

# 基于SP-AS/RS与ASC的自动化码头协同调度研究

周可可\*

科大智能机器人技术有限公司, 上海 201600

**摘要:** 在船舶大型化、集装箱码头规模不断扩张的背景下, 提高集装箱的周转效率, 降低船舶的停泊时间等已成为自动化码头关注的主要问题, 研究高效率的装卸作业系统协同调度是提高码头整体运作效率的重要途径。

**关键词:** 自动化码头; 作业时间窗; 遗传算法; 协同调度

## 一、引言

海上运输事业的快速发展对集装箱码头作业提出了更高的要求, 在提高装卸效率的同时兼顾降本节能的目标, 实现码头绿色可持续发展。自动导引车 (Automated Guided Vehicle, AGV) 作为码头无人驾驶的水平搬运设备, 沿既定路径水平运输集装箱, 在码头降本增效方面发挥重要作用。双小车岸桥是集装箱码头的主要设备, 由门架小车、中转平台和主小车组成。双小车岸桥和AGV相互配合可以减少作业等待时长, 提高效率<sup>[1]</sup>。

## 二、问题描述与建模

### (一) 问题描述

集装箱码头作业过程中各设备相互配合, 共同完成既定的装卸任务: 双小车岸桥和场桥负责集装箱垂直运输, AGV负责集装箱水平搬运<sup>[2]</sup>。随着任务数量增多, 各设备之间可能会出现因衔接不当而导致等待的现象, 造成资源浪费。当运行AGV数量增大时, 还可能发生运行路径冲突, 甚至造成码头运行系统瘫痪, 严重影响码头运作效率。AGV水平作业区域码头各路径节点 (AGV改变行驶方向或改变作业状态的点) 位置布局, 其中, 表示具有多个方向的路径节点、表示场桥节点、表示岸桥节点、表示单一方向路径节点<sup>[3]</sup>。

集装箱码头作业流程可分为卸船过程和装船过程: 卸船作业是双小车岸桥主小车将集装箱从船上任务贝位运送到岸桥中转平台, 再由岸桥门架小车将集装箱从中转平台运送到AGV上并由其运送到对应缓冲支架上, 最后由场桥运送至堆场相应位置堆放, 装船过程则与之相反。

### (二) 符号说明

$I$ 为所有任务的集合,  $I = \{1, 2, \dots, N\}$ ; 集合 $I^+ = \{1, 2, \dots, N, N+1, N+2\}$ , 其中 $N+1$ 和 $N+2$ 分别为虚拟开始任务和虚拟结束任务;  $K$ 为AGV集合,  $K = \{1, 2, \dots, |K|\}$ ,  $k \in K$ ;  $C$ 为充电任务集合 (未知),  $C = \{N+3, N+4, \dots\}$ ;  $M$ 是一个足够大的数;  $L_{ij}$ 为从任务 $i$ 的交付点到任务 $j$ 的装载点之间的距离;  $L_i$ 为从任务 $i$ 的装载点到任务 $i$ 的交付点之间的距离;  $T_{ij}$ 为AGV从任务 $i$ 的交付点到任务 $j$ 的装载点的时间;  $T_i$ 为AGV从任务 $i$ 的装载点到任务 $i$ 的交付点的时间;  $t_{ik}$ 为AGV $k$ 针对任务 $i$ 的装卸作业时间;  $b$ 为充电时间参数, 为充电时间与充电电量的比值;  $a$ 为 $[0, 1)$ 之间的常数, 表示AGV最低剩余电量占电池充满电时电量的比值;  $G$ 为AGV续航能力;  $x_{ijk}$ 为01变量, 若AGV $k$ 完成任务 $i$ 后紧接着去执行任务 $j$ 则取1, 否则取0;  $y_{ik}$ 为01变量, 若AGV $k$ 执行任务 $i$ 则取1, 否则取0;  $q_{ik}$ 为AGV $k$ 到达任务 $i$ 的装载点时的剩余电量;  $Q_i$ 为充电任务 $i$ 的目标电量;  $Q$ 为电池充满电时的电量;  $f$ 为完成最后一个任务的时刻;  $Z_i$ 为任务 $i$ 的开始时刻;  $d_{ik}$ 为AGV $k$ 完成任务 $i$ 的累计行驶路程;  $R_k$ 为AGV $k$ 的实际行驶路程;  $S_k$ 为AGV $k$ 的理论可行驶路程;  $r$ 为AGV的充电利用率。

### (三) 解码

先将 $N$ 个任务分配给 $|K|$ 辆AGV, 然后按照每辆AGV获得的任务进行解码。各AGV在被分配任务后, 对任务按任务编号由小到大排序, 接着根据任务顺序进行作业, 这样既满足了任务的分配, 也考虑了任务本身的顺序。染色体的解码过程如图3所示, 其中 $m$ 表示任务 $N-4$ 之前的任务编号。每辆AGV的任务及其顺序确定后, 结合模型得到其执行

\*通讯作者:周可可, 1987年8月, 男, 汉族, 上海松江人, 现任科大智能机器人技术有限公司技术主管, 中级机械工程师, 硕士。研究方向: 移动机器人驱动系统及调度系统应用。

