

# 集装箱堆场智能算法研究



## 重庆大学硕士学位论文

学生姓名：江 静

指导老师：易正俊 教 授

专 业：应用数学

学科门类：理 学

重庆大学数学与统计学院

二〇一一年四月

# **Studies Intelligent Algorithm of Containers Terminal Yard**



A Thesis Submitted to Chongqing University  
in Partial Fulfillment of the Requirement for the  
Degree of Master of Science

**By**  
**Jiang Jing**

**Supervised by Prof. Yi Zhengjun**

**Major: Applied Mathematics**

College of Mathematics and Statistics of Chongqing University,  
Chongqing, China  
April 2011

## 摘 要

随着世界经济一体化和全球化的飞速发展,以及船舶的大型化和高速化,我国经济迅猛发展,集装箱运输发展迅速,对集装箱港口的现有装卸能力提出了挑战。码头的集装箱吞吐量迅速增长,集装箱码头的作业效率已不能满足整个运输系统的需求,对码头的管理提出了更高的要求。在兴建码头、泊位、投资设备和扩大堆场面积的同时,另一有效途径就是整合港口的现有机械和堆场资源,优化管理。另外,鉴于码头一旦建成,堆场面积在一定时间内一般不会发生变化,所以大力提高集装箱堆场的利用效率、管理水平等,是码头工作的主要问题。

集装箱码头作业系统由泊位子系统、堆场子系统、集疏运子系统等多个子系统组成,不少码头管理者往往比较重视泊位子系统的管理,却忽视堆场子系统的管理。事实上,堆场子系统的资源利用效率直接影响整个作业系统的作业效率。因此,有必要对集装箱堆场系统的堆存优化进行研究,使堆场子系统的工作效率得以提高。

本论文主要进行的是集装箱码头堆场智能算法的研究,从装卸流程的整体出发,对集装箱的堆存和倒箱方式两方面进行优化管理,进而提高码头的作业效率和服务水平。

首先,从集装箱堆场常见的倒箱原因进行分析,利用搜索技术理论通过实例提出了减少倒箱率的措施,主要对集装箱堆场系统的优化进行了研究。

其次,对堆存的装卸资源进行了优化,由于集装箱的堆存状态与理想发箱顺序很难保持一致,倒箱操作是不可避免的.为降低堆场的倒箱率,提高作业效率,在获得集装箱的取箱顺序前提下,将每取一个集装箱所产生的可能状态视为一个状态结点,所需的倒箱次数加一个基数作为状态结点间的连接权,把倒箱优化问题转化为最短路径求解问题.脉冲耦合神经网络(Pulse-Coupled Neural Network, PCNN)具有独特的自动波并行传播的特性,适用于求解大规模实时问题,能一次求出源点到其它所有目标点的最短路径,从而获得最优的倒箱方案.其所需要的计算量仅正比于最短路径的长度,与路径图的复杂程度及路径图中的通路总数无关。

最后,得出结论在现有的堆场资源条件下,可通过优化管理有效地提高集装箱堆场的作业效率,提高码头资源利用效率,缩短船舶在港等待时间,对船港双方实现双赢。

**关键词:** 集装箱码头, 堆场, 倒箱率, 脉冲耦合神经网络, 最短路径

## ABSTRACT

Along with the development of the world economic integration and globalization, the containers ship tends to be large-scale and high-speed, Chinese economy and container transportation are developing rapid, which is a challenge to the capacity of the container port. The efficiency of container terminal operation cannot meet the requirement of the transport system. So it demands the terminal management level higher. While the construction of a terminal, berth, investment in equipment and expanding the area of the yard, the other effective way is the integration of existing machinery and yard resources, optimizing the management in the yard. In addition, once the terminal has been completed, the area will not change in a certain period. So the most important task of the terminal is to improve the level of container terminal management, operational efficiency, service quality and so on.

Berth container terminal operating system consists of subsystems, yard subsystem, collection and distribution subsystems and other subsystems. Many managers tend to pay more emphasis on terminal berths subsystem management, and have neglected yard management subsystem. In fact, efficiency of yard subsystem resource directly affects the operating system's efficiency. So, it is necessary to study optimal stockpiling of the container yard, which makes yard subsystem work efficiency increased.

The thesis studied on intelligent algorithm of container terminal yard applying the integral view, starting from the whole process, optimizing the management of both loading and unloading of container stacking to improve the operation efficiency and service levels.

Firstly, this thesis based on the analysis of common reasons of containers transposition in container yard, and put forward reasonable methods for reducing rate of container transposition with the theory of searching technique though an example, it mainly studied the optimization of container yard system.

Secondly, it optimized the handling machinery resource, for it was difficult to remain the same order between the stockpiling state of containers and the ideal order of containers sending, so relocation was inevitable. In order to reduce the relocation frequency in the container yards, improved operational efficiency, on the condition that the order of container withdrawal was required, the paper regarded every possible state that may be generated when a container was being withdrawn as a node, the number of

relocation plus a base as the connection weights between nodes, and then the optimization problem for container relocation was converted into the shortest-path solution problem. The thesis brought forward a new approach to find the shortest path based on pulse-coupled neural network which features parallel running, that can be applied to solve large-scale practical problems, and we can easily work out the shortest path from a source to all other target points, therefore we have got the best relocation program.

Finally, it concluded that under the existing resources conditions, it can improve the efficiency of the terminal through the resource management optimization. At the same time, it could improve the utilization of the resource for the port; reduced the ship residence time in port. It can reach win-win to both port and shipper.

**Keywords:** Container terminals, Yards, Rate of container transposition, Pulse-Coupled Neural Network, Short-path

## 目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
1 绪 论 .....	1
1.1 问题的提出背景与研究意义 .....	1
1.2 国内外文献综述 .....	2
1.3 本文的主要研究内容 .....	4
1.4 本文的结构安排 .....	4
2 集装箱码头堆场相关研究 .....	6
2.1 集装箱码头概述 .....	6
2.2 集装箱堆场资源概述 .....	6
2.3 集装箱堆场作业流程 .....	7
2.4 国内外集装箱码头堆场资源管理现状 .....	7
3 集装箱堆场减少倒箱率方法研究 .....	8
3.1 集装箱倒箱的原因 .....	8
3.2 集装箱堆存方式的优化 .....	8
3.3 如何减少倒箱率 .....	9
3.3.1 建立数学模型 .....	9
3.3.2 算法 .....	9
3.4 小结 .....	12
4 堆场集装箱倒箱的 PCNN 优化控制算法 .....	13
4.1 集装箱堆场优化问题简介 .....	13
4.2 算法的理论基础 .....	13
4.3 算法实现 .....	15
4.3.1 PCNN 拓扑结构及数学模型 .....	15
4.3.2 算法步骤 .....	17
4.4 算例分析 .....	17
4.4 小结 .....	20
5 结论与展望 .....	21
致    谢 .....	23
参考文献 .....	24
附    录 .....	28

A. 作者在攻读学位期间发表的论文目录 .....	28
B. 作者在攻读学位期间参加的科研项目 .....	28

# 1 绪 论

## 1.1 问题的提出背景与研究意义

随着国际经济、贸易、物流的飞速发展，港口越来越成为整个物流系统中的重要节点，成为整个物流系统中的重要枢纽。港口之间的竞争也正逐渐演变为物流链之间的竞争，而集装箱码头堆场是提高港口整体效率影响因素中的重要一环，以最短的时间、最低的成本实现货物安全、准确的送达，以提高整个物流系统的运行效率，同时提高整个港口的竞争力，是港口经营管理的主要任务。

我国集装箱运输的历史并不长，但是由于集装箱运输本身具有的各种优势以及我国经济的迅猛发展，全球经济一体化的迅速发展，特别是随着我国经济持续快速发展，港口货物吞吐量以及集装箱吞吐量已连续几年位居世界第一。到 2010 年中国货运海运量将达到四十亿吨，占世界总量的的百分比将达到百分之五十七<sup>[1]</sup>。随着水运货运量的不断增加，也给港口码头的泊位建设，机械调度、堆场管理等各方面带来了新的问题，为了满足货运量的需求，港口除了应对码头进行规划扩建，更要有效的整合现有资源，从整体上提高码头的作业效率，满足客户的需要。尽管受国际金融危机冲击较大，有小幅下降，但是近期回升较快，前景乐观。总体而言，我国的集装箱运输量是非常巨大的，随着集装箱运输量的增加，为了适应全球航运市场的激烈竞争，集装箱航运大型化也成为发展趋势。如此快速增长的集装箱量，对集装箱码头带来机遇的同时也带来了巨大的挑战，集装箱码头难以负荷，作业效率已不能满足整个运输系统的需要。如何提高码头效率成为迫在眉睫的问题，通常可以有两种办法解决，一是扩建码头，二是在现有港口规模下，提高码头管理效率，优化资源管理，提高管理水平。而优化管理现有的资源，提高码头、港口的作业效率显得更为关键。

集装箱堆场是港口的重要组成部分，堆场的主要任务就是集、散货物以及办理集装箱的装、拆等业务。随着集装箱业务的不断发展，现在集装箱堆场业务已由传统的货物装、拆箱扩展到集装箱空箱的堆存管理以及集装箱的公路中转运输等各个方面，这样就增加了集装箱堆场各环节管理的复杂度<sup>[2]</sup>。为保证集装箱堆场的合理使用，以及高效率的装、卸、存、取等操作，应研究出一些切实有效地集装箱堆箱优化算法，以期尽可能避免在作业过程中产生不必要的人力、物力、空间等资源的浪费，提高堆场的作业效率及利用效率，进而提高港口的吞吐量<sup>[3]</sup>。因此在整个集装箱运输中，集装箱堆场的布局和操作方面的优化占据着极为重要的地位。

在集装箱堆场中，垂直堆放的一列集装箱称为一个栈，并排堆放的若干个栈



组成一个贝<sup>[4]</sup>。如果提取的集装箱不处于所在栈的最上层，就必须将堆放在其上的所有集装箱翻倒到其它栈，这一过程称为倒箱<sup>[5,6]</sup>。由于集装箱在堆场中是分层堆放的，又由于集装箱到来时间的随机性以及收箱时集装箱被提走的顺序的不确定性，致使提箱时不可避免地会出现一定数量的倒箱。当堆场面积有限时，堆场箱位空间非常有限，不同的重量级、目的港、甚至不同船号的集装箱不得不混放在一个堆存贝内，集装箱的堆存状态通常不满足发箱顺序的要求；另外集装箱重量信息不准，航次或目的港临时改变，抽检或熏蒸后的集装箱不再放回原来箱位等随机因素的存在均会导致集装箱堆存的位置与理想的发箱顺序不同，倒箱操作是无可避免的。随着堆场堆垛高度的增加，取箱时的倒箱概率会相应增加，如何有效避免或减少倒箱已成为提高堆场作业效率的关键问题。

