

文章编号:1003-207(2016)zk-0217-08

## 基于堆场可存储位置动态变化的集卡调度智能优化

张芳芳,牛 奔,李 丽,吴 浪

(深圳大学管理学院,广东 深圳 518060)

**摘 要:**在港口作业过程中,集卡作为一种重要的基础设施工具,在港岸和堆场之间起着运输集装箱的重要作用。同时,作为集装箱的存储、转运基地,堆场空间安排的科学性、有效性是影响集卡运输,乃至整个港口运作的关键因素。传统的关于集卡调度的研究往往建立在堆场可用位置静态化的基础上,但是在现实环境中,堆场的可用位置是随着集装箱的进出口作业动态变化的。本文在考虑堆场可用位置动态变化的基础上,对集卡调度问题进行了研究。鉴于调度问题是典型的 NP-hard 问题,以及粒子群优化算法(PSO)在应用问题求解上的较好表现,本文采用四种不同改进机制的 PSO 算法对此问题进行优化求解,并对其优化效果进行对比分析。

**关键词:**堆场;集卡调度;智能优化

**中图分类号:**C931.1

**文献标识码:**

### 1 引言

港口物流是指中心港口城市利用其自身的口岸优势,以先进的软硬件环境为依托,强化其对港口周边物流活动的辐射能力,突出港口集货、存货、配货特长,以临港产业为基础,以信息技术为支撑,以优化港口资源整合为目标,发展具有涵盖物流产业链所有环节特点的港口综合服务体系<sup>[1]</sup>。

水上运输的发展,使中国港口吞吐量大幅增长。中国产业信息网的数据显示,2012年,全国港口完成货物吞吐量107.76亿吨,其中,沿海港口完成68.80亿吨,内河港口完成38.96亿吨;2013年,全国港口完成货物吞吐量117.67亿吨,较上年增长9.2%。其中,沿海港口完成75.61亿吨,内河港口完成42.06亿吨,分别增长9.9%和7.9%;2014年,全年全国港口完成货物吞吐量124.52亿吨,较上年增长5.8%。其中,沿海港口完成80.33亿吨,内河港口完成44.19亿吨,分别增长6.2%和5.1%。2005—2015年全国港口完成货物吞吐量。

其中,集装箱的运输占有很大的比重。2013年,全国港口完成集装箱吞吐量1.90亿TEU,比上年增长7.2%。其中,沿海港口完成1.70亿TEU,内河港口完成2053万TEU,较上年分别增长7.4%和5.3%;2014年,全国港口完成集装箱吞吐量2.02亿TEU,较上年增长6.3%。2015年,全国港口完成集装箱吞吐量2.12亿TEU,较上年增长4.5%。其中,沿海港口完成1.89亿TEU,内河港口完成2249万TEU,较上年分别增长4.0%和8.9%。随着集装箱运输压力的增大以及各个港口之间日益增大的竞争,现有的港口必须对集装箱作业过程进行优化管理,才能保持竞争优势。

在港口作业运作过程中,港岸起重机、场内移动起重机、集卡作为三种重要的基础工具,起着重要的作用。其中,集卡作为一种动态的运输工具,在装卸货过程中,是连接港口前沿和堆场的重要工具,起着重要的中介作用。集卡调度安排科学性,直接关系到整个港口业务的运作效率。从研究范围来看,目前国内外对集卡调度的研究主要分为以下几类:

#### 1)对集卡调度问题的独立研究

Chen等人<sup>[2]</sup>采用贪婪算法,以最短时间完成整个作业序列为目标,较早的开始了对港内集卡调度问题的研究。Shang<sup>[3]</sup>提出了一个混合整数规划模型,对集卡的数量规模和工作的分配问题进行了研究。Zheng等人<sup>[4]</sup>建立了适应性更广的动态集卡调度模型,旨在减少集卡荷载率和缩短任务的处理时间。为了减少集卡排队等待时间和拥堵期间的碳排

收稿日期:2016-06-03;修订日期:2016-08-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71571120, 71271140, 71471158, 71461027);广东省自然科学基金资助项目(2016 A030310074);深圳大学学生创新发展基金重点资助项目(16XSCX04)

