^ρ	.906 ^ρ	.745 ^ρ	1.000 ^ρ	.922 ^ρ	.663 ^ρ	.334 ^ρ	.429 ^ρ	.298 ^ρ	.294 ^ρ	-.256 ^ρ	.286 ^ρ
	船宽 ^ρ	.859 ^ρ	.865 ^ρ	.759 ^ρ	.922 ^ρ	1.000 ^ρ	.693 ^ρ	.333 ^ρ	.338 ^ρ	.277 ^ρ	.324 ^ρ	-.288 ^ρ	.349 ^ρ
	载箱量 ^ρ	.540 ^ρ	.509 ^ρ	.736 ^ρ	.663 ^ρ	.693 ^ρ	1.000 ^ρ	.443 ^ρ	.333 ^ρ	.236 ^ρ	.246 ^ρ	-.171 ^ρ	.253 ^ρ
	最大贝 ^ρ	.302 ^ρ	.304 ^ρ	.279 ^ρ	.334 ^ρ	.333 ^ρ	.443 ^ρ	1.000 ^ρ	.038 ^ρ	-.315 ^ρ	-.236 ^ρ	-.213 ^ρ	-.082 ^ρ
	最大层 ^ρ	.386 ^ρ	.382 ^ρ	.367 ^ρ	.429 ^ρ	.338 ^ρ	.333 ^ρ	.038 ^ρ	1.000 ^ρ	.480 ^ρ	.367 ^ρ	.032 ^ρ	.063 ^ρ
	甲板上最大层 ^ρ	.315 ^ρ	.278 ^ρ	.282 ^ρ	.298 ^ρ	.277 ^ρ	.236 ^ρ	-.315 ^ρ	.480 ^ρ	1.000 ^ρ	.701 ^ρ	.020 ^ρ	.204 ^ρ
	甲板下最大层 ^ρ	.267 ^ρ	.229 ^ρ	.256 ^ρ	.294 ^ρ	.324 ^ρ	.246 ^ρ	-.236 ^ρ	.367 ^ρ	.701 ^ρ	1.000 ^ρ	-.084 ^ρ	.284 ^ρ
	船舶属性 ^ρ	-.192 ^ρ	-.198 ^ρ	-.120 ^ρ	-.256 ^ρ	-.288 ^ρ	-.171 ^ρ	-.213 ^ρ	.032 ^ρ	.020 ^ρ	-.084 ^ρ	1.000 ^ρ	-.027 ^ρ
	航线 ^ρ	.342 ^ρ	.285 ^ρ	.285 ^ρ	.286 ^ρ	.349 ^ρ	.253 ^ρ	-.082 ^ρ	.063 ^ρ	.204 ^ρ	.284 ^ρ	-.027 ^ρ	1.000 ^ρ
Sig. (单 侧) ^ρ	净重 ^ρ	ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.002 ^ρ	.000 ^ρ
	载重 ^ρ	.000 ^ρ	ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.001 ^ρ	.000 ^ρ
	吃水 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.035 ^ρ	.000 ^ρ
	船长 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ
	船宽 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ
	载箱量 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.005 ^ρ	.000 ^ρ
	最大贝 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	ρ	.282 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.001 ^ρ	.109 ^ρ
	最大层 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.282 ^ρ	ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.313 ^ρ	.173 ^ρ
	甲板上最大层 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	ρ	.000 ^ρ	.380 ^ρ	.001 ^ρ
	甲板下最大层 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	ρ	.103 ^ρ	.000 ^ρ
	船舶属性 ^ρ	.002 ^ρ	.001 ^ρ	.035 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.005 ^ρ	.001 ^ρ	.313 ^ρ	.380 ^ρ	.103 ^ρ	ρ	.341 ^ρ
	航线 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.000 ^ρ	.109 ^ρ	.173 ^ρ	.001 ^ρ	.000 ^ρ	.341 ^ρ	ρ

表 3.7 成份得分系数矩阵

Tab. 3.7 Coefficient Matrixes about Component Score

	成份		
	1	2	3
净重	0.161	-0.044	-0.047
载重	0.159	-0.062	-0.018
吃水	0.146	-0.038	0.093
船长	0.169	-0.061	0.008
船宽	0.168	-0.067	-0.099
载箱量	0.136	-0.083	0.125
最大贝	0.060	-0.365	0.219
最大层	0.092	0.188	0.531
甲板上最大层	0.078	0.390	0.088
甲板下最大层	0.077	0.359	-0.114
航线属性	-0.046	0.134	0.468
航线	0.070	0.116	-0.618

由上述表3.6所示的相似矩阵和表3.7所示的成份得分系数矩阵可以看出，船舶重量与船舶长度、船舶宽度的相关性最大；其次是集装箱承载量与船舶最大贝、最大层、甲板上/下最大排之间的相关性较大；航线属性和航线的相关性较大。所以将上述十二个变量分成三类：航线（航线属性；所走航线）；船舶装载集装箱能力（载箱子数，最大贝位，最大层数，甲板上/下最大排）；船舶指标（船舶重量、船舶长度、船舶宽度）。

本节的主要目的是通过关联规则找出上述三个因子的相互关联，从而确定不同船型中所包含的因子属性。通过上述分析可以看出，关联规则是单维数值型关联规则。这时存在一个数值区间划分的问题，如果区间划分的过多，则每个区间的支持度可能会下降，一些符合要求的频繁项集因不能满足最小支持度而被删除；若区间划分的过少，则区间中的个数可能增加，有可能因为不满足置信度而不被发现^[26,44,45]。在本文中采用聚类的方式对其数值区间进行划分。

由于不清楚应该对以上变量下的数据分成几类，所以先利用聚类分析中的两阶段法来确定分几类^[46]。将“航线属性”选入分类变量，把船舶净重、船舶长度、船舶宽度选入连续变量，在输出项中勾选上“信息准则”，如图3.10所示。

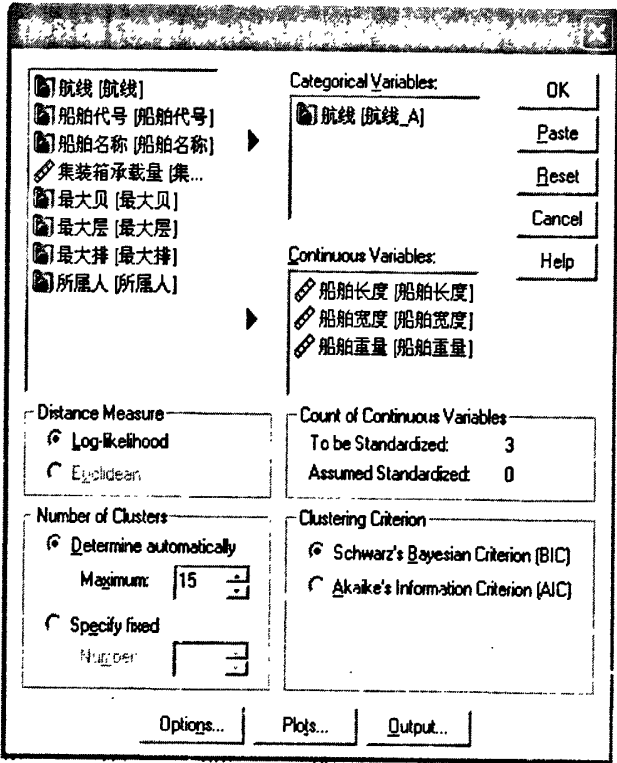


图 3.10 两阶段法聚类

Fig. 3.10 Clustering based Two-stage Method

两阶段法聚类分析后，得到了自动聚类表，如图3.8所示。第一列为聚类个数，系统默认为15；第二列是施瓦茨贝叶斯准则，即BIC，它说明了聚类结果的复杂性，其数值越小聚类结果越理想；第三列是BIC变化，即dBIC，它反映了合并前后两种聚类结果的变化情况，它的值越大，结果越理想；第四列是BIC变化率，即rBIC；第五列是描述距离，即rDM，一般认为，它的值越大，聚类结果越好^[34]。

从表3.8可以看出，dBIC（2）为-396.047，小于0；继续观察下一列，rBIC小于0.04的从5行开始，依次观察从第一行到第四行的rDM，从中找出一个最大的（4.148）和一个次大的（2.30），求比： $4.148/2.3=1.803>1.15$ ，因此取聚类个数为4类^[35]。然后使用快速聚类分析，如图3.11所示。

表 3.8 自动聚类表
Tab. 3.8 Auto-Clustering

Number of Clusters	Schwarz's Bayesian Criterion (BIC)	BIC Change (a)	Ratio of BIC Changes (b)	Ratio of Distance Measures (c)
1	852.634			
2	456.587	-396.047	1.000	4.148
3	390.269	-66.318	.167	1.097
4	333.184	-57.085	.144	2.307
5	330.216	-2.969	.007	1.137
6	332.221	2.005	-.005	2.289
7	354.733	22.512	-.057	1.458
8	382.241	27.508	-.069	1.183
9	411.435	29.194	-.074	1.344
10	442.994	31.559	-.080	1.230
11	475.835	32.842	-.083	1.195
12	509.588	33.753	-.085	1.066
13	543.630	34.042	-.086	1.194
14	578.384	34.754	-.088	1.179
15	613.695	35.311	-.089	1.262

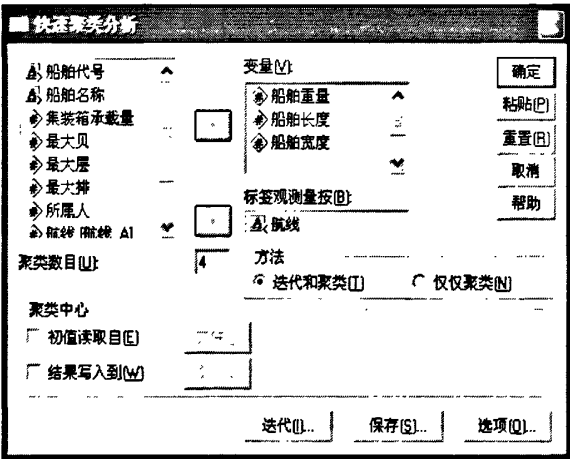


图 3.11 快速聚类

Fig 3. 11 Fast Clustering

通过上述聚类方法聚类,得到具体的聚类结果:按照船舶重量划分为四类,第一类:[500-2900]吨;第二类:[2901-6100]吨;第三类:[6101-10000]吨;第四类:[10001-14194]吨。

将集装箱承载部分的因子按如上步骤进行聚类,得到如下聚类结果:第一类:[0-260]TEU;第二类:[261-520]TEU;第三类:[521-900]TEU;第四类:[901-1118]TEU。

通过以上聚类分析得到的结果和关联规则的定义,可以得到如下项集:

$$Item = \{I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{21}, I_{22}, I_{23}, I_{24}, I_{31}, I_{32}\}$$

其中,

I_{11} -----船舶重量在[500, 2900]的船舶

I_{12} -----船舶重量在[2901, 6100]的船舶

I_{13} -----船舶重量在[6101, 10000]的船舶

I_{14} -----船舶重量在[10001, 14194]的船舶

I_{21} -----船舶集装箱承载量在[0, 260] TEU的船舶

I_{22} -----船舶集装箱承载量在[261, 520] TEU的船舶

I_{23} -----船舶集装箱承载量在[521, 900] TEU的船舶

I_{24} -----船舶集装箱承载量在[901, 1118] TEU的船舶

I_{31} -----走国际航线的船舶

I_{32} -----走内贸航线的船舶

从船舶属性表中可看出,如果扫描这么多项,且在各项中找到它们之间的关联规则是极其困难的,为了提高寻找关联规则的效率,我们需要将数据表中的数量关系转换为逻辑相关的问题,即通过找出的项集构建逻辑数据库。构建好的逻辑数据库部分数据如表3.9所示。

表 3.9 逻辑数据库

Tab. 3.9 Logical Database

序号	船舶名称	船舶重量				船舶承载集装箱量				航线	
		I ₁₁	I ₁₂	I ₁₃	I ₁₄	I ₂₁	I ₂₂	I ₂₃	I ₂₄	I ₃₁	I ₃₂
1	YANJING	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
2	兴宁 68	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
3	TOKYOGLORY	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
4	VEGADIAMON	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
5	SITCSHANGH	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
6	CAPECAMPBE	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
7	YANJING	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
8	QUAN CHENG	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
9	VEGADIAMON	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
10	BUNGAMASTI	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
...