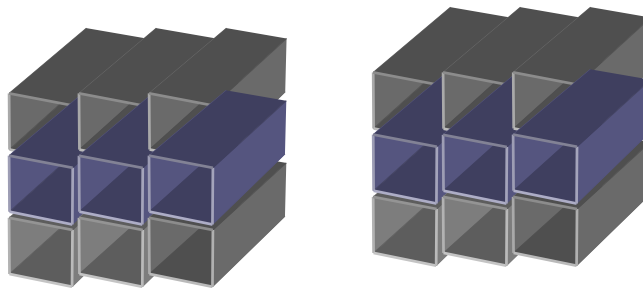


图 1.1 集装箱堆栈示意图

Fig.1.1 Schematic of container stack

船舶大型化是目前集装箱运输的发展趋势，它一方面提高了船舶的运输能力和效率，另一方面却延长了靠港停泊的时间，对港口的自然条件和装卸能力提出了更高的要求。为了提高港口竞争力，争夺世界航运市场，港口不仅要提高码头的作业效率，提高服务质量，还要有效利用码头的设备资源，降低生产成本<sup>[7]</sup>。合理有效的集装箱码头作业调度是提高集装箱网络运输质量的需要，是集装箱码头生产实践的需要，是提高港口竞争力的需要<sup>[8]</sup>。

## 1.2 国内外文献综述

本文主要研究的是集装箱堆场优化问题，主要讨论了堆箱时的堆箱优化问题及取箱操作时的倒箱问题，为堆场优化、提高码头工作效率做算法支持。国内外不少学者对倒箱优化问题作了深入的研究。

Kim et al<sup>[9]</sup>提出了按照箱重的标准把集装箱划分为几个等级，并利用动态规划模型和决策树方法来确定集装箱的堆放位置；

Kim 和 Hong<sup>[10]</sup>利用分支定界和启发式方法研究了提箱过程中翻倒集装箱落

箱位置的确定问题，并对两种方法进行了比较；

Jean-Francois Cordeau<sup>[11]</sup>在文中最小化从堆场至船舶的距离建立目标函数，通过建立整数规划模型，并分别运用禁忌搜索算法和遗传算法分别进行求解；

Zhang C Q<sup>[12]</sup>在文中以最小化堆场作业的延迟为目标，通过建立一个整数规划模型，并运用拉格朗日松弛启发式算法进行求解，得出了轮胎式龙门起重机在集装箱在堆场中的最优配置方案；

Murty et al<sup>[13]</sup>在文中采用计算机仿真技术，模拟集装箱码头堆场龙门吊的作业，在一定的作业量的前提下，对堆场中的龙门吊进行配置，以尽量减少龙门吊在场内的移动距离为目标；

Kim<sup>[14]</sup>等以最小化装船时的翻箱量为目标，利用动态规划和决策树方法研究了到来集装箱堆放位置的确定问题；

Lee 和 Hsu<sup>[15,16]</sup>以最小化预倒箱过程中的翻箱量为目标，提出了相应的整数规划模型和启发式算法，对翻箱路径进行优化；

董琳<sup>[17]</sup>等针对预倒箱问题利用图论知识构建预翻箱的数学模型，并利用改进的广度搜索算法计算出了倒箱数；

白治江、王晓峰<sup>[18]</sup>建立了一种堆场倒箱问题的整数规划模型，只是这些算法有些要依赖于较强的假设条件，有些随着问题规模的增大，求解时间呈指数上升，所以难于在实际中被采用；

徐亚<sup>[4]</sup>等对翻倒箱落箱位置的确定问题提出了一种启发式算法 H 及其改进算法 IH，取得了较好的优化效果；

郝聚民、纪卓尚<sup>[19]</sup>等针对集装箱在堆场混合作业顺序的情况，建立了一个优化出口集装箱堆场作业的模型，该模型运用了模式识别理论和图搜索技术；

杨淑琴、张运杰<sup>[20]</sup>等在集装箱先到先服务的原则下，重箱在下，轻箱在上的原则下，以最小化堆场集装箱倒箱率为目标，建立模型并用启发式算法求解得出集装箱的箱位分配方案；

李建忠<sup>[21]</sup>以集装箱码头堆场中龙门吊的最短闲置时间及剩余未完成箱量的最小作业时间为目标函数，建立动态配置优化模型，运用拉格朗日松弛算法进行求解，得出堆场中龙门吊的最佳配置方案。

就目前来说，由于我国在堆场资源管理方面的研究起步比较晚，在这方面的文献还很少，尤其是堆场资源配置方面的研究还很不充分。另外，从以上综述可以看出，对空间资源的研究方面，目前文献主要局限于进、出口箱区空间资源的分配问题的研究，混堆情况下集装箱的堆存问题考虑得很少<sup>[22,23]</sup>。在已有的研究中，文献主要局限于静态条件集装箱下的箱位分配，而很少考虑动态条件下集装箱的堆存问题<sup>[24]</sup>。

### 1.3 本文的主要研究内容

本文主要研究的是集装箱堆场优化问题，主要讨论了进口箱的堆箱优化问题及取箱操作时的倒箱问题，为堆场优化，提高码头工作效率做算法支持。主要内容可分为如下部分：

首先，从集装箱堆场常见的倒箱原因进行分析，辅以实例利用搜索技术理论提出了减少倒箱率的措施，重点对集装箱堆场系统的堆存优化进行了研究。

其次，对堆存的装卸资源进行了优化，将每取一个集装箱所产生的可能状态视为一个状态结点，所需的倒箱次数加一个基数作为状态结点间的连接权，把倒箱优化问题转化为最短路径求解问题<sup>[25-27]</sup>。脉冲耦合神经网络(Pulse-Coupled Neural Network, PCNN)<sup>[28-34]</sup>具有独特的自动波并行传播的特性，适用于求解大规模实时问题，能一次求出源点到其它所有目标点的最短路径，从而获得最优的倒箱决策方案。

### 1.4 本文的结构安排

本论文按“提出问题——分析问题——解决问题”的基本逻辑思路展开论述，论文的具体篇章结构如下：

第一章介绍了选题背景与研究意义，简单阐述了集装箱运输的国内外现状，强调了本课题的重要性，并对本文的主要研究内容和结构安排做了说明。

第二章主要从集装箱码头、集装箱堆场资源、堆场内集装箱作业流程、国内外码头资源管理现状几个方面介绍了相关课题的研究现状。

第三章从集装箱堆场常见的倒箱原因进行分析，辅以实例利用搜索技术理论提出了减少倒箱率的措施，重点对集装箱堆场系统的优化进行了研究。

第四章主要对堆场装卸资源的优化，建立了相应的数学模型，并对该模型采用脉冲耦合神经网络(Pulse-Coupled Neural Network, PCNN)最短路径算法进行求解，最后用算例对该模型进行验证。

第五章为本文的总结和展望，总结了论文的创新之处，对进一步的研究工作进行了展望。

本文的结构和思路如图 1.2 所示：

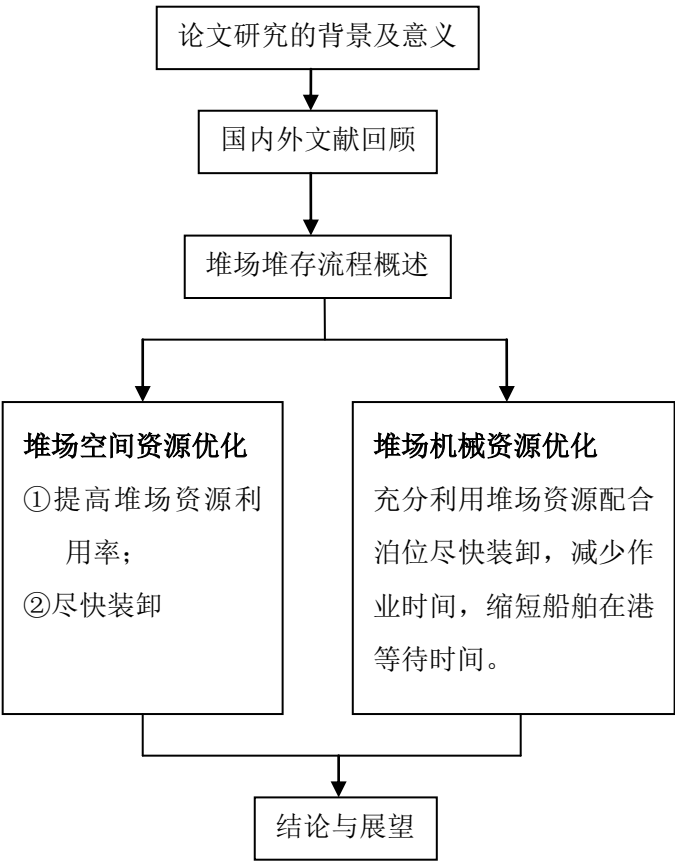


图 1.2 本文思路

Fig. 1.2 Main idea of the paper

## 2 集装箱码头堆场相关研究

### 2.1 集装箱码头概述

集装箱码头是专供停靠集装箱船舶、装卸集装箱的作业场所，是整个集装箱运输系统的集散站、存储地，是集装箱运输的缓冲地，是实现各种运输方式间的衔接、不同运输方式的连接点和枢纽。集装箱在码头能否顺利的进行装卸和运送，是有效地加速车船周转、提高货物运送速度和质量、降低货运成本的一个关键环节。集装箱码头的高速机械化和高效率大规模的生产方式，要求集装箱码头同船舶共同形成一个不可分割的有机整体，从而保证高度严密的流水线作业高效率运转，充分发挥集装箱码头三个主要职能的作用。集装箱码头通常应具备的必要设施有：泊位、码头前沿、集装箱堆场、货运站、控制室、行政楼以及维修车站、检查口等。