作者简介:张芳芳(1990—),女(汉族),河南洛阳人,深圳大学管理学院,研究生,研究方向:智能管理。

放,曾庆成等人<sup>[5]</sup>针对集装箱码头闸口拥堵问题,建立了集卡预约优化模型。该模型在给定的集卡到达调整量水平的限制下,确定了每个时段最优的预约份额,同时利用非平稳排队模型描述了集卡到达随时间变化的特点。

## 2)对集卡调度和其它子问题联合研究

港口运作问题包括泊位分配、港岸起重机调度、场内移动起重机调度、集卡调度和堆场空间优化等子问题。

Bish 等人<sup>[6]</sup>最早将集卡调度问题和堆场存储安排问题作为一个整体进行研究。徐远琴等人<sup>[7]</sup>建立了以等待岸桥、场桥作业时间与集卡运输时间之和最小为目标的联合调度优化模型,为集装箱码头装卸作业调度提供了决策支持。从不确定性的角度出发,樊陆彬等人<sup>[8]</sup>主要考虑了码头装卸设备运行参数的概率分布,研究了岸桥和集卡之间的协调调度问题。Niu 等人<sup>[9][10]</sup>,利用智能优化算法对集卡、堆场联合决策问题进行了求解优化。邢曦文等人<sup>[11]</sup>考虑了集装箱码头现实作业中预定义顺序、避免岸桥交叉作业、以及取决于作业顺序的切换时间等现实约束,基于多阶段混合流水线调度问题,建立混合整数规划模型,同时针对问题自身的特点设计了两阶段启发式算法,得出了各阶段设备的指派结果及作业顺序。

目前,关于集卡调度的独立研究和联合调度研究,已经取得了一定的成果。其中,关于考虑了堆场环境的集卡调度问题的研究,大都停留在静态的堆场存储位置假设的基础上。但在实际生活中,由于堆场内的进口集装箱和出口集装箱的数量是动态变化的,也就是说,随着集装箱的进出,堆场内的可存储位置处于不断更新的状态。

为了使研究更加贴近实际,本文在考虑了堆场可存储位置动态变化因素基础上,对集卡调度问题进行了研究。

调度优化问题是 NP-hard 问题<sup>[12]</sup>,本文研究的问题也是如此。关于集卡调度问题的求解,很多学者进行了不同的尝试。其中,启发式算法被广泛应用到了此类问题的研究中,并且取得了较好的优化效果,例如基因算法<sup>[13][14]</sup>,细菌觅食优化算法<sup>[9]</sup>。

作为启发式算法的重要组成部分,粒子群优化算法(PSO)在应用问题的求解中也有广泛的应用<sup>[15][16][17]</sup>。PSO 算法<sup>[18]</sup>是由 Kennedy 于 1995 年,受鸟群捕食行为的启发提出的。随后,很多学者对 PSO 的算法机制进行了研究,提出了基于不同策

略的改进的 PSO<sup>[19][20][21]</sup>算法。为了进一步对 PSO 算法进行研究以及验证其在集卡调度问题上的应用表现,本文采用了四种基于 PSO 改进的算法,对本文所研究的基于堆场可存储位置动态变化的集卡调度问题进行优化求解。

## 2 问题简介

港口集装箱物流系统是一个动态离散的系统,由于堆场集装箱实时的进出口操作,使得堆场可用于存放集装箱的位置处于动态的变化之中。传统的关于集卡调度的研究,往往建立在可存储空间静态不变的基础上,这在实际应用中存在一定的局限性。

与传统的集卡调度不同,本文主要研究基于堆场可存储位置动态变化的集卡调度问题,更具有实际意义。

图 1 展示了一个堆场存储位置动态变化的场景。在此场景中,存在三个港岸起重机(两个负责卸载任务、一个负责装载任务)。堆场用一个  $3 \times 5$  的矩阵表示。在初始阶段,堆场中,存在六个( $L_{11}$ ,  $L_{14}$ ,  $L_{15}$ ,  $L_{32}$ ,  $L_{33}$ ,  $L_{35}$ )可用于存放集装箱的位置,如图 1(a)所示。随着出口业务的发生,新增四个( $L_{13}$ ,  $L_{21}$ ,  $L_{23}$ ,  $L_{25}$ )可用于存放集装箱的位置,同时,随着进口业务的发生,两个存储位置( $L_{14}$ ,  $L_{35}$ )被占用,如图 1(b)所示。以此类推,堆场可用于存储集装箱的位置的数量,一直处于动态的变化之中,从 1(a)至 1(c),可用于存储的位置个数分别为 6,8,5。

