

集装箱堆场装卸设备智能化调度优化研究

张雪松

沈阳铁路局集团有限公司

摘 要: 针对集装箱堆场调度、装卸过程和自动化堆场的生产实际需求,结合水平运输集装箱卡车的配置方案,提出一种新的多约束条件的集装箱堆场优化调度算法。应用该算法,可将既定的作业资源科学合理地分配到生产的各个环节,实现作业资源的最大化利用。

关键词: 集装箱堆场; 调度; 自动化; 优化算法

Research on Intelligent Scheduling Optimization of Container Yard Handling Equipment

Zhang Xuesong

Shenyang Railway Bureau Group Co., Ltd.

Abstract: According to the actual production demand of container yard scheduling, handling process and automation yard, combined with the allocation scheme of horizontal container trucks, a new multi-constraint optimal scheduling algorithm for container yard is proposed. The established operational resources can be scientifically and reasonably allocated to all aspects of production through this algorithm, so as to maximize the utilization of operational resources.

Key words: container yard; scheduling; automation; optimization algorithm

1 引言

随着铁路集装箱运营量的提升,对集装箱堆场作业效率及吞吐容量有更高要求。相比成熟的国内外港口集装箱码头和铁路堆场,目前我国铁路集装箱运输中的生产组织调度、装卸设备使用过程仍以人工为主,效率低、成本高,安全得不到保障。铁路装卸生产组织间歇性较大,需根据列车车辆、货物抵达情况安排生产,装卸数量大,时间要求短,受外部影响较多,任何人员、设备、外部条件的变化,都会影响整个装卸作业过程,降低作业效率。

2 多约束条件的集装箱堆场设备智能调度优化算法

集装箱堆场作业资源的优化调度问题,是指把既定的作业资源,通过科学、合理的方法分配到生产的各个环节中去,努力使作业资源得到最大程度的利用。根据资源调度的内涵以及集装箱装卸作业特点,集装箱作业资源优化调度的核心主要是 RMG 和集卡的优化调度。假若没有一个合理的 RMG 作业调度计划,集卡可能会长时间在堆场等待,导致作

业效率降低^[1]。

针对 RMG 的资源配置问题,提出了一种多约束条件下 RMG 的任务分配与智能调度算法。分析影响 RMG 作业计划的因素,并提出 RMG 移动路径优化方案,以提高 RMG 作业效率。

2.1 影响 RMG 作业计划的因素

(1) 任务量。任务量指的是在一段时间内装卸集装箱的数量,当堆场面临较大的任务量时,堆场内 RMG 将会长时间投入工作,从而会有较高的效率和设备利用率;而当装卸数量较小时,必然会有 RMG 闲置或等待作业的情况,导致 RMG 的工作效率与机械设备的利用率降低,影响堆场的作业水平,降低整体效益^[2]。

(2) 任务作业排序。按照任务排序原则配置机械作业顺序装卸是机械作业的基本规则。集装箱堆场内 RMG 工作优先级设定不合理,会降低 RMG 利用率,甚至影响场地内流动运输机械的工作,导致堆场整体工作效率降低。

(3) 场内存放方法。场内存放方法,是指堆场内各类集装箱的存放布置和计划。根据集装箱在场内存放的时间、货主、目的等不同的要求,场内存放

方法将会决定集装箱在场内的位置及下次转运前的操作过程。堆场堆存方法的不同会直接影响各类型集装箱存储位置,进而影响 RMG 对集装箱的提取作业安排^[2]。

2.2 RMG 调度优化问题的描述

本算法是在装卸箱作业过程中,根据场内可以参与作业的 RMG 的数目以及任务顺序,在满足整体作业任务需求的前提下,确定执行作业的 RMG,规划其行驶路径,提取或放置相对应的目标集装箱,使 RMG 以最短移动距离、最少时间完成取箱任务。

根据场内集装箱存放的方法与规定,同一个平面位置上只能存放尺寸一致的集装箱,但可以码放多层。为了便于优化,根据作业流程,按照集装箱尺寸、重量将整个装卸任务划分为多个子任务,要求每个子任务需求的集装箱为同一种尺寸。堆场箱区内,每个贝位上仅堆存 1 类集装箱。同一类集装箱要求集装箱的尺寸、重量、存货种类和目的地等完全一致。由于在 1 个贝位上存箱数量较少(一般为 5 或 6 个),可能无法与子任务中的集装箱数量相匹配,所以 1 个子任务要求中涉及到的集装箱就会存放在多个贝位上^[2]。同时,也存在多个子任务同时涉及到同类型的集装箱,这样就出现了多对多的选择。