集装箱码头的作业流程分为进口作业流程和出口作业流程。在集装箱进口货运营业务中，码头堆场主要负责进口集装箱的卸货、集装箱的暂时堆存、货物的交付等业务。在集装箱码头的出口作业中，集装箱出口装船，为了保证装船作业的顺利进行，码头一般规定出口箱进港的截止期限，一般为装船前的 24 小时。

集装箱码头的装卸工艺系统通常底盘车系统、跨运车系统、叉车系统、龙门起重机系统、正面吊运机系统几种系统组成<sup>[35]</sup>。本文对堆场装卸机械的研究主要是基于轮胎式龙门起重机系统进行的。

### 2.2 集装箱堆场资源概述

集装箱堆场管理是集装箱码头生产的一个重要环节。码头要保证船舶如期开船，就必须提高码头装卸速度，而装卸速度的提高很大程度上决定于码头箱区、箱位、长桥安排的合理性。合理安排箱区、箱位、堆场机械，不仅能减少倒箱率、减少桥吊等箱时间、提高码头装卸速度，而且还能最大程度的提高码头堆场空间利用率、机械利用率、码头通过能力，降低码头生产成本。集装箱码头堆场管理主要是对堆场资源的管理，即对堆场空间资源及装卸资源进行的管理。

堆场是集装箱码头内所有堆存集装箱的场地，有前方堆场和后方堆场两部分组成，本文主要研究的是前方堆场，堆场的优化主要包括：一是随机条件下特定航次最优堆场面积规划，这主要从有效利用码头堆场面积的角度考虑；二是随机模型下的集装箱最优堆垛设计，这主要从提高装船效率、减少倒箱的角度考虑。前方堆场集装箱的堆放一般遵循 PSCW 原则<sup>[36,37]</sup>，所谓 PSCW 原则就是指同一目的港 (port)，同一尺寸 (size)，同一种类 (category)和同一重量级别 (weight)的集

装箱堆放在堆场的同一贝 (bay) 上, PSCW 均相同的集装箱集合为同类箱组。

### 2.3 集装箱堆场作业流程

集装箱堆场的作业流程是: 集装箱卸箱时, 首先船舶到达泊位, 首先由龙门起重机将进口箱从船上提起放至集卡, 再由集卡运至堆场, 而后集卡返回至泊位; 在装箱过程中, 是先由集卡将货物在堆场装箱, 再由龙门起重机将出口集装箱从堆场提出放至运货车, 集卡返回<sup>[7]</sup>。所谓龙门起重机的配置问题是指在配置好集卡后还需配置一定数量的龙门起重机来配合集卡工作, 以实现堆场的流畅作业, 从而提高堆场的作业效率, 因此龙门起重机的配置过程是以最少的龙门起重机最大程度的按计划完成作业<sup>[1]</sup>。

### 2.4 国内外集装箱码头堆场资源管理现状

集装箱运输的发展促进了集装箱船舶大型化的发展趋势, 集装箱码头的集装箱作业量迅速增加, 对集装箱码头的作业服务提出了更高的要求。同时, 世界经济一体化及全球化的发展带来了更加激烈的市场竞争, 全球各大航运公司逐渐组建战略联盟以实现全球运输服务, 争夺世界航运市场。目前世界各大集装箱码头纷纷采用先进的技术和组织管理手段来提高堆场的作业效率, 主要的先进的技术有: 自动化集装箱堆码系统, GPS (全球定位系统)、GIS (地理信息系统), 无线终端技术, 我国集装箱运输起步于 1973 年, 虽然起步比国外晚, 但是 1978 年后发展迅速, 我国港口集装箱吞吐量居世界前列的就有上海港、宁波港、广州港等, 然而, 虽然我国的港口发展迅速, 并且取得了一定的成果, 但是我国集装箱码头的管理水平与世界现代化港口相比仍有一定的差距<sup>[1]</sup>。

目前我国集装箱码头的作业中存在的主要问题是: 工作人员劳动强度大, 机械化程度低, 作业效率低, 作业调度组织手段落后, 各环节发展程度不一致, 衔接协调差等。

### 3 集装箱堆场减少倒箱率方法研究

#### 3.1 集装箱倒箱的原因

在集装箱堆场中，垂直堆放的一列集装箱称为一个栈，并排堆放的若干个栈组成一个贝<sup>[4]</sup>。如果提取的集装箱不处于所在栈的最上层，就必须将堆放在其上的集装箱翻倒到其他栈，这一过程称为倒箱<sup>[36,37]</sup>。由于堆场计划做得不够完善和码头不可控制的随机因素影响等原因，堆场常会发生倒箱。由于堆场面积有限，堆场密度过高，不同重量级、不同目的港、甚至不同船名的集装箱不得不混堆在一个堆场内，箱区堆存状态通常不满足发箱顺序的要求；另外，由于集装箱重量信息不准、航次或目的港临时改变，抽验或熏蒸后的集装箱不再放回原来箱位等随机因素均会导致堆存位与理想发箱顺序不一致。因此，堆存在下层的集装箱需要较早发箱的问题是普遍存在的，倒箱操作是不可避免的。并且，若翻出的集装箱的堆存为选取不当，又会造成在其后续取箱过程中的再次或多次倒箱，极大地影响堆场的作业效率和堆存成本<sup>[38-42]</sup>。

为此，在提箱过程中需要对翻倒箱的落箱位置进行优化，尽可能的减少再次或多次倒箱，降低总倒箱率。

#### 3.2 集装箱堆存方式的优化

出口箱区堆放集装箱的方式关系到集装箱船舶的装卸效率，是集装箱堆场管理的重要环节。对堆场进行优化一般从两个方面进行，若从有效利用堆场面积的角度考虑，应对特定航次最优堆场面积进行规划；若从提高装船效率，减少倒箱率角度考虑，应对集装箱的堆垛进行最有设计。鉴于堆场一旦建成，堆场面积在一定时间内不会发生变化，本文主要考虑的是集装箱堆存方式的优化。

对不同的作业方式，集装箱的堆存方式各不相同，本文考虑的是采用龙门吊起重机的作业方式，属于不同目的港的集装箱混堆于一个堆场的情形。为了减少倒箱，计三有、高悦文<sup>[42]</sup>利用搜索技术理论提出了一种按重量对出口箱位进行合理分配的措施，本文也提出一种新的堆场模型，如图3.1所示，这种堆存方式由于取任何一个集装箱时，其左上边的集装箱位都是空的，司机视线好，便于作业。按理想装船顺序进行作业时，可以提高作业效率，提高存货量，同时也可降低操作难度。

14	10	6	3	1
17	13	9	5	2
19	16	12	8	4
20	18	15	11	7

1	3	6	10	14
2	5	9	13	17
4	8	12	16	19
7	11	15	18	20

图 3.1 取箱作业顺序

Fig. 3.1 the order of taking containers

### 3.3 如何减少倒箱率

根据集装箱堆场实际，本文做出如下假设：

- 1) 出于作业便利和安全等方面的考虑，倒箱只在同一贝内进行；
- 2) 堆放集装箱时，贝的初始结构已知，所有集装箱的提箱顺序已知；
- 3) 本堆场堆放的是普通集装箱，危险箱、超重箱另外考虑。

本文将同一目的港的集装箱标上同一序号，越早被提走的集装箱其优先级越高，优先级的取值为集装箱的提箱序号，下文利用优先级的值对不同集装箱进行标识，对优先级为  $k$  的集装箱简称集装箱  $k$ 。

箱位的优化是为到达堆场的集装箱选择最优位置，满足装船需要，是集装箱配载的基础，可显著提高装船效率，减少倒箱率，降低装船费用，同时可节约堆场面积，提高箱位利用率。由于集装箱到达堆场的时间是随机的，不同目的港的集装箱混合堆放在同一堆场是常有的，所以堆场的优化属于数学规划问题，其理论根据采用搜索技术。

#### 3.3.1 建立数学模型

①确定贝位数，将按一定次序到场的集装箱进行分组，按堆高层数进行分组，得到到场箱子所需组数；

②将集装箱按不同目的港进行分组，这样可根据目的港不同进行编号，相同目的港的集装箱编号相同；

③选取一组集装箱进行贝位设计，使其倒箱数最小。

#### 3.3.2 算法

以某港口某日 30 个出口箱按不同次序到场，4 个一组进行堆放，共分 8 组进行说明。

①建立一个二维平面直角坐标系，坐标系上的一个点代表一个集装箱，横坐标代表它的顺序号，纵坐标代表目的港，这样可以得到许多点。假如 30 个集装箱按如下顺序进场：5、3、2、2、3、4、1、7、6、5、1、1、3、2、4、3、4、5、7、1、6、1、2、3、3、2、3、4、1、5，数字代表目的港（数字序号由出场次序决定，



数字小的表示提箱时间早), 如图 3.2 所示, 可以看出, 集装箱目的港的分布是随机的, 没有任何规律可循。

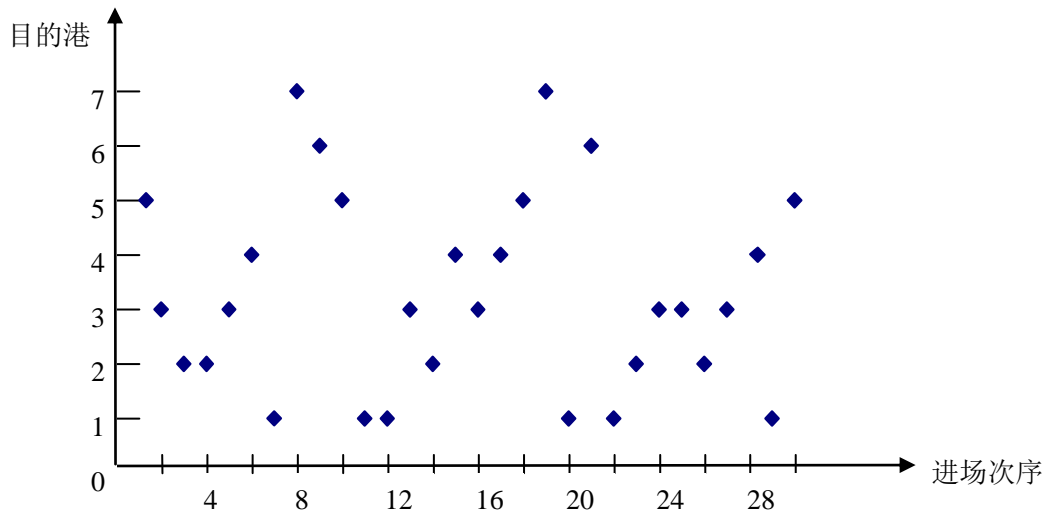


图 3.2 集装箱进场顺序及目的港分布

Fig. 3.2 the containers approach in order and its destination distribution

②首先将集装箱进行粗略的划分, 把  $x$  值最小的点作为第一点, 将其作为左边最高的点, 然后搜索整个坐标系区域第一点右下方距离最近的点, 用线段将第一个点与第二个点相连, 重复上述步骤, 搜索整个区域直到该区域右下方没有其他点, 由此得到连线  $l_1$ 。在剩下的点中找到最左边的点作为起点, 仍按上述步骤进行搜索, 在其右下方找到距其最近的点作为第二点, 用线段将其连在一起, 这样得到一系列线段连接的点 ( $l_1-l_6$ ), 用这种方式可以把集装箱分成几组, 每组集装箱可以堆积在一个垛位上, 由于其堆放次序与发箱次序一致, 故倒箱数为零, 如图 3.3 所示。