明显,这样的调度安排更加符合现实,在堆场空间利用方面更具优势。本文在问题的研究中,引入了随机释放的概念,即每隔一个固定的时间间隔,随机释放掉一些存储位置,使其变为可存储状态,这样就模拟了堆场可存储空间动态变换的环境。

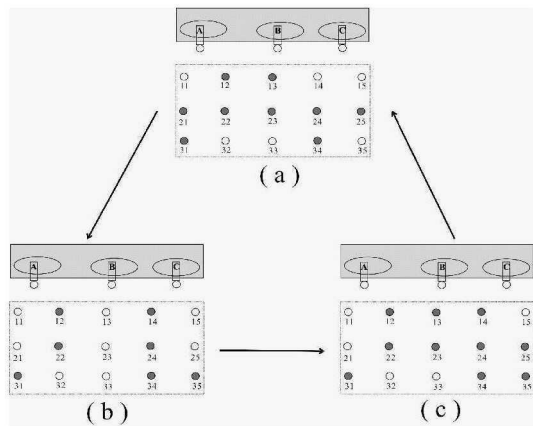


图 1 堆场可存储位置动态变化的集卡调度

### 3 问题建模

#### 3.1 模型假设及约束条件

本问题的目标函数为 *Minimize*,即将所有任务完成所需时间最小化。

结合先前学者对集卡调度问题的研究<sup>[14][22]</sup>,相关假设条件如下:

- 1)在运作过程中,不存在交通堵塞的现象;
- 2)港岸起重机和场内移动起重机可随时使用,不存在等待的现象;

- 3)可供使用的集卡的数量是一定的;
- 4)一辆集卡在同一时间只能运载一个集装箱;
- 5)每个任务的承载点和卸载点是已知的;
- 6)负载和空载集卡的运行速度是相等的。

主要相关约束条件如下:

- 1)在开始加工前,所有任务都是等待被执行的;
- 2)一个任务只能被一个集卡执行;
- 3)一个集卡每次只能运载一个集装箱;
- 4)每个集装箱只能被放在一个存储位置上;
- 5)相互关联的时间要符合逻辑要求。

#### 3.2 变量描述

$Z$  完成所有任务的总时间

$\alpha_1$  延迟时间的权重

$\alpha_2$  运载过程时间的权重

$n$  需要被运输的集装箱数量

$m$  可使用的集卡的数量

$i, j$  任务的索引

$L_m$  集卡的初始位置

$r_m$  集卡的出发时间

$P_i$  任务  $i$  的起点位置

$d_i$  任务  $i$  的延迟时间

$c_i$  任务  $i$  的完成时间

$[a_i, b_i)$  软时间窗,表示一个时间段,其中  $a_i$  是最早开始时间,  $b_i$  是最晚执行时间

$t_i$  集卡从任务  $i$  的起点到终点所用的时间  
= 0, 否则

$x_{ik}$  = 1, 如果任务  $i$  被存放在位置  $k$   
= 0, 否则

$X_{ijm}$  = 1, 如果集卡  $m (\forall m \in M)$  做完任务  $i$  后, 执行任务  $j$   
= 0, 否则

$Y_{im}$  = 1, 如果集卡  $m (\forall m \in M)$  执行的是任务  $i$   
= 0, 否则

$S_{ij}$  完成任务  $i$  所在的位置到任务  $j$  的承载点的时间

#### 3.3 模型构建

任务完成的总时间,主要有两部分组成:时间延迟、任务的实际运载时间。Ng 等人<sup>[13]</sup>在考虑了处理时间时序依赖关系和不同可操作时间的基础上,建立了混合整数规划模型,对集卡的调度问题进行了研究。但是,Ng 等人仅仅基于静态的存储位置数据对集装箱的卸载任务进行了研究,但没有考虑因出口任务的执行所产生的存储位置的动态变化的因素。本文在此模型的基础上,考虑了堆场可存储位置动态变化的因素,提出了本文所研究的问题模型,具体如下。