因此,RMG 调度优化问题就是确定 RMG 的编号、进行作业的贝位号序列和在对应贝位上需要提取的集装箱数量的问题,目标是使 RMG 在完成所有任务时总的移动距离最短。

3 装卸路径优化算法

针对箱 RMG 的运行路径规划问题,采用具有线性约束的混合整数规划模型,通过对作业任务、贝位、RMG 编号、作业顺序的综合分析,分别建立数学模型,用来表示制约 RMG 的作业的条件。

3.1 路径优化模型的边界条件

(1) 根据列车调度计划的集装箱运输图制定列车的集装箱装卸计划,将装卸计划按照集装箱类型分解成多个装卸子任务,每个子任务要求按计划顺序依次完成,即在前一个任务没有得到完成确认的情况下,后一个任务不允许执行。

(2) 指定贝位信息,贝位位于堆场平行于大车运行方向上,每个贝位的大小与一个 20 ft 集装箱尺寸一致,并将依次编号,40 ft 集装箱将占据 2 个相邻的贝位。不同类型的集装箱存放在不同的贝位,同种类的集装箱可能存放在不同的贝位,一个贝位只能堆放一类集装箱。

(3) 堆场内存放的集装箱种类和对应的初始数量与整个装车任务要求的集装箱种类和数量是完全一致的^[2]。

k : RMG 编号, $k=1,2,3,\dots,C$ 。

i : 贝位编号, $i=1,2,3,\dots,B$ 。

j : 子任务编号, $j=1,2,3,\dots,T$ 。

T : 任务被划分的子任务总数。

B : 堆放场地内划分的总贝位数。

C : 堆场内可供作业的 RMG 数量。

t_j : 子任务 j 要求的集装箱提取量。

B_i : 贝位 i 集装箱的初始堆存量。

Q_j : 矩阵 Z_{ij} 中第 j 列中非零项所在行即贝位号的集合, $i=1,2,3,\dots,B$; $j=1,2,3,\dots,T$ 。

α_j : Q_j 中最大的数值元素,即任务 j 作业中涉及到的最大贝位号码, $j=1,2,3,\dots,T$ 。

β_j : Q_j 中最小的数值元素,即任务 j 作业中涉及到的最小贝位号码, $j=1,2,3,\dots,T$ 。

B_j : 由 α_j 和 β_j 组成的元素集合, $j=1,2,3,\dots,T$ 。

$d_{mn} = |m-n|$: 表示贝位 m 与贝位 n 之间的距离。

$d_{ki} = |k-i|$: 表示 RMG k 的实时位置与贝位 i 之间的距离。

决策变量:

x_{ij} : 任务 j 在贝位 i 上取箱数量,当任务 j 不可在贝位 i 上取箱时, $x_{ij} = 0$, 并且 $x_{i,T+1} = bi, x_{B+1,j} = t_j$ 取正整数

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1 & x_{ij} \text{ 为正整数} & i = 1,2,3,\dots,B \\ 0 & x_{ij} = 0 & j = 1,2,3,\dots,T \end{cases} \quad (1)$$

$$S_{pj} = \begin{cases} 1 & \text{RMG 束子任 } j \text{ 的位是 } p \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$e_{qj} = \begin{cases} 1 & \text{RMG 束子任 } j \text{ 的位是 } q \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

$$Y_{mnj} = \begin{cases} 1 & e_{mj} = 1 \text{ 且 } S_n, j+1 = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

3.2 模型建立

模型建立主要有 2 个步骤。

步骤一: 确定每个子任务所包含的贝位号码及每个贝位上需要作业的箱的数量。

目标函数:

$$\min \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^T Z_{ij} \quad (5)$$

$i = 1,2,3,\dots,B; j = 1,2,3,\dots,T$

表示在完成所有子任务时 RMG 所经过的贝位最少,根据现场实际作业情况,其中一定存在一条路径,使 RMG 满足完成所有任务时运行的总距离最短。

约束条件:

$$\sum_{j=1}^T x_{ij} = b_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, B; j = 1, 2, 3, \dots, T \quad (6)$$

表示子任务取箱量的约束,保证每个子任务都被完成。

$$\sum_{i=1}^B x_{ij} = t_j \quad i = 1, 2, 3, \dots, B; j = 1, 2, 3, \dots, T \quad (7)$$

表示作业区域内原有的集装箱量与所有子任务要求的提取量一致。

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1 & x_{ij} \text{ 为正整数} \\ 0 & x_{ij} = 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, \dots, B \\ j = 1, 2, 3, \dots, T$$