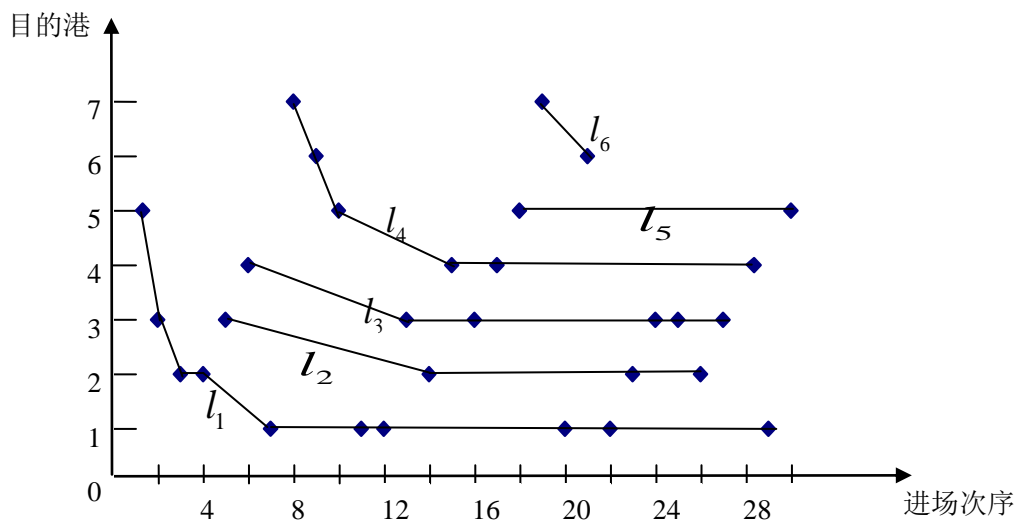


图 3.3 L 序列

Fig. 3.3 L Sequence

③从 $l$ 系列最下方的连线开始，从连线起始点开始向右下方寻找距离 $x$ 最近的点，4个点连在一起，最后剩余1个点就与最后一组连在一起。如此，就把30个不同目的港的集装箱分成8组，最后一个进场的集装箱被放在最上面，这样会引起倒箱一次，这是不可避免的，比起按进场顺序直接堆放的箱位图，倒箱的次数要少得多。

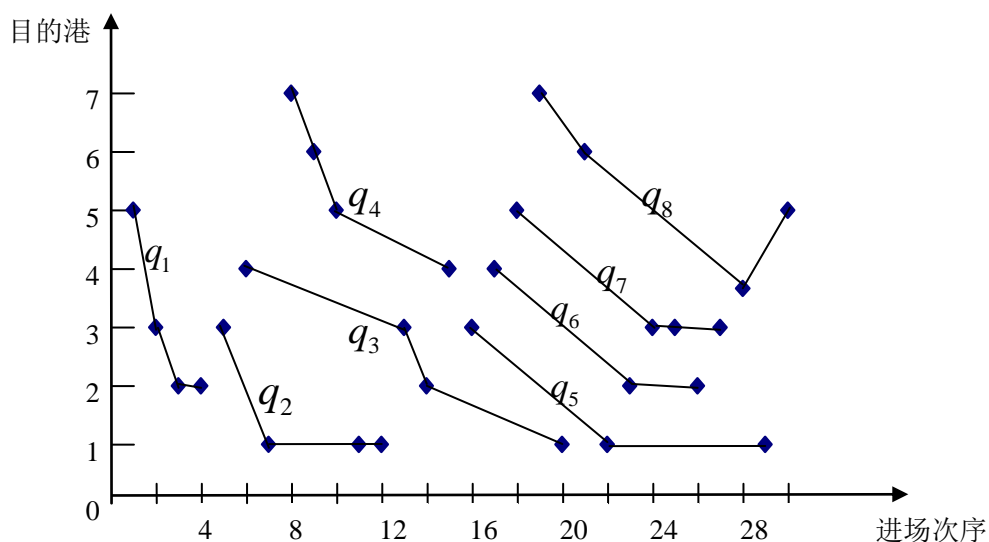


图 3.4 q 序列

Fig. 3.4 q Sequence

这样，例子中的30个集装箱被分成8个垛位，每4个1垛，按预出港顺序，先出场的放在上面后出场的放在下面，进场顺序由下到上，先来的放在下面，后来的放在上面，如图3.5所示，倒箱次数为1，比起图3.6按进场顺序直接堆放的箱位图，倒箱次数至少在10次以上，优化后的箱区倒箱次数要少得多。

4(2)	12(1)	20(1)	15(4)
3(2)	11(1)	14(2)	10(5)
2(3)	7(1)	13(3)	9(6)
1(5)	5(3)	6(4)	8(7)

		27(3)	30(5)
29(1)	26(2)	25(3)	28(4)
22(1)	23(2)	24(3)	21(6)
16(3)	17(4)	18(5)	19(7)

注：括号外的数字代表集装箱的顺序号，括号内的数字代表目的港

图 3.5 优化箱位

Fig. 3.5 Optimization of slot

4(2)	8(7)	12(1)	16(3)			24(3)	20(1)
3(2)	7(1)	11(1)	15(4)	30(5)	27(3)	23(2)	19(7)
2(3)	6(4)	10(5)	14(2)	29(1)	26(2)	22(1)	18(5)
1(5)	5(3)	9(6)	13(3)	28(4)	25(3)	21(6)	17(4)

图 3.6 未优化箱位

Fig. 3.6 Nonoptimization of slot

为进一步说明本文算法的时效性，对 10 个没有经过资源配置的箱区与经过优化的箱区进行对比，表中数字分别是随机配置时的倒箱次数和本文配置时的倒箱次数，结果如表 3.1 所示：

表 3.1 对堆场空间资源进行随机配置所得倒箱次数

Tab. 3.1 the number of the containers track under the random deployment

of the apace resource										
次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
随机配置	11	9	5	8	7	12	10	13	16	10
本文配置	2	1	0	0	2	1	3	2	4	3

3.4 小结

从以上结果可以看出，本文利用搜索理论对进口箱的堆存方式进行了描述，解决了出口集装箱顺利出场问题，很大程度上节约了资源，减少了倒箱次数，降低了船舶在港等待时间，提高了集装箱码头的总体服务质量。总之，通过该算例的对比分析，说明本章建立的模型对于优化集装箱码头堆场空间资源的管理是切实可行的。

## 4 堆场集装箱倒箱的 PCNN 优化控制算法

### 4.1 集装箱堆场优化问题简介

港口堆场的空间有限,一般采用多层堆垛方式以有效提高堆场容量,但随着堆垛高度的增加,取箱时的倒箱概率相应地增加。当堆场密度过高时,不同的重量级、目的港、甚至不同船名的集装箱不得不混在一个堆存位内,箱区堆存状态通常不满足发箱顺序要求;另外集装箱重量信息不准、航次或目的港临时改变、抽检或熏蒸后的集装箱不再放回原来箱位等随机因素均会导致堆存位与理想的发箱顺序不一致<sup>[19]</sup>。由此,堆存在下层的集装箱需要较早发箱的问题普遍存在,倒箱<sup>[2,3]</sup>操作不可避免。若翻出的集装箱的堆存箱位选取不当,又会造成在其后续取箱过程中的再次或多次倒箱,极大地影响堆场的作业效率和经营成本。

国内外很多学者提出了不少关于减少倒箱量的有效算法,对集装箱的箱区进行优化控制。如 Kim<sup>[6]</sup>等以最小化装船时的倒箱量为目标,利用动态规划和决策树方法研究了到来集装箱堆放位置的确定问题; Lee 和 Hsu<sup>[43]</sup>以最小化预倒箱过程中的倒箱量为目标,提出了相应的整数规划模型和启发式算法,对倒箱路径进行优化,白治江、王晓峰<sup>[28]</sup>建立了一种堆场倒箱问题的整数规划模型;董琳<sup>[30]</sup>等针对预倒箱问题利用图论知识构建预倒箱的数学模型,并用改进的广度搜索算法确定倒箱数;徐亚<sup>[4]</sup>等对倒出箱的落箱位置的确定问题进行了研究,提出一种启发式算法 H 及其改进算法 IH。本文将脉冲耦合神经网络(Pulse-Coupled Neural Network, PCNN)<sup>[8-12]</sup>应用到倒箱问题中寻求最短路径,提出了一种新的求解倒箱问题的启发式算法。该算法适用于任何多排多层集装箱堆存位内倒箱问题,对有效避免倒出箱盲目堆存、提高堆场的作业效率和取箱系统的整体流畅性具有重要的指导意义。

### 4.2 算法的理论基础

模型的理论基础依赖于堆存位为多层多排的直接堆垛形、位内只许可堆存相同尺寸的集装箱、装船前堆存位初始状态和发箱顺序为已知、位内有足够的空间供倒箱之用和提箱过程中不允许新到集装箱堆放到该位的 5 个假设。堆场倒箱作业优化问题实质是一个动态<sup>[44,45]</sup>的求解最短路径的问题。