$$\text{Minimize} : Z = \alpha_1 \sum_{i \in N} d_i + \alpha_2 \left( \sum_{i \in N} t_i + \sum_{i, j \in J} s_{ij} X_{ijm} \right) \quad (1)$$

$$\sum_{m=1}^M Y_{im} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{N+1} \text{and } i \neq j X_{ijm} \leq Y_{im} \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N \text{and } i \neq j X_{ijm} \leq Y_{im} \quad \forall i \in N \quad (4)$$

$$1 \geq X_{ijm} + X_{jim} \geq Y_{im} + Y_{jm} - 1 \quad \forall i, j \in N \text{ and } i \neq j; \quad \forall m \in M \quad (5)$$

$$w_i + S_{ij} + t_i \leq K(1 - X_{ijm}) + w_j \quad \forall i, j \in N \quad (6)$$

$$a_i + d_i \leq c_i \quad \forall i \in N \quad (7)$$

$$r_m + t_{L_m, P_i} + d_i \leq c_i \quad \forall i \in N; \quad \forall m \in M \quad (8)$$

$$X_{ijm} Y_{im} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N - 1; \quad \forall j \in N; \quad \forall m \in M \quad (9)$$

$$w_j \geq 0, \quad Z \geq 0 \quad (10)$$

约束(1)对本文研究的调度问题的目标进行了定义。约束(2)保证了每个任务只能由一辆集卡车来进行完成。约束(3)至约束(5)对由同一辆集卡车进行作业的前后任务之间的关系进行了限制。约束(6)从单个任务的完成时间的角度,对前后相邻任务之间的时间关系进行了定义。约束(7)定义了任务的最早开始时间、延迟时间、任务完成时间之间的关系。约束(8)定义了任务开始时间、空载时间、延迟时间和完成时间的关系。约束(9)至约束(10)定义了一些简单的变量的范围。

### 4 粒子群优化算法简介

Kennedy 基于鸟群觅食行为,提出了粒子群优化(PSO)算法<sup>[18]</sup>。PSO 算法是一种基于种群的随机搜索算法,属于智能优化算法。随后,为了在全局学习能力和局部学习能力之间建立一个最优平衡点,Shi 等人<sup>[23]</sup>引入了惯性权重参数,对该算法进行

了改进,提出了标准的 PSO 算法 (SPSO)。SPSO 算法的核心更新机制,如下所示。

$$V_{id} = w * V_{id} + c_1 * rand() * (P_{id} - X_{id}) + c_2 * rand() * (P_{gd} - X_{id})$$

(1)

$$X_{id} = X_{id} + V_{id}$$

(2)

其中,矢量  $P_{id} - X_{id}$  代表个体粒子当前的位置 ( $X_{id}$ ) 和该个体之前到达的最佳位置 ( $P_{id}$ ) 之间的距离;矢量  $G_{gd} - X_{id}$  代表粒子当前的位置 ( $X_{id}$ ) 和这个群体粒子曾到达的最好位置 ( $P_{id}$ ) 之间的距离;  $C_1$ 、 $c_2$  是两个正常数,分别是个体学习因子和社会学习因子;  $rand()$  是一个 0 到 1 之间的随机数;  $w$  是惯性权重。

5 PSO 算法在集卡调度问题上的应用

PSO 算法的设计适用于对连续问题的求解,本文所涉及的调度问题是典型的离散问题。

为了使 PSO 算法能够用于本文问题的求解,必须按照一定的规则,首先对 PSO 的粒子进行编码和解码,从而实现“位置矢量”到“可行调度方案”的映射。在我们之前的研究中,曾对这种方法进行过探讨<sup>[24][25]</sup>。

5.1 映射方案

为了保证调度问题和粒子的对应关系,我们需要将连续粒子位置  $X_i^j = [X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{i(n)}]$  通过合适的映射关系,映射转换为任务序列  $\pi_i^j = [\pi_{i1}, \pi_{i2}, \dots, \pi_{i(n)}]$ 。我们采用随机密钥表示<sup>[26]</sup>和最小位置值 (SPV)<sup>[27]</sup> 规则来实现映射的过程。

表 1 粒子  $X_i$  的方案表示

$j$	1	2	3	4	5	6
$X_{ji}$	2.34	0.03	3.13	0.78	-1.57	1.87
$\pi_{ji}$	5	2	6	3	1	4

表 1 展示了 PSO 算法中,粒子位置和相对应的调度序列之间的关系。根据 SPV 规则,最小的粒子位置值是一 1.57,在调度过程中,第五个任务 ( $j=5$ ) 会被优先处理。次小值为 0.03,对应的是第二个任务 ( $j=2$ ),处于任务序列的第二位,以此类推。

在编码过程中,每个粒子所包含的信息必须包含三个方面:

- 任务的顺序安排
- 堆场可供存储的位置
- 每辆集卡的工作量安排

于是,我们定义每个粒子的位置矢量  $\pi_i(n+m)$  是一个  $n+m$  维矢量。 $\pi_i(n+m)$  的前  $n$  维,代表了

任务的顺序安排,用正数表示。 $\pi_i(n+m)$  的后  $m$  维  $\pi_i^m = [\pi_{i(n+1)}, \pi_{i(n+2)}, \dots, \pi_{i(n+m)}]$  表示每个集卡的工作量安排。如图 2 所示。

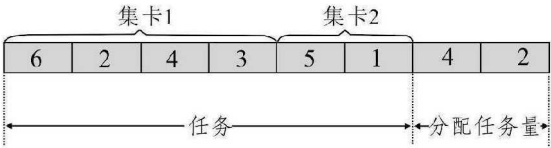


图 2 方案实例

通过编码和解码,最终我们可以得到优化后的调度方案。如图 2 所示实例,安排两辆集卡来完成六个任务。其中,集卡 1 被分配了四个任务,集卡 2 被分配了两个任务。那么,集卡 1 将会按照任务序列 6,2,4,3 的顺序完成任务,集卡 2 将会按照任务序列 5,1 的顺序完成任务。得到的调度方案为:

$$L_1 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3$$

$$L_2 \rightarrow 5 \rightarrow 1$$

5.2 实例求解

我们选取了五个不同规模的集卡调度问题的算例,进行对比分析,如表 2 所示。在 Matlab R2011a 中进行求解,计算机的运行环境为: Intel Core i5 2.20 GHz、4GB RAM。

表 2 实例规模

实例	任务数	集卡数
1	9	3
2	30	10
3	60	15
4	160	30
5	300	40

除了 SPSO 算法外,我们引入了三个基于 PSO 算法改进的算法,分别为:社会学习的粒子群优化算法 (SLPSO)<sup>[19]</sup>、全面学习的粒子群优化算法 (CLPSO)<sup>[20]</sup> 和局部学习的粒子群优化算法 (LPSO)<sup>[21]</sup>,来对所研究的问题进行求解。三种改进的 PSO 算法的核心更新公式,详见表 3。

算法实验主要参数设计如下:种群数量为 100,加速常数  $c_1 = c_2 = 2$ 。实验运行次数为 20 次,迭代/趋化次数为 1000。

调度初始数据参数设计如下:集卡的初始位置和卸货位置为  $0 * 0m^2$  和  $1500 * 1500m^2$  之间随机产生的二维坐标,任务的最早可执行时间为均匀分布

$\cup(0,1500)$ (单位:秒)产生的随机值,任务的到期时间为均匀分布 $\cup(200,500)$ (单位:秒)产生的随机值<sup>[22]</sup>。集卡的速度为 11.11m/s,权重  $\alpha_1$  为 0.6, $\alpha_2$  为 0.4<sup>[12]</sup>。

表 3 三种改进的粒子群优化算法的核心更新机制

算法	更新机制
CLPSO	$V_{id} = w * V_{id} + c * rand() * (P_{id} - X_{id})$
LPSO	$V_{id} = w * V_{id} + c_1 * rand() * (P_{id} - X_{id}) + c_2 * rand() * (P_{gd} - X_{id})$ with topology structure of Square
SLPSO	$\Delta X_{ij}(t+1) = r_1 * \Delta X_{ij}(t) + r_2(t) * I_{ij}(t) + r_3 * \epsilon * C_{ij}(t)$ with $I_{ij}(t) = X_{kj}(t) - X_{ij}(t), C_{ij}(t) = X_j(t) - \overline{X}_{ij}(t)$

表 4 算法的寻优结果

算例	任务量	集卡数	算法	最大值	平均值	最小值	标准差	运行时间
1	9	3	SPSO	1.7344e+003	1.5841e+003	1.4371e+003	96.90	3.63
			CLPSO	1.7268e+003	1.5730e+003	1.4162e+003	105.54	3.58
			LPSO	1.7251e+003	1.5785e+003	1.4287e+003	99.15	3.83
			SLPSO	1.7251e+003	1.5712e+003	1.4171e+003	99.94	6.36
2	30	10	SPSO	1.8145e+003	1.6851e+003	1.5813e+003	75.16	7.62
			CLPSO	1.8100e+003	1.6622e+003	1.5501e+003	77.94	7.86
			LPSO	1.8316e+003	1.6835e+003	1.5910e+003	68.00	15.95
			SLPSO	1.8126e+003	1.6793e+003	1.5390e+003	82.91	7.68
3	60	15	SPSO	2.3268e+003	2.1954e+003	2.0977e+003	70.40	11.43
			CLPSO	2.2392e+003	2.1355e+003	2.0378e+003	61.51	11.48
			LPSO	2.2982e+003	2.1840e+003	2.0883e+003	65.67	31.04
			SLPSO	2.2779e+003	2.1680e+003	2.0406e+003	77.13	11.58
4	160	30	SPSO	3.1216e+003	3.0673e+003	3.0211e+003	26.97	23.72
			CLPSO	3.0393e+003	2.9786e+003	2.9210e+003	32.28	19.62
			LPSO	3.1126e+003	3.0349e+003	2.9602e+003	40.68	107.38
			SLPSO	3.1139e+003	3.0220e+003	2.9359e+003	42.28	24.00
5	300	40	SPSO	4.4677e+003	4.2421e+003	4.1199e+003	98.44	32.19
			CLPSO	4.2134e+003	4.1431e+003	4.0527e+003	38.06	30.50
			LPSO	4.2647e+003	4.1927e+003	4.1453e+003	29.72	32.24
			SLPSO	4.2473e+003	4.1647e+003	4.0871e+003	40.78	299.70

对于五种规模不同的实例,四种算法经过迭代后,搜索到的最大值、平均值、最小值、标准差和运行时间的数值结果,如表 4 所示。明显,随着问题规模的增大,算法的运行时间越来越大。四种算法在求解基于堆场可存储位置动态变化的集卡调度问题过程中的收敛曲线,详见图 3—7。

对于实例 1,SLPSO 求得了最优解,其得到的调度方案如下:

从表 4 中的统计数据,可以看出,对于不同规模

的五个实例,除实例 1 外,CLPSO 算法求解得到的平均值要小于其它算法。在实例 1 中,SLPSO 算法求得了最好的结果,另外,SLPSO 算法在其它实例求解的过程中也有较好的表现,但略次于 CLPSO 算法。

从收敛曲线可以看出,除实例 1 外,SLPSO 和 LPSO 算法在迭代前期,具有较快的搜索速度。但是在迭代后期,这两种算法的搜索能力,次于 CLPSO 算法。

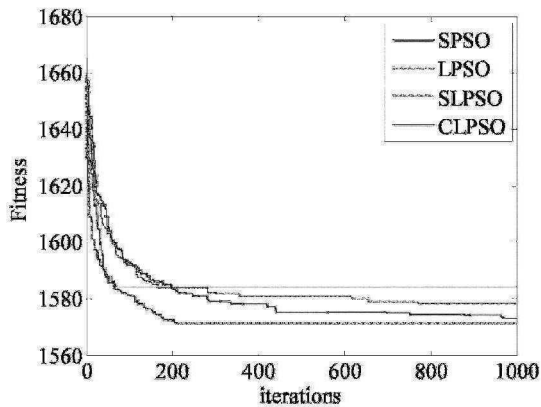


图 3 收敛曲线(算例 1)

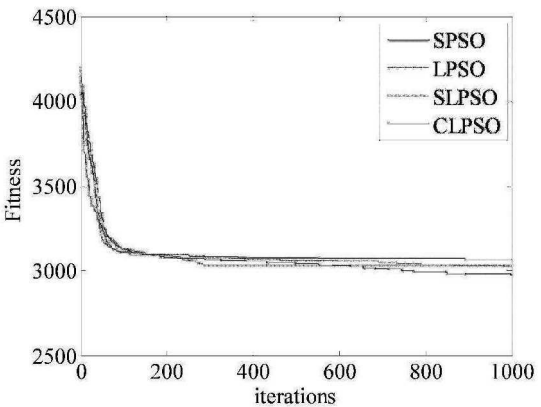


图 6 收敛曲线(算例 4)

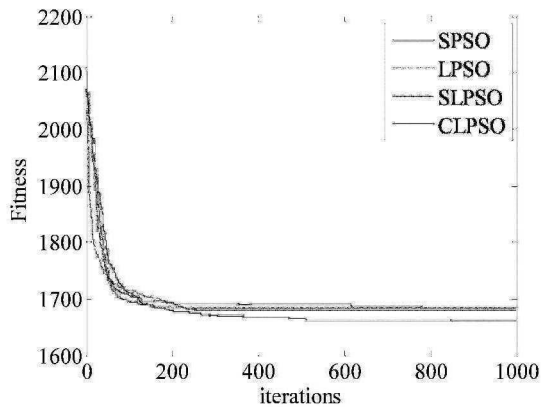


图 4 收敛曲线(算例 2)

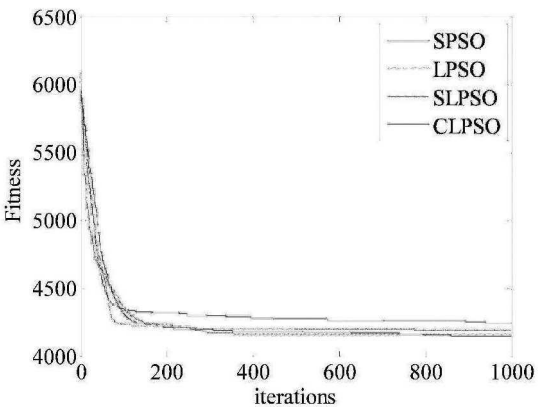


图 7 收敛曲线(算例 5)

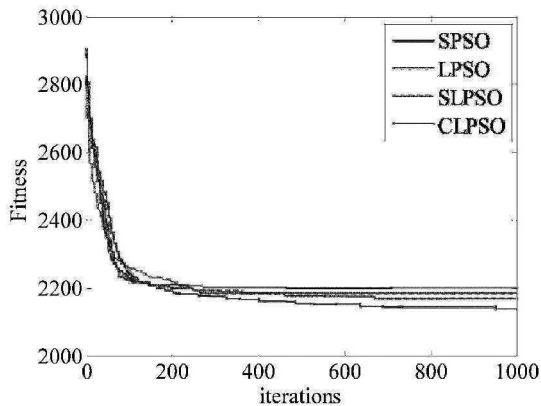


图 5 收敛曲线(算例 3)

因此,在求解本文所研究的基于堆场可存储位置动态变化的集卡调度问题上,CLPSO 算法具有更好的性能表现。

5 结语

本文考虑了堆场可存储位置动态变化的因素,对集卡调度问题进行了研究。引入了随机释放的概念,模拟了堆场可存储空间动态变换的环境。同时

挑选了五个代表性的规模实例,并采用 SPSO 算法及其改进算法对这一问题进行优化求解、对比分析。实验结果表明了 CLPSO 算法在处理本文所研究的基于堆场可存储位置动态变化的集卡调度问题上,更具优势。

未来的研究,将更多关注影响集卡调度的关键因素,对问题进行建模分析。同时,将尝试更多的智能算法对此问题的求解。

参考文献

[1] 庄倩玮,王健.国外港口物流的发展与启示[J].物流技术,2005(6):91—94.  
[2] Chen Y, Leong Y T, et al. Dispatching automated guided vehicles in a mega container terminal [J]. Paper Presented at INFORMS Montreal, 1998, 5(2): 102—111.  
[3] Shang J. A heuristic algorithm for the integrated yard truck scheduling in container terminal with twin 40—foot quay crane [C]. Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), 2010 International Conference on, 2010: 386—389.

- [4] Zheng X, Shu F, