

学校代码: 10126

学号: 31436010

分类号:

编号:



内蒙古大学  
INNER MONGOLIA UNIVERSITY

# 硕士学位论文

## MASTER DISSERTATION

基于遗传算法的集装箱码头泊位和岸桥分配问题的研究

学院: 数学科学学院

专业: 数学

研究方向: 运筹学与控制论

姓名: 任洁

指导教师: 曹瑾鑫 教授



学校代码: 10126

学号: 31436010

分类号: \_\_\_\_\_

编号: \_\_\_\_\_

论 文 题 目

基于遗传算法的集装箱码头泊位和岸桥  
分配问题的研究

学    院: 数学科学学院

专    业: 数学

研究方向: 运筹学与控制论

姓    名: 任洁

指导教师: 曹瑾鑫教授

2017 年 3 月 25 日

**A STUDY ON BERTH ALLOCATION AND QUAY CRANE  
ASSIGNMENT IN CONTAINER TERMINALS BASED  
ON GENETIC ALGORITHM**

Jie Ren

Supervised by Professor Jinxin Cao

School of Mathematical Sciences,  
Inner Mongolia University, Hohhot, 010021

March, 2017

## 原创性声明

本人声明：所呈交的学位论文是本人在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除本文已经注明引用的内容外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得内蒙古大学及其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：任浩 指导教师签名：郝增亮

日 期：2017.5.31 日 期：2017.6.1

## 在学期间研究成果使用承诺书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：内蒙古大学有权将学位论文的全部内容或部分保留并向国家有关机构、部门送交学位论文的复印件和磁盘，允许编入有关数据库进行检索，也可以采用影印、缩印或其他复制手段保存、汇编学位论文。为保护学院和导师的知识产权，作者在学期间取得的研究成果属于内蒙古大学。作者今后使用涉及在学期间主要研究内容或研究成果，须征得内蒙古大学就读期间导师的同意；若用于发表论文，版权单位必须署名为内蒙古大学方可投稿或公开发表。

学位论文作者签名：任浩 指导教师签名：郝增亮

日 期：2017.5.31 日 期：2017.6.1

# 基于遗传算法的集装箱码头泊位和岸桥分配问题的研究

## 摘 要

集装箱运输业的发展是与社会经济紧密联系的,经济发展必定会促进集装箱运输业的发展,反之,该运输业的发展同时也会不断提升我国的综合国力.为了有效地利用集装箱码头上的泊位和岸桥这两种资源,本文从离散性泊位和岸桥分配问题,以及连续性泊位和岸桥分配问题两个方面进行研究.离散性泊位和岸桥分配问题中考虑不同船舶每个集装箱的成本均衡问题,从而达到船公司和码头之间的利益均衡.而在连续性泊位和岸桥分配问题中定义广义时间损失,将时间和空间同时考虑,更符合实际要求.

离散性泊位和岸桥分配问题最小化总的服务成本,包括工作成本,等待成本,以及码头岸桥的运作成本.连续性泊位和岸桥分配问题中最小化广义时间损失,包括实际时间损失和由于船舶靠泊偏离最佳位置所产生的时间损失.由于精确计算的复杂度很高,本文设计遗传算法来实现一个接近最优解的解决方案.通过采用CPLEX以及遗传算法进行求解,结果表明,所提出的遗传算法可以求得所建模型的最优解,为解决大规模算例提供了有效的算法.在模型中将泊位和岸桥同时考虑,对于节约码头资源、缩短船舶在港时间以及降低集装箱码头的运营成本都具有重要的作用.

**关键词:** 离散性泊位分配问题;连续性泊位分配问题;岸桥分配;成本均衡;广义时间损失;线性规划模型;遗传算法



# **A STUDY ON BERTH ALLOCATION AND QUAY CRANE ASSIGNMENT IN CONTAINER TERMINALS BASED ON GENETIC ALGORITHM**

## **ABSTRACT**

The development of container transportation industry is closely linked with the social and economic. Economic development can promote the development of container transportation, and the transportation industry also enhance our comprehensive national strength. In order to use these resources effectively in container terminals, including berth and quay cranes. This paper study the discrete berth allocation and quay crane assignment problem, and continuous berth allocation and quay crane assignment problem. The discrete berth allocation and quay crane assignment problem consider the cost balance of each container, so as to achieve the balance of interests between shipping companies and container terminals. The generalized time loss is defined in the continuous berth allocation and quay crane assignment problem, considering the time and space at the same time, that is more in line with the actual requirements.

Discrete berth allocation and quay crane assignment problem minimize the total service cost, including the operating cost, the waiting cost and the operating cost of quay cranes. The generalized time loss in the continuous berth allocation and quay crane assignment problem, including the actual time loss and the time loss due to the berthing deviation from the optimal position. Due to the high computational complexity, this paper design a genetic algorithm to achieve a near optimal solution. By using CPLEX and the genetic algorithm, the results show that the genetic algorithm can obtain the optimal solution of the model, which provides an effective algorithm to solve large-scale numerical examples. In the model, it is very important to solve the problem of the optimization of berth and quay cranes, which plays an important role in saving wharf resources, shortening the time of ship and reducing the operation cost in container terminals.

**KEYWORDS:** Discrete berth allocation problem; Continuous berth allocation problem; Quay crane assignment; Cost balance; General time loss; Integer programming model; Genetic algorithm

目 录

中文摘要	I
英文摘要	II
目录	IV
第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究意义	3
1.3 研究现状	5
1.3.1 泊位分配问题的研究现状	5
1.3.2 岸桥分配问题的研究现状	7
1.3.3 泊位和岸桥分配同时优化问题的研究现状	8
1.4 本文的主要工作	8
第二章 遗传算法理论	10
2.1 遗传算法的实质意义	10
2.2 遗传算法的运算过程	11
2.3 遗传算法的特点	12
第三章 离散性泊位和岸桥分配问题的研究	14
3.1 问题描述	14
3.2 模型假设与模型建立	16
3.2.1 模型假设	16
3.2.2 符号表示及说明	16
3.2.3 模型建立	17
3.3 遗传算法设计	20
3.3.1 染色体编码	20
3.3.2 初化种群生成	21
3.3.3 适应度函数	21



3.3.4	染色体选择过程	22
3.3.5	染色体交叉过程	22
3.3.6	染色体突变过程	24
3.4	算例分析	24
3.4.1	参数设置	24
3.4.2	小规模算例	25
3.4.3	大规模算例	27
3.5	结论	27
<b>第四章 集装箱码头连续性泊位和岸桥分配问题的研究</b>		<b>28</b>
4.1	问题描述	28
4.2	模型假设与模型建立	30
4.2.1	模型假设	30
4.2.2	符号表示及说明	30
4.2.3	资源利用和广义时间损失定义	31
4.2.4	模型建立	32
4.3	遗传算法设计	34
4.3.1	染色体编码	34
4.3.2	初始种群生成	34
4.3.3	适应度函数	35
4.3.4	染色体选择过程	35
4.3.5	染色体交叉过程	36
4.3.6	染色体突变过程	36
4.4	算例分析	37
4.4.1	参数设立	37
4.4.2	小规模算例	38
4.4.3	大规模算例	39
4.5	结论	40
<b>第五章 总结与展望</b>		<b>41</b>
<b>参考文献</b>		<b>42</b>

作者攻读硕士期间的研究成果	45
致谢	46

## 第一章 绪论

### §1.1 研究背景

码头集装箱运输业是利用海上资源进行货物运输的一种运输方式,可以克服陆地的局限,方便快捷.而最主要的特点是,运输过程安全,价格便宜,是一种现代最先进的运输方式.通过这种方式进行货物运输,不仅可以减少运输环节,而且还可以通过综合利用各种运输方式,进行多式联运,从而提高运输效率.

中国集装箱运输行业与中国经济存在一种相互制约的关系,经济发展可以促进集装箱行业的进步,而集装箱行业的发展也会影响我国经济的增长.自20世纪80年代以来,世界集装箱运输业的增长速度是6%-8%,而中国的增长速度却以远远超过世界平均增幅的水平发展.

改革开放以来,伴随着中国国民经济的快速增长和外贸事业的蓬勃发展,中国集装箱运输突飞猛进.2007年是中国集装箱运输发展历史上具有里程碑意义的一年,吞吐量达到1.13亿TEU,首次突破一亿大关,比2006年增长22.3%.其中,沿海港口完成1.05亿TEU,比2006年增长22.0%,内河港口完成974万TEU,比2006年增长24.6%.2007年,全国港口集装箱吞吐量10.95亿吨,比2006年增长23.3%.

表1.1显示了2004年-2010年世界排名前30的港口集装箱吞吐量,我们可以看出,2009年由于金融危机的影响而使得吞吐量有所下降,其他时间都呈现增长趋势,2010年更是以15.19%的强劲势头增长.对于中国来讲,上海港作为世界第二大港,集装箱吞吐量也呈现不断上升的趋势,如图1.1所示表示2010年-2016年上海港集装箱吞吐量.中国已初步建成环渤海、长江三角洲、东南沿海、珠江三角洲和西南海5个规模化、集约化、现代化的港口群体,将进一步促进中国港口集装箱运输的发展.深圳港、青岛港、宁波-舟山港、广州港、天津港、厦门港都保持着快速发展的势头.

集装箱运输体系的构建,需要具有完善的设施,合理的布局以及

表 1.1: 2004-2010年世界排名前30的港口集装箱吞吐量情况

Tab. 1.1: The container throughput of the world's top 30 port of 2004-2010

年份	集装箱吞吐总量 (万TEU)	绝对增长量 (万TEU)	涨幅 (%)
2004	19595	-	-
2005	21772	2177	11.11
2006	24214	2442	11.22
2007	24615	401	1.66
2008	27444	2829	11.49
2009	25955	-1489	-5.43
2010	29897	3942	15.19

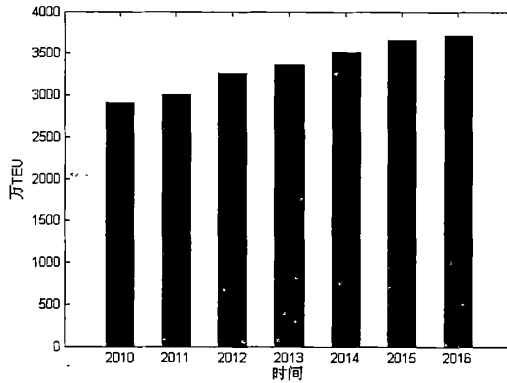


图 1.1: 上海港集装箱吞吐量

Fig. 1.1: Container throughput of shanghai port

较高的现代化程度等特点，现今中国集装箱运输体系已初步形成.近些年来，中国集装箱运输取得了长足的发展，为中国集装箱运输的发展开创了新的局面.中国通过对集装箱运输行业如何发展以及如何提升竞争力等进行研究，并通过不断改进运营模式来提高集装箱码头运作效率，从而实现了从集装箱运输大国向强国的转变.

## §1.2 研究意义

在经济全球化进程的大背景下,集装箱运输系统发展速度也越来越快.但如何高效的利用资源,从而达到缩短运作时间以及节省成本的目的,仍然是集装箱码头泊位和岸桥分配问题中急需解决的问题.如图1.2所示为集装箱码头装卸流程图,首先根据船公司和码头提供的船次、船名、预计装卸量、预计靠泊时间等信息,绘制船舶靠泊和离泊的计划表和堆场计划表,包括泊位计划、堆场计划、分配岸桥计划.船舶靠泊后,根据船舶的具体装卸箱量和泊位及岸桥的空闲情况,给船舶安排适量的岸桥,安排适量的集卡运输至堆场,场桥也进行相应的装卸作业,装卸作业就此结束.