表示满足以上边界条件的解中,RMG 是否在指定子任务 j 中指定贝位 i 上提取集装箱。

该模型求出的结果是在满足约束条件的情况下, RMG 完成整个装卸任务所需要作业的贝位数量最少、总行走距离最短的解。继续进行求解,建立下个过程的数学模型,得出在取箱贝位号和数量固定的情况下, RMG 行走路径最短的贝位号序列^[2]。

步骤二: 确定 RMG 的编号及进行作业的贝位号顺序。

对于 RMG 的选取和作业贝位的顺序而言,只要根据 RMG 和目标贝位之间的实时距离,选择完成距离较近的 RMG 编号,再判断该任务是否可以在目标贝位上作业,然后选择进行作业的顺序即可。

目标函数:

$$\min |dpk| \\ p = 1, 2, 3, \dots, B; k = 1, 2, 3, \dots, C \quad (8)$$

$$\min \sum_{m \in B_j} \sum_{n \in B_{j+1}} \sum_{j=1}^{T-1} Y_{mn} d_{mn} \\ j = 1, 2, 3, \dots, T \quad (9)$$

表示距离初始贝位 p 最近的 RMG k ,以及在完成所有子任务时场桥在子任务间移动的距离最小。

约束条件:

$$\sum_{j=1}^{T-1} Y_{mj} = T - 1 \quad m \in Q_j, n \in Q_{j+1} \quad (10)$$

表示每个子任务只能从 1 个贝位开始到 1 个贝位结束。

$$\sum_{p \in B_j} S_{pj} = 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, T \quad (11)$$

表示 RMG 在进行子任务 j 时从贝位 p 开始作业。

$$\sum_{q \in B_j} e_{qj} = 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, T \quad (12)$$

表示 RMG 在进行子任务 j 时从贝位 q 结束作业。

$$Y_{mnj} = \begin{cases} 1 & e_{mj} = 1 \text{ 且 } S_n, j + 1 = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \\ j = 1, 2, 3, \dots, T \quad (13)$$

0~1 变量表示 RMG 在作业子任务 j 时从贝位 m 开始和在贝位 n 结束。

$$d_{mn} = |m - n|$$

$$m = 1, 2, 3, \dots, B; n = 1, 2, 3, \dots, B \quad (14)$$

表示贝位 m 和 n 间的距离。

根据步骤一建立的线性约束混合整数规划模型,首先确定整个装卸作业任务需要涉及多少集装箱装卸,以及这些集装箱对应位置的贝位、排位号码,即可确定每个子任务内 RMG 需要作业的贝位号、排位号。在步骤二中,将可作业的 RMG 数量进行确定,定义为单台和多台 2 种情况进行求解,以完成任务所需消耗的能量最小(即 RMG 各机构运行总距离)为目标,挑选出进行作业的 RMG,再确定 RMG 在进行任务时作业贝位号的顺序。RMG 作业的移动有 2 种情况:第一种是完成子任务所需要的移动,即从任务中目标位置到目的位置的移动;第二种是完成子任务后到下一个子任务的目标位置间的移动。显然,在完成子任务所需要的移动中, RMG 按贝位号大小依次作业时所移动的距离总和最小,即 RMG 按照该子任务需要作业的贝位号从小到大或者从大到小依次作业时,比随机选择贝位进行作业时移动的总距离短^[2]。

由于可以完全确定一个子任务内部 RMG 如何才能取得最小移动距离的方法,要使参与整个装卸任务的所有 RMG 的整体移动距离最短,即要求每台 RMG 在子任务间移动距离最短。结合步骤一中求得的取箱数量,最终获得与初始贝位距离最近的 RMG 进行作业任务时作业的贝位号序列和对应贝位上的取箱数量。

4 结语

该系统着眼于现代铁路集装箱堆场装卸作业发展方向,通过理论分析、技术设计、现场试验相结合的方式,对铁路集装箱堆场装卸作业自动控制中的 RMG 智能调度技术进行深入的理论研究,构建智能调度系统,实现堆场自动化智能管理。

参考文献

- [1] 李磊.集装箱港口堆场资源调度的优化[D].天津:天津理工大学,2009.
- [2] 周文杰.集装箱码头场桥调度优化模型与算法研究[D].大连:大连海事大学,2015.

张雪松: 110000,沈阳市和平区太原北街 4 号

收稿日期: 2019-01-07

DOI: 10.3963/j.issn.1000-8969.2019.04.016