以图 4.1 为例说明集装箱的提取过程,图中数字表示集装箱的优先级,数字越小,优先级越高;未标数字的表示该位置是空箱位。首先从初始状态  $N_{01}$  中提取集装箱 1,产生  $N_{11}$  和  $N_{12}$  两种可能状态;由  $N_{11}$  提取集装箱 2 可以产生  $N_{21}$ 、 $N_{22}$  两种可能状态,由  $N_{12}$  提取集装箱 2 可以产生  $N_{21}$ 、 $N_{22}$ 、 $N_{23}$ 、 $N_{24}$  四种可能状态;从  $N_{21}$

中提取集装箱 3 产生  $N_{31}$  一种可能状态, 从  $N_{22}$  提取集装箱 3 产生  $N_{31}$ 、 $N_{32}$  两种可能状态, 依次进行下去, 直至该贝中的集装箱全部提走, 提箱过程结束。

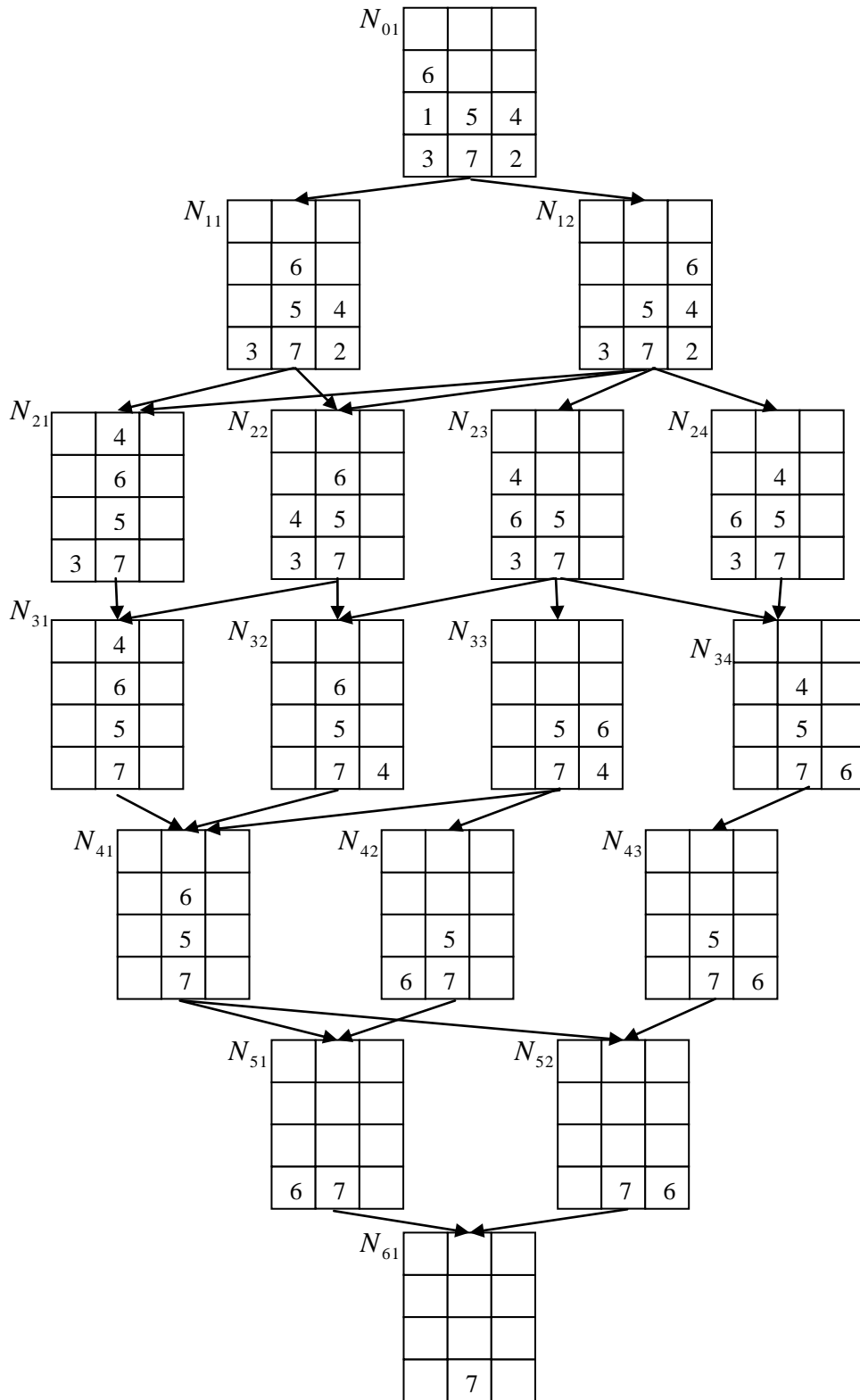


图4.1 集装箱提取过程

Fig. 4.1 The procession of containers withdrawn

现用节点表示各个可能状态，箭头表示状态之间的转移，倒箱数加 1 表示由一个状态结点变换到下一个状态结点间的连接权值，则可把图 1 的取箱过程转化成有向网络图  $G(N, W)$  ( $N$  是图中节点的集合  $\{N_{ij} | i=0,1,2,\dots; j=1,2,\dots\}$ ,  $W$  是图中边的集合)，倒箱优化控制问题转化为图 4.2 的最短路径求解问题。

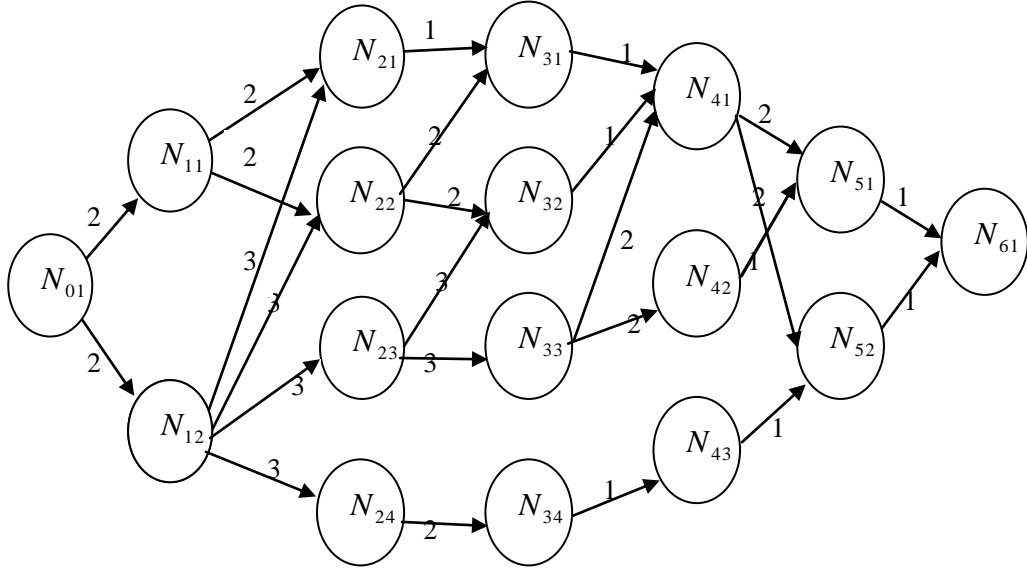


图4.2 网络拓扑结构与路径代价图

Fig. 4.2 Network topology and path cost map

### 4.3 算法实现

最短路径问题<sup>[46]</sup>一般采用比较著名的 Dijkstra 最短路径算法和 Bellman 用于有向无环网络的动态规划等，但这些算法无法满足实时性要求，难以在实际中被采用。脉冲耦合神经网络(Pulse-Coupled Neural Network, PCNN)<sup>[47-49]</sup>是一种新型神经网络，具有独特的自动波并行<sup>[50]</sup>传播特性，适用于求解大规模实时问题，能一次求出源点到其它所有目标点的最短路径。其所需要的计算量仅正比于最短路径的长度，与路径图的复杂程度及路径图中的通路总数无关，它结合多输出和线性衰减阈值使得自动波均匀的传播，实现了全局搜索，同时也减少了迭代次数。

#### 4.3.1 PCNN 拓扑结构及数学模型

PCNN的神经元由接受域、调制器、脉冲产生器三部分组成<sup>[51]</sup>(如图4.3所示)。接受域接受来自其他神经元的反馈  $F_{ij}$  与外部刺激  $S_{ij}$ ，调制部分  $L_{ij}$  是与之局部相连的其他神经元  $N_{i-1,k}$  在前一时刻的输出  $Y_{i-1,k}$  联接权值矩阵  $W$  卷积的结果，内部活动项  $U_{ij}$  是由外部刺激  $S_{ij}$  和连接输入  $L_{ij}$  共同决定的，其中  $\beta$  为联接强度系数，脉冲发生器产生脉冲输出  $Y_{ij}$ ，调整阈值  $E_{ij}$ 。当某一神经元的内部活动项大于或等于

其动态阈值时该神经元被激发产生脉冲，此时称其为点火状态。

将PCNN用于求解集装箱优化倒箱问题时，脉冲耦合神经网络应具有两个特点<sup>[52]</sup>：第一，网络被上游激发的点火神经元，其产生的自动波将以它为起点并平行向各个方向传播；第二，用倒箱次数累加和作为最短路径神经元点火的辅助判据。网络运行时，初始神经元首先点火，发出的脉冲在各条路径上并行传播，触发其后继节点，使得与其相连的神经元陆续点火并产生脉冲，当终点神经元点火时，迭代结束。通过输出表查找最短路径所经历的有序点火神经元即可得出对应的最优倒箱方案。