利用Aprior算法，找出表中三个因子之间的关系。给出最小置信度为50%，最小支持度为10，得到的关联规则结果如表3.10所示。

表 3.10 船型关联规则

Tab. 3.10 Association Rules of Ship Type

关联规则	Sup	Conf	关联规则	Sup	Conf
$I_{23} \rightarrow I_{12}$	994	92. 2078	$I_{12} \rightarrow I_{23}$	994	57. 3903
$I_{22} \rightarrow I_{11}$	788	95. 1691	$I_{11} \rightarrow I_{22}$	788	83. 4746
$I_{24} \rightarrow I_{12}$	520	100	$I_{14} \rightarrow I_{21}$	306	100
$I_{21} \rightarrow I_{14}$	306	55. 036	$I_{23}, I_{31} \rightarrow I_{12}$	782	90. 3002
$I_{23}, I_{31} \rightarrow I_{11}$	506	99. 6063	$I_{24}, I_{31} \rightarrow I_{12}$	460	100
$I_{14}, I_{22} \rightarrow I_{31}$	306	100	$I_{23}, I_{32} \rightarrow I_{11}$	280	88. 0503
$I_{23}, I_{32} \rightarrow I_{12}$	212	100	$I_{12}, I_{22} \rightarrow I_{31}$	176	100
$I_{11}, I_{23} \rightarrow I_{31}$	84	100	$I_{21}, I_{32} \rightarrow I_{11}$	64	100
$I_{24}, I_{32} \rightarrow I_{12}$	60	100	$I_{12}, I_{23} \rightarrow I_{32}$	40	95. 2381

通过上述关联规则可将船舶分为以下几种船型，并得到每个船型出现的概率如表 3.11 所示：

表 3.11 船型及其各船型船舶到达概率

Tab. 3.11 Ship Type and Ship Arrival Probability of This Ship Type

船型	概率
船型1 (I_{14} I_{21} I_{31})	11.78%
船型2 (I_{11} I_{21})	3.55%
船型3 (I_{12} I_{24})	16.32%
船型4 (I_{12} I_{23} I_{31})	27.2%
船型5 (I_{12} I_{21} I_{22} I_{31})	6.4%
船型6 (I_{11} I_{23} I_{31})	17.49%
船型7 (I_{11} I_{22} I_{31})	2.2%
船型8 (其他船型)	15.56

得到了船型分布的概率区间如表3.12所示：

表 3.12 到港船型的比例区间

Tab. 3.12 Range of Ship Type Arrived in Port

船型	船型1	船型2	船型3	船型4
所占比例	0-11.78%	11.78%-15.33%	15.33%-31.65%	31.65%-58.85%
船型	船型5	船型6	船型7	船型8
所占比例	58.85%-65.25%	65.25%-82.74%	82.74%-84.94%	84.94%-100%

按照蒙特卡洛法产生随机数，通过判断随机数所在的区间即可确定随机产生的船舶属于哪个船型。

3.6.3 船舶靠泊时间规律

船舶靠泊需要一些时间进行准备，从数据库中的船舶作业表中（ttask_ship）抽取到一年的数据可以看出，船舶靠泊需要准备的时间只有10分钟、15分钟、20分钟、30分钟四种，这几种靠泊时间概率区间如表3.13所示。

表 3.13 靠泊时间比例表
Tab. 3.13 Ratio Table of Berthing Time

靠泊时间	30分钟	20分钟	15分钟	10分钟
所占比例	0~0.3%	0.3%~87.5%	87.5%~88.5%	88.5%~100 %

通过上述靠泊准备时间发生的概率区间，利用蒙特卡洛法生成随机数，通过随机数所占的区间来确定靠泊时间。

3.6.4 集装箱船卸载集装箱箱量分布规律

一般集装箱船装卸量是由船型来决定，每一种船舶的装卸量是不相同的，也是不连续的。通过对3.6.2确定的八种船型的卸载量绘出直方图，可以看出卸载量是由船型确定，近似的服从正态分布，其概率密度为(3.4)：

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{3.4}$$

八种船型的卸载量直方图如图3.12所示：

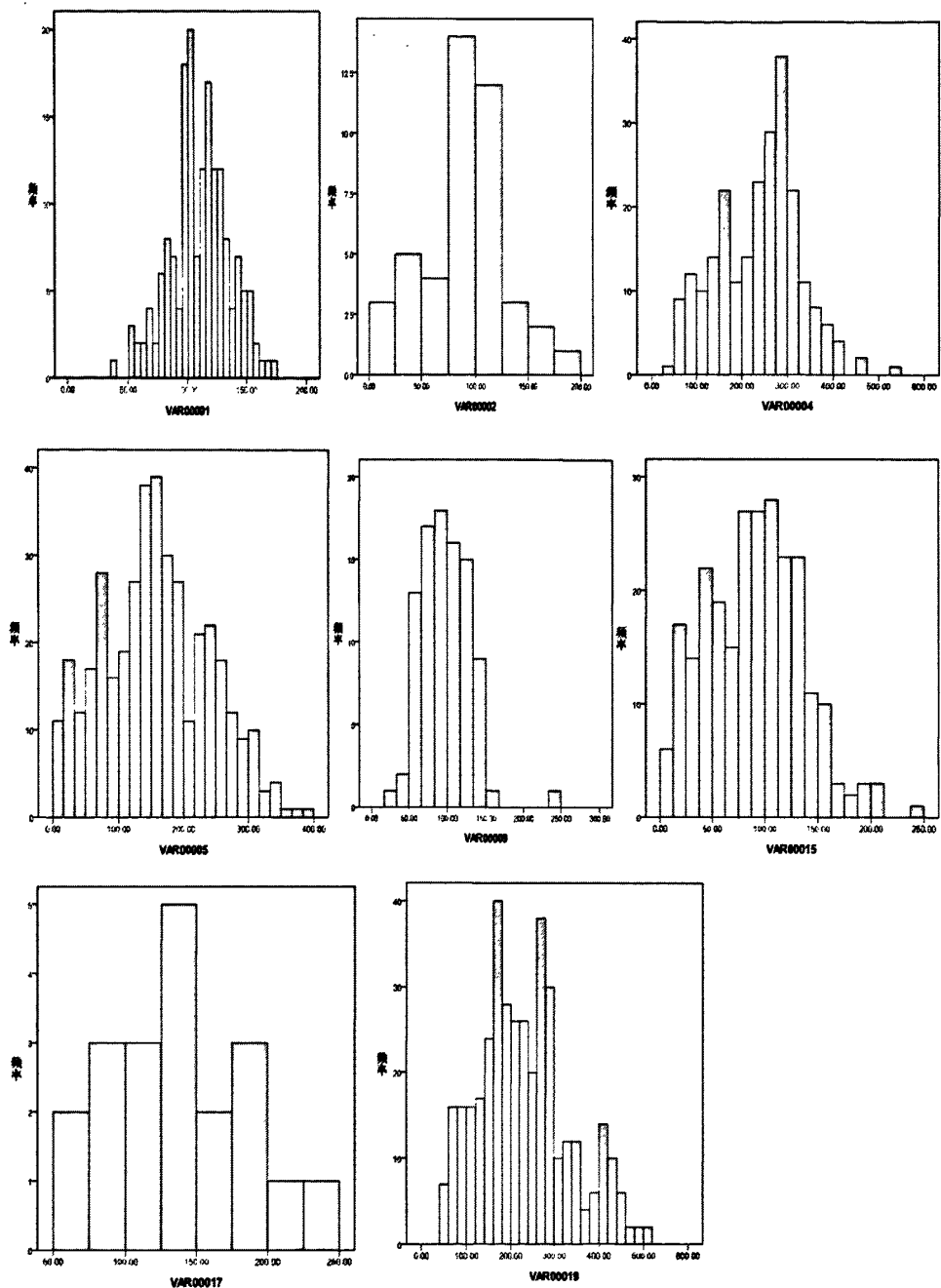


图 3.12 各种船型卸载量直方图

Fig. 3.12 Histogram of Unloading Capacity of Kinds of Ship

由于不清楚每个船型所决定的卸载量符合正态分布是否合理及每一个正态分布的参数 μ 和 σ ，所以对每一个假设情况利用SPSS软件的单样本K-S检验，若假设情况成立，则求出正态分布曲线的参数。

船型1: I_{12} I_{21} I_{31} , 利用单样本K-S检验, 得到显著性概率 $p=0.547>0.05$, 表明样本服从正态分布, 其中 $\mu=110$, $\sigma=25.07$, 正态分布曲线为 (3.5):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-110)^2}{2 \cdot 25.07^2}} \quad (3.5)$$

船型2: I_{11} I_{21} , 利用单样本K-S检验, 得到显著性概率 $p=0.639>0.05$, 表明样本服从正态分布, 其中 $\mu=89$, $\sigma=40.43$, 正态分布曲线为 (3.6):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-89)^2}{2 \cdot 40.43^2}} \quad (3.6)$$

船型3: I_{12} I_{24} , 利用单样本K-S检验, 得到显著性概率 $p=0.102>0.05$, 表明样本服从正态分布, 其中 $\mu=236$, $\sigma=90.69$, 正态分布曲线为 (3.7):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-236)^2}{2 \cdot 90.69^2}} \quad (3.7)$$

船型4: I_{12} I_{23} I_{31} , 利用单样本K-S检验, 得到显著性概率 $p=0.589>0.05$, 表明样本服从正态分布, 其中 $\mu=158$, $\sigma=82.01$, 正态分布曲线为 (3.8):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-158)^2}{2 \cdot 82.01^2}} \quad (3.8)$$

船型5: I_{12} I_{21} I_{22} I_{31} , 利用单样本K-S检验, 得到显著性概率 $p=0.972>0.05$, 表明样本服从正态分布, 其中 $\mu=98$, $\sigma=32.53$, 正态分布曲线为 (3.9):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-98)^2}{2 \cdot 32.53^2}} \quad (3.9)$$

船型6: I_{11} I_{23} I_{31} , 利用单样本K-S检验, 得到显著性概率 $p=0.405>0.05$, 表明样本服从正态分布, 其中 $\mu=89$, $\sigma=45.63$, 正态分布曲线为 (3.10):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-89)^2}{2 \cdot 45.63^2}} \quad (3.10)$$

船型7: I_{11} I_{24} I_{31} , 利用单样本K-S检验, 得到显著性概率 $p=0.969>0.05$, 表明样本服从正态分布, 其中 $\mu=135$, $\sigma=46.84$, 正态分布曲线为 (3.11):

f(x)=1/sqrt(2*pi)*e^(-(x-135)^2/(2*46.84^2)) (3.11)

船型8：其他船型，利用单样本K-S检验，得到显著性概率p=0.193>0.05，表明样本服从正态分布，其中μ=230，σ=102.64，正态分布曲线为（3.12）：

f(x)=1/sqrt(2*pi)*e^(-(x-230)^2/(2*102.64^2)) (3.12)

根据确定的船型确定分布曲线，再利用确定的正态分布曲线生成随机数，从而确定当前到港船舶的集装箱卸载量。

3.6.5 集装箱船装载集装箱箱量分布规律

通过 SQL 数据从历史数据库中抽取集装箱船到港装卸集装箱量的数据，抽取两年到港船舶的 1000 条数据作为样本，样本数据如图 3.13 所示。

集装箱船	卸载集装箱量	卸载开始时间	卸载结束时间	装载集装箱量	装载开始时间	装载结束时间	船舶重量	UNLOAD (t)
1 TIANSHENG	350	2004-11-16 19:31:05	2004-11-17 0:27:41	8	2004-11-16 23:16:18	2004-11-17 0:01:05	5643.000	
2 BUNGAMASDU	247	2004-11-18 6:53:50	2004-11-18 7:00:50	163	2004-11-18 2:38:55	2004-11-18 13:44:03	3956.000	
3 信和7	82	2004-11-19 13:54:39	2004-11-19 17:27:47	132	2004-11-19 16:50:16	2004-11-19 22:23:29	2813.000	
4 MAREADRIAT	306	2004-11-20 11:53:32	2004-11-20 19:32:18	156	2004-11-20 13:50:05	2004-11-21 0:52:14	4889.000	
5 ACTION F	55	2004-11-20 16:27:42	2004-11-20 18:23:42	180	2004-11-20 17:47:32	2004-11-21 0:51:24	3580.000	
6 BUNGAMASEM	188	2004-11-22 9:16:17	2004-11-22 19:43:20	115	2004-11-22 20:25:17	2004-11-23 4:12:02	3956.000	
7 BUNGAMASLA	230	2004-11-25 2:12:27	2004-11-25 10:53:01	128	2004-11-25 3:05:27	2004-11-25 14:04:42	3158.000	
8 MAREODORICU	242	2004-11-25 5:42:42	2004-11-25 12:33:07	268	2004-11-25 11:58:31	2004-11-26 2:34:25	4889.000	
9 枫叶26	282	2004-11-26 8:45:19	2004-11-26 15:26:25	282	2004-11-26 14:11:52	2004-11-26 23:19:06	3505.000	
10 金茂富量	153	2004-11-27 0:00:17	2004-11-27 4:32:31	341	2004-11-27 0:02:00	2004-11-27 14:40:15	4556.000	
11 兴宁88	165	2004-11-28 10:58:10	2004-11-28 15:20:28	149	2004-11-28 14:44:08	2004-11-28 22:31:11	2337.000	
12 BUNGAMASDU	134	2004-11-29 15:41:18	2004-11-29 18:22:38	112	2004-11-29 19:28:40	2004-11-30 2:13:47	3956.000	
13 COOKSTRAIT	77	2004-11-29 19:53:18	2004-11-29 23:04:07	121	2004-11-29 21:32:10	2004-11-30 4:12:11	3580.000	
14 SOON FU	348	2004-12-1 1:34:45	2004-12-1 14:51:20	203	2004-12-1 2:19:12	2004-12-1 16:09:32	4643.000	
15 MAREADRIAT	200	2004-12-4 19:34:30	2004-12-4 23:59:09	22	2004-12-4 17:18:05	2004-12-5 10:54:47	4889.000	
16 MAREADRIAT	124	2004-12-5 0:00:14	2004-12-5 2:51:58	293	2004-12-5 2:40:01	2004-12-5 12:06:36	4889.000	
17 QUAN CHENG	262	2002-9-7 13:33:43		262	2002-9-7 19:51:00		3421.000	
18 TOKYOGLORY	140	2003-4-1 15:18:14	2003-4-1 18:55:49	127	2003-4-1 16:18:09	2003-4-2 2:56:31	3363.000	
19 SITCSHANGH	296	2003-4-3 8:26:06	2003-4-3 15:06:59	168	2003-4-3 20:11:57	2003-4-4 2:37:33	5421.000	
20 VEGADIAMON	368	2003-4-5 8:26:52	2003-4-5 19:27:56	206	2003-4-5 15:35:30	2003-4-5 23:40:14	5046.000	
21 TOKYOGLORY	25	2003-4-7 23:26:39	2003-4-8 0:00:14	2	2003-4-7 22:34:56	2003-4-8 6:27:09	3363.000	

图 3.13 到港集装箱船装卸集装箱量样本数据

Fig. 3.13 Sample Data of Unloading Containers of Container Ship to Port

通过大量数据和不同资料显示，船舶装载量与船舶的卸载量有关，对所抽取的数据进行比较，发现其装载和卸载集装箱数量之差大致服从指数分布，利用SPSS软件的“图形—直方图”的到样本均值为(3.13)：

x_bar = 1/m * sum(x_i) = 90.65 (3.13)

求得期望值为0.06497，直方图如图3.14所示：

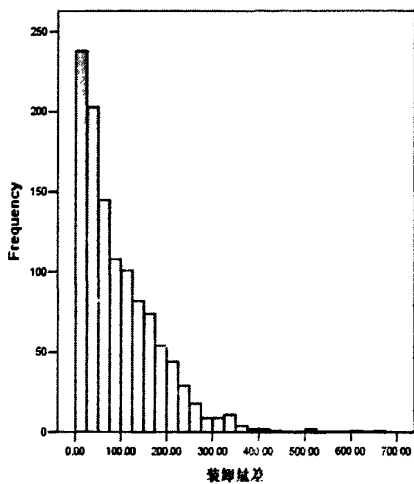


图 3.14 装卸量之差直方图

Fig. 3.14 Histogram of the Difference Between the Amount of Loading and Unloading

利用SPSS软件的单样本K-S检验，得到显著性概率 $p=0.106>0.05$ ，表明拒绝假设，服从指数分布，其检验结果如所示。

表 3.14 装卸量之差的单样本 K-S 检验

Tab. 3.14 One-Sample K-S Test of the Difference Between the Amount of Loading and Unloading

		装卸量差
N		1138 (c)
Exponential parameter. (a, b)	Mean	96.3080
Most Extreme Differences	Absolute	0.036
	Positive	0.030
	Negative	-0.036
Kolmogorov-Smirnov Z		1.212
Asymp. Sig. (2-tailed)		0.106

从上述分析可以得知，船舶装载量之差服从指数分布(3.14)

$$P(x)=\begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \tag{3.14}$$

其中 $\lambda = 1/0.06497 = 15.39$ 。通过对图3.13中样本数据的分析，其中卸载量超过150TEU的船舶，装载量大于卸载量的概率很小，仅有19.11%，而卸载量小于15TEU的船舶，装载量大于卸载量的概率为65.83%。具体区间比列如表3.15所示。

表 3.15 装卸量大小比例区间

Tab. 3.15 Ratio Interval of the Size Between the Amount of Loading and Unloading

装卸量之比	装载量>卸载量	装载量=卸载量	装载量<卸载量
所占比例	0-19.11%	19.11%-34.17%	34.17%-100%

通过确定的船型和由船型确定的卸载量，利用指数分布曲线产生随机数，确定装卸量之差，再利用蒙特卡洛法产生随机数，判断当前随机数在表3.15的哪个区间内，从而确定集装箱船的装载量。

3.6.6 机械作业效率规律

堆场对船舶集装箱的操作主要有两种^[47-51]：一种是利用机械将集装箱卸载到堆场；另一个就是将堆场中的集装箱装载到集装箱船上。本节主要考虑操作这两种作业机械的效率问题。

(1) 卸船工作效率

由于为到港船舶卸船的机械不是一个，而是多个机械共同为一个集装箱服务。从数据库的船舶卸载计划表中可以看出，每分钟从集装箱船卸载0TEU到2TEU的集装箱，并且所卸载的集装箱量概率相等。其作业时间服从[1, 10]分钟的均匀分布。

(2) 装船工作效率

同理，为一个堆场服务的场桥也有多个，而且堆场集装箱到堆场的机械不只有场桥，还有靠背吊、龙门吊等。这里将其归整为堆场机械工作效率。通过从数据库的船舶装载计划表分析得到，每分钟从堆场取得0TEU到5TEU的集装箱装载到船舶上，并且所装载的集装箱量概率相等。其作业时间服从[1, 20]分钟的二项分布。

3.7. 仿真模型单元子模块的建立

3.7.2 船舶到港子模型的建立

(1) 参数选择

- | | |
|-------------------|------------------|
| ① zx_shipNum | 在线情况下已到港船舶数量 |
| ② lx_shipNumTotal | 离线情况下仿真当天港船舶到港数量 |
| ③ jianGeTime[] | 后期到港船舶间隔时间 |
| ④ berth_status | 泊位状态 |
| ⑤ maodi_ship | 锚地内等待船舶 |
| ⑥ shipdgttime | 上艘船到港时间 |
| ⑦ berthTime | 靠泊准备时间 |
| ⑧ shipType | 船型 |
| ⑨ eventList | 事件表 |
| ⑩ fangzhenTime | 仿真时钟 |

其中, zx_shipNum、berth_status、shipdgttime、maodi_ship需要在在线监控的情况下把这些参数赋值,其他的需要在离线仿真的时候调用公共子模块来随机赋值。

(2) 船舶到港子模型的建立

3.4节已经讲述了建立子模型各个不同的仿真策略,但仿真策略的阐述仅仅是确定了驱动仿真模型的算法,还需对每个子模型进行详细的设计。本节中对船舶到港子模型型采用类似于计算机流程图的方式进行建模,利用上面所选择的参数建立如图3.15所示的船舶子模型。

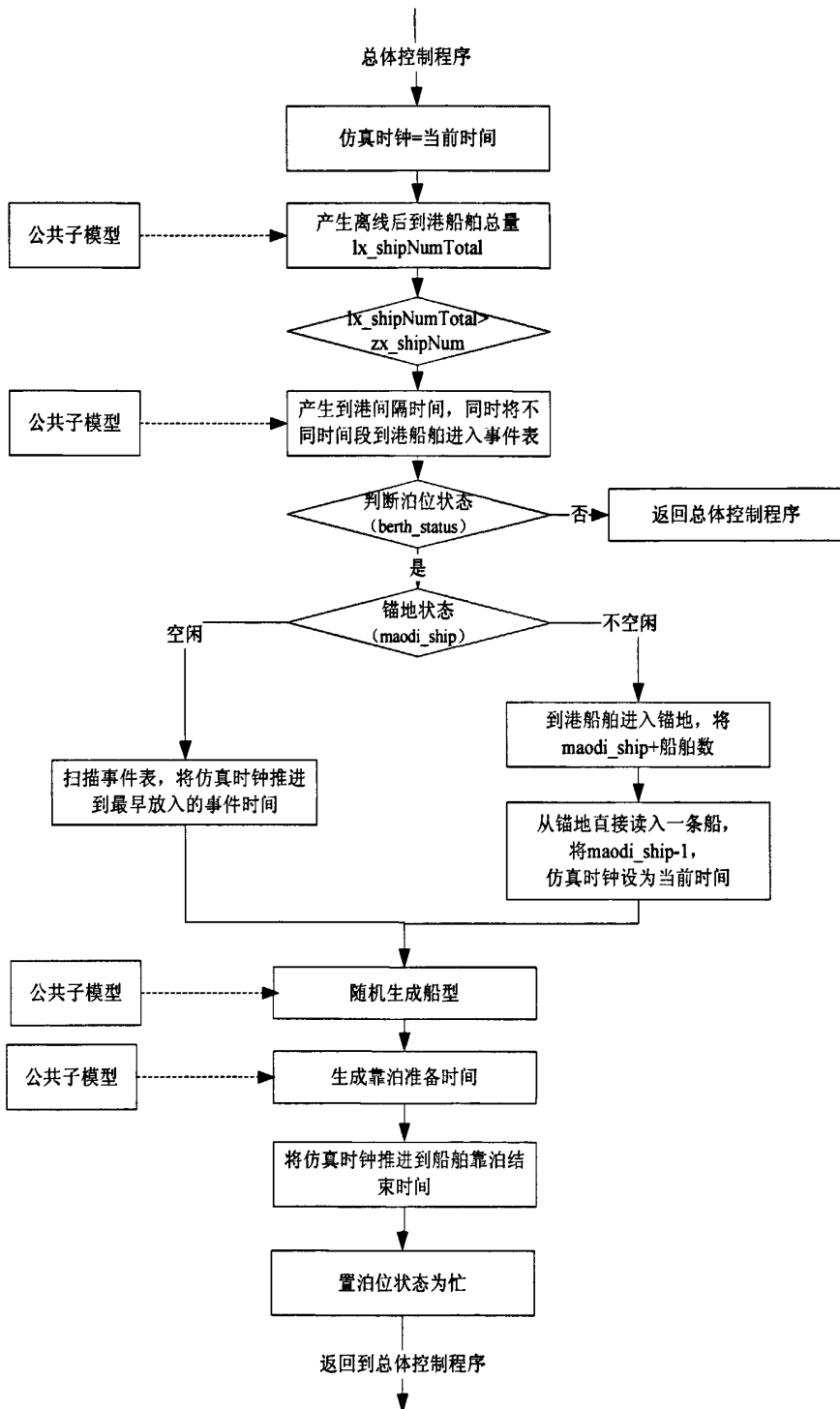


图 3.15 船舶到港口模型设计图

Fig. 3.15 Design Figure of Sub-model about Ship Arriving at Port

3.7.3 集装箱卸载作业子模型的建立

(1) 参数选择

- | | |
|----------------|-----------------|
| ① shipType | 船型 |
| ② lx_CntXZNum | 离线卸载集装箱数量 |
| ③ zx_CntXZNum | 在线已经卸载集装箱数量 |
| ④ CntXZNum | 仿真开始后已经卸载的集装箱数量 |
| ⑤ eventList | 事件表 |
| ⑥ fangzhenTime | 仿真时钟 |

其中, zx_CntXZNum需要在在线监控的时候把这些参数赋值, 其他的需要在离线仿真的时候调用公共子模块来随机产生。但shipType是一个特殊的参数, 如果仿真初始化状态由集装箱卸载作业开始, 那么这个参数应该是在离线前从在线的集装箱监控系统中得到的; 否则是由中控程序将上一小节中产生的随机船型传递到本小节。

(2) 集装箱卸载作业子模型的建立

与船舶到港口模型的建模方式一致对集装箱卸载作业子模型进行设计, 具体设计图如图3.16所示。

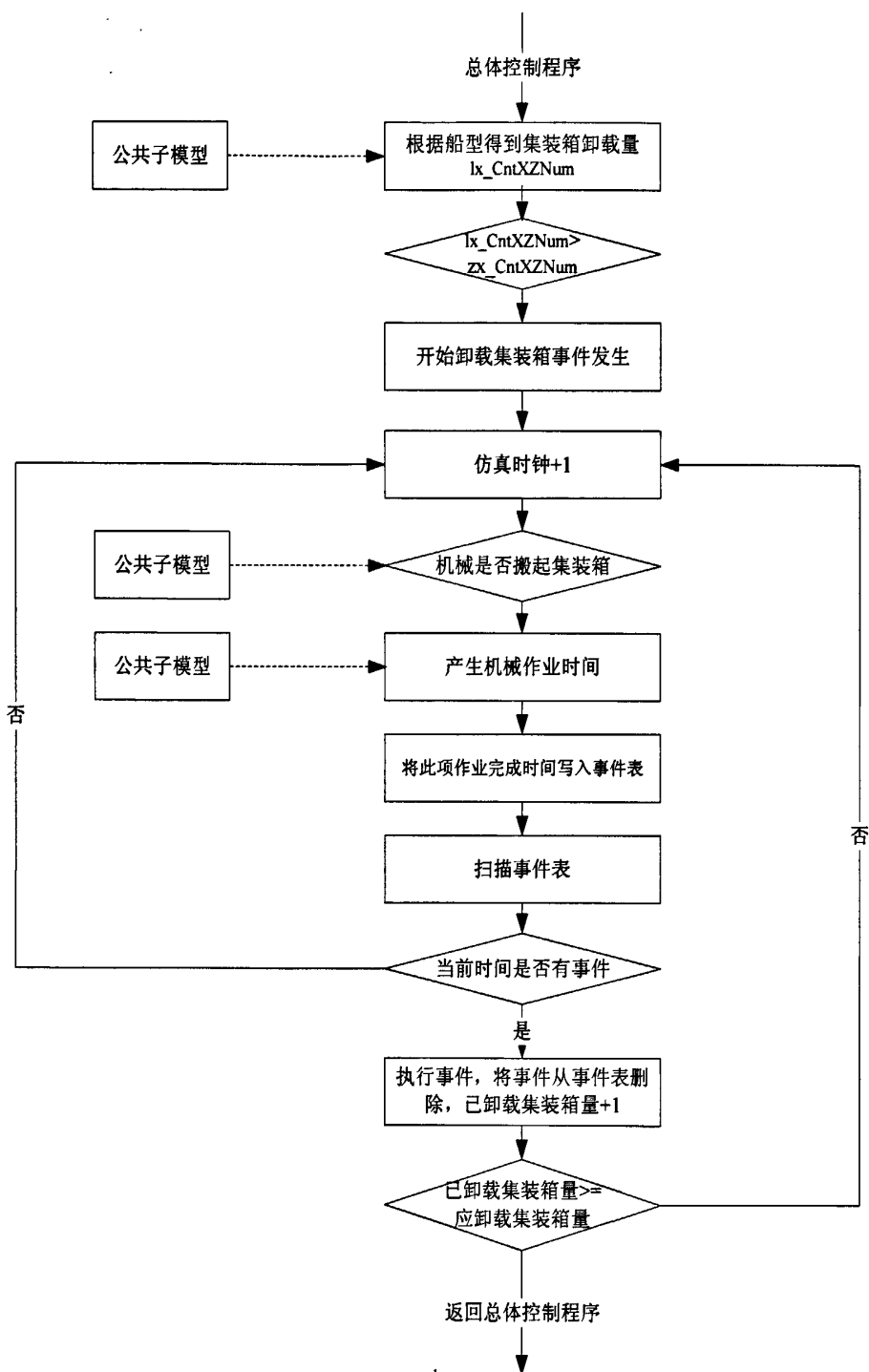


图 3.16 集装箱卸载作业子模型设计图

Fig. 3.16 Design Figure of Sub-model about Unloading Container

3.7.4 集装箱装载作业子模型的建立

(1) 参数选择

① shipType	船型
② lx_CntXZNum	离线卸载集装箱数量
③ lx_CntZZNum	离线装载集装箱数量
④ zx_CntZZNum	在线已经装载集装箱数量
⑤ zx_CntXZNum	在线卸载集装箱数量
⑥ CntZZNum	仿真开始已经装载的集装箱数量
⑦ cntZXcha	集装箱装卸量之差
⑧ cntZXchaType	集装箱装卸量之差类别 (装载量>卸载量; 装载量=卸载量; 装载量<卸载量)
⑨ eventList	事件表
⑩ fangzhenTime	仿真时钟

在本节所选择的参数中,有几个特殊参数。需要对当前仿真模型的状态进行判断,才能判断其选择, lx_CntXZNum和zx_CntXZNum具有同样的意义,如果初始化状态是由集装箱装载作业开始,那么卸载集装箱数量这个参数利用zx_CntXZNum从在线监控系统中得到;否则利用lx_CntXZNum从集装箱卸载作业子模型中得到。同样, shipType这个参数也是这样选取的。其他参数值利用总控程序从公共子模型中选取。

(2) 集装箱装载作业子模型的建立

根据上面阐述的参数,建立集装箱装载作业子模型如图3.17所示。

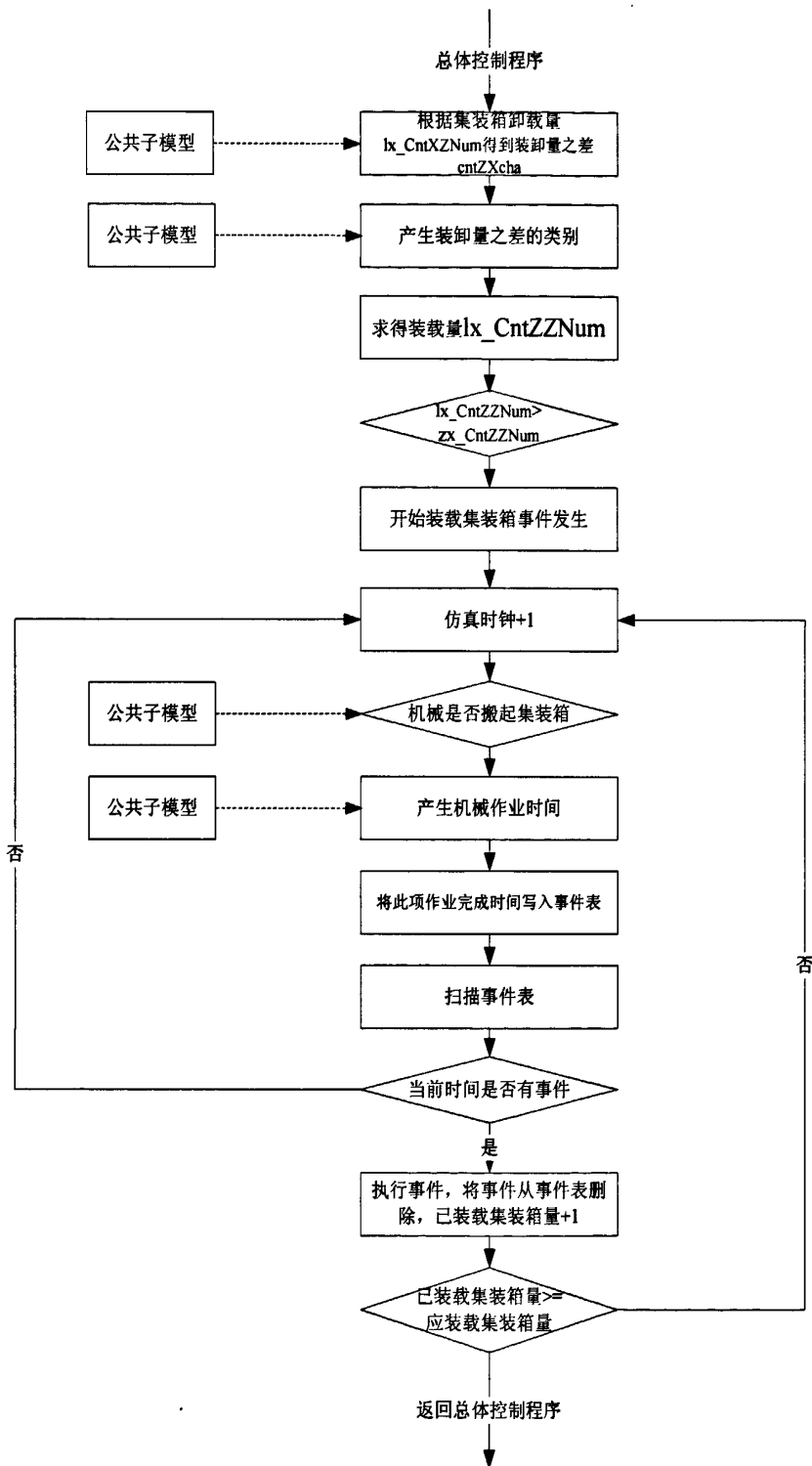


图 3.17 集装箱装载作业子模型设计图

Fig. 3.17 Design Figure of Sub-model about Loading Container

3.8. 仿真模型的实现与运行

在上面的章节中已经对仿真模型进行了详细的设计，按照系统仿真的相关步骤，下一步就是进行实验设计，即利用计算机实现仿真模型，为了使模型可以在计算机上实现运行，就需要将模型的流程转换为计算机流程图^[51-53]。转换后的流程图如图 3.18 所示。

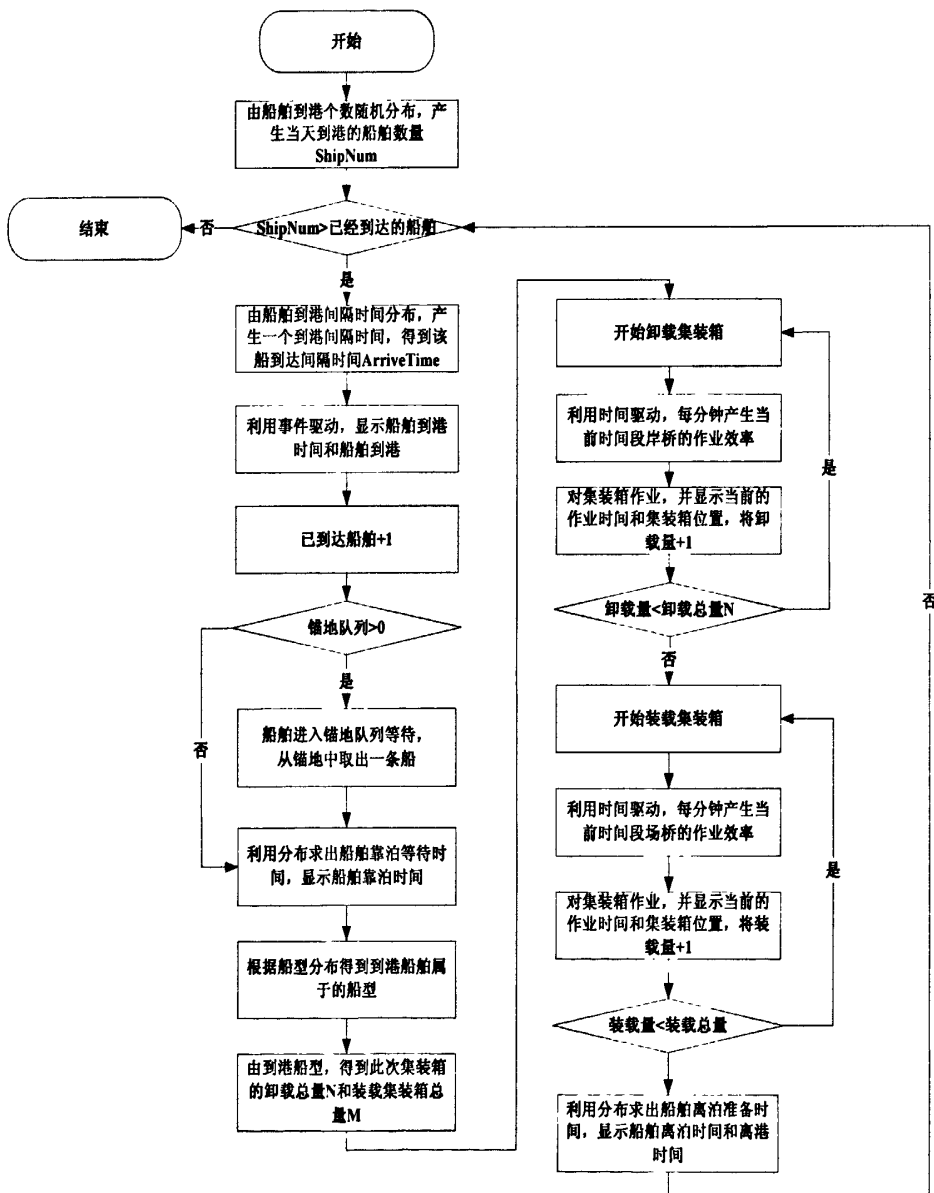


图 3.18 仿真模型的计算机运行流程图

Fig. 3.18 Computer Flow Chart of the Simulation Model

根据3.7节对总体控制模块的分析和计算机运行流程图的设计，可以得到仿真模型的计算机实现方式^[54-55]如图3.19所示。

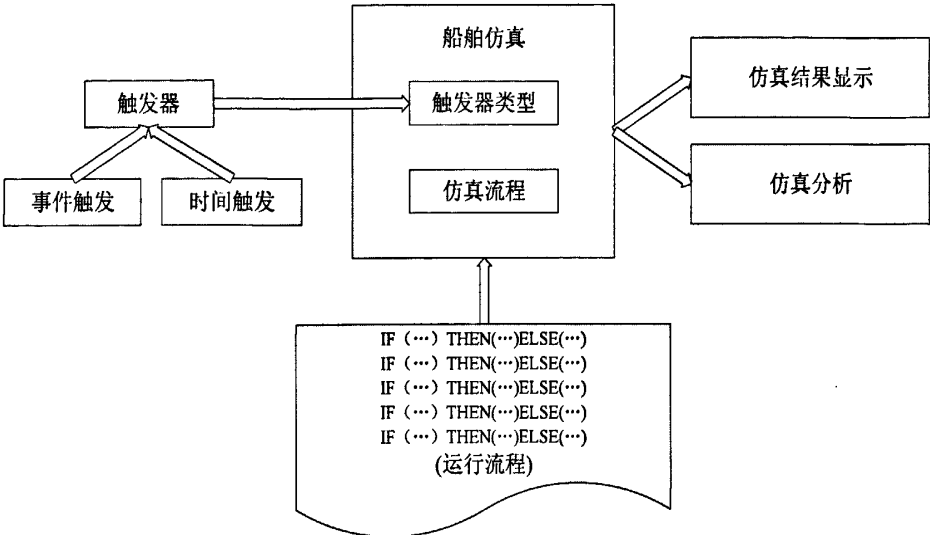


图 3.19 仿真模型的计算机实现图

Fig. 3.19 Computer Implementation Diagram of Simulation Model

通过图3.19可以看到，在实现过程中，包括两个触发器：时间触发器和事件触发器。其中事件触发器相当于仿真策略中的事件调度策略和活动调度策略；时间触发器相当于仿真策略中的时间间隔调度策略。当触发某个事件触发器后，按照预先定义的仿真流程触发另一个事件。本文实现模型使用的语言是Java语言，所以事件触发主要使用if语句和swithc语句来进行事件是否触发的判断，实现事件触发器的代码如下所示：

```
if (cntNUMxz>=cnt_XZ_num) {
    timer.cancel ();
    System.out.println (f.format (TStime) +"卸载集装箱完成, 准备装载集装箱");
    new ZZReminder (cnt_ZZ_num,TStime);
}
```

在Java语言中，对定时任务的操作主要使用java.util.timer^[56-57]。在实现仿真模型中所使用的时间触发器主要指对某一任务的循环执行，即重复执行某个任务，每隔一段时间执行一次这个任务。为了实现这一循环机制，主要用到了Java.timer的schedule的一个重载方法：

```
public void schedule (TimerTask task,long delay,long priod) ;
```

在仿真模型中，使用这种仿真策略的主要是操作集装箱作业的机械。例如：岸桥或是场桥对集装箱的操作就是每隔一分钟执行一次，查看是否有岸桥或是场桥对集装箱的操作，如果存在即可对集装箱进行操作。具体的实现代码如下所示：

```
//卸载集装箱作业
```

```
new Reminder (ps.CntXZNum,ps.CntZZNum,ps.kaopoendtime) ;
```

```
class Reminder {
```

```
    Timer timer;
```

```
    private int cnt_XZ_num;
```

```
    private int cnt_ZZ_num;
```

```
    private Date kbendtime;
```

```
    private int cntNUMxz=0; //当前搬运了多少集装箱
```

```
    private int cntNUMzz=0; //当前装载了多少集装箱
```

```
    private Date TStime;
```

```
    private int xzTime;
```

```
    public Reminder (int CNTXZNum,int CNTZZNum, Date endtime) {
```

```
        timer = new Timer () ;
```

```
        timer.schedule (new RemindTask () , 1000,1000) ;
```

```
        cnt_XZ_num=CNTXZNum;
```

```
        kbendtime=endtime;
```

```
        TStime=endtime;
```

```
        cnt_ZZ_num=CNTZZNum;
```

```
    }
```

```
class RemindTask extends TimerTask {
```

```
    public void run () {
```

```
        SimpleDateFormat f=new SimpleDateFormat ( "yyyy-MM-dd  
HH:mm:ss") ;
```

```
        double cntPerMinute=xz.N_rand () ; //每分钟搬运多少个集装箱
```

```
        PerMXcal.setTime (kbendtime) ;
```

```
        if (cntPerMinute>0 && cntPerMinute<=0.3333)
```

```
        {
```

```
        cntNumPerMX=0;
        int a= PerMXcal.get ( Calendar.MINUTE ) +1;
        PerMXcal.set ( Calendar.MINUTE, a ) ;
        kbendtime=PerMXcal.getTime ( ) ;
    }
    if (taskendtimePer.after ( TStime ) ) {
        TStime=taskendtimePer;
    }
    System.out.println ( " 集 装 箱  "+cntNUMxz+" 在 "+f.format
(kbendtime)+"由岸桥搬起, 在"+f.format (taskendtimePer)+"作业完成, 用时"+b+"
分钟");
}
}
```

具体实现类图如图3. 20所示。

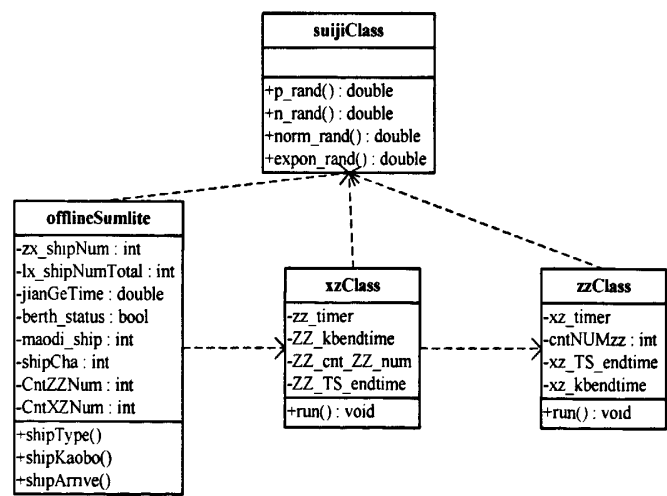


图 3.20 仿真模型的实现类图

Fig. 3.20 Class Diagram of Implement Simulation Model

第4章 集装箱堆场实时监控系统仿真模型的结果分析与应用

4.1 仿真模型的验证

根据系统仿真的相关理论, 仿真模型建立之后, 要对仿真结果进行反复的分析, 来验证模型的正确性^[17,58]。本文中仿真模型的验证主要是为了检验模型是否真实的反映了堆场作业的工作流程; 并与现实情况进行比较, 算出仿真模型与现实情况的误差, 如果误差较大, 需要对模型的假设条件进行修改, 调整所建立的模型, 以达到与现实情况基本吻合的状态; 如果误差较小, 则认为模型正确, 较真实的反映了堆场作业的工作流程。本节将对模型的仿真结果进行分析, 达到对模型验证的目的。本文对仿真模型进行反复的执行, 选取一个月(仿真时间为: 30*60*24秒, 由于一个月的仿真时间较长, 本文在实现的过程中将仿真时间步长由1分钟调整到1秒)模拟期对船舶到港、等待、靠泊、卸载集装箱、装载集装箱的整个作业流程进行仿真, 统计每一次的模拟试验结果, 得到仿真模型的总体结果: 船舶平均等待时间、集装箱日平均吞吐量、机械平均作业时间等, 将这些结果与现实情况下的结果进行比较, 以判断所建立模型的准确性。其中, 求解平均等待时间、集装箱日平均吞吐量、机械平均作业时间等问题的公式如下^[59]:

船舶平均等待时间 (4.1):

$$\text{船舶平均等待时间} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{第}i\text{艘船开始靠泊时间} - \text{第}i\text{艘船到港时间})}{n} \quad (4.1)$$

堆场每天平均吞吐量 (4.2):

$$\text{堆场每天平均吞吐量} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \text{第}i\text{条船的装卸量总和}}{n} \quad (4.2)$$

机械平均作业时间 (4.3):

$$\text{机械平均作业时间} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{第}i\text{个集装箱作业的时间}}{n} \quad (4.3)$$

将现实结果和仿真执行所求结果进行对比, 整理后的数据如图 4.1 所示。

序号	船舶代号	船舶到港时间	船舶开始靠泊时间	船舶等待时间	仿真船舶到港时间	仿真船舶靠泊时间	仿真船舶等待时间
1	XIANGAN	2005/4/1 16:00	2005/4/1 23:34	7:34	16:58	17:18	0:20
2	FRANKLINIST	2005/4/3 9:00	2005/4/3 12:06	3:06	17:28	6:00	12:32
3	YINHUAN	2005/4/3 13:00	2005/4/3 15:06	2:06	9:00	12:06	3:06
4	XIANGKING	2005/4/4 3:00	2005/4/4 23:27	20:27	13:00	16:06	2:06
5	VEGADIAURON	2005/4/5 5:00	2005/4/5 8:26	3:26	15:42	15:52	0:10
6	WINGRI	2005/4/5 15:00	2005/4/5 15:00	0:00	0:59	6:59	6:00
7	永安洲1	2005/4/6 4:00	2005/4/6 6:59	2:59	3:02	8:59	5:57
8	QUAN CHENG	2005/4/6 13:00	2005/4/6 14:46	1:46	5:36	10:59	5:23
9	YANJING	2005/4/6 23:00	2005/4/6 23:00	0:00	11:14	12:59	1:45
10	SUNNYLAURE	2005/4/7 7:00	2005/4/7 15:16	8:16	17:15	17:20	0:05
11	TOKYOGLORY	2005/4/7 11:00	2005/4/7 23:26	12:26	15:00	15:00	0:00
12	VICTORIAST	2005/4/10 5:00	2005/4/10 8:21	3:21	16:40	17:00	0:20
13	WINGRI	2005/4/11 12:00	2005/4/11 12:00	0:00	11:00	11:00	0:00
14	SHUN CHENG	2005/4/12 3:00	2005/4/12 11:33	8:33	7:00	7:00	0:00
15	YANJING	2005/4/13 13:30	2005/4/13 13:30	0:00	9:21	14:11	4:50
16	YINHUAN	2005/4/13 15:00	2005/4/13 19:30	4:30	11:24	16:10	4:46
17	永安洲	2005/4/14 10:00	2005/4/14 14:56	4:56	1:24	7:00	5:35
18	SUNNYPALM	2005/4/14 12:00	2005/4/14 19:34	7:34	7:13	7:13	0:00
19	TIANREN	2005/4/16 12:00	2005/4/16 12:00	0:00	20:03	20:03	0:00
20	VEGADIAURON	2005/4/17 1:30	2005/4/17 16:26	14:56	5:00	8:21	3:21
21	FRANKLINIST	2005/4/18 3:00	2005/4/18 11:55	8:55	14:00	14:00	0:00
22	VICTORIAST	2005/4/18 9:00	2005/4/18 19:46	10:46	20:00	20:00	0:00
23	QUAN CHENG	2005/4/19 9:00	2005/4/19 12:03	3:03	2:28	7:00	4:32
24	TIANREN	2005/4/19 16:00	2005/4/19 16:00	0:00	1:18	7:00	5:42
25	YANJING	2005/4/20 13:00	2005/4/20 13:00	0:00	2:48	14:18	11:30
26	SUNNYLAURE	2005/4/21 7:00	2005/4/21 15:46	8:46	1:27	7:00	5:33
27	TOKYOGLORY	2005/4/21 8:00	2005/4/21 19:58	11:58	2:37	12:18	9:40
28	TAOYUAN	2005/4/21 15:00	2005/4/21 19:50	4:50	3:53	15:18	11:24
29	TIANREN	2005/4/23 12:00	2005/4/23 12:00	0:00	5:16	19:18	14:01

a. 现实与仿真情况下的船舶等待时间数据

a. Ship Waiting Time Data in Case of Reality and Simulation

序号	船舶代号	现实集装箱装卸开始时间	现实集装箱装卸结束时间	仿真集装箱装卸开始时间	仿真集装箱装卸结束时间
20	ACCESS F	10月3日 12:19	10月3日 12:25	10月3日 12:17	10月3日 12:18
21	ACCESS F	10月3日 12:19	10月3日 12:24	10月3日 12:22	10月3日 12:24
22	ACCESS F	10月3日 12:19	10月3日 12:26	10月3日 12:23	10月3日 12:28
23	ACCESS F	10月3日 12:29	10月3日 12:30	10月3日 12:25	10月3日 12:32
24	ACCESS F	10月3日 12:30	10月3日 12:36	10月3日 12:28	10月3日 12:38
25	ACCESS F	10月3日 12:39	10月3日 13:15	10月3日 12:35	10月3日 12:44
26	ACCESS F	10月3日 12:41	10月3日 13:03	10月3日 12:38	10月3日 12:39
27	ACCESS F	10月3日 12:44	10月3日 12:57	10月3日 12:40	10月3日 12:42
28	ACCESS F	10月3日 12:45	10月3日 13:13	10月3日 12:45	10月3日 12:53
29	ACCESS F	10月3日 12:46	10月3日 12:54	10月3日 12:46	10月3日 12:53
30	ACCESS F	10月3日 12:54	10月3日 13:18	10月3日 12:49	10月3日 12:59
31	ACCESS F	10月3日 12:57	10月3日 13:21	10月3日 12:51	10月3日 13:05
32	ACCESS F	10月3日 13:01	10月3日 13:06	10月3日 12:56	10月3日 13:09
33	ACCESS F	10月3日 13:05	10月3日 13:09	10月3日 13:00	10月3日 13:02
34	ACCESS F	10月3日 13:05	10月3日 13:11	10月3日 13:02	10月3日 13:07
35	ACCESS F	10月3日 13:05	10月3日 13:10	10月3日 13:05	10月3日 13:12
36	ACCESS F	10月3日 13:10	10月3日 13:21	10月3日 13:09	10月3日 13:19
37	BARBALTIC	10月4日 11:31	10月4日 11:51	10月4日 11:36	10月4日 11:46
38	BARBALTIC	10月4日 11:35	10月4日 11:52	10月4日 11:37	10月4日 11:40
39	BARBALTIC	10月4日 11:39	10月4日 11:56	10月4日 11:38	10月4日 11:48
40	BARBALTIC	10月4日 11:46	10月4日 11:52	10月4日 11:41	10月4日 11:46
41	BARBALTIC	10月4日 11:46	10月4日 11:56	10月4日 11:43	10月4日 11:52
42	BARBALTIC	10月4日 11:46	10月4日 11:54	10月4日 11:44	10月4日 11:49
43	BARBALTIC	10月4日 11:47	10月4日 12:11	10月4日 11:47	10月4日 11:52
44	BARBALTIC	10月4日 11:48	10月4日 11:55	10月4日 11:49	10月4日 11:50
45	BARBALTIC	10月4日 11:49	10月4日 12:19	10月4日 11:49	10月4日 11:51
46	BARBALTIC	10月4日 11:49	10月4日 12:13	10月4日 11:49	10月4日 11:56
47	BARBALTIC	10月4日 11:50	10月4日 12:15	10月4日 11:51	10月4日 11:54
48	BARBALTIC	10月4日 11:53	10月4日 12:01	10月4日 11:52	10月4日 11:54

b. 现实与仿真情况下的装卸集装箱数量及装卸作业时间数据

b. Container Number Data and Time Data of Loading and Unloading Containers
in Case of Reality and Simulation

图 4.1 现实数据与仿真数据

Fig. 4.1 Real Data and Ssimulation Data

利用上述公式，求出两者之间的误差，具体的仿真结果分析如表 4.1 所示。

表 4.1 仿真结果分析

Tab. 4.1 The Analysis about Simulation Results

	仿真结果	现实结果	误差
船舶平均等待时间	4 小时 23 分	4 小时 32 分	3. 4%
堆场每天平均吞吐量	301TEU	298TEU	1%
岸桥平均作业时间	3 分	2. 94 分	2%
场桥平均作业时间	10 分	10. 3 分	3%

将仿真结果与现实结果进行比较发现，相差误差率基本在 3%左右，可以认为模型比较准确，较真实的反映了堆场作业情况。

4.2 仿真模型的结果分析

4.2.1 案例选取

由于本文的研究意义在于对前堆场船舶到港和卸载、装载集装箱情况进行预演，判断正常情况下安排机械调度能否影响堆场后续工作的进行。所以还需要对个别案例进行选取分析，仿真模拟船舶靠泊后装卸集装箱的过程，与现实情况进行曲线拟合，检查是否符合真实情况，如果超过船舶预期离港时间，调度人员则根据仿真结果中给予的提示，调整调度方案，使船舶在预期情况下正常离港，达到本文建立模型仿真的目的。上节中为了验证模型的正确性对模型进行了反复的执行，本节从其大量的仿真结果中选取两种个案，分别对这两种个案的不同作业进行分析。选取的两种个案是到港港口概率最大的船舶和船型特殊—船型载重较小而承载集装箱量较大的两种船舶^[60]。下面将分别对案例仿真结果进行分析。

4.2.2 案例一结果分析

案例一是从对仿真模型反复执行得到的大量仿真结果中抽取概率较大的船型，即船型 4 的仿真结果进行分析。在数据库中抽取一条这个船型的集装箱船舶数据，与仿真得到的结果进行比较。整理后的数据如图 4.2 所示。

序号	船舶代号	现实集装箱卸载开始时间	现实集装箱卸载结束时间	仿真集装箱卸载开始时间	仿真集装箱卸载结束时间
1	1 ACCESS F	8:38	8:42	8:38	8:42
2	2 ACCESS F	8:41	8:44	8:41	8:44
3	3 ACCESS F	8:43	8:46	8:43	8:46
4	4 ACCESS F	8:46	8:48	8:46	8:48
5	5 ACCESS F	8:47	8:49	8:47	8:49
6	6 ACCESS F	8:49	8:50	8:49	8:50
7	7 ACCESS F	8:50	8:52	8:51	8:52
8	8 ACCESS F	8:51	8:53	8:51	8:53
9	9 ACCESS F	8:53	8:54	8:53	8:54
10	10 ACCESS F	8:54	8:56	8:54	8:56
11	11 ACCESS F	8:56	8:57	8:57	9:02
12	12 ACCESS F	8:56	9:28	8:58	9:04
13	13 ACCESS F	8:57	9:52	9:00	9:02
14	14 ACCESS F	8:58	9:00	9:01	9:11
15	15 ACCESS F	8:59	9:01	9:02	9:04
16	16 ACCESS F	8:59	9:02	9:03	9:06
17	17 ACCESS F	8:59	9:03	9:03	9:06
18	18 ACCESS F	9:00	9:04	9:04	9:06
19	19 ACCESS F	9:01	9:05	9:04	9:09
20	20 ACCESS F	9:01	9:11	9:04	9:09
21	21 ACCESS F	9:03	9:08	9:06	9:06
22	22 ACCESS F	9:03	9:09	9:07	9:15
23	23 ACCESS F	9:06	9:10	9:08	9:19
24	24 ACCESS F	9:07	9:12	9:10	9:14
25	25 ACCESS F	9:08	9:14	9:11	9:21
26	26 ACCESS F	9:09	9:15	9:12	9:17
27	27 ACCESS F	9:10	9:18	9:14	9:16
28	28 ACCESS F	9:11	9:18	9:15	9:22
29	29 ACCESS F	9:12	9:19	9:17	9:23

图 4.2 船型 4 现实数据与仿真数据分析

Fig. 4.2 Analysis of Real Data and Ssimulation Data of the Fourth Ship Type

对上述数据做数据拟合，可以看出仿真与现实情况下的装卸作业比较情况如图4.3和图4.4所示。

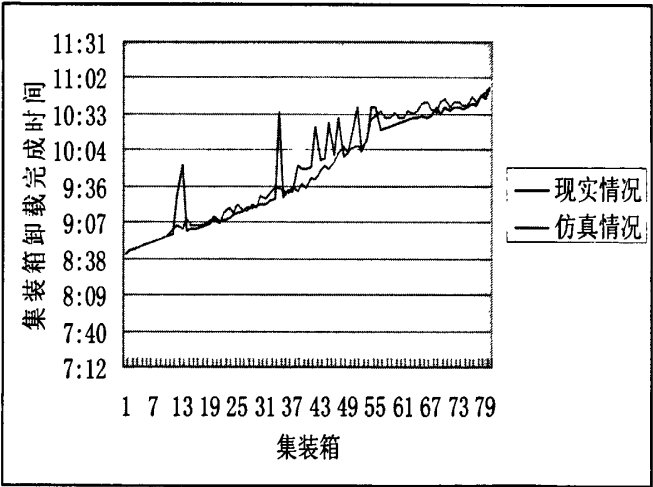


图 4.3 船型 4 仿真情况与现实情况集装箱卸载完成情况拟合曲线

Fig. 4.3 Fitting Curve of Completion of Unloading between Reality and Simulation Situation of the Fourth Ship Type

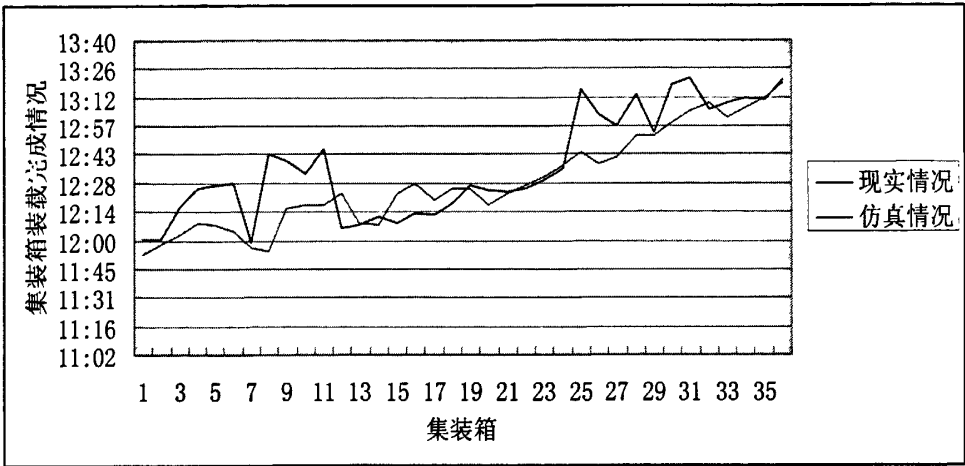


图 4.4 船型 4 仿真情况与现实情况集装箱装载完成情况拟合曲线

Fig. 4.4 Fitting Curve of Completion of Loading

between Reality and Simulation Situation of the Fourth Ship Type

从上述两条拟合曲线可以看出，仿真情况下的完成时间基本和现实中的完成时间基本可以拟合。而船舶预计离港时间是在 15:00 之前，所以集装箱作业按照正常的流程和平时的调度就可以完成，可以按照预期的离泊时间离港。离线下的仿真即给出“船舶作业按正常调度可完成”的提示。

4.2.3 案例二结果分析

案例二是从对仿真模型反复执行得到的大量仿真结果中抽取特殊船型的集装箱船，由于船型 3 自身净重较小，而能承载的集装箱量确是所有船型中承载量较大的，机械资源对它的操作十分特殊，所以对船型 3 的仿真结果进行分析。在数据库中抽取一条这个船型的集装箱船舶的数据，与仿真得到的结果进行比较。整理后的数据如图 4.5 所示。

A	B	C	D	E	F
序号	船舶代号	现实情况下集装箱装卸开始时间	现实情况下集装箱装卸结束时间	仿真情况下集装箱装卸开始时间	仿真情况下集装箱装卸结束时间
1	WAREBAL TIC	11:31	11:51	11:36	11:46
2	WAREBAL TIC	11:35	11:52	11:37	11:40
3	WAREBAL TIC	11:39	11:56	11:38	11:48
4	WAREBAL TIC	11:46	11:52	11:41	11:46
5	WAREBAL TIC	11:46	11:56	11:43	11:52
6	WAREBAL TIC	11:46	11:54	11:44	11:49
7	WAREBAL TIC	11:47	12:11	11:47	11:52
8	WAREBAL TIC	11:48	11:55	11:49	11:50
9	WAREBAL TIC	11:49	12:19	11:49	11:51
10	WAREBAL TIC	11:49	12:13	11:49	11:56
11	WAREBAL TIC	11:50	12:15	11:51	11:54
12	WAREBAL TIC	11:53	12:01	11:52	11:54
13	WAREBAL TIC	11:53	12:17	11:54	12:00
14	WAREBAL TIC	11:53	11:56	11:55	12:02
15	WAREBAL TIC	11:53	11:59	11:57	12:06
16	WAREBAL TIC	11:55	12:19	11:59	12:01
17	WAREBAL TIC	11:59	12:24	12:02	12:08
18	WAREBAL TIC	12:01	12:25	12:03	12:09
19	WAREBAL TIC	12:03	12:35	12:04	12:14
20	WAREBAL TIC	12:08	12:36	12:06	12:15
21	WAREBAL TIC	12:08	12:41	12:08	12:09
22	WAREBAL TIC	12:09	12:11	12:09	12:18
23	WAREBAL TIC	12:09	12:41	12:10	12:18
24	WAREBAL TIC	12:09	12:11	12:11	12:21
25	WAREBAL TIC	12:09	12:53	12:11	12:19
26	WAREBAL TIC	12:09	12:22	12:13	12:17
27	WAREBAL TIC	12:09	12:28	12:13	12:18
28	WAREBAL TIC	12:09	12:19	12:13	12:18
29	WAREBAL TIC	12:09	12:47	12:14	12:18

图 4.5 船型 3 现实数据与仿真数据分析

Fig 4.5 Analysis of Real Data and Ssimulation Data of the Third Ship Type

对上述数据做数据拟合，可以看出仿真与现实情况下的装卸作业比较情况如图4.6和图4.7所示。

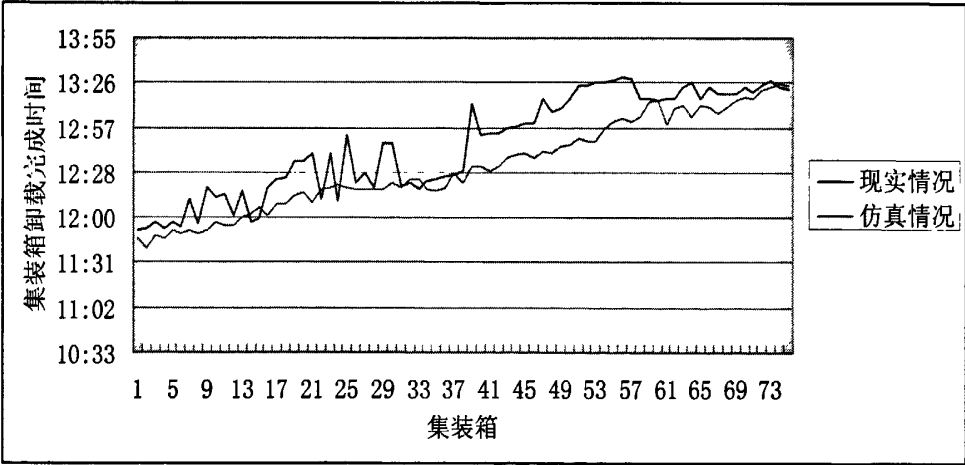


图 4.6 船型 3 仿真情况与现实情况集装箱卸载完成情况拟合曲线

Fig. 4.6 Fitting Curve of Completion of Unloading
Between Reality and Simulation Situation of the Third Ship Type

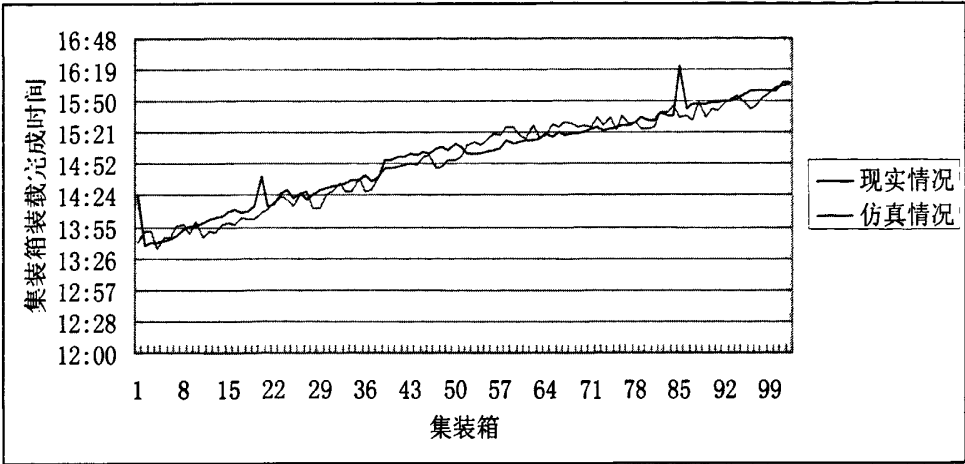


图 4.7 船型 3 仿真情况与现实情况集装箱装载完成情况拟合曲线

Fig. 4.7 Fitting Curve of Completion of Loading

Between Reality and Simulation Situation of the Third Ship Type

从上述两条拟合曲线可以看出，仿真情况下的完成时间基本和现实中的完成时间基本可以拟合。但是船舶预计离港时间是在 15:30 之前，所以集装箱作业按照正常的流程和平时的调度无法在规定的离泊时间离开港口，将影响后续船舶的集装箱装卸情况，离线下的仿真即给出“请调整调度方案，否则按规定时间不能正常离泊”的提示。

4.3 仿真模型在实时监控系统中的应用

本文所研究的课题来源是“某港口集装箱堆场实时监控系统”，研究本文的目的是在在线系统中嵌入离线仿真系统，在实时监控系统监控的任意状态下都可以切换到离线仿真系统，并根据当前不同的状态初始化进行仿真。在上面的章节中已经研究了不同状态的初始化下离线集装箱堆场作业仿真模型的建立和结果分析，并指出了模型结果如何给予管理者调整调度方案提供定量依据。但如何在在线监控系统和离线仿真系统之间随机切换并没有研究，所以如何研究仿真模型在在线实时监控系统中的应用是本节重点研究的内容。

4.3.1 在/离线集装箱堆场实时监控系统架构分析

某港口集装箱堆场实时监控系统采用的是三层架构设计：视图层、业务逻辑层、数据层。当系统在线时将离线时需要的数据从数据库中存在页面的全局变量

中，待离线时使用。在线部分切换到离线部分采用Google Gears实现，系统架构图如图4.8所示。

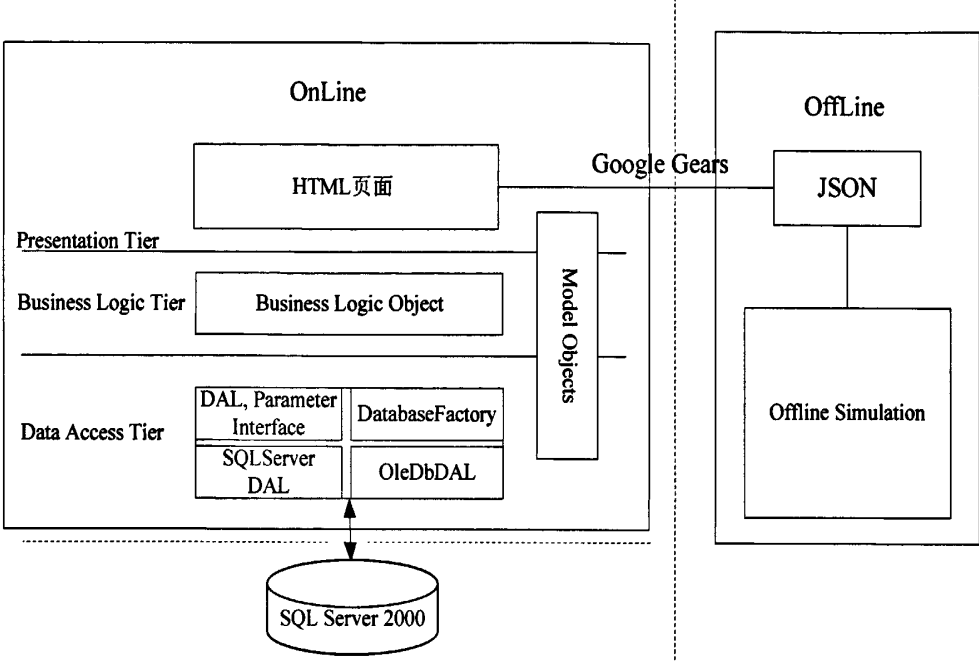


图 4.8 系统架构图

Fig 4.8 Diagram of System Architecture

具体的实现时序图如图4.9所示。

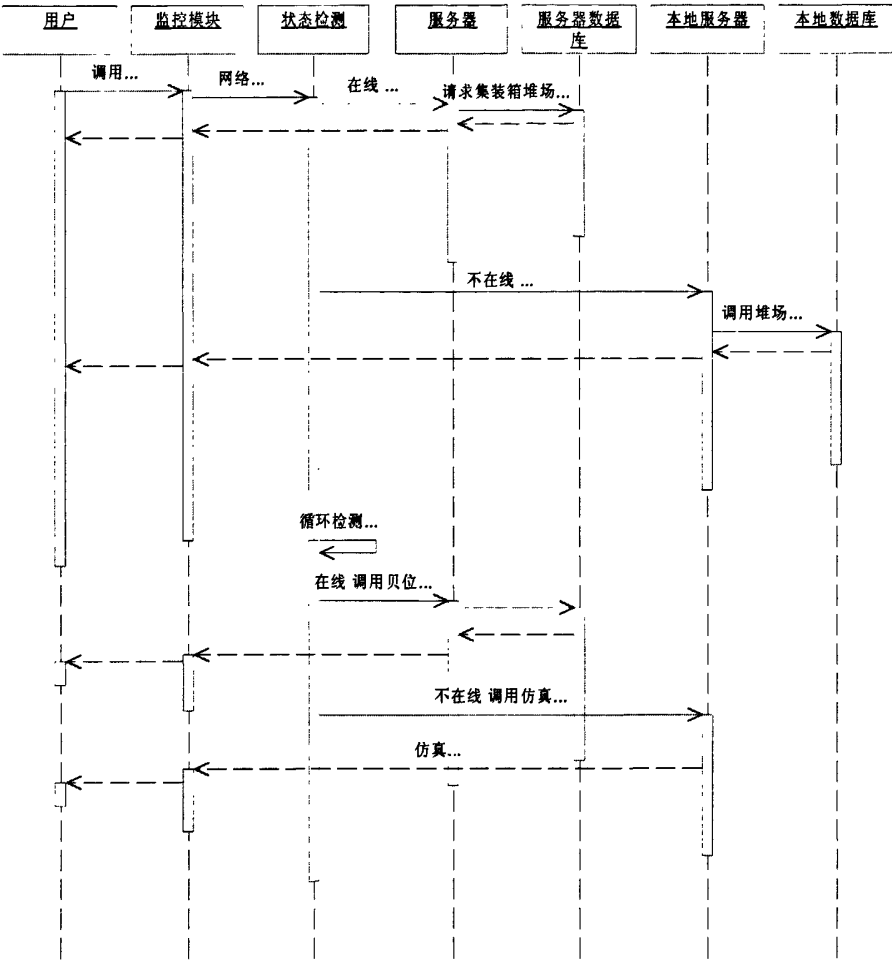


图 4.9 时序图

Fig. 4.9 Sequence Diagram

4.3.2 在线集装箱实时监控系统离线访问的实现

Gears 为系统离线访问网页，提供了简单、快捷的方式。只需要建立一个 JSON 文件，并在 JSON 文件中存储离线情况下需要访问的静态文件，然后调用一个 API 即可达到离线访问页面的目的。JSON 文件具体的内容如下：

```
{
  "betaManifestVersion": 1,
  "version": "version 1.4",
  "entries": [
```

```
{ "url": "."},
{ "url": "main.html"},      //在线情况下集装箱堆场实时监控页面
{ "url": "js/am.js"},       //在线情况下dwr从服务器中调用到的方法结果
{ "url": "js/ria_fz.js"}    //离线情况下仿真的实现
{ "url": "js/gears_init.js"} //对gears自带数据库sqlite的操作
]
}
```

4.4.3 在/离线集装箱实时监控系统的实现

港口集装箱堆场实时监控系统的界面如图 4.10 所示。

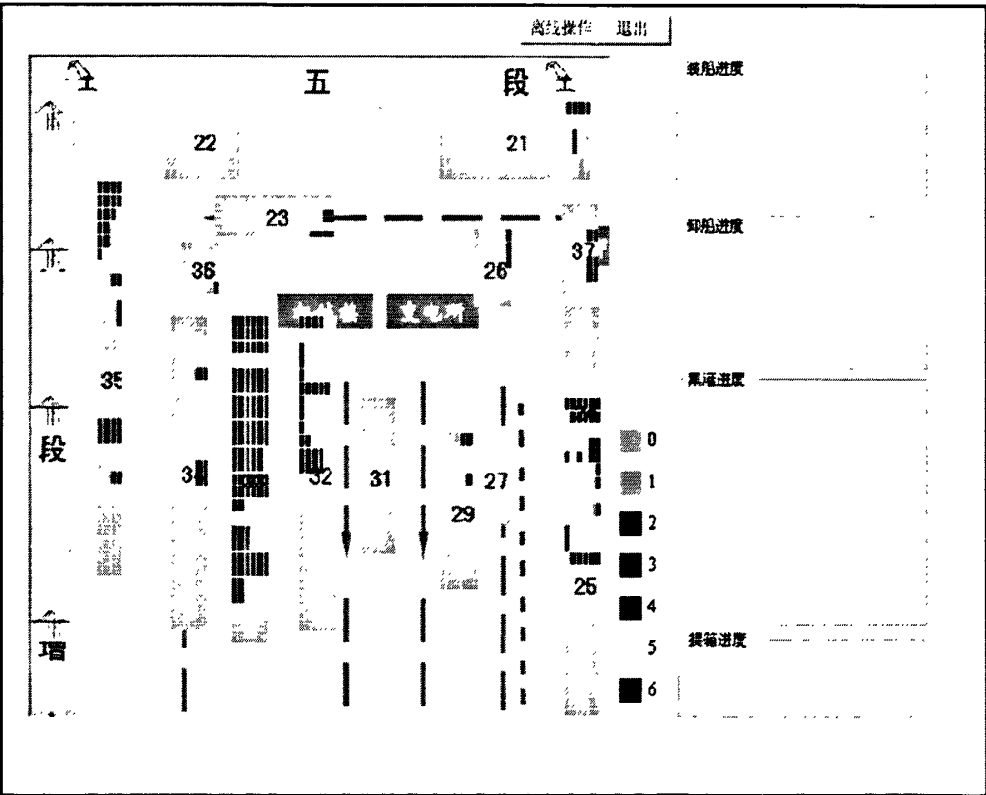


图 4.10 堆场实时监控界面图

Fig. 4.10 Interface of Real-time Monitoring System of Container Yard

当操作人员对当前操作调度不确定是否能够按时完成时，点击“离线操作”，系统将由在线实时数据监控切换到离线仿真系统，进行离线仿真监控，对在结束后给出定量的结果分析，具体结果如表4.2所示。

表 4.2 船舶到港的仿真结果
Tab. 4.2 The Simulation Results of Arriving Ship

船舶到港仿真结果
离线后还有4艘船到港，到港时间为：
2011-05-16 18:18:15
2011-05-16 18:37:15
2011-05-16 19:28:15
2011-05-16 20:49:15
2011-05-16 18:07:15船舶开始靠泊
2011-05-16 18:27:15船舶靠泊结束，准备卸载集装箱
到达的船舶为船型4
卸载集装箱数量为157
装载集装箱数量为166
集装箱1在2011-05-16 18:28:15由岸桥搬起
集装箱2在2011-05-16 18:30:15由岸桥搬起
集装箱3在2011-05-16 18:30:15由岸桥搬起
集装箱4在2011-05-16 18:31:15由岸桥搬起
集装箱5在2011-05-16 18:31:15由岸桥搬起
集装箱2在2011-05-16 18:40:15作业完成，
集装箱6在2011-05-16 18:33:15由岸桥搬起
集装箱7在2011-05-16 18:34:15由岸桥搬起
集装箱7在2011-05-16 18:34:15由岸桥搬起
集装箱8在2011-05-16 18:34:15由岸桥搬起
集装箱8在2011-05-16 18:35:15作业完成，
集装箱4在2011-05-16 18:36:15作业完成，
集装箱9在2011-05-16 18:37:15由岸桥搬起
集装箱1在2011-05-16 18:38:15作业完成，
集装箱6在2011-05-16 18:38:15作业完成，
集装箱10在2011-05-16 18:38:15由岸桥搬起
集装箱11在2011-05-16 18:38:15由岸桥搬起
集装箱12在2011-05-16 18:39:15由岸桥搬起
集装箱7在2011-05-16 18:39:15作业完成，
集装箱9在2011-05-16 18:39:15作业完成，
集装箱3在2011-05-16 18:40:15作业完成，
集装箱5在2011-05-16 18:40:15作业完成，
集装箱13在2011-05-16 18:40:15由岸桥搬起

表 4.2 船舶到港的仿真结果（续）

Tab. 4.2 the Simulation Results of Arriving Ship (Countinued)

船舶到港仿真结果
集装箱11在2011-05-16 18:41:15作业完成，
集装箱12在2011-05-16 18:41:15作业完成，
集装箱14在2011-05-16 18:40:15由岸桥搬起
集装箱15在2011-05-16 18:41:15由岸桥搬起
集装箱16在2011-05-16 18:41:15由岸桥搬起
集装箱17在2011-05-16 18:42:15由岸桥搬起
集装箱15在2011-05-16 18:43:15作业完成，
.....
集装箱145在2011-05-16 20:54:15由岸桥搬起
集装箱146在2011-05-16 20:54:15由岸桥搬起
集装箱147在2011-05-16 20:55:15由岸桥搬起
集装箱148在2011-05-16 20:55:15由岸桥搬起
集装箱149在2011-05-16 20:56:15由岸桥搬起
集装箱150在2011-05-16 20:57:15由岸桥搬起
集装箱151在2011-05-16 20:57:15由岸桥搬起
集装箱149在2011-05-16 20:58:15作业完成，
集装箱 152在2011-05-16 20:58:15由岸桥搬起
集装箱150在2011-05-16 20:59:15作业完成，
集装箱153在2011-05-16 20:59:15由岸桥搬起
集装箱154在2011-05-16 20:59:15由岸桥搬起
集装箱145在2011-05-16 21:00:15作业完成，
集装箱148在2011-05-16 21:00:15作业完成，
集装箱153在2011-05-16 21:00:15作业完成，
集装箱146在2011-05-16 21:02:15作业完成，
集装箱147在2011-05-16 21:02:15作业完成，
集装箱155在2011-05-16 21:02:15由岸桥搬起
集装箱156在2011-05-16 21:02:15由岸桥搬起
集装箱151在2011-05-16 21:04:15作业完成，
集装箱157在2011-05-16 21:04:15由岸桥搬起
集装箱152在2011-05-16 21:08:15作业完成，
集装箱156在2011-05-16 21:08:15作业完成，
集装箱154在2011-05-16 21:09:15作业完成，
集装箱155在2011-05-16 21:10:15作业完成，
集装箱157在2011-05-16 21:13:15作业完成，

表 4.2 船舶到港的仿真结果（续）

Tab. 4.2 the Simulation Results of Arriving Ship (Countinued)

船舶到港仿真结果
2011-05-16 21:13:15卸载集装箱完成，准备装载集装箱
集装箱1在2011-05-16 21:14:15由场桥搬起
集装箱2在2011-05-16 21:14:15由场桥搬起
集装箱3在2011-05-16 21:15:15由场桥搬起
集装箱4在2011-05-16 21:15:15由场桥搬起
集装箱5在2011-05-16 21:15:15由场桥搬起
集装箱4在2011-05-16 21:16:15作业完成，
集装箱6在2011-05-16 21:16:15由场桥搬起
集装箱7在2011-05-16 21:16:15由场桥搬起
集装箱8在2011-05-16 21:16:15由场桥搬起
集装箱9在2011-05-16 21:17:15由场桥搬起
集装箱10在2011-05-16 21:17:15由场桥搬起
集装箱11在2011-05-16 21:17:15由场桥搬起
集装箱7在2011-05-16 21:18:15作业完成，
集装箱12在2011-05-16 21:18:15由场桥搬起
集装箱13在2011-05-16 21:18:15由场桥搬起
集装箱14在2011-05-16 21:18:15由场桥搬起
集装箱15在2011-05-16 21:19:15由场桥搬起
集装箱16在2011-05-16 21:19:15由场桥搬起
集装箱17在2011-05-16 21:19:15由场桥搬起
集装箱18在2011-05-16 21:19:15由场桥搬起
集装箱10在2011-05-16 21:20:15作业完成，
集装箱19在2011-05-16 21:20:15由场桥搬起
.....
集装箱156在2011-05-16 22:15:15由场桥搬起
集装箱157在2011-05-16 22:16:15由场桥搬起
集装箱158在2011-05-16 22:16:15由场桥搬起
集装箱159在2011-05-16 22:16:15由场桥搬起
集装箱160在2011-05-16 22:16:15由场桥搬起
集装箱161在2011-05-16 22:16:15由场桥搬起
集装箱162在2011-05-16 22:17:15由场桥搬起
集装箱163在2011-05-16 22:17:15由场桥搬起

表 4.2 船舶到港的仿真结果（续）

Tab. 4.2 the Simulation Results of Arriving Ship (Countinued)

船舶到港仿真结果
集装箱164在2011-05-16 22:17:15由场桥搬起
集装箱165在2011-05-16 22:19:15由场桥搬起
集装箱166在2011-05-16 22:19:15由场桥搬起
集装箱167在2011-05-16 22:19:15由场桥搬起
集装箱168在2011-05-16 22:19:15由场桥搬起
集装箱168在2011-05-16 22:20:15作业完成，
集装箱162在2011-05-16 22:21:15作业完成，
集装箱156在2011-05-16 22:23:15作业完成，
集装箱158在2011-05-16 22:25:15作业完成，
集装箱160在2011-05-16 22:25:15作业完成，
集装箱165在2011-05-16 22:25:15作业完成，
集装箱159在2011-05-16 22:28:15作业完成，
集装箱157在2011-05-16 22:30:15作业完成，
集装箱161在2011-05-16 22:33:15作业完成，
集装箱164在2011-05-16 22:34:15作业完成，
集装箱167在2011-05-16 22:34:15作业完成，
集装箱163在2011-05-16 22:35:15作业完成，
集装箱166在2011-05-16 22:36:15作业完成，
2011-05-16 22:36:15 装载集装箱完成，准备离泊
预计离港时间是 2011-05-17 08:00，按正常调度可以完成集装箱船舶的装卸作业

第5章 总结与展望

5.1 全文总结

由于集装箱运输业迅猛发展,集装箱船逐步向大型化转变,船舶的大型化使得集装箱堆场不得不向大型化发展,然而由于堆场作业的复杂性和多变性,常常因为特殊船型的到达、机械故障等特殊情况导致原有的调度方案出现问题,而临时调度又常常使堆场管理处于混乱之中,影响后续堆场作业的完成。本文主要针对解决上述存在的问题,在分析了集装箱堆场系统的组成和 workflows 的基础上,确认集装箱堆场系统是一个典型的离散事件随机系统,并按照离散事件随机系统建模的方法对其进行建模研究,并与在线实时监控系统进行整合,提升用户体验,并对管理者调度堆场提供定量决策。在研究过程中,主要做的工作如下所示:

(1) 分析了在线实时监控系統监控到的堆场作业系统的特点和作业流程,确定其为离散事件动态系统(DEDS),并按照DEDS的概念对监控到的堆场作业系统的特点和流程进行了分析。

(2) 在分析了堆场作业系统的特点和流程的基础上,提出了一种利用不同仿真策略驱动DEDS仿真模型的方法。将仿真模型分为三个部分进行设计:公共子模块、单元子模块,最后利用总体控制模块将前两者整合起来。

(3) 对如何建立公共子模块,即如何利用统计学和概率论的知识分析历史数据,确定建立模型所需参数进行了研究。利用SPSS软件和关联规则理论对集装箱堆场到港船舶数量和间隔时间、船型分布、船舶对集装箱的装卸量分布情况进行了规律性的分析和研究,从而确定了模型中公共子模块的建模方案。

(4) 对基于DEDS的集装箱堆场实时监控系統模拟仿真情况进行了建模,分别对港口到港子模型、集装箱卸载作业子模型、集装箱装载作业子模型的仿真策略和如何建立子模型进行了研究,同时利用JAVA语言实现了仿真模型。

(5) 对仿真模型所实现的离线环境下的集装箱实时监控系統与在线实时监控系統进行整合的方法进行了研究,同时实现了在线实时监控\离线仿真监控无缝接

合，使管理者可以在任意时刻切断当前在线监控，进行离线仿真，从而为管理者实施调度提供依据。

5.2 研究展望

本文虽然对离线环境下的集装箱实时监控系统的建模和应用等方面做了一定的研究和开发，但是由于时间和能力的限制，再加上堆场系统的复杂性和多变性，本文的工作只是一个初始阶段，还存在着诸多不足。有许多问题还有待在今后的研究工作中给出解决方案。下一步的研究可以从以下几个方面入手：

(1) 建立的集装箱作业系统仿真模型是基于很多假设情况，是对模型的规模和复杂程度进行了简化。在后续的研究工作中，应该将季节因素、天气因素等其他复杂因素也考虑进来，这样的出的数据才与真实港口更接近，更具有说服力。

(2) 本文已经给出了面向一个堆场的实时监控系统的离线仿真的方法，并给出了如何协调在线实时监控\离线仿真监控的方法。考虑到目前B/S结构和SaaS模式的广泛应用，可以考虑将SaaS模式与集装箱堆场实时监控系统的离线仿真进行结合，建立一个多租户使用的在线实时监控\离线仿真监控相结合的实时监控系统。

参 考 文 献

- [1] 郑在. 我国国际集装箱堆场(仓储)业存在问题与建议[J]. 集装箱化. 2008, 第9期(总第206期).
- [2] 李文鑫. 基于 Internet 的远程实时监控系统研究: (硕士学位论文). 武汉: 武汉理工大学, 2006.
- [3] 王熙凯. 港口集装箱实时监控系统的开发研究: (硕士学位论文). 天津: 天津大学, 2007.
- [4] VicentJ.Botti. Multi-Agent System Technology in a port Container Terminal Automation[J]. ERCIM News. 2004, No. 56:37-39.
- [5] 周强, 吴继红. 集装箱码头物流系统的仿真建模技术[J]. 港口装卸. 2005, 第5期(总第163期).
- [6] 典型港口物流模式. 水路运输文摘. 2005年12期.
- [7] 肖美贞. 集装箱船舶在港服务系统仿真分析及其可信度研究: (硕士学位论文). 大连: 大连理工大学, 2010.
- [8] 徐斌. 基于 Agent 的集装箱码头实时调度系统的研究: (博士学位论文). 大连: 大连理工大学, 2009.
- [9] 彭旺明. 基于 eM-Plant 的天津港集装箱码头物流系统建模与仿真: (硕士学位论文). 武汉: 武汉理工大学, 2004.
- [10] A. A. SHABAYEK, W. W. YEUNG. A Queuing Model Analysis of the Performance of the Hong Kong Container Terminals[J]. Transportation Planning and Techno. 2000, Vol. 23: 323-351.
- [11] 彭传圣. 国外港口计算机模拟技术的发展[J]. 港口装卸. 2001, pp:323-351.
- [12] 杨宏. 港口生产系统方案设计仿真研究: (硕士学位论文). 上海: 上海海事大学, 2006.
- [13] 林国顺, 李向文. 交通运输模拟建模技术[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2004.
- [14] 陈玲, 林国顺, 万宁. 关于堆场集装箱到达模型选择分析[J]. 全国第十届企业信息化与工业工程学术年会. 浙江杭州, 2006.
- [15] 万宁. 后方堆场集装箱管理智能模拟研究: (硕士学位论文). 大连: 大连海事大学, 2007.
- [16] 林国顺, 黄梯云, 邢月华. 计算机模拟发展综述[J]. 交通与计算机. 1998, 16(5):1-6.
- [17] 郑大钟, 赵千川. 离散事件动态系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [18] <http://wenku.baidu.com/view/8d232ec708a1284ac85043f0.html>.
- [19] 齐欢, 王小平. 系统建模与仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

- [20] 王维平. 离散事件系统建模与仿真[M]. 北京: 科学技术出版社, 2007.
- [21] 陈燕. 数据仓库与数据挖掘[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2006.
- [22] Rakesh Agrawal, Tomasz Imielinski and ArunSwami. Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases[C]. In: Proc.1993. ACM-SIGMOD Int. Conf Management of Data Washington. DC. 1993, pp:207-216.
- [23] 杨剑敏. 购物篮分析方法的研究与扩展: (硕士学位论文). 广州: 暨南大学, 2006.
- [24] 成文奇. 关联规则算法及其应用研究: (硕士学位论文). 湖南: 中南大学, 2003.
- [25] Jiawei Han, Micheline Kamber. 范明, 孟小峰译. 数据挖掘概念和技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [26] 张学斌. 数值型多维关联规则挖掘研究: (硕士学位论文). 四川: 西南师范大学, 2005.
- [27] www.chinaai.org/pr/pattern-recognition/association-rules-algorithm.html.
- [28] <http://baike.baidu.com/view/743082.htm>.
- [29] <http://baike.baidu.com/view/45379.htm>.
- [30] 陈戌源. 集装箱码头业务管理[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1998.
- [31] 郑志虹. 堆场计划管理在集装箱码头中的应用[J]. 水运管理. 2002, (3): 28-29.
- [32] 黄爽. 集装箱运输企业内部物流系统的建模与仿真: (硕士学位论文). 辽宁: 辽宁工学院, 2006.
- [33] 鲁春林, 霍佳震. IDEF 方法在集装箱码头仿真中的应用[J]. 物流技术. 2006, 第 1 期: 29-31.
- [34] 汪存友, 余嘉元. SPSS 两阶聚类法如何自动确定聚类数[J]. 中国卫生统计. 2010, 第 2 期: 202-203.
- [35] http://www.spss.oh/upload/1122644952_The SPSS TwoStep Cluster component. pdf.
- [36] 陈胜可. SPSS 统计分析从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [37] 李开丁. 关于 n 个独立同分布的指数分布的最值问题的期望和方差[J]. 大学数学. 2005, 第 21 卷第 4 期: 125-127.
- [38] 李丽. 集装箱码头物流系统仿真研究: (硕士学位论文). 武汉: 武汉理工大学. 2004.
- [39] 王金新. 上海港集装箱船舶船型分析及初步预测[J]. 集装箱化. 1998, 第 8 期: 12-15.
- [40] 沙梅. 通用性集装箱码头工艺方案设计仿真系统建模与仿真研究: (博士学位论文). 上海: 上海海事大学, 2006.
- [41] 张婕姝. 集装箱码头微观调度仿真系统建模研究[J]. 系统仿真学报. 2009, (5): 303-306.

- [42] 张婕姝. 集装箱码头微观分析仿真模型的构建方法研究[J], 计算机仿真. 2009, (5): 303-306.
- [43] 张婕姝. 基于微观仿真的集装箱码头生产调度决策优化[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2009.
- [44] 李乃乾, 沈钧毅. 量化关联规则挖掘及算法[J]. 小型微型计算机系统. 2003, 24(12): 2275-2277.
- [45] 成文奇. 关联规则算法及其应用研究[M]. 湖南: 中南大学, 2003.
- [46] R. Agrawal, J. C. Shafer. Parallel Mining of Association Rules[J]. Transactions on knowledge and data engineering. 1996, 8(6): 962-969.
- [47] E. Kozan. Comparison of analytical and simulation planning models of seaport container terminals, Transportation Planning and Technology. 1997, 20(3): 235-248.
- [48] Yun, Won Young Choi, Yong Seok. Simulation model for container terminal operation analysis using an object-oriented approach. In: Proceedings of the 1996 10th International Symposium on Inventory, International Journal of Production Economics. South Korea. 1999, pp: 221-230.
- [49] H. P. M. Veeke, J. A. Ottjes. A Generic Simulation Model for Systems of Container Terminals. In: Proceedings of the 16th European Simulation Multiconference (ESM 2002). 2002.
- [50] Lai K, Lam K. A study of container yard equipment allocation strategy in Hong Kong[J]. International Journal of Modeling and Simulation. 1994, 14(3): 134-138.
- [51] 沙梅. 集装箱码头物流运营系统通用性建模与仿真[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2009.
- [52] Law K, Kelton W. Simulation Modeling and Analysis (2nd Ed) [M], New York: McGraw-Hill, 1991.
- [53] Pidgeon A. W. Computer Simulation For Effective Port Planning. National Conference Publication [J]. Institution of Engineerings. 1992, pp: 248-251.
- [54] 唐铁兵. 基于 SaaS 的企业作业调度系统的研究与实现: (硕士学位论文). 重庆: 重庆大学, 2008.
- [55] 沙梅. 集装箱码头工艺方案设计建模与仿真[J]. 系统仿真学报. 2005, 17(10): 2560-2563.
- [56] <http://wenku.baidu.com/view/b5255c72f242336c1eb95e0b.html>

- [57] <http://wenku.baidu.com/view/bdd97dc758f5f61fb7366631.html>
- [58] 真虹. 仿真技术在待建港口合理规模确定中的应用[J]. 仿真技术. 1992, (2): 43-51.
- [59] K. V. Tamani. An Interactive Simulation Model for the Logistics Planning of Container Operations in Seaports. SIMULATION. 1996, 66(5): 291-300.
- [60] M. B. Duinkerken, J. J. M. Evers, J. A. Ottjes. A Simulation Model for Integrating Quay Transport and Stacking Policies on Automated Container Terminals. In: Proceedings of the 15th European Simulation Multiconference(ESM 2001). 2001.

攻读学位期间公开发表论文

- [1] 陈晓希, 陈佳, 张升文, 隋莉莉. Application of Adapter Pattern In Container Ship Stowage System (IIS 2010) 工业与信息系统国际会议, 2010.07, EI、ISTP 检索.
- [2] 张升文, 陈晓希. Offline Application of the MIS System in SaaS Architecture (ISAM2011) 信息科学, 自动化与材料系统国际研讨会议, 2011.04, EI、ISTP 检索.
- [3] 汤双, 陈佳, 陈晓希. Double Buffer Technique Improving Painting Effect of Port Information System (IIS 2010) 工业与信息系统国际会议, 2010.07, EI、ISTP 检索.

致 谢

在本论文完成之际,我要衷心地感谢我的导师张升文教授。张老师治学严谨、平易近人、为人谦虚以及严谨的科学态度使我受益匪浅;在研究生的学习和生活中,张老师的关怀和教导帮助我不断地树立正确的人生观与价值观。同时也要感谢陈佳老师和徐斌老师在论文撰写过程中给予我的大量帮助和指导,更要感谢陈佳老师提供给我的大量实践机会和锻炼机会,使我的实际动手能力和社会实践方面有了很大的提高。

我还要感谢管理科学与工程学科的所有老师,他们在课堂内外的言传身教无不体现出为人师表的魅力,引导我步入一个又一个未知的科学领域。

感谢管理科学与工程专业 2009 级的兄弟姐妹,感谢他们在学习和生活中给予我的支持和帮助。并且还要感谢我的师兄师姐,从他们那所学到的知识和经验将是我这一生的财富;谢谢娄西安等亲爱的师弟师妹们,他们对我论文的完成给予了无私的帮助。

感谢我的爸爸妈妈给予我的鼓励和支持,他们永远是我强大的后盾。

最后,谨向百忙之中抽出宝贵时间评审本论文的专家、学者致以最诚挚的谢意。

...

...