一般情况下,集装箱码头都会预先制定船舶作业计划,到达船

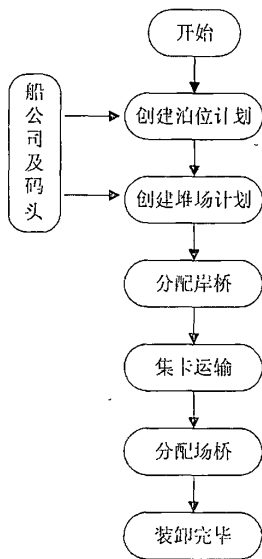


图 1.2: 集装箱码头作业流程示意图

Fig. 1.2: Sketch map of container terminals' work flow

舶会根据预先设定的计划进行靠泊作业.然而在实际情况下,计划期内的到港船舶会遇到各种无法预知因素的影响,这些因素的影响都会导致船舶实际到港时间以及实际装卸时间的变化.如果船舶提前到达码头,必须在锚地等待,等待已被占用的泊位空闲下来才可以

靠泊；如果船舶延迟到达码头，原来设定的装卸计划均得延后进行，从而导致原先设定的计划不能顺利进行.因此，集装箱码头的运输需求和实际的服务能力达不到平衡，就不能有效的利用码头资源.为了缩短船舶的在港时间以及节省在港成本，就需要合理利用好港口的有限资源，提高港口系统的整合性，实现泊位和岸桥分配的整合优化.对于决策者来说，使集装箱码头缩短工作时间，获得可观的经济效益，选择合理的调度方案意义重大.

当船舶到达港口时，装卸作业是否可以直接进行，取决于码头是

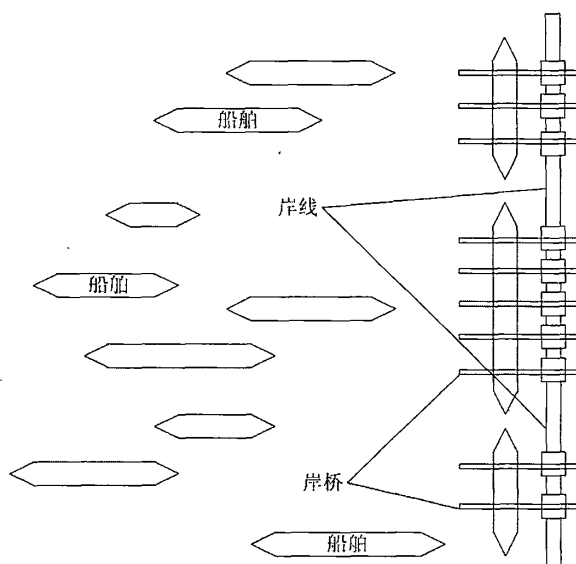


图 1.3: 泊位作业和岸桥分配系统图

Fig. 1.3: The berth allocation and quay crane assignment system graph

否有闲置的泊位.如果港口有泊位处于闲置状态，则到港的船舶就不需要等待，可以直接进行装卸作业；反之，需要等待先前的船舶作业结束，直到有闲置的泊位供到港船舶利用.而当船舶靠泊后，码头工作人员为其分配合理的岸桥，随之，便可以进行装卸作业，如图1.3所示为泊位作业和岸桥分配系统图.合理的泊位和岸桥分配方案可以减少船舶的装卸时间、提高岸桥的装卸效率.当船舶到港时，码头工作人员会根据船舶的实际到港时间给其分配最佳泊位；随后根据集装箱的装卸数量，合理的安排岸桥为船舶进行装卸服务.为了有效的

利用码头资源,获得可观的利益,在资源分配过程中,岸桥的分配计划必须与泊位的分配计划整合考虑.泊位分配方案对岸桥的服务能力具有一定的影响,反之所分配的岸桥将会影响下一艘船舶的停泊位置.因此将泊位分配和岸桥分配同时考虑,整合优化具有重要的意义.

### §1.3 研究现状

作为目前占重要地位的集装箱运输方式,拉动了经济的不断地增长,随之而来的便是集装箱码头之间激烈的竞争.为了提高码头资源的利用率,增强码头的国际竞争力,就需要制定合理的泊位和岸桥分配计划.泊位分配问题(BAP)和岸桥分配问题(QCAP)是码头需要重点研究的两个问题,它们之间不是孤立存在的,而是具有一定的相关性的,因此,泊位和岸桥分配的优化问题(B&QCAP)就成了目前需要高度重视的问题.

#### §1.3.1 泊位分配问题的研究现状

泊位是码头最核心的资源,泊位的长度或数量是衡量一个码头规模和设施建设水平的重要指标.泊位分配是集装箱码头最基本的作业调度问题,泊位分配方案是岸桥作业计划、集卡调度计划、堆场堆存计划、场桥调度计划等制定的重要依据,因而关系到整个码头的生产服务水平和货物吞吐能力.

泊位分配问题指的是,在一定的计划期内为每一条抵港的船舶分配一个合适的靠泊位置和靠泊时间,以便为其提供装卸作业服务,使得给定的调度目标达到最优.

按照计划开始执行时刻所有船舶是否已经到港,泊位分配问题可以分为静态BAP和动态BAP.静态BAP假设计划开始执行时刻所有船舶均已抵港,不需考虑船舶抵港时间对泊位分配的影响;而动态BAP则认为在整个计划期中船舶可以动态抵达港口.而按照空间管理的方法,泊位分配问题可分为离散性泊位分配问题和连续性泊位分配问题.离散性分配问题中将码头的靠泊空间划分为若干独立的泊位,如200米



为一个泊位；连续性泊位分配问题中则将靠泊空间看做一条连续的直线，船舶可以停靠在任何位置。目前泊位分配问题受到业界和学术界的广泛关注，并对其进行了大量的研究。

在BAP建模方面，Lai等<sup>[1]</sup>基于香港国际港口码头的有效利用，提出了离散性泊位分配问题并采用启发式算法进行求解。Imai等<sup>[2]</sup>研究了泊位分配问题，最大限度的减少船舶的停泊时间以及减少不合理的船舶停泊顺序，并对这些目标进行权衡，提出了确定非劣解的遗传算法进行求解。Imai等<sup>[3]</sup>研究了离散性动态泊位分配问题，泊位是码头重要的资源，并采用了拉格朗日松弛算法进行求解。与此同时，Nishimura等<sup>[4]</sup>考虑了影响泊位分配的实际因素，建立了动态的泊位分配问题模型，模型中考虑水深、船长等物理因素，求解结果更符合实际情况。Imai等<sup>[5]</sup>基于前人的研究经验，研究了动态离散性泊位问题，船舶可以动态到港停泊，目标是最小化船舶在港时间，并采用精确算法拉格朗日松弛算法求解。在动态BAP研究的热潮中，Guan等<sup>[6]</sup>建立了动态泊位分配问题的模型，目标是最小化在港船舶的加权总在港时间，并采用启发式算法对所建模型进行求解。为了提高泊位的利用率，Kim等<sup>[7]</sup>研究了同时考虑船舶的泊位时间和靠泊位置的连续性泊位分配问题，因为每艘船舶都存在一个最佳靠泊位置，建立了一个混合整数线性规划模型，并采用模拟退火法算法进行求解。Imai等<sup>[8]</sup>研究了快速处理大型集装箱船舶的多用户集装箱泊位分配问题，为了计算的方便，他们首先建立了整数线性规划模型，然后建立了基于缩进泊位的扩展模型，同时提高大型船舶和小型船舶在码头的运作效率，并采用遗传算法进行求解。Cordeau等<sup>[9]</sup>研究了动态离散性泊位分配问题。Imai等<sup>[10]</sup>将离散性泊位分配问题和连续性泊位分配问题同时研究，并采用启发式算法进行求解。Wang等<sup>[11]</sup>在连续性泊位分配问题的研究过程中，开创了新的算法-随机束搜索方法，并通过算例证明了算法的可行性。Lee等<sup>[12]</sup>研究了动态连续泊位分配问题，目标是最小化每艘进港船只的加权周转时间，并采用贪婪随机自适应搜索程序寻求最优解。Karafa等<sup>[13]</sup>将随机船舶工作时间看作是双目标函数，建立了泊位分配模型，并采用了基于进化算法的启发式算法进行求解。

Golias<sup>[14]</sup>等研究了船舶的到达时间和运作时间未知的离散性泊位分配问题，建立了最小化平均时间和总服务时间的鲁棒泊位分配模型，并采用启发式算法求解该双层优化模型。Hansen等<sup>[15]</sup>建立了泊位分配的整数规划模型，目标是最小化延迟离港时间，并采用遗传算法、可变邻域搜索算法对该问题进行求解。Zhen等<sup>[16]</sup>建立了两阶段整数规划模型，考虑了一些因素的不确定性，如船舶的到达时间，并采用启发式算法求解。

### §1.3.2 岸桥分配问题的研究现状

集装箱岸桥是集装箱船舶与集装箱码头前沿之间进行集装箱装卸的主要设备，岸桥的装卸工作效率直接决定了集装箱港口的整体运作效率。因此，为了提高港口运作效率，降低港口和船舶作业成本费用，增强港口竞争力，就必须对集装箱码头上岸桥的优化调度问题进行研究。

对于给定的泊位，岸桥分配会决定运作时间以及总费用，因此QCAP在码头也起到了关键的意义。Kim等<sup>[17]</sup>通过分支定界法获得QCAP的最优解，并设计了启发式算法进行求解，可以很好的克服分支定界法的计算规模限制的问题。Daganzo等<sup>[18]</sup>假设每艘船舶可以划分为小块，并且一个岸桥在同一时间只可以为一艘船只服务，他们提出了QCAP模型，目标是最小化延误聚合成本。Chen等<sup>[19]</sup>建立了一个混合整数规划模型来解决QCAP问题，目标是最小化工作总时间，这个问题解释了两个重要的特点：一是岸桥能够同时从靠泊船舶的两边服务；二是船舶被服务的时间由岸桥来决定，并采用分解启发式算法以及禁忌搜索算法进行模型求解。Chen等<sup>[20]</sup>采用了一种特殊的策略来研究基于集群的岸桥分配问题，即岸桥在分配完之后只能单向移动，并且采用现有算法进行模型验证。Bierwirth等<sup>[21]</sup>对前人研究过的模型进行改进，采用启发式算法来解决该岸桥调度问题。Lee等<sup>[22][23]</sup>建立了岸桥调度模型，文中主要研究单向的岸桥调度，并采用改进的遗传算法、贪婪算法求解。

### §1.3.3 泊位和岸桥分配同时优化问题的研究现状

Park等<sup>[24]</sup>首次研究泊位岸桥同时优化问题,他们假设在岸桥分配问题中,船只的泊位时间和分配的岸桥数成反比,建立了一个整数规划模型.模型分两个求解过程,分别是次梯度优化技术和动态优化技术. Imai等<sup>[25]</sup>研究了一个多用户集装箱码头的泊位和岸桥分配的问题,并采用遗传算法进行求解. Meisel等<sup>[26]</sup>考虑了许多影响因素,如分配给船只的岸桥的低效率、由于船只实际靠泊位置与理想靠泊位置所造成的工作时间的增加,并且采用建设探索、局部优化方法和两元启发式算法进行求解. Lee等<sup>[27]</sup>研究了泊位分配问题和岸桥调度问题的关系,建立了两者联合分配的混合整数规划模型,并设计遗传算法进行求解. 蔡芸等<sup>[28]</sup>建立了最小化船舶总在港时间的泊位与岸桥分配的仿真优化模型,仿真优化方法采用遗传算法,最终求得了该模型的最优解. Lu等<sup>[29]</sup>对已泊船舶进行岸桥再分配,可以提高岸桥的运作能力,建立了连续性泊位和岸桥同时优化问题,并采用启发式嵌入在并行遗传算法中进行模型求解. 韩俊等<sup>[30]</sup>对泊位与岸桥分配这两个相互关联的问题进行系统分析,开发免疫遗传算法对模型进行求解,结果表明联合分配比单独分配可以更加有效地提高码头的装卸效率. Zhang等<sup>[31]</sup>设计了新的算法-梯度优化法,求解离散性泊位和岸桥的优化问题. Chang等<sup>[32]</sup>建立了整数规划模型,目标是最小化船舶总延时的惩罚成本,并采用遗传算法与启发式算法进行求解. 周鹏飞等<sup>[33]</sup>考虑船舶抵港时间和装卸时间的随机性,建立了最小化船舶平均等待时间的动态泊位和岸桥的优化模型,并设计了一种改进的遗传算法进行求解. 李娜等<sup>[34]</sup>建立了泊位和岸桥同时优化的模型,将两者同时考虑更符合实际情况.

### §1.4 本文的主要工作

本文主要研究了泊位和岸桥分配联合优化问题,并采用CPLEX软件求解,同时通过设计遗传算法求解来克服精确算法的局限性. 本文

的研究内容概述如下：

在第一章中，介绍了本文的研究背景、意义及研究现状，并介绍了本文的主要工作。

在第二章中，介绍了遗传算法的特点以及算法运算过程，为之后离散性和连续性问题的研究提供了算法依据。

在第三章中，研究了离散性泊位和岸桥分配问题，首先，给出了考虑每个集装箱利益均衡的分配模型；然后，采用CPLEX进行求解，并设计遗传算法得到模型的近似最优解；最后，通过算例结果表明结果的有效性。

在第四章中，研究了连续性泊位和岸桥分配问题。首先，给出了研究最小化广义时间损失的泊位和岸桥分配模型；然后，采用CPLEX进行求解，并设计遗传算法得到模型的近似最优解。最后，通过算例验证模型的实用性及算法的有效性。

在第五章中，总结了离散性以及连续性泊位和岸桥分配的实际意义，随后指出集装箱码头需要进一步研究的方向。

## 第二章 遗传算法理论

生物界的生物通过自然选择这种遗传机制进行生物繁殖.基于此,目前许多学者按照这种机制设计了遗传算法,也成为一种新型的搜索算法.

### §2.1 遗传算法的实质意义

遗传算法的运算过程是:首先选定一组符合条件的解,然后通过迭代方式进行运算,当搜索到最优解时,迭代停止.遗传算法采用类似于自然选择的方法,是一种从一组初始解出发生成具有更好性能的后代的算法,遗传算法开创了一种新的搜索算法.

设数学规划模型如下:

$$\max f(x) \quad (2.1.1)$$

$$\text{s.t. } x \in D, D \subset U \quad (2.1.2)$$

其中  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  为决策变量,  $f(x)$  为目标函数.约束条件中  $U$  是基本空间,  $D$  是  $U$  的一个子空间.满足约束条件的解  $x$  称为可行解.集合  $D$  表示可行解集合.

遗传算法不是直接将操作作用于实际决策变量,而是对问题的可行解进行遗传编码,也就是将某个可行解  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  中的每个分量  $x_i$  用一个记号  $A_{ij} = a_{i1}a_{i2} \cdots a_{ih_i}$  来表示,  $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, h_i$ , 每个  $A_{ij}$  是一个符号串.这将表明,用一系列的符号串来表示可行解,将实际问题符号化,即  $x = A_{1i}A_{2i} \cdots A_{ni} \Rightarrow x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ .

遗传基因用  $A_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, h_i$ ) 表示,遗传基因组成的染色体用  $x$  表示.若  $\sum_{i=1}^n h_i = L$ ,则一般称  $L$  为染色体的长度,对同一问题  $L$  是固定的常数.染色体  $x$  可用二进制符号串来表示,即用0和1这两个整数组成  $A_{ij}$ .  $x$  称为个体的基因型,是由编码而形成的排列形式,而  $x$  的值称为与之对应的个体表现型,由此看来,个体基因型和表现型是

相互对应存在的.

遗传操作的过程如下所示:

1. 选择 (selection), 也称为复制, 是一种从第  $t$  代群体  $P(t)$  中选择出一些优良的个体的过程. 具体步骤如下:

(1) 求出群体的个体适应度, 并将当前群体中所有个体的适应度相加, 得出适应度的总和  $\sum F(X_i) = \sum F_i$ ;

(2) 计算出每个个体的适应度在群体适应度总和中所占的比例, 称为个体被选中的概率, 用  $F_i / \sum F_i$  表示. 如果将群体当成一个整体来看待, 那么群体中个体的概率值之和为1, 每一个概率区域都由概率值组成的;

(3) 随机产生一个概率数, 个体是否被选择由随机数出现在哪个概率区域来确定.

2. 交叉 (crossover), 也称为重组, 是将任意两个染色体上的部分基因进行交换, 交换方法和规则提前设定. 具体步骤如下:

(1) 以交叉概率  $p_c$  从中间群体随机的选出需要进行交叉的数串, 对这些数串再随机的两两配对;

(2) 在  $1 \sim (L-1)$  之间产生一个随机数  $j$ , 该随机数表示交叉点的位置;

(3) 对已经配对的两个数串, 相互对应的交换第  $(j+1)$  到  $L$  位的数字.

3. 变异 (mutation), 首先选出一个或几个染色体, 然后改变染色体上的某个或几个基因, 改变方法和规则提前设定. 具体步骤如下:

首先在  $1 \sim L$  之间产生一个随机数  $k$ , 然后对已经选出的需要变异的个体, 改变其符号串上的第  $k$  位数字的值.

经过上述的遗传操作之后, 得到新的群体, 最优解或近似最优解就是在不断重复上述过程中得到的.

## §2.2 遗传算法的运算过程

根据前面的描述, 我们可以得到遗传算法的运算过程:

(1) 初始化. 令  $t = 0$ , 给出最大迭代次数  $pop$ 、交叉率  $p_c$  及变异率  $p_m$ . 随机生成  $M$  个个体作为初始群体  $P(0)$ .

- (2) 个体评价. 计算  $P(t)$  中各个体的适应度  $F(x_i) = F_i$ .
- (3) 选择. 计算比值  $F_i / \sum F_i$ , 根据此比值对群体  $P(t)$  进行选择操作, 得到中间群体.
- (4) 交叉. 把交叉操作作用于中间群体.
- (5) 变异. 把变异操作作用在交叉操作之后. 则得到第  $(t+1)$  代群体  $P(t+1)$ .
- (6) 若  $t < T$ , 则令  $t = t + 1$ , 转 (2). 若  $t \geq T$ , 则将具有最大适应度的个体称为最优解, 运算停止.

如图2.1表示了由第  $t$  代群体  $P(t)$  到第  $(t+1)$  代群体  $P(t+1)$ .

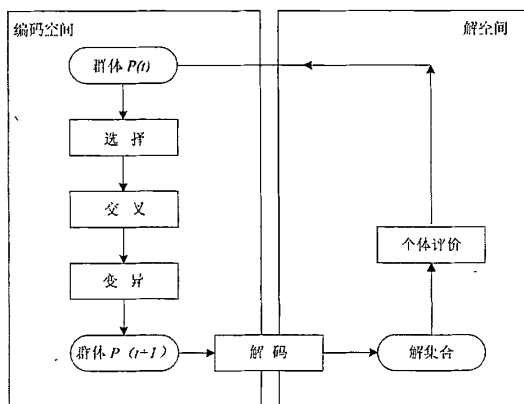


图 2.1: 遗传算法运算过程示意图

Fig. 2.1: Genetic algorithm operation process diagram

### §2.3 遗传算法的特点

作为一种新型的算法, 它不依赖于问题的领域和类型, 对函数的性态无要求, 搜索过程既不受函数连续性的约束, 也没有求导存在的的要求. 遗传算法具有以下几个特点:

1. 遗传算法不是单个点之间的搜索, 而是群体之间的搜索.
2. 遗传算法与其他算法的不同之处在于不需要导数或其他辅助信息.
3. 为了增加搜索过程的灵活性和多样性, 遗传算法的操作过程都



是以一种概率的形式来实现的.

遗传算法是为了克服传统算法的局限性而创立的,即使适应度函数是不规则的,它也能找到整体最优解.经证明,如果采用遗传算法来求解问题的最优解,那么它总是以概率1收敛于该解,因而具有较好的求解全局最优解的能力.其次,由于遗传算法固有的特性,对于解决大规模问题具有重要的作用,为求解复杂系统的优化问题提供了一个良好的框架.

### 第三章 离散性泊位和岸桥分配问题的研究

本章的主要内容安排如下：第一节给出问题的描述；第二节给出了模型假设与模型建立；第三节设计了遗传算法求解；第四节采用CPLEX软件和遗传算法求解一些算例，结果表明了模型的实用性和算法的有效性；第五节为本章小节。

#### §3.1 问题描述

海上运输业作为运输业中重要的部分，已经在过去的几十年间得到了蓬勃的发展.在过去的十年中，全球集装箱吞吐量增加了近两倍，特别是在欧洲和亚洲，作为航运枢纽的集装箱码头面临着发展的机遇和挑战.集装箱码头的运作包括泊位分配问题，岸桥分配问题，堆场分配问题，和场桥调度问题.集装箱码头的核心运作能力通过装卸服务能力来体现，集装箱码头的装卸流程图如图3.1所示，集装箱码头装卸服务越快，码头的泊位和岸桥这两种资源利用越有效.所以，泊位和岸桥是集装箱码头运输业中的关键因素，因为它们是两种稀缺和高成本的资源.

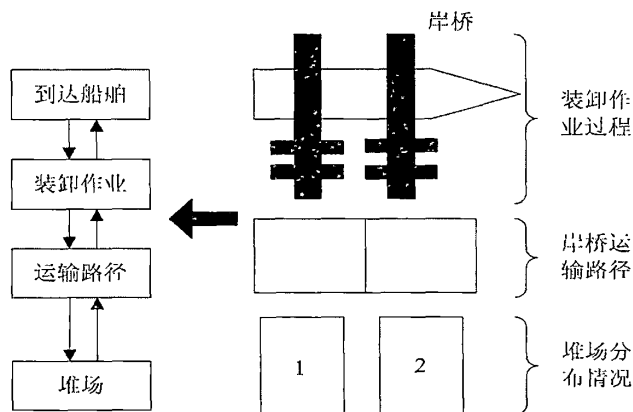


图 3.1: 集装箱码头装卸流程图

Fig. 3.1: Loading and unloading flow chart in container terminals

另外，泊位和岸桥费用也是非常昂贵的.因此，船公司为了减少费

用, 希望他们的船舶可以停泊在最合适的泊位处. 为了提高码头对船公司的公平服务, 本文研究了离散性泊位和岸桥分配问题, 并且考虑了不同船只每个集装箱的成本均衡问题. 模型中考虑离散性泊位, 我们将码头等距分开. 所提出模型的目标是最小化总的服务成本, 包括工作成本, 等待成本以及码头岸桥的运行成本.

岸桥是集装箱码头用于集装箱运作的关键设备, 这将意味着, 无效的岸桥运作会大大影响集装箱装卸速度. 并且岸桥从一个泊位移动到另一个泊位必须在相同的轨道上, 这种结构特征要求岸桥和岸桥之间不能相互跨越. 为了提高岸桥运作效率和减少由于岸桥频繁运作带来的影响, 分配给船只的岸桥在船只作业期间是可以改变的. 将泊位和岸桥分配问题看做是时间-空间二维装箱问题, 如图3.2 (a) 所示. 它表明岸桥按时间轴在泊位上运作, 我们将集装箱码头分为三个泊位并且一个时间段为1小时. 矩形的高度表示船只的长度, 长度表示船只的作业时间, 阴影小方格表示分配的岸桥, 图3.2 (b) 所示是对于泊位分配问题下的可能的岸桥分配.

目前为止, 很多学者已经研究了泊位和岸桥联合分配的问题, 目

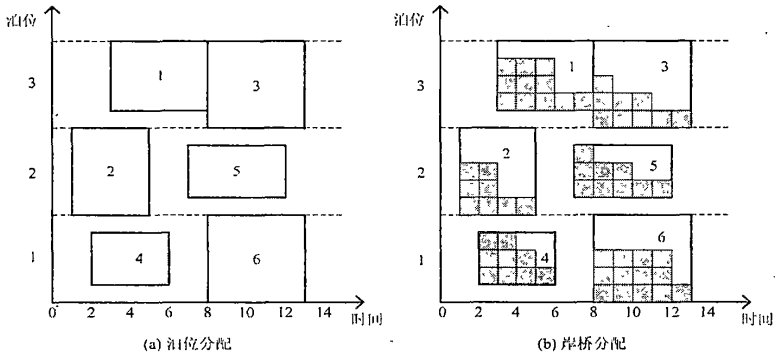


图 3.2: 泊位和岸桥同时优化时间-空间二维图

Fig. 3.2: Two dimensional optimization of berth and quay crane allocation problem

标是最小化船只总服务成本. 总费用包括由于加速引起的费用, 由于推迟造成的成本费用, 偏离最佳靠泊位置的惩罚费用. 然而, 还没有文献考虑码头和船公司利益, 以及每艘船中每个集装箱的成本均衡. 为了提高码头对每个船公司的公平性, 本文研究了泊位和岸桥联合

分配问题,并且考虑了每个集装箱的成本均衡.因为泊位和岸桥联合分配问题已经被Lim等<sup>[35]</sup>证明为NP-hard问题,所以解决该问题是非常困难的,为了有效的解决大规模的问题,有必要开发一个有效的算法.本文采用遗传算法来近似求解最优解,为解决大规模实际问题提供了有效的方法.

### §3.2 模型假设与模型建立

#### §3.2.1 模型假设

一般情况下,到港船舶是否能进行装卸作业取决于泊位的闲置状态,如果泊位被占用,就必须等到有泊位空出时才可以进行作业.本文研究的泊位是离散性泊位,并且到达码头的船舶随机停泊于泊位处.因此一个泊位在相同的时间只可以服务一艘船舶,并且同一个泊位处的船舶只有在前一艘船舶工作结束后才可以开始工作.在整个工作过程中,为了提高岸桥的利用率,岸桥分配数量不是固定不变的.

本文对该问题的研究是基于以下的假设来研究的:

1. 不考虑船舶的靠泊时间、离泊时间以及岸桥的移动时间;
2. 船舶装卸操作不能被中途抢占;
3. 当船舶停泊于泊位处时,就不能再次移动;
4. 船舶到达集装箱码头的到达时间是已知的;
5. 本文不考虑物理因素以及一些技术方面的问题,如水的深度;
6. 在任何时间下,每艘船舶分配的岸桥数都在最大和最小岸桥数之间;
7. 相同时间下,一个泊位处只可以停泊一艘船舶,一旦船舶靠泊,只有当集装箱全都被装卸完成后,才可以离开.

#### §3.2.2 符号表示及说明

为了便于建模,引入如下的符号:

$I$ : 泊位集合,  $i \in 1, \dots, I$ .

$J$ : 到港船舶集合,  $j \in 1, \dots, J$ .

$C$ : 岸桥集合.

$T$ : 时间段集合,  $t \in 1, \dots, T$ .

$a_j$ : 船舶  $j \in J$  的到达时间.

$h_j$ : 船舶  $j \in J$  被服务的时间.

$Q_j$ : 船舶  $j \in J$  需要的总的岸桥时.

$r_j^{\min}$ : 船舶  $j \in J$  需要的最小岸桥数.

$r_j^{\max}$ : 船舶  $j \in J$  需要的最大岸桥数.

$\alpha$ : 利益均衡参数.

$C^1$ : 岸桥每小时的工作费用.

$C^2$ : 船舶每小时被服务的费用.

$C^3$ : 船舶每小时的等待费用.

$s_{ij}$ : 整数, 船舶  $j \in J$  在泊位  $i \in I$  处开始工作的时间.

$b_{ij}$ : 整数, 船舶  $j \in J$  在泊位  $i \in I$  处工作结束的时间.

$y_j$ : 船舶  $j \in J$  的靠泊位置.

$m_{ijt}$ : 在时间  $t \in T$ , 船舶  $j \in J$  在泊位  $i \in I$  处所分配的岸桥数.

$x_{ijt}$ : 如果在时间  $t \in T$ , 船舶  $j \in J$  在泊位  $i \in I$  处被服务, 则等于1; 否则等于0.

$v_{ijt}$ : 如果船舶  $j \in J$  在泊位  $i \in I$  处被服务, 则等于1; 否则等于0.

$M$ : 一个非常大的整数.

### §3.2.3 模型建立

当船舶到港时, 码头工作人员为船舶安排合理的停靠位置, 减少船舶总在港时间. 通常以船舶为单位进行泊位和岸桥分配, 而该文考虑船舶每个集装箱的利益均衡, 使得每艘到达的船舶都能得到公平对待.

针对船舶之间的公平性, 文中引入了利益均衡度这一概念, 采用任意两个集装箱的权重成本之差的绝对值与其成本之和的比值小于利益均衡度的值, 来衡量各船舶的利益公平性. 两个岸桥之间的利益均衡度通过式 (3.2.1) 计算, 式 (3.2.1) 设定一个利益均衡度为  $\alpha$ , 任意两个集装箱的总成本之差的绝对值小于其总成本之和与  $\alpha$  的乘积, 即

称两个集装箱利益相对均衡.

$$|f_u/Q_u - f_s/Q_s| \leq \alpha \cdot (f_u/Q_u + f_s/Q_s) \quad (3.2.1)$$

B&QCAP模型的目标是最小化这些船舶的总成本，并使得每个集装箱利益均衡. 建立的B&QCAP数学模型如下所示：

$$\min \quad f = \sum_{j \in J} f_j \quad (3.2.2)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in a_j} x_{ijt} = 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.3)$$

$$s_{ij} \geq a_j + M \cdot (v_{ij} - 1) \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.4)$$

$$s_{ij} \leq M \cdot v_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.5)$$

$$\sum_{i \in I} v_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3.2.6)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (3.2.7)$$

$$y_j = \sum_{i \in I} (v_{ij} \cdot i) \quad \forall j \in J \quad (3.2.8)$$

$$v_{ij} \leq \sum_{t \in T} x_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.9)$$

$$M \cdot v_{ij} \geq \sum_{t \in T} x_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.10)$$

$$v_{ij} \cdot h_j = \sum_{t \in T} x_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.11)$$

$$m_{ij} \geq x_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (3.2.12)$$

$$t'' - t' + 1 \leq \sum_{t'' \geq t \geq t'} x_{ijt} + M \cdot (2 - x_{ijt'} - x_{ijt'') \quad \forall i \in I, \forall j \in J, t' < t'' \in T \quad (3.2.13)$$

$$m_{ijt} \leq M \cdot x_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (3.2.14)$$

$$m_{ijt} + M \cdot (1 - x_{ijt}) \geq r_j^{min} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (3.2.15)$$

$$m_{ijt} \leq r_j^{max} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (3.2.16)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} m_{ijt} \leq C \quad \forall t \in T \quad (3.2.17)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} m_{ijt} \leq C \quad \forall j \in J \quad (3.2.18)$$

$$b_{ij} \geq s_{ij} + \sum_{t \in T} x_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.19)$$

$$b_{ij} \geq s_{ij} + h_j + M \cdot (v_{ij} - 1) \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.20)$$

$$b_{ij} \leq M \cdot v_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.21)$$

$$b_{ij} \leq s_{ij} + h_j \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.22)$$

$$x_{ijt} \cdot t \geq s_{ij} + M \cdot (x_{ijt} - 1) \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (3.2.23)$$

$$x_{ijt} \cdot t \leq b_{ij} - 1 + M \cdot (1 - x_{ijt}) \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (3.2.24)$$

$$f_j = \sum_{i \in I} C^1 \cdot (s_{ij} - a_j v_{ij}) + \sum_{i \in I} C^2 \cdot h_j + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} C^3 \cdot m_{ijt} \quad \forall j \in J \quad (3.2.25)$$

$$s_{ij} \in a_j, \dots, T - 1, b_{ij} \in a_j, \dots, T \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.2.26)$$

$$y_j \in 1, \dots, I \quad \forall j \in J \quad (3.2.27)$$



$$m_{ijt} = r_j^{\min}, \dots, r_j^{\max} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (3.2.28)$$

$$x_{ijt}, v_{ijt} \in 0, 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (3.2.29)$$

目标函数 (3.2.2) 是最小化总的服务费用, 包括船舶靠泊等待时产生的费用、船舶被服务时所产生的费用以及岸桥运作费用. 约束 (3.2.3) 要求船只必须在到达港口时才可以被服务; 约束 (3.2.4) 和约束 (3.2.5) 确保船舶开始工作的时间要迟于船舶到达港口的时间; 否则, 船舶的开始时间为0; 约束 (3.2.6) 表明一艘船舶只可以停泊于一个泊位处; 约束 (3.2.7) 要求在同一时间同一泊位处, 只有一艘船舶可以被服务; 约束 (3.2.8) 定义船舶  $j$  的停泊位置; 约束 (3.2.9) 和约束 (3.2.10) 表明如果船舶  $j$  在时间  $t$  停泊于泊位  $i$ , 则表明船舶  $j$  停泊于泊位  $i$  处; 约束 (3.2.11) 表明如果船舶  $j$  停泊于泊位  $i$  处, 用  $h_i$  表示船舶  $j$  的被服务时间; 约束 (3.2.12) 确保至少有一个岸桥分配给船舶  $j$ ; 约束 (3.2.13) 确定船舶的装卸作业必须是连续的; 约束 (3.2.14) 建立了  $m_{ijt}$  和  $x_{ijt}$  的关系; 约束 (3.2.15) 和约束 (3.2.16) 限制了分配给船舶  $j$  的岸桥数; 约束条件 (3.2.17) 表明在一个时间段内分配的岸桥总数最大为  $C$ ; 约束 (3.2.18) 要求每艘船舶  $j$  的岸桥时必须达到需求水平; 约束 (3.2.19) 和 (3.2.20) 表明如果船舶  $j$  在时间  $t$  停泊于泊位  $i$  处, 船舶  $j$  的离港时间必须大于船舶的到达时间和工作时间之和; 约束 (3.2.21) 和 (3.2.22) 表明当装卸完成后, 船舶必须尽快离开所在泊位处; 约束 (3.2.23) 和约束 (3.2.24) 表明如果船舶  $j$  在时间  $t$  停泊于泊位  $i$  处, 则工作时间段处于开始时间和结束时间之间; 约束 (3.2.25) 定义了船舶总的服务费用.

### §3.3 遗传算法设计

#### §3.3.1 染色体编码

在本文中, 个体通过多层染色体编码形式来表示. 染色体中的数字表示分别到达船只的编号、船只的停泊位置以及分配的岸桥数. 在这种编码形式下, 第一行表示按时间先后顺序到达的船舶, 第二行

表示船舶的停泊位置. 图3.3表示本文所运用的染色体编码形式, 为了解决泊位和岸桥同时优化的问题, 这个例子中是有5艘船停泊在有3个泊位的码头, 该码头最多可用5个岸桥.

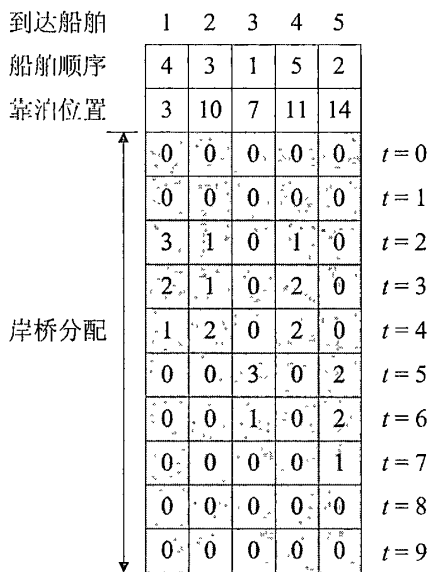


图 3.3: 染色体编码方式

Fig. 3.3: An example of the chrome structure

§3.3.2 初化种群生成

根据本章研究的内容和现实约束建立模型的约束条件, 生成初始种群. 在船舶集合  $J$  中随机选取船舶, 在泊位集合  $I$  中随机生成停靠泊位, 在最小岸桥数和最大岸桥数中间随机生成分配给船舶  $j$  的岸桥数.

按照上述流程就生成了一个完整的染色体, 依次循环产生染色体, 直到达到预设的初始种群容量停止, 就得到初始种群.

§3.3.3 适应度函数

令  $k$  为染色体,  $pop$  为种群数,  $k = 1, 2, \dots, pop$ . 令  $v_k$  表示船舶  $k$  的目标值, 适应度评价函数为  $eval_k = 1/v_k$ .

在生成初始种群时是在约束条件限制下随机生成的泊位和岸桥分配方案.但这些分配方案存在不满足约束条件的情况,需要将这些不满足约束条件的方案进行初步排除.本文在筛选可行方案时引用惩罚规则,即不满足约束条件的方案,将会给该方案对应的目标函数值加上一个较大的正数作为阈值,由于不满足约束目标函数越大其倒数就会越小,适应度函数值就会更低.不满足约束的方案就会被筛选出去.

### §3.3.4 染色体选择过程

一个合适的解可以通过染色体来表示,这样,相应的总的服务成本也会随之确定.最小化总的服务成本可以通过如下所示的方式来确定,本文采用轮盘赌的方法进行选择:

第一步:从 $[0,1]$ 随机产生一个数 $r$ ;

第二步:计算出每个染色体 $k$ 的适应度值 $eval_k$ ,以及总的适应度值

$$eval = \sum_{k=1}^{pop} eval_k$$

第三步:计算染色体 $k$ 的选择概率 $p_k$ ,  $p_k = eval_k / eval$ ;

第四步:计算染色体 $k$ 的总的选择概率 $q_k$

$$q_k = \sum_{k=1}^{pop} p_k$$

第五步:如果 $r \leq q_1$ ,选择第一个染色体;否则,选择第 $k$ 个染色体.

### §3.3.5 染色体交叉过程

本文采用点交叉对一部分或者两部分进行交叉,即用嵌入式的方式来修复不符合要求的后代,并用 $p_c$ 表示交叉率.如果两个新的后代不满足约束,则不进行这次交叉,还返回到之前的染色体,具体过程如下所示:

第一步:根据所设立的交叉率 $p_c$ ,随机选择两组染色体,并且在交叉过程中,对泊位和岸桥的交叉概率是一样的;

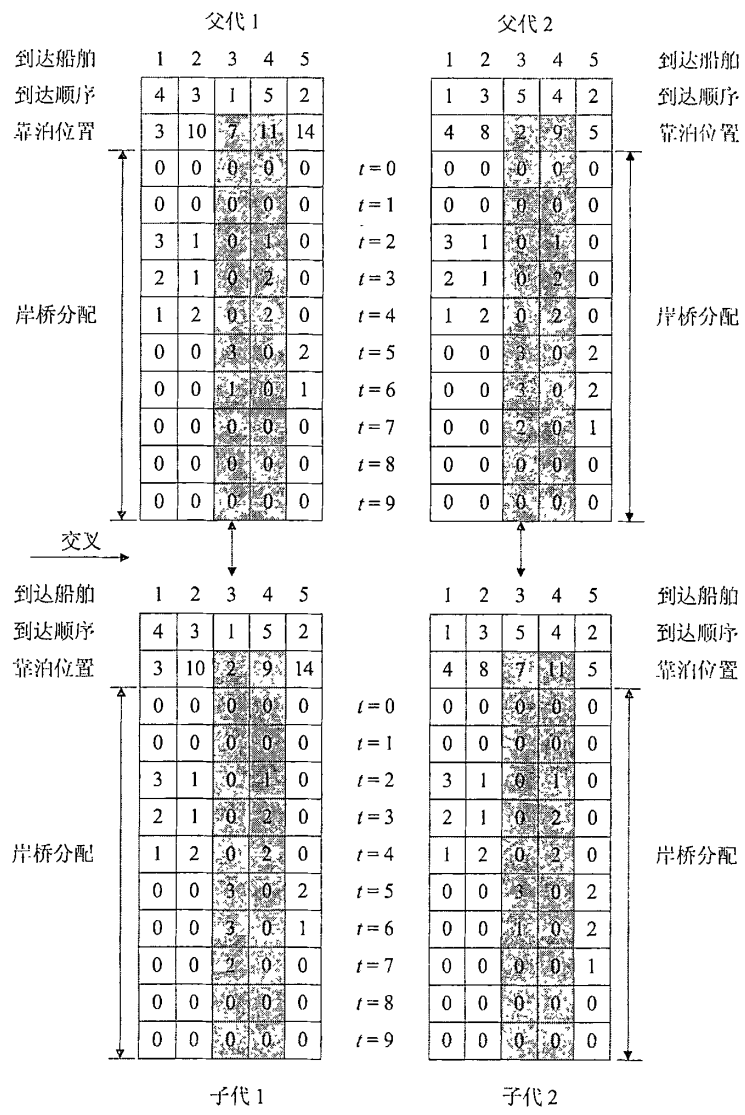


图 3.4: 染色体交叉方式

Fig. 3.4: An illustration of crossover

第二步: 在所选择的染色体上随机选择一段连续的基因;

第三步: 将上面所选择的基因段复制到相应位置, 而将另一组染色复制到空缺的相应位置, 即可形成两组新的染色体;

第四步: 如果得到的染色体满足约束条件, 则交叉成功, 否则, 仍采用原来的染色体。

本文采用点交叉形式进行染色体交叉, 如图3.4所示。

### §3.3.6 染色体突变过程

令  $p_m$  表示变异率，随机选择变异的染色体，然后将任意一个位置的基因进行改变，如图3.5所示. 如果突变后形成的染色体不符合约束，则本次突变无效，仍采用原来的染色体.

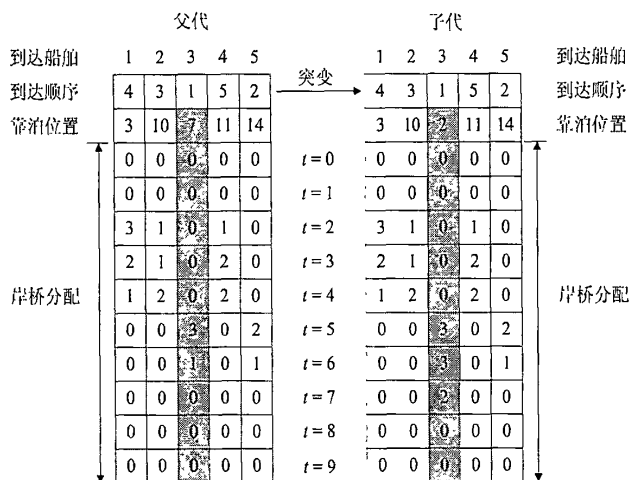


图 3.5: 染色体突变方式

Fig. 3.5: An illustration of mutation

## §3.4 算例分析

### §3.4.1 参数设置

- 1) 本文研究的是离散性泊位分配问题，我们将码头等距划分为三部分；
- 2) 在本模型中，定义的码头长度是900m，每个泊位的长度为300m；
- 3) 最小岸桥数在[1,3]中取得，最大岸桥数在[4,6]中取得，常数 $M=9999$ ；
- 4) 遗传算法参数设立为种群大小  $pop = 100$ ，交叉率  $p_c = 0.25$ ，突变率  $p_m = 0.55$ ，最大代数  $gen = 1000$ ，成本均衡率分别为  $\alpha = 0.10$  和  $\alpha = 0.15$ 。

§3.4.2 小规模算例

该部分介绍了五个小规模算例，码头分为3个泊位，5艘船被5个岸桥服务.表3.1和表3.2分别表示了 $\alpha = 0.10$ 和 $\alpha = 0.15$ 时的泊位和岸桥分配问题的计算结果.

表 3.1:  $\alpha = 0.10$  时的小规模算例结果

Tab.3.1: Results of the small-scale example in  $\alpha = 0.10$

$\alpha = 0.10$					
例子	CPLEX		GA		差距
	值	时间	值	时间	
1	27700	9.59	29300	2.70	5.46
2	31600	12.10	32700	4.69	3.36
3	30000	8.95	32300	3.31	7.12
4	29700	15.20	32200	2.69	7.76
5	29800	14.64	30900	3.07	3.55
平均值	29820	12.10	31480	3.29	5.45

表 3.2:  $\alpha = 0.15$  时的小规模算例结果

Tab.3.2: Results of the small-scale example in  $\alpha = 0.15$

$\alpha = 0.15$					
例子	CPLEX		GA		差距
	值	时间	值	时间	
1	29800	15.78	32100	1.40	7.17
2	29500	14.63	31400	1.07	6.05
3	28800	14.75	29900	0.96	3.68
4	30000	14.63	31800	1.53	5.66
5	31100	15.06	32400	0.98	4.04
平均值	29840	14.97	31520	1.89	5.32

如表3.1和表3.2所示，采用CPLEX软件和遗传算法的求解结果近似相等，当 $\alpha = 0.10$ 时总的服务费用比较少，并且用CPLEX求解的结果和遗

传算法的结果在  $\alpha = 0.10$  时相差5.45%，在  $\alpha = 0.15$  是相差5.32%。遗传算法的求解时间远远小于CPLEX的计算时间，这对于解决大规模问题提供了很好的算法。

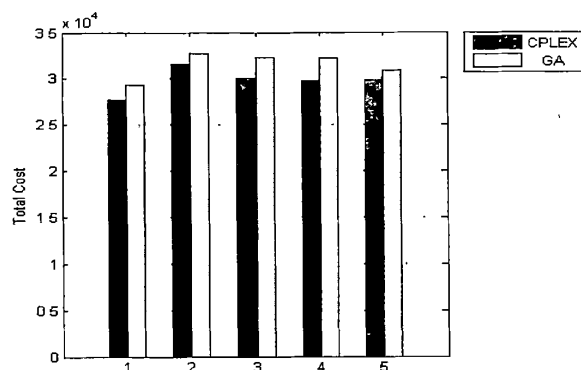


图 3.6:  $\alpha = 0.10$  时的小规模算例计算结果图

Fig. 3.6: Results of the small-scale examples in  $\alpha = 0.10$

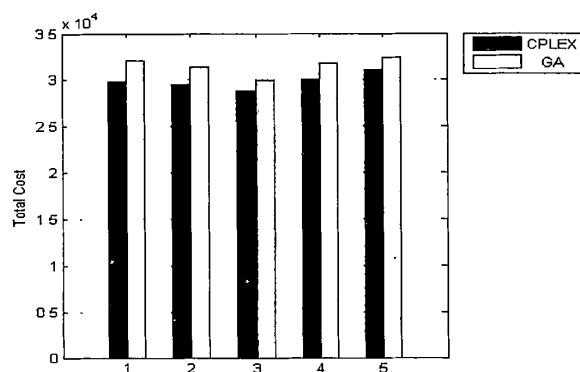


图 3.7:  $\alpha = 0.15$  时的小规模算例计算结果图

Fig. 3.7: Results of the small-scale examples in  $\alpha = 0.15$

从图3.6和图3.7可以看出遗传算法的解接近最优解，通过比较，我们发现当  $\alpha = 0.10$  时总服务时间比较少。



§3.4.3 大规模算例

同理该部分介绍大规模算例的结果, 码头分为3个泊位, 50, 80和100艘船被7个岸桥服务. 表3.3分别表示了泊位和岸桥分配问题的计算结果.

表 3.3: 不同成本均衡度下的大规模算例结果

Tab.3.3: Results of the large-scale example in different cost balance							
均衡度		0.01			0.15		
船舶数		50	80	100	50	80	100
CPLEX	值	3.970	7.311	*	4.100	*	*
	( $\times 10^6$ ) 时间	208.92	457.31	*	234.73	*	*
GA	值	3.988	7.351	7.595	4.121	7.595	10.715
	( $\times 10^6$ ) 时间	29.61	42.77	55.93	17.01	26.89	34.56
差距		4.51	5.44	*	5.10	*	*

\*:得不到最优结果

在表3.3中, 当船舶数量比较多时, 用CPLEX软件进行求解在一定的时间内是得不出最优解的, 由于在小规模算例中得出遗传算法的有效性, 因此在这种大规模算例中可以采用遗传算法求解近似结果. 通过对比, 我们发现当  $\alpha = 0.10$  时总服务时间比较少.

§3.5 结论

在本章我们建立了离散性泊位和岸桥分配优化的问题, 目标是最小化船舶在港总成本, 包括船只等待产生的费用、船只被服务时产生的费用以及岸桥费用. 船舶开始工作的时间取决于这个泊位处上一艘船的离港时间、该船舶的到达时间和岸桥准备就绪的时间. 与之前的研究相比较, 我们引入每个集装箱费用成本均衡这个条件, 提高每艘船的公平性, 从而可以提高码头对各船舶公司的公平性. 因为该问题是一个NP-hard问题, 因此我们设计遗传算法来求解, 可以得到近似最优解, 但在求解时间上却远远低于精确算法, 因此, 该法为解决大规模问题提供了有效的算法.

## 第四章 集装箱码头连续性泊位和岸桥分配问题的研究

本章的主要内容安排如下:第一节给出问题的描述;第二节给出模型假设与模型建立;第三节设计了遗传算法;第四节采用CPLEX和遗传算法来验证一些算例;第五节为本章小节.

### §4.1 问题描述

集装箱码头的泊位规划在整个运作过程中具有重要的作用;就目前码头情况来看,泊位规划分为离散性和连续性两种.离散性泊位是将码头岸线进行划分,按照实际情况分为等距和不等距两种,该岸线划分必须保证停靠于泊位上的船舶长度不能超过泊位长度;而连续性泊位没有将泊位进行划分,而是将码头岸线看做一条直线,这种泊位形式使得到港的船舶可以停靠于码头的任意位置.通过对以上两种不同形式的泊位进行对比,不难发现连续性泊位问题更具有优势,包括充分利用码头资源、提高港口作业效率等.由于连续性泊位的这些优势,本文将从连续性泊位分配问题进行研究.集装箱码头装卸作业流程图包括泊位分配和相应的岸桥分配,如图4.1所示.

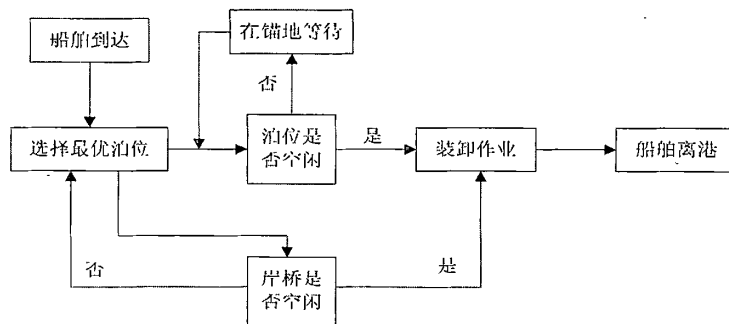


图 4.1: 集装箱码头集装箱装卸流程图

Fig. 4.1: Loading and unloading flow chart in container terminals

因为岸桥在船舶被服务的过程中具有关键的作用,分配给船舶的岸桥数越多,作业时间越短;反之,越长.本文给出了连续性泊位和

岸桥分配优化模型，并用CPLEX软件以及设计遗传算法进行求解. 我们可以建立以船舶的靠泊时间为横坐标，靠泊位置为纵坐标的坐标系，船舶在坐标系中用一个矩形方块表示出来，作业时间的长短用矩形与时间轴平行的边的长短表示，船只的长度用与泊位轴平行的边的长短表示，如图4.2所示.

一般情况下，船舶都按照预先设定好的计划靠泊，而当船舶提

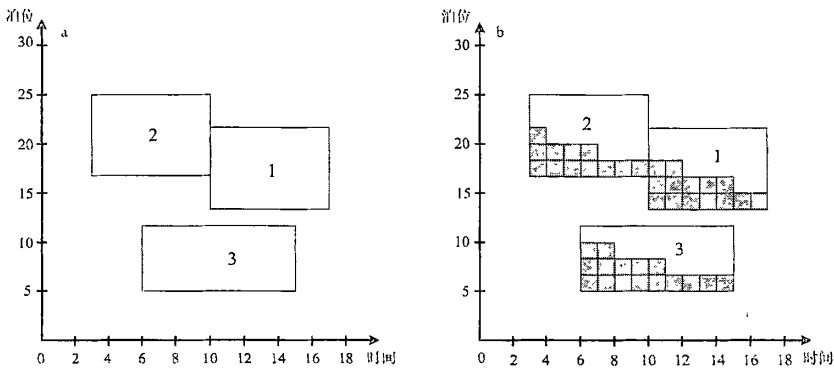


图 4.2: 泊位和岸桥同时优化时间空间二维图

Fig. 4.2: Two dimensional optimization of berth and quay crane allocation problem

前到港时，就会对港口的正常运营秩序造成不利影响. 船舶的靠泊时间和作业时间决定了船舶的离港时间，为了有效利用码头资源以及合理规划资源分配，每个码头都会设立一个预定离港时间. 然而，在实际情况下，由于船舶不能按时到港以及船舶作业时间的延长却造成了船舶不能按时离港，导致预先分配的泊位处于被占用状态，造成资源的浪费，即为船舶延迟离港时间.

当船舶到港时，存在一个最佳靠泊位置，该位置可以使码头资源得到有效的利用. 因此，船舶在靠泊时要尽可能靠近该最佳靠泊位置，这样就能缩短装卸船舶所需时间. 但是，由于现实原因的影响，港口不能保证每条船舶都能停靠在其最佳位置上，或多或少会产生偏离，从而增加作业时间，我们称为偏离最佳靠泊位置时间，这其实是一个隐形时间.

目前已经有许多学者对船舶总服务时间最小的泊位和岸桥分配

问题进行了研究,而本文研究连续性泊位和岸桥分配问题考虑最小化港口广义时间损失.总时间包括由于加速引起的时间损失,由于推迟离港造成的时间损失,偏离最佳靠泊位置的时间损失.因此本文定义广义时间损失,由实际时间损失和隐形时间损失构成,称为广义时间损失.由于该模型计算的复杂性,泊位和岸桥联合分配问题是NP-hard问题.所以解决该问题是非常困难的,为了有效的解决大规模的问题,本文采用遗传算法来近似求解最优解,为解决大规模实际问题提供了有效的方法.

## §4.2 模型假设与模型建立

### §4.2.1 模型假设

文中假设船舶的到达时间在最早开始工作时间和期望工作时间之间;每艘船只有一个最佳停泊位置,当船只停泊于最佳的停泊位置时,船只的工作时间就会比较小.因此本文定义了广义时间损失,包括实际运作时间和隐形时间损失,实际运作时间损失包括船舶加速到达造成停泊时间早于期望时间,船舶推迟离开造成离港时间迟于期望离港时间;隐形运作时间损失是指未停靠于最佳停泊位置而造成的时间损失.与此同时,我们假设码头的水深满足船舶的需求;一旦船舶开始装卸作业,中间就不能停止,直到工作结束;岸桥数量决定船舶的工作时间,为了使装卸作业的时间尽量最短,我们就需要分配更多地的岸桥数给该船舶,但必须保证分配的岸桥数在合适的范围内,即在最大岸桥数和最小岸桥数.

### §4.2.2 符号表示及说明

为了便于建模,引入如下的符号:

$L$ : 码头长度.

$V$ : 到港船舶集合,  $i \in 1, 2, \dots, V$ .

$Q$ : 码头上岸桥总数.

$H$ : 整个规划期.

$T$ : 时间集合,  $T = 1, 2, \dots, H$ .

$l_i$ : 船舶 $i \in V$ 的长度.

$b_i^0$ : 船舶 $i \in V$ 的最佳靠泊位置.

$r_i^{min}$ : 船舶 $i \in V$ 需要的最少岸桥数.

$r_i^{max}$ : 船舶 $i \in V$ 需要的最多岸桥数.

$R_i$ : 分配给船舶 $i \in V$ 的岸桥范围,  $R_i \in [r_i^{min}, r_i^{max}]$ 到达时间.

$m_i$ : 船舶 $i \in V$ 需要的的岸桥时.

$s_i$ : 船舶 $i \in V$ 的期望到达时间.

$a_i$ : 船舶 $i \in V$ 加速到达时的最早到达时间,  $a_i \leq s_i$ .

$d_i$ : 船舶 $i \in V$ 的期望离港时间.

$\beta$ : 泊位分离因素.

$\mu_i$ : 船舶 $i \in V$ 由于泊位分离造成的时间损失的参数.

$M$ : 一个非常大的整数.

$h_i$ : 船舶 $i \in V$ 开始工作的时间.

$b_i$ : 船舶 $i \in V$ 靠泊位置.

$f_i$ : 船舶 $i \in V$ 工作完成的时间.

$ET_i$ : 船舶 $i \in V$ 加速到达时间与开始工作时间的差,  $ET_i = |s_i - h_i|$ .

$LT_i$ : 船舶 $i \in V$ 工作完成时间与期望完成时间的差,  $LT_i = |f_i - d_i|$ .

$g_i$ : 船舶 $i \in V$ 实际靠泊位置和期望靠泊位置之差.

$v_{it}$ : 如果船舶 $i \in V$ 在时间 $t \in T$ 至少分配一个岸桥, 则等于1; 否则等于0.

$v_{itq}$ : 如果船舶 $i \in V$ 在时间 $t \in T$ 至少分配 $q \in R_i$ 岸桥, 则等于1; 否则等于0.

$y_{ij}$ : 如果船舶 $i \in V$ 停泊于船舶 $j \in V$ 下方, 即 $b_i + l_i \leq b_j$ , 则等于1; 否则等于0.

$z_{ij}$ : 如果船舶 $i \in V$ 的完成时间不迟于船舶 $j \in V$ 的完成时间, 等于1; 否则等于

### §4.2.3 资源利用和广义时间损失定义

码头的运作效率受水平运输工作量的影响, 泊位是码头最重要的资源. 经研究表明, 每艘船舶都有一个最佳靠泊位置, 在这个位置

上,船舶在操作过程中可以使得集装箱最小距离的被运输到堆场.因此,船舶应该尽可能近的靠泊于最佳停泊位置来减少装卸作业所需要的时间,这样,就可以减少码头上船舶所用的时间.然而,在实际中,码头不能保证每艘船舶都停泊于最佳靠泊位置处,这样,从堆场到码头的运输距离就会增加,与此同时,码头上船舶的运作时间也会随之增加.所以,在我们的模型中,靠泊泊位偏离就需要增加岸桥的工作效率.令 $\beta \geq 0$ 表示一个泊位偏离造成的岸桥效率的增加,称为泊位偏离因子.因此,当一艘船舶偏离最佳靠泊位处 $g_i$ 时,此时该船舶就需要 $(1 + \beta \cdot g_i)$ 个岸桥时.

由于服务质量受很多因素的影响,我们区分三种时间,分别为:由于船舶加速到港造成的到达时间早于期望到达时间,称为最早到达时间;如果船舶离港迟于期望离港时间,则称为最迟离港时间;由于泊位偏离所造成的隐形的时间增加.我们称这三种时间是广义时间损失,它可以将时间和空间整体考虑.前两部分是实际时间损失.令 $\mu_i$ 表示由于一个泊位偏离所造成的时间损失,称为时间因素,由于泊位偏离所造成的时间损失通过岸桥时来体现.图4.3表示在时间轴上实际时间损失的结构,如果船舶在 $s_i$ 和 $d_i$ 之间被服务,就会有最好的服务质量,并且没有时间损失的产生.

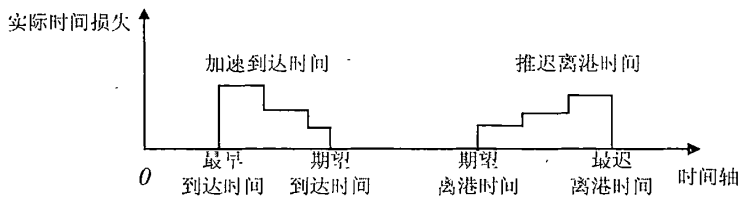


图 4.3: 船舶实际时间损失构成图

Fig. 4.3: Structure of the actual time loss of a vessel

§4.2.4 模型建立

本文所建B&QCAP模型目标是最小化这些船舶的广义时间损失,包括实际时间损失和隐形时间损失,数学模型如下所示:

$$\min \quad f = \sum_{i \in V} ET_i + \sum_{i \in V} LT_i + \sum_{i \in V} \mu_i \cdot g_i \quad (4.2.1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{t \in T} \sum_{q \in R_i} q \cdot v_{itq} \geq (1 + \beta \cdot g_i) \cdot m_i \quad \forall i \in V \quad (4.2.2)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{q \in R_i} q \cdot v_{itq} \leq Q \quad \forall t \in T \quad (4.2.3)$$

$$\sum_{q \in R_i} v_{itq} = v_{it} \quad \forall i \in V, \forall t \in T \quad (4.2.4)$$

$$\sum_{t \in T} v_{it} = f_i - h_i \quad \forall i \in V \quad (4.2.5)$$

$$f_i \geq v_{it} \cdot (t + 1) \quad \forall i \in V, \forall t \in T \quad (4.2.6)$$

$$t \cdot v_{it} + M \cdot (1 - v_{it}) \geq h_i \quad \forall i \in V, \forall t \in T \quad (4.2.7)$$

$$g_i \geq b_t - b_i^0 \quad \forall i \in V \quad (4.2.8)$$

$$g_i \geq b_i^0 - b_t \quad \forall i \in V \quad (4.2.9)$$

$$b_j + M \cdot (1 - y_{ij}) \geq b_i + l_i \quad \forall i, j \in V, i \neq j \quad (4.2.10)$$

$$h_j + M \cdot (1 - z_{ij}) \geq f_i \quad \forall i, j \in V, i \neq j \quad (4.2.11)$$

$$y_{ij} + y_{ji} + z_{ij} + z_{ji} \quad \forall i, j \in V, i \neq j \quad (4.2.12)$$

$$h_i \geq a_i \quad \forall i \in V \quad (4.2.13)$$

$$f_i \geq a_i \quad \forall i \in V \quad (4.2.14)$$

$$b_i \in \{1, \dots, L - l_i\} \quad \forall i \in V \quad (4.2.15)$$

$$v_{it}, v_{itq}, z_{ij}, y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall t \in T, \forall q \in R_i, \forall i, j \in V \quad (4.2.16)$$

目标函数(4.2.1)定义了广义时间损失, 包括由于加速引起的时间、由于推迟离港造成的时间以及偏离最佳靠泊位置的时间; 约束(4.2.2)要求船只实际的岸桥时要不小于船舶停泊于最佳泊位处需要的岸桥时; 约束(4.2.3)要求在同一时间段最多可以使用的岸桥数为  $Q$ , 对于任意一个时间段, 每艘船所分配的岸桥数要么是0, 要么从  $R_i$  中取得; 约束(4.2.4)表明了  $v_{it}$  和  $v_{itq}$  的关系; 约束(4.2.5)-(4.2.7)确定了船舶的开始时间和工作完成时间; 约束(4.2.8)-(4.2.9)确定了最佳靠泊位置和实际靠泊位置的距离差; 约束(4.2.10)-(4.2.11)定义了  $y_{ij}$  和  $z_{ij}$ , 并且在约束(4.2.12)中会用到它们, 表明时空不能重叠; 表明如果船舶  $j$  停泊于泊位  $i$  处, 用  $h_i$  表示船舶  $j$  的被服务时间; 约束(4.2.12)确保至少有一个岸桥分配给船舶  $j$ ; 约束(4.2.13)表明了  $h_i$  和  $a_i$  的关系; 约束(4.2.14)表明了  $f_i$  和  $a_i$  的关系, 船舶最早可以提前到达, 但不能早于最早到达时间; 约束(4.2.15)确定船舶必须停泊于泊位范围内; 约束(4.2.16)定义了决策变量的取值范围。

### §4.3 遗传算法设计

#### §4.3.1 染色体编码

在本文中, 我们采用双层染色体编码形式来表示个体. 船舶号所在位置表示染色体的基因, 子染色体从上到下分别表示船舶的到达顺序、船舶的泊位位置和分配给船舶的岸桥数. 图4.4中, 船舶1的靠泊顺序为4, 泊位位置为3m处, 分配的岸桥数为2个.

#### §4.3.2 初始种群生成

根据本章研究的内容和现实约束建立模型的约束条件, 生成初始种群. 本文采用随机生成初始种群的方法, 从船舶集合中随机选取靠泊顺序, 从  $[0, L - l_i]$  中随机选取船舶的泊位位置, 时间的选择必须保证两个船舶在时间和空间的二维轴上不能重叠, 岸桥分配从  $[r_i^{min}, r_i^{max}]$  中



到达船只	1	2	3	4	5
到达顺序	4	3	1	5	2
靠泊位置	3	10	7	11	14
岸桥分配	2	1	2	0	0

图 4.4: 染色体编码

Fig. 4.4: An example of chromosome

随机选取.

按照上述流程就生成了一个完整的染色体, 依次循环产生染色体, 直到达到预设的初始种群容量停止, 就得到初始种群.

### §4.3.3 适应度函数

令  $k$  为染色体,  $pop$  为种群数,  $k = 1, 2, \dots, pop$ . 令  $v_k$  表示船舶  $k$  的目标值, 适应度评价函数为  $eval_k = 1/v_k$ .

在生成初始种群时是在约束条件限制下随机生成的泊位和岸桥分配方案. 但这些分配方案存在不满足约束条件的情况, 需要将这些不满足约束条件的方案进行初步排除. 本文在筛选可行方案时引用惩罚规则, 即不满足约束条件的方案, 将会给该方案对应的目标函数值加上一个较大的正数作为阈值, 由于不满足约束目标函数越大其倒数就会越小, 适应度函数值就会更低. 不满足约束的方案就会被筛选出去.

### §4.3.4 染色体选择过程

一个合适的解可以通过染色体来表示, 这样, 相应的总的服务成本也会随之确定. 最小化总的服务成本可以通过如下所示的方式来确定. 本文采用轮盘赌的方法进行选择:

第一步: 从  $[0, 1]$  随机产生一个数  $r$ ;

第二步: 得出每个染色体  $k$  的适应度值  $eval_k$ , 以及总的适应度值

$$eval = \sum_{k=1}^{pop} eval_k$$

第三步: 计算染色体  $k$  的选择概率  $p_k$ ,  $p_k = eval_k / eval$ ;

第四步: 计算染色体  $k$  的总的选择概率  $q_k$

$$q_k = \sum_{k=1}^{pop} p_k$$

第五步: 如果  $r \leq q_1$ , 选择第一个染色体; 否则, 选择第  $k$  个染色体.

#### §4.3.5 染色体交叉过程

本文采用点交叉对一部分或者两部分进行交叉, 即用嵌入式的方式来修复不符合要求的后代, 并用  $p_c$  表示交叉率. 如果两个新的后代不满足约束, 则不进行这次交叉, 还返回到之前的染色体, 具体过程如下所示:

第一步: 根据所设立的交叉率  $p_c$ , 随机选择两组染色体, 并且在交叉过程中, 对泊位和岸桥的交叉概率是一样的;

第二步: 在所选择的染色体上随机选择一段连续的基因;

第三步: 将上面所选择的基因段复制到相应位置, 而将另一组染色体复制到空缺的相应位置, 即可形成两组新的染色体;

第四步: 如果得到的染色体满足约束条件, 则交叉成功, 否则, 仍采用原来的染色体.

本文采用点交叉的方式进行交叉过程, 如图4.5所示.

#### §4.3.6 染色体突变过程

令  $p_m$  表示变异率, 随机选择变异的染色体, 然后将任意一个位置的基因进行变异, 如图4.6所示. 如果突变后形成的染色体不符合约束, 则本次突变无效, 仍采用原来的染色体.

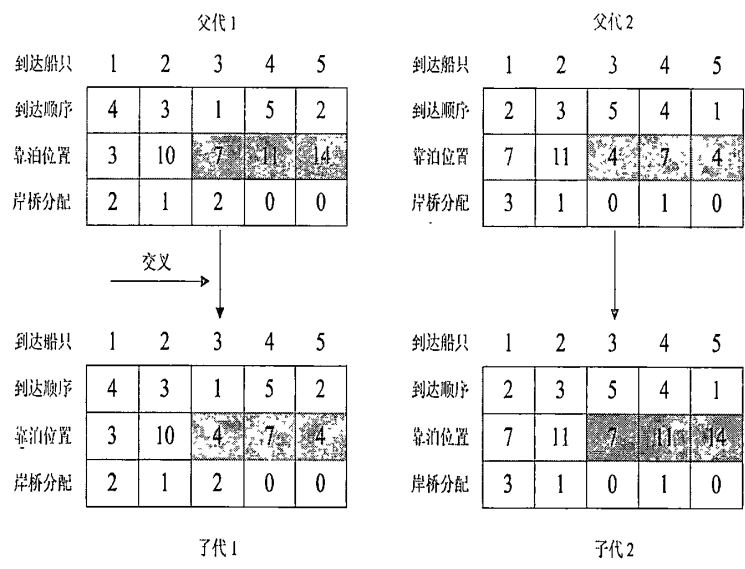


图 4.5: 染色体交叉

Fig. 4.5: An illustration of the crossover

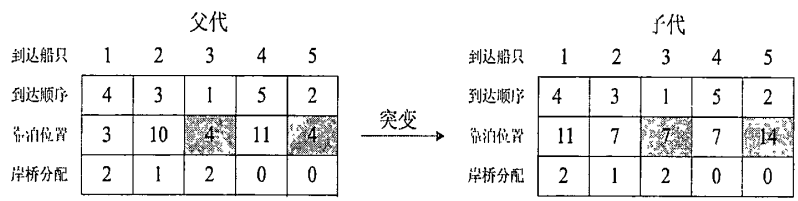


图 4.6: 染色体突变

Fig. 4.6: An illustration of the mutation

§4.4 算例分析

§4.4.1 参数设立

在这部分，设立算例进行模型验证，参数的设立如下：整个规划期  $H = 170h$ ，码头长度  $L = 100(1000m)$ ，船舶期望靠泊位置在  $[0, L - l_i]$  中取得，并且对于任意一艘船舶，船长  $l_i \in [8, 40]$ 。船舶  $i \in V$  的岸桥时在  $[5, 65]$  的范围内，最小岸桥数  $r_i^{min} \in [1, 3]$ ，最大岸桥数  $r_i^{max} \in [4, 6]$ 。本文设定船舶到达时间最早可以提前15%，则  $a_i = 0.85 \cdot h_i$ 。船舶的最迟离港时间最大为期望离港时间的1.5倍。

其他参数的设立如下：

- (1) 泊位分离参数  $\beta = 0.01$  ；
- (2) 由于泊位分离造成的时间损失参数  $\mu_i = m_i/100$  ；
- (3) 种群大小  $pop = 100$  ,交叉率  $p_c = 0.5$  ,突变率  $p_m = 0.3$  ,最大代数  $gen = 500$  ,非常大的正数  $M = 9999$  .

#### §4.4.2 小规模算例

该部分介绍了10个小规模算例，船舶数量为10，分别采用CPLEX软件和遗传算法进行求解.表4.1表示了两种算法下的小规模算例的计算结果.

表 4.1: 十个小规模算例的结果

Tab.4.1:Results of ten small-scale examples

例子	CPLEX		GA		
	值	时间	值	时间	差距
1	7.6	2480.2	7.90	8.85	3.80
2	7.0	35.2	7.23	8.95	3.18
3	7.2	45.7	7.38	8.96	2.32
4	7.5	1500.3	7.50	8.26	0.00
5	7.2	52.8	7.33	9.12	3.94
6	7.3	35.4	7.69	9.25	2.31
7	7.0	2.5	7.00	8.91	0.00
8	7.0	460.7	7.00	8.76	0.00
9	7.0	14.2	7.00	8.85	0.00
10	7.7	5340.9	7.82	9.36	0.81
平均值	7.25	996.8	7.38	9.36	1.76

如表4.1所示，将十个例子的结果进行对比，得出使用CPLEX可以得到小规模算例的精确解，而遗传算法的求解结果和CPLEX的结果近似相等，相差1.76%，所用的时间却远远小于CPLEX的计算时间.

§4.4.3 大规模算例

同理该部分介绍大规模算例，20，30，40艘船被10个岸桥服务. 该模型的计算结果如表4.2所示.

表 4.2: 十个大规模算例的结果

Tab. 4.2: Results of ten large-scale examples

例子	N = 20			N = 30			N = 40		
	下限值	GA值	差距	下限值	GA值	差距	下限值	GA值	差距
1	12.0	12.8	6.25	17.0	17.0	0	27.5	28.2	2.48
2	12.0	12.7	5.51	17.0	17.8	4.49	28.0	29.0	3.45
3	12.4	12.4	0	17.2	17.5	1.71	28.0	28.9	3.11
4	12.0	12.3	2.44	17.0	17.0	0	28.8	28.9	3.35
5	12.6	13.2	4.55	17.0	17.8	4.49	28.0	28.0	0
6	12.4	12.8	3.13	17.0	17.4	2.30	28.8	29.2	1.37
7	12.8	13.5	5.19	17.0	17.5	2.86	28.7	29.3	13.01
8	12.0	12.7	5.51	17.0	17.7	3.95	28.0	28.0	10.76
9	12.0	12.6	4.76	17.0	17.8	4.49	28.0	28.0	4.38
10	12.0	12.9	6.98	17.7	18.5	4.32	28.0	28.2	0.69
平均值	12.2	12.8	4.43	17.1	17.5	2.86	28.2	28.6	1.35

上限值:模型运行8小时的下限值;

差距:(GA值-下限值)/GA值;

平均值:每艘船的平均时间损失;

在表4.2中，当求解大规模算例时，CPLEX在一定的时间内得不出最优解，只可以得出一个下限值. 由于小规模算例中得出遗传算法的求解结果可以得出近似最优解，因此为了克服CPLEX在运行过程中时间过长的局限性，我们设计了遗传算法来求解，得出遗传算法在计算时间上明显优于CPLEX,为解决大规模算例提供了很好的算法.

## §4.5 结论

在本章我们建立了连续性泊位和岸桥分配优化的问题，目标是 최소화船舶在港广义时间损失，包括船舶由于提前到达产生的时间损失、船只延迟离港产生的时间损失以及船舶靠泊偏离最佳位置所造成的时间损失。可以将时间和空间同时考虑，在时间和空间上做到同时优化. 与之前的研究相比较，我们引入广义时间损失这个条件. 因为该问题是一个NP-hard问题，因此我们设计遗传算法来求解，可以得到近似最优解，但在求解时间上却远远低于精确算法，因此，该法为解决大规模问题提供了有效的算法.

## 第五章 总结与展望

集装箱运输是现代运用比较广泛的运输方式,而泊位和岸桥这两种资源的有效利用仍然是需要特别关注的点.为了提高集装箱码头的运作效率,本文研究了两类泊位和岸桥分配问题,分别为离散性泊位和连续性泊位两种.将泊位和岸桥同时考虑,并建立模型进行优化.

离散性泊位和岸桥分配问题中所提出的模型的目标是降低总的服务成本,包括工作成本,等待成本,和码头岸桥的运行成本,并采用CPLEX进行求解.与之前的研究相比较,我们考虑每个集装箱的利益均衡问题,从而提高不同船公司在同一码头的利益公平性.由于遗传算法可以克服精确计算的缺陷,因此本文设计了遗传算法来实现一个接近最优的解决方案.得出所提出的遗传算法对于解决大规模算例具有重要的作用.

随后,在充分考虑了船舶装卸作业中可能使港口产生损失的各方面因素,给出了连续性泊位和岸桥分配模型,目标是最小化船舶在港广义时间损失,包括船只加速产生的时间、船只延迟离港时产生的时间以及靠泊位置偏离最佳位置所产生的时间损失.与之前的研究相比较,我们引入广义时间损失这个条件,可以将时间和空间同时考虑,在时间和空间上做到同时优化.文中采用CPLEX软件求解,并设计遗传算法来求得近似最优解,但在求解时间上却远远低于精确算法,因此,该算法在解决大规模问题时具有重要的作用.

泊位与岸桥分配作为集装箱码头调度系统的一部分,在集装箱码头的运作过程中充当着重要的角色.本文在泊位和岸桥同时调度的模型优化方面有一定的进展,但是船舶的在港时间还受堆场空间分布、集卡以及场桥的调度等其他作业环节的影响.除了泊位和岸桥的分配优化问题,集卡和龙门吊的调度问题也是集装箱码头调度系统中的重要部分,两者是相互关联的,因而为了实现整个调度系统的优化,很有必要把它们综合起来考虑.这也是未来需要研究的方向,将它们综合考虑,从而达到整体最优.另外,可以开发一个系统来优化集装箱码头,使得集装箱运输业得以更快发展.

## 参考文献

- [1] K.K.Lai, K.Shih. A study of container berth allocation. *Journal of Advanced Transportation*, 1992, **26**: 59-70.
- [2] A.Imai, K.Nagaiwa, C.W.Tat. Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia. *Journal of Advanced Transportation*, 1997, **31** (1): 75-94.
- [3] A.Imai, E.Nishimura, S.Papadimitriou. The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B*, 2001, **35** (4): 401-417.
- [4] K.Nishimura, A.Imai. Berths allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. *Uuropean Journal of Operational Research*, 2001, **131**(2): 282-292.
- [5] A.Imai, E.Nishimura, S.Papadimitriou. Corridendum to "The dynamic berth allocation problem for a container port". *Transportation Research Part B*, 2005, **39**: 197.
- [6] Y.Guan, W.Q.Xiao, R.K.Cheung, C.L.Li. A multiprocessor task scheduling model for berth allocation: heuristic and worst-case analysis. *Operations Research Letters*, 2002, **30** (5): 343-350.
- [7] K.H.Kim, K.C.Moon. Berth scheduling by simulated annealing. *Transportation Research Part B*, 2003, **57**: 541-560.
- [8] A.Imai, E.Nishimura, M.Hattori. Berth allocation at indented berths for megacontainerships. *European Journal of Operational Research*[J], 2007, **179**: 579-593.
- [9] J.F.Cordeau, G.Laporte, P.Legato, L.Moccia. Models and tabu search heuristics for the berth allocation problem. *Transportation Science*, 2005, **39** (40): 526-538.
- [10] A.Imai, E.Nishimura, S.Papadimitriou. The simultaneous berth and quay crane allocation problem. *Transportation Research Part E*, 2008, **44**: 900-920.
- [11] F.Wang, A.Lim. A stochastic beam search for the berth allocation problem. *Decision Support Systems*[J], 2007, **42**: 2186-2196.
- [12] D.H.Lee, J.H.Chen, J.X.Cao. The containers berth allocation problem: a greedy randomized adaptive search solution. *Transportation Research Part E*, 2010, **6** (6): 1017-1029.



- [13] J.Karafa, M.M.Golias, S.Ivey, G.K.D.Saharidis, N.Leonardos. The berth allocation problem with stochastic vessel handling times. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, **65** (1-4): 473-484.
- [14] M.Golias, I.Portal, D.Konur, E.Kaisar, G.Kolomvos. Pobust berth scheduling at marine container terminals via hierarchical optimization. *Computers&Operations Research*, 2014, **41**: 412-422.
- [15] P.Hansen, C.Oguz, N.Mladenovic. Variable neighborhood search for minimum cost berth allocation. *European Journal of Operational Research*, 2008, **191** (3): 636-649.
- [16] L.Zhen, L.H.Lee, E.Chen. A decision model for berth allocation under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 2011, **212**: 54-68.
- [17] K.H.Kim, Y.M.Park. A crane scheduling method for port container terminals. *European Journal of Operational Research*, 2004, **156** (3): 752-768.
- [18] C.F.Daganzo. The crane scheduling problem. *Transportation Research Part B*, 1989, **23** (3): 159-175.
- [19] J.H.Chen, D.H.Lee, J.X.Cao. Heuristic for quay crane scheduling at indented berth. *Transportation Research Part E*, 2011, **47** (6): 1005-1020.
- [20] J.H.Chen, D.H.Lee, M.Goh. An effective mathematic formulation for the unidirectional cluster based quay crane scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 2014, **232**: 198-208.
- [21] C.Bierwirth, F.Meisel. A fast heuristic for quay crane scheduling with interference constraints. *Journal of Scheduling*, 2009, **1007** (10): 9-105.
- [22] D.H.Lee, H.Q.Wang, L.Miao. An approximation algorithm for quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals. *Transportation Research Part E*, 2007, **8** (6): 10-15.
- [23] D.H.Lee, H.Q.Wang, L.Miao. Quay crane scheduling with noninterference constraints in port container terminals. *Transportation Research Part E*, 2008, **44**(1): 124-135.
- [24] Y.M.Park, K.H.Kim. A scheduling method for berth and quay cranes. *Reseach Spectrum*, 2003, **25** (1): 541-560.

- [25] A.Imai, H.C.Chen, E.Nishimura, S.Papadimitriou. The simultaneous berth and quay crane allocation problem. *Transportation Research Part E*, 2008, **44** (5): 900-920.
- [26] F.Meisel, C.Bierwirth. Heuristics for the integration of crane productivity in berth allocation problem. *Transportation Research Part E*, 2009, **45** : 196-209.
- [27] D.H.Lee, H.Q.Wang. Integrated discrete berth allocation and quay crane scheduling in port container terminals. *Engineering Optimization*, 2010, **42**(8) : 747-761.
- [28] 蔡芸, 孙国正. 同时求解泊位分配及岸桥调度问题的仿真优化方法. 可持续发展的中国交通, 2003, **11**: 22-26.
- [29] Z.Lu, X.L.Han, L.F.Xi. Simultaneous berth and quay crane allocation problem in container terminals. *Advanced Science Letters*, 2011, **Vol.4** : 1-6.
- [30] 韩俊, 孙晓娜, 靳志宏. 集装箱码头泊位与岸桥协调调度优化. 大连海事大学学报, 2008, **34**(2) : 117-121.
- [31] C.R.Zhang, L.Zhang, Z.H.Zhang. The allocation of berths and quay cranes by using a sub-gradient optimization technique. *Computers and Industrial Engineering*, 2010, **58**(1) : 40-50.
- [32] D.F.Chang, Z.H.Jiang, W.Yan. Integrating berth allocation and quay crane assignment. *Transportation Research Part E*, 2010, **46**(6) : 975-990.
- [33] 周鹏飞, 康海贵. 面向随机环境的集装箱码头泊位-岸桥分配方法. 系统工程理论与实践, 2008, (2) : 161-169.
- [34] 李娜. 集装箱码头连续泊位与岸桥调度联合优化研究. 大连海事大学学报, 2011.
- [35] Lim. The berth planning problem. *Operation Research Letter*, 1998, **22** : 105-110.

## 作者攻读硕士期间的研究成果

### • 学术论文

[1] Jin Xin Cao, Jie Ren, Mandula, Xiao Ting Shang. A genetic algorithm for the integrated berth and quay crane scheduling problem under data uncertainties in container terminals. *The 16th COTA International Conference of Transportation Professionals, Shanghai, China*. (CPCI/EI, 已接收)

[2] Jie Ren, Jin Xin Cao, Cong Cong Xue. The continuous berth allocation and quay crane assignment problem based on the operational general time loss of vessels. *The 16th COTA International Conference of Transportation Professionals, Shanghai, China*. (CPCI/EI, 已接收)

[3] Xiao Ting Shang, Jin Xin Cao, Jie Ren. A robust optimization approach to the integrated berth allocation and quay crane assignment problem. *Transportation Research Part E & Logistics Transportation Review*, 2016, 94: 44-65. (SCI, 2.67)

### • 参加科研项目情况

先进的集装箱港口物流系统仿真与优化方法研究. 国家自然科学基金【71262008】. 参与者.

## 致谢

转眼间，三年的研究生求学生涯即将结束，站在毕业的门槛上，回首往昔，奋斗和辛劳成为丝丝的记忆，甜美与欢笑也都尘埃落定。内蒙古大学以其优良的学习风气、严谨的科研氛围教我求学，以其博大包容的情怀胸襟、浪漫充实的校园生活育我成人。值此毕业论文完成之际，我谨向所有关心、爱护、帮助我的人们表示最诚挚的感谢与最美好的祝愿。

本论文是在导师曹瑾鑫教授的悉心指导之下完成的。三年来，导师渊博的专业知识，严谨的治学态度，精益求精的工作作风，诲人不倦的高尚师德，朴实无华、平易近人的人格魅力对我影响深远。导师不仅授我以文，而且教我做人，虽历时三载，却赋予我终生受益无穷之道。本论文从选题到完成，几易其稿，每一步都是在导师的指导下完成的，倾注了导师大量的心血，在此我向我的导师曹瑾鑫教授表示深切的谢意与祝福！

本论文的完成也离不开其他各位老师、同学和朋友的关心与帮助。在此也要感谢数学科学学院所有老师，你们是极其具有责任心的好老师；感谢数学科学学院为本论文提供的数据和建议；还要感谢同门的师兄师妹们，在科研过程中给我以许多鼓励和帮助。回想整个论文的写作过程，虽有不易，却让我除却浮躁，经历了思考和启示，也更加深切地体会了法学的精髓和意义，因此倍感珍惜。

还要感谢父母在我求学生涯中给与我无微不至的关怀和照顾，一如既往地支持我、鼓励我。同时，还要感谢商晓婷同学、贾荟慧同学、温春燕同学、湛智宇同学、三年来对我的爱护、包容和帮助，愿友谊长存！

最后感谢评阅和出席本论文答辩会的各位专家，感谢你们在百忙之中给予的指导和提出的宝贵意见。

任洁

于内蒙古大学数学科学学院

二零一七年三月