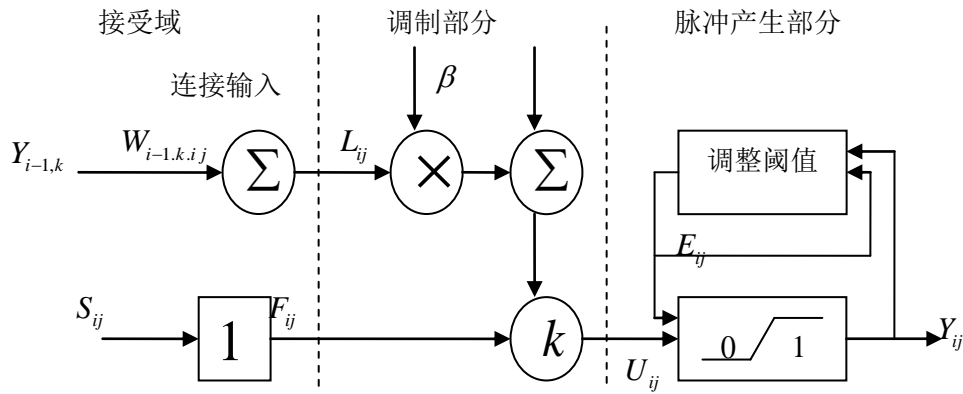


图4.3 构成PCNN的单个神经元结构

Fig. 4.3 A single neuron structure of PCNN

将图4.2中的每一个结点视为一个神经元，箭杆上的权值视为两个神经元之间的连接权 $W_{i-1,k,ij}$ ，表示从提取第 $i-1$ 个集装箱所产生的 $k$ 状态到提取第 $i$ 个集装箱所产生的 $j$ 状态需要的倒箱次数加1。为编程方便，约定若状态 $N_{ij}$ 不能由状态 $N_{i-1,k}$ 直接产生，其连接权值 $W_{i-1,k,ij}$ 为一个很大的值 $T$ ，且规定 $W_{ij,ij}=T$ ；神经元 $N_{ij}$ 接受域的反馈 $F_{ij}$ 和外部刺激 $S_{ij}$ 表示每次的提箱指令； $I_{ij}$ 表示从起点到提取第 $i$ 个集装箱所经历的点火神经元路径累加和；神经元 $N_{ij}$ 的阈值 $E_{ij}$ 应为自动波强度与上游点火神经元的连接权 $W_{i-1,k,ij}$ 相加进行竞争<sup>[53]</sup>的结果；神经元的内部活动项 $U_{ij}$ 定义成倒箱次数的线性函数，可保证迭代过程中选择阈值最小的路径。神经元 $N_{ij}$ 的两个输出项 $I_{ij}$ 和 $Y_{ij}$ 分别表示自动波强度和输出脉冲，当输出脉冲值为1，该神经元点火，此时的脉冲耦合神经元结构变成集装箱优化倒箱方案的神经元结构，如图4.4所示。其中阈值 $E_{ij}$ 、内部活动项 $U_{ij}$ 、自动波强度 $I_{ij}$ 和输出脉冲 $Y_{ij}$ 分别定义如下：

$$E_{ij} = \min\{I_{i-1,k} + W_{i-1,k,ij}\}, \text{初始点火神经元的阈值 } E_{01} = 0 \quad (4.1)$$

$$U_{ij} = U_{00} + k \cdot \Delta U \quad (U_{00} = 1, \Delta U = 1, k \text{ 为迭代次数}, k = 0, 1, 2, \dots) \quad (4.2)$$

$$I_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{神经元 } N_{i-1,k} \text{ 没有点火} \\ I_{i-1,k} + W_{i-1,k,ij}, & \text{神经元 } N_{i-1,k} \text{ 点火} \end{cases} \quad (4.3)$$

$$Y_{ij} = \text{step}(U_{ij} - E_{ij}) = \begin{cases} 1, & U_{ij} \geq E_{ij} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (4.4)$$

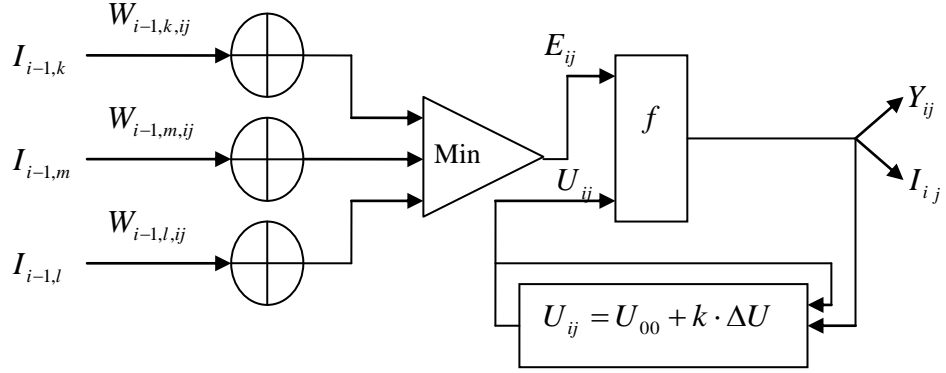


图4.4 最短路径问题中神经元模型

Fig. 4.4 The neuron model of shortest path problem

#### 4.3.2 算法步骤

步骤1: 初始化网络:  $U = U_{00}$ ,  $E_{ij}^0 = V_0$ ,  $Y_{ij} = 0$ ,  $I_{ij} = 0$ , 对  $W_{i-1,k,ij}$  进行赋值。

步骤2: 激活网络:  $E_{01} = 0$ ,  $Y_{01} = 1$ ,  $I_{01} = 0$ , 激活  $W_{01,1j}$  不为0的神经元  $N_{1j}$ , 计算出  $W_{01,1j}$ 、 $U_{1j}$ 、 $E_{1j}$ , 其中  $N_{01}$  是起始点火神经元。

步骤3: 每提取一个集装箱采用公式  $U_{ij} = U_{00} + k \cdot \Delta U$  进行迭代, 判定下游神经元  $N_{ij}$  是否可以点火。若内部活动项  $U_{ij}$  大于或等于动态阈值  $E_{ij}$ , 神经元马上点火, 通过式(3)、(4)改变输出  $Y_{ij}$ 、 $I_{ij}$ , 同时查看此时贝中优先级最高的集装箱所在位置, 直到该贝中所有集装箱全部提走。

步骤4: 通过查找点火神经元的点火次序便得出最优的翻箱方案。

#### 4.4 算例分析

将脉冲耦合神经网络应用于图 2 的最短路径求解, 以说明本文提出算法的有效性。

首先初始化各神经元的相关参数,  $E_{ij}^0 = 100$ ,  $U_{00} = 1$ ,  $\Delta U = 1$ 。已知图 2 中  $N_{01}$  为网络图的源点,  $E_{01} = 0$ ,  $U_{01} = U_{00} + k \cdot \Delta U = 1 + k$  迭代至 1 即有

$Y_{01} = \text{step}(U_{01} - E_{01}) = 1$ , 神经元  $N_{01}$  点火。

神经元  $N_{01}$  产生的脉冲沿着路径  $N_{01}N_{11}$  和  $N_{01}N_{12}$  传播, 神经元  $N_{11}$ 、 $N_{12}$  的阈值  $E_{11}$  和  $E_{12}$  为:

$$E_{11} = \min\{W_{01,11}\} = \min\{2\} = 2,$$



$$E_{12} = \min\{W_{01,12}\} = \min\{2\} = 2,$$

$U_{11} = U_{00} + k \cdot \Delta U = 1 + k$ ,  $U_{12} = U_{00} + k \cdot \Delta U = 1 + k$  迭代至 2 时, 有  $U_{11} \geq E_{11}$ ,  $U_{12} \geq E_{12}$ , 神经元  $N_{11}$ 、 $N_{12}$  点火。

神经元  $N_{21}$ 、 $N_{22}$  和  $N_{23}$ 、 $N_{24}$  的阈值  $E_{21}$ 、 $E_{22}$  和  $E_{23}$ 、 $E_{24}$  分别为:

$$E_{21} = \min\{I_{11} + W_{11,21}, I_{12} + W_{12,21}\} = \min\{2 + 2, 2 + 3\} = 4,$$

$$E_{22} = \min\{I_{11} + W_{11,22}, I_{12} + W_{12,22}\} = \min\{2 + 2, 2 + 3\} = 4,$$

$$E_{23} = \min\{I_{12} + W_{12,23}\} = \min\{2 + 3\} = 5,$$

$$E_{24} = \min\{I_{12} + W_{12,24}\} = \min\{2 + 3\} = 5,$$

由此看出神经元  $N_{21}$  和  $N_{22}$  是由神经元  $N_{11}$  产生的自动波触发,  $U_{21} = U_{00} + k \cdot \Delta U$ ,  $U_{22} = U_{00} + k \cdot \Delta U$  迭代至 4 时神经元  $N_{21}$  和  $N_{22}$  点火, 神经元  $N_{12}$  产生的到达此点的自动波受到抑制;  $U_{23} = U_{00} + k \cdot \Delta U = 1 + k$ ,  $U_{24} = U_{00} + k \cdot \Delta U = 1 + k$  迭代至 5 时神经元  $N_{23}$  和  $N_{24}$  点火。

同理可以算出提取第  $i$  个集装箱所产生的  $j$  个可能状态的代表神经元  $N_{ij}$  的阈值  $E_{ij}$  和内部活动项的输出值  $U_{ij}$ , 从而得出各神经元的点火路径。如图 4.5 所示, 图中神经元下面括号内的第一个数字和第二个数字分别代表该神经元的内部活动项值和阈值。

从图 4.5 可以看出, 从最后一个点火神经元  $N_{61}$  进行回溯, 得到从起点到结束状态的最短路径为:

$$N_{01} \rightarrow N_{11} \rightarrow N_{21} \rightarrow N_{31} \rightarrow N_{41} \rightarrow N_{51} \rightarrow N_{61}$$

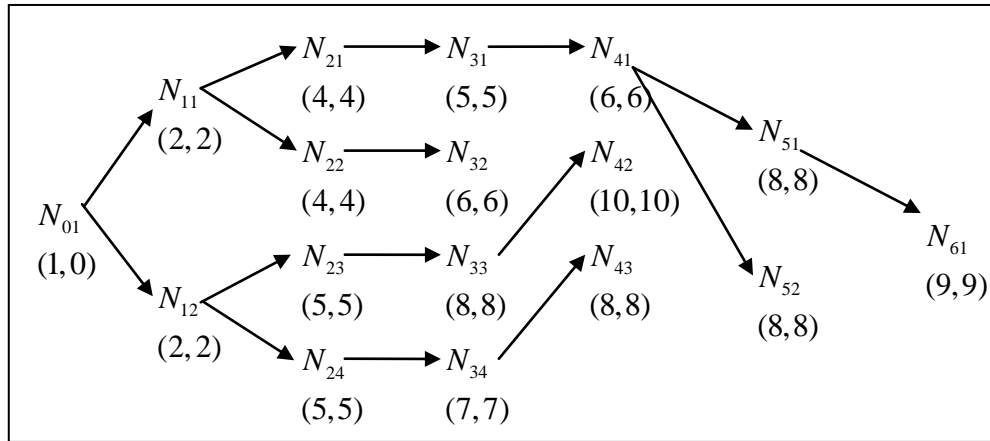


图4.5 神经元点火路径图

Fig.4.5 Neurons firing map

这与图 4.2 所显示的最短路径是完全一致的, 说明本文算法用来解决集装箱的倒箱优化问题是可行且有效的。

为进一步说明本文算法的实时性和优越性, 对实际应用中常见的贝位规模

6×4、6×5、7×4、7×5 分别随机产生 30 个实例，采用本文优化算法与目前较好的文献[7]提出的算法 IH 进行计算，得出两种算法的平均倒箱数和平均计算时间，计算结果如表 4.1。