完任务后的累计行驶路程以及执行每个任务的开始时刻, 根据式(7)和(8), 得到所有任务完成时间。

#### (四) 模型假设

对于自动化码头的集装箱任务量通常是已知的, 并且根据集装箱的堆存位置可以得到SP-AS/RS设备中相应VP与HP的运行时间以及ASC的选择与路程确定, 综上对进行的研究进行假设: 1) 每个任务的起点和终点已知, 并且每个SP-AS/RS机架的缓存区存放集装箱最大容量为2。2) 每个装载任务中目标存储单元存在集装箱; 每个卸载任务中目标存储单元为空。3) 对于QC, ASC, HP与VP, 空载或负载时运输时间不变。4) 不考虑ASC之间的拥堵问题。5) 所有设备在完成每个任务后都遵循停在原位的停留策略, 即不再回到任务的起点位置, 任务结束即在原位停止, 等待下一任务。6) 每两台机架间的各个HP在进行装卸集装箱时互不影响。

#### (五) 关键技术创新

1. 传统工艺采用轨道槽式钢板定位螺栓锚固系统, 新型工艺采用压板扣件系统支撑, 压板扣件系统外形及结构合理可靠, 不与设备导向轮发生干涉, 针对设备重载高速运行的特点, 具备缓冲吸能能力, 减小设备运行震动与冲击, 使高速重载起重机轨道具有抵抗垂直、水平力的能力。

2. 创新轨道安装工艺, 采用了60cm间距的轨下压板扣件作为整条轨道的支撑灌注胶泥前一步的轨道调整以及固定成为安装重点。自主研发的龙门架经过三次革新, 具备了重量轻、操作简便、功能齐全的功效, 为自动化码头新型轨道的安装提供了便利的工具, 有力地保证了新型轨道工艺的安装精度。

3. 新型环氧基胶泥的使用, 跟传统的水泥基胶泥相比具有化学性能稳定、耐腐蚀性好、强度高和粘结力强的特点。

4. 新型铝热焊接工艺。钢轨铝热焊是目前世界各国普遍采用的无缝线路联合接头焊接方法, 铝热焊法是以设备简单、不需电源、操作简便著称。实践证明, 对于钢轨这种具有端面较为复杂、含碳量高的特点, 使用铝热焊可使接头平顺性好。

#### 三、基于遗传算法的网络高覆盖率资源优化调度

在AVG通信环境下进行网络信息资源优化调度, 首先对网络资源使用虚拟化技术, 即使网络资源处于独立的状态, 在此基础上将资源计算任务分配给一种最优调度机制的节点上<sup>[4-5]</sup>。考虑到网络运行、带宽使用率和网络带宽等因素, 在网络信息优化调度模型的构建过程中, 融入测评模型, 依据网络节点情况来预测任务执行的速度, 其过程如下: 在AVG通信环境中服务器运行所有虚拟机的计算能力是通过多个角度来计算的, 根据当前的实际网络约束条件, 分别为网络CPU中网络虚拟机的内存和硬盘测评价值权重, pb代表网络带宽测评价值权重。

#### 四、实验结果

本文根据ASC自主装卸集装箱与SP-AS/RS减少翻箱率与增加存储容量的特点, 考虑ASC与SP-AS/RS在同装同卸的时间窗为约束, 建立以ASC与SP-AS/RS的最小工作时间、QC最小延时等待时间为目标的MIP模型。改进IGA对模型进行求解, 并采用搜索算法与SAA在集装箱任务量为8~12的情况下与IGA求得的解的质量与求解速度进行对比, 结果表明IGA在合理时间的内得到了较好的运算结果, 相对于SAA提升了41.9%; 在不同的规模下比较了ASC+SP-AS/RS、AGV+SP-AS/RS的组合两种装卸流程下解的质量, 当任务量在10至20之间时, AGV+SP-AS/RS的组合装卸效率相对于ASC+SP-AS/RS的装卸效率平均提升了1.29%。

#### 五、结束语

为了提升资源调度效果, 解决传统方法存在的网络覆盖率资源不完善和资源调度效率慢的不足, 本文提出了一种基于AGV通信的网络高覆盖率资源优化调度方法。通过实验结果可以得出: 本文方法下网络资源拥塞率最高仅为16%, 远低于传统方法, 低拥塞率有助于提高资源调度的效率, 进而说明本文方法具有较高的调度效率; 运用本文方法调度后的网络资源较为完整, 分组投递能力也较为优秀, 鲁棒性强, 网络资源吞吐率较高, 充分验证了该方法的有效性。

#### 参考文献:

- [1]赵斌,马稔.自动化码头岸边集装箱起重机控制技术[J].港口装卸,2019(05):35-37.
- [2]元征,毛浩,邵青岭.集装箱自动化码头闸口总体布置研究[J].港工技术,2019,56(05):27-30.

- [3]周宇涛,宋海涛,王吉升,李海洋.集装箱自动化码头配载系统应用[J].水运工程,2019(10):21-25.
- [4]黎锐志.集装箱自动化码头发展趋势分析[J].经济管理文摘,2019(19):175-176.
- [5]刘小燕,徐春晖,梁跃,王骏,张晓龙.“E-核载”系统在自动化码头的的应用初探[J].航海,2019(05):31-33.