表4.1 求解30个随机产生的实例所得到的平均倒箱数和平均计算时间

Tab.4.1 The average number of containers relocation and average computing time of 30 randomly generated instances

$r \times h$	$N$	算法H		算法IH		算法PCNN	
		平均	平均计算	平均	平均计算	平均	平均计算
		倒箱数	时间(0.1s)	倒箱数	时间(0.1s)	倒箱数	时间(0.1s)
6×4	20	15.21	0.15	14.35	0.18	14.30	0.17
6×5	26	19.40	0.16	16.74	0.24	16.00	0.25
7×4	24	17.12	0.19	16.17	0.21	15.33	0.20
7×5	28	20.03	0.22	18.13	0.25	17.06	0.24

为对 3 种算法求解质量的稳定性进行比较，图 4.6 和图 4.7 给出了 6×5 下，算法 H、IH、PCNN 分别对 30 个实例进行求解所得倒箱数之差分布图，其中纵坐标  $\Delta f_i(Y) = f_i(Y) - f_i(PCNN)$ ，横坐标为实例号  $i$ ，可以看出对于不同的算法规模，算法 IH 优于算法 H，算法 PCNN 优于算法 IH，本文提出的算法优于算法 H 与算法 IH。

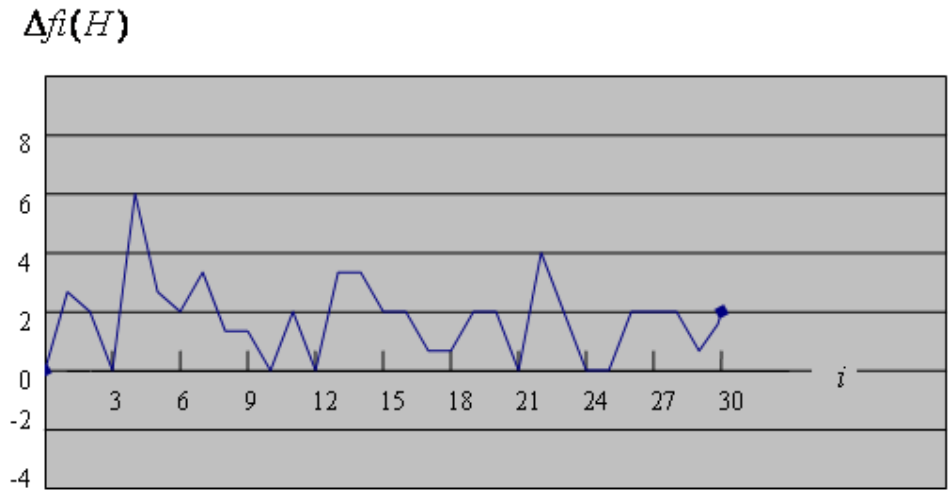


图 4.6 在 6×5 的 30 个实例中,H 算法与 PCNN 算法差值分布

Fig.4.6 In 30 instances of 6×5, the different distribution between H algorithm and PCNN algorithm

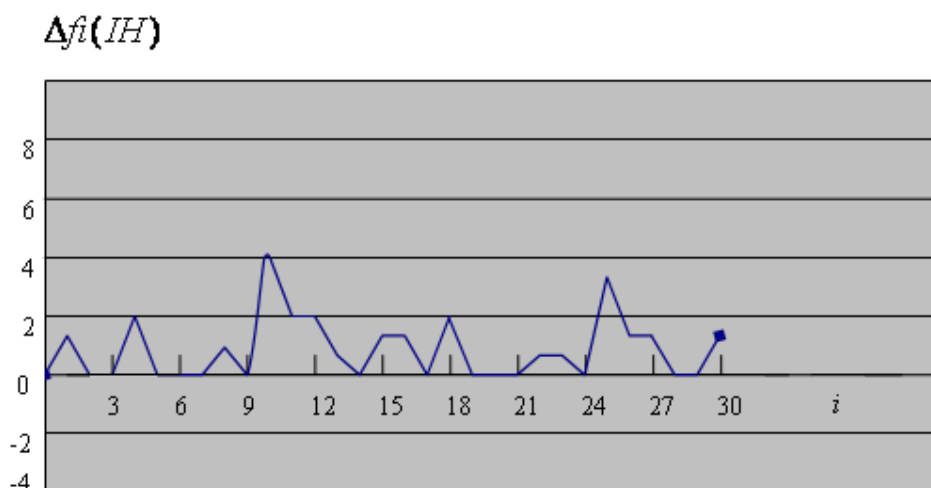


图 4.7 在  $6 \times 5$  的 30 个实例中, IH 算法与 PCNN 算法差值分布

Fig.4.7 In 30 instances of  $6 \times 5$ , the different distribution between IH algorithm and PCNN algorithm

由表4.1及图4.6、图4.7可看出, 本文算法比文献[7]中的IH算法所用时间短, 倒箱次数少, 满足实时性的要求, 易于在实际中应用, 为码头集装箱实现智能化管理奠定了坚实的理论基础。需要指出的是, 在作业过程中, 若由不确定因素造成取箱顺序临时发生变化, 只需更新相应的数据, 重新计算倒箱方案, 将计算结果通过指令传输到相应的终端。

#### 4.4 小结

倒箱操作是影响堆场作业效率的关键因素, 本文采用PCNN的最短路径算法对同一贝中不同优先级别的集装箱混装的背景建立了一个优化倒箱作业模型, 尽可能地减少倒箱次数, 有效降低集装箱堆场的倒箱率, 提高堆场作业效率。通过实验仿真说明了该算法的有效性与实时性, 对有效降低集装箱堆场的倒箱率, 提高堆场作业效率有重要的现实意义。

在市场竞争日益激烈, 集装箱船舶大型化及高速化发展的今天, 现代物流的发展对集装箱码头的服务提出了更高的要求, 集装箱码头堆场资源的合理利用, 既能加快集装箱的周转, 又能加快船舶的周转, 提高码头的作业效率, 使船方和港方达到双赢。

## 5 结论与展望

随着世界经济一体化和经济全球化的飞速发展,集装箱码头的集装箱吞吐量迅速增长,提高集装箱码头的工作效率是当务之急。另外,近年来现代物流迅速发展,对集装箱的运输要求越来越高,同时,航运公司的战略联盟加剧了各大港口对干线港的竞争,这些对集装箱码头的工作提出了更高的要求。必须在现有资源条件下,充分利用现有资源,大力提高集装箱码头堆场的工作效率,提高集装箱码头的管理水平及码头的服务质量,加强码头的竞争力,适应现代港口作业的发展要求。

在集装箱码头堆场中,集装箱取箱时的倒箱操作是影响工作效率的主要因素,甚至是影响港口码头吞吐量的重要因素。本文主要研究的是集装箱码头的堆场箱区优化管理,首先从集装箱堆场常见的倒箱原因进行分析,辅以实例利用搜索技术理论提出了减少倒箱率的措施,重点对集装箱堆场系统的优化进行了研究。其次,对堆存的装卸资源进行了优化,在获得集装箱的取箱顺序前提下,将每取一个集装箱所产生的可能状态视为一个状态结点,所需的翻箱次数加一个基数作为状态结点间的连接权,把翻箱优化问题转化为最短路径求解问题。脉冲耦合神经网络(Pulse-Coupled Neural Network, PCNN)具有独特的自动波并行传播的特性,适用于求解大规模实时问题,能一次求出源点到其它所有目标点的最短路径,从而获得最优的翻箱方案。结论表明,本文提出的算法是切实可行的,可以提高集装箱堆场的作业效率,提高集装箱码头的服务质量,为船港双方实现双赢的良好局面。

本文主要的研究工作和研究成果如下:

首先,本文对集装箱码头的堆场场地堆存空间资源及装卸资源进行管理优化,以充分利用堆场资源,提高码头资源利用率,减少集装箱码头作业时间为目标,利用搜索技术理论提出了减少倒箱率的措施,并给出实例进行验证,实验表明本算法可行并且是有效的。

其次,根据集装箱倒箱问题的实际情况,结合脉冲耦合神经网络求解最短路径的思想,将倒箱问题转化为最短路径求解问题,找到了倒箱次数最少的解决方案。实验表明,本算法减少了倒箱次数,缩短了船舶等待时间,提高了堆场的工作效率。

对集装箱码头堆场资源的合理利用,不仅可以提高码头的作业效率,提高码头各种资源的利用率,提高服务质量,为码头带来一定的效益。而且减少了船舶的在港等待时间,加快了船舶的周转。本文的优化,达到了船港两方的双赢,将

为集装箱码头堆场的优化管理提供一定的决策依据。

本文的不足及进一步需解决的问题是：

对于堆场系统内的空间资源和装卸资源，本文的研究是相互独立的，应进一步把两种资源联系起来以达到整体最优。对于堆场空间资源的配置研究，本文考虑的是在静态条件下的资源配置，并且是在进出口箱分别堆存的条件下，在实际作业中，还要考虑到堆场整体布局、龙门吊合理分配、岸边船只调度、岸桥合理分配等因素，还有考虑跨贝位的三维空间集装箱倒箱问题时，在考虑机械调度的基础上在整个箱区综合考虑倒箱问题。总之，实际问题要复杂得多，集装箱堆场优化研究工作还在进一步深入研究阶段，尽管各水运大国都投入了大量资金进行研究，但由于本课题是一个多阶段多目标的优化问题，很多成果在实际运用中表现的并不理想，大量的工作还有待于今后进一步研究和完善。

## 致 谢

经过三年研究生课程的学习，以及近两年的针对集装箱码头的研究，本人顺利完成了研究生阶段的学习，三年的研究生学习生活得到了很多人的关心和帮助，在此表示感谢！

首先，衷心感谢我的导师易正俊老师的悉心教导，这篇论文自始至终受到了易老师的悉心指导。易老师广博的学术知识、丰富的人生阅历以及优秀的为人处世态度深深地教育和影响着我。易老师使我对自己的专业领域有了深入的了解，尤其是易老师谦虚严谨的科学作风使我深受启发。从易老师身上学到了很多做人的道理和处事方法，这些都将帮助我更好的面对未来。

其次，感谢我的师兄弟李华峰、李保顺、叶晓斌以及师妹董红霞，是他们在我的论文完成过程中给了我很大的帮助和支持，在我遇到困难的时候积极地和我一起解决，没有他们我不知道如何完成硕士毕业。

再次要感谢我的朋友们陈玲、川华等等，三年的研究生学习是我们共同度过的，乐观面对一切也是跟你们学会的，学生时代的生活结束了，但我们的友情不会结束。

还要我的家人们，你们支持与鼓励、关爱与理解给予了我学习的动力和克服困难与挫折的勇气，我一定会好好的报答你们。值此之际，再次向所有给予过我关心和支持的良师益友们致以我最衷心的感谢，在这里，我衷心的祝愿他们健康长寿，生活快乐！同时，衷心地感谢在百忙之中评阅论文和参加答辩的各位专家、教授！

江 静

二〇一一年四月 于重庆

## 参考文献

- [1] 谈超凤. 集装箱码头堆场资源优化管理研究[D]. 大连海事大学, 2010.
- [2] K. H. Kim, H. B. Kim. Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals [J]. International Journal of Production Economics, 1999, 59(1):415-423.
- [3] H. Yang, Y. S. Choi, T. Y. Ha. Simulation-Based Performance Evaluation of Transport Vehicles at Automated Container Terminals [J]. OR Spectrum, 2004, 26(2), 149-170.
- [4] 徐亚, 陈秋双, 龙磊, 杨立志, 刘丽芸. 集装箱倒箱问题的启发式算法研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(14):3666-3674.
- [5] K. H. Kim, K. C. Moon, Berth Scheduling by Simulated Annealing[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2003, 37(6):541-560.
- [6] K.-H. Kim and J.-W. Bae, Re-marshaling export container in port container terminals[J]. Computers and Industrial Engineering, 1998, 35: 655-658.
- [7] Y. M. Park, K. H. Kim. A Scheduling Method for Berth and Quay Cranes [J]. OR Spectrum, 2003, 25(1), 1-23.
- [8] K. H. Kim. Evaluation of the number of re-handles in container yards [J]. Computers and Industrial Engineering, 1997, 32 (4):701-711.
- [9] K. H. Kim, J. W. Bae. Re-Marshaling Export Containers in Port Container Terminals [J]. Computers & Industrial Engineering, 1998, 35(3):655-658.
- [10] K. H. Kim, G. P. Hong. A Heuristic Rule for Relocating Blocks [J]. Computers & Operations Research, 2006, 33, 940-954.
- [11] Jean-Francois Cordean et al. Solving berth scheduling and yard management problems at the Gioia Tauro Maritime Terminal[J]. 2001.
- [12] Zhang C Q. Dynamic crane deployment in container storage yards[J]. Hong Kong University of science and Technology. 2000.
- [13] Murty.K.G, Liu.j, Wan Y. W, Zhang. C. Dss for operation in container shipping terminal[J]. Working paper. University of Michigan, Ann Arbor. 2000.
- [14] Kap Hwan Kim, Young Man Park, Kwang-Ryul Ryu. Deriving decision rules to locate export containers in container yards[J]. European Journal of Operational Research,(S0377-2217), 2000, 124(2): 89-101.
- [15] Y.Lee and N.-Y.Hsu. An optimization model for the container pre-marshalling problem[J]. Computer & Operations Research, 2007, 34: 3295-3313.
- [16] N.-Y.Hsu. An optimal network model for pre-marshalling in the container yard[J]. Master

- Thesis, Department of civil engineering, National Cheng Kung University, 2002.
- [17] 董琳, 刘庆敏, 王超, 王晓, 吕长虹. 集装箱翻箱问题的模型分析及算法[J]. 经济数学, 2006, 23(2):181-186.
- [18] 白治江, 王晓峰. 集装箱翻箱优化方案设计[J]. 水运工程, 2008, 4:57-61.
- [19] 郝聚民, 纪卓尚, 林焰. 混合顺序作业堆场 BAY 位优化模型[J]. 大连理工大学报. 2000, 40(1): 102-105.
- [20] 杨淑琴, 张运杰, 王志强. 集装箱堆场问题的一个数学模型及算法[J]. 大连海事大学学报. 2002, 28:115-117.
- [21] 李建忠. 码头堆场龙门起重机动态配置优化模型[J]. 交通运输工程学学报. 2005, 1(5): 70-74.
- [22] 李崑, 王新伟等. 基于混合优化策略的智能集装箱预翻箱系统[J]. 计算机应用研究, 2006, 2:171-174.
- [23] 张维英, 林焰. 出口集装箱堆场取箱作业优化模型研究[J]. 武汉理工大学学报. 2006, 4(2): 314-317.
- [24] 王斌. 集装箱码头堆场的一种动态随机堆存方法[J]. 系统工程理论与实践. 2007, 27(4): 147-153.
- [25] 宋寅卯, 袁端磊. 基于 PCNN 的迷宫最短路径求解算法[J]. 电路与系统学报, 2005, 10(3):72-75.
- [26] Xiao bin Wang, Hong Qu, Zhang Yi. A modified pulse coupled neural network for shortest-path problem[J]. Neurocomputing, 2009, 72: 3028-2033.
- [27] 何方国, 齐欢, 范琼. 有约束的随机最短路径问题模型及算法[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2008, 32(6):1125-1128.
- [28] 董继扬, 张军英, 陈忠. 自动波竞争神经网络及其在单源最短路径问题中的应用[J]. 物理学报, 2007, 56(9):5013-5019.
- [29] B. Zhang, H.T. Mouftah. A destination-driven shortest path tree algorithm[J]. Journal of high speed networks, 2006, 15(2): 123-130.
- [30] 彭真明, 蒋彪, 肖峻, 孟凡斌. 基于并行点火 PCNN 模型的图像[J]. 自动化学报, 2008, 34(9):1169-1173.
- [31] 赵荣昌, 马义德, 绽琨. 三态层叠 PCNN 原理及其在最短路径求解中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(9):1785-1789.
- [32] J L Johnson, M L Padgett. PCNN models and applications[J]. IEEE Trans on neural Networks, 1999;10(3):480-498.
- [33] 顾晓东, 张立明, 余道衡. 一定条件下 PCNN 动态行为的分析[J]. 计算机工程与应用. 2004;19:6-8.



- [34] Xiao Dong Gu, Dongheng Y, Liming Z. Image shadow removal using pulse coupled neural network[J]. IEEE Trans Neural Networks, 2005,16(3):692-698.
- [35] 马义德, 齐春亮. 基于遗传算法的脉冲耦合神经网络自动系统的研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(3):722-725.
- [36] 王云涛, 陈晓慧, 基于图论的铁路集装箱货场龙门起重机配置的研究[J]. 物流科技, 2008, 8: 47-50.
- [37] Ping Chen, Zhao Huifu, Andrew Lim. The yard allocation problem[J]. Eighteenth National Conference on artificial Intelligence. 2002,56-65.
- [38] X Liu and Wang D L. Range image segmentation using a relaxation oscillator networks[J]. IEEE Trans. Neural Networks, 1999,10(3): 564-573.
- [39] Y. Lee and N.-Y. Hsu. An optimization model for the container pre-marshalling problem[J]. Computer & Operations Research, 2007, 34:3295-3313.
- [40] N. Y. Hsu. An optimal network model for pre-marshalling in the container yard [D]. Master Thesis, Department of civil engineering, National Cheng Kung University, 2002.
- [41] Y. Hirashima, N. Ishikawa, K. Takeda. A new reinforcement learning for group-based marshaling plan considering desired layout of containers in port terminals [J]. Sensing and Control, 2006, 5: 67.
- [42] 周鹏飞. 面向不确定环境的集装箱码头优化调度研究[D]. 大连理工大学. 2005.
- [43] 计三有, 高悦文. 集装箱堆场减少倒箱率方法研究[J]. 水运工程, 2006, 8: 53-56.
- [44] Y. Lee, N. Y. Hsu. An optimization model for the container pre-marshalling problem [J]. Computer & Operations Research, 2007, 34:3295-3313.
- [45] 姚畅, 陈后金, 李居朋. 改进型脉冲耦合神经网络在图像处理中的动态行为分析[J]. 自动化学报, 2008, 34(10):1291-1297.
- [46] 顾晓东, 余道衡, 张黎明. 时延 PCNN 及其用于求解最短路径[J]. 电子学报, 2004, 9: 1441-1443.
- [47] 马义德, 李廉, 绽琨, 王兆滨. 脉冲耦合神经网络与数字图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2008, 275-285.
- [48] 赵荣昌, 马义德, 绽琨. 三态层叠 PCNN 原理及其在最短路径求解中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(9):1785-1789.
- [49] Gu X D, Yu D H, Zhang L M. Image thinning using pulse coupled neural network[J]. Pattern Recognition Letters, 2004,25(9):1075-1084.
- [50] Huang W, Jing Z L. Multi-focus image fusion pulse coupled neural network[J]. Pattern Recognition Letters, 2007,28(9):1123-1132.
- [51] Broussard R P, Rogers S K, Oxley M E et al. Physiologically Motivated Image Fusion for

- Object Detection using a pulse coupled neural network[J]. IEEE Trans. Neural Networks, 1999,10(3): 554-563.
- [52] J L John, D Ritter. Observation of periodic waves in a pulse-coupled neural network[J]. Opt Lett, 1993;18(15):1253-1255.
- [53] H S Ranganth, G Kuntimad. Object detection using pulse coupled neural networks[J] IEEE Trans on neural Networks, 1999;10(3):615-620.

## 附 录

### A. 作者在攻读学位期间发表的论文目录

- [1] 易正俊,江静,胡勇.堆场集装箱翻箱的 PCNN 优化控制算法.自动化学报. 2011.37(2):241-244.

### B. 作者在攻读学位期间参加的科研项目

- [1] 军工项目：车辆预先维修及事故预防系统，项目编号：JW20\*2008042.
- [2] 重庆市科技攻关项目：大型设备智能预防性维护与自动控制系统，项目编号：CSTC2009AC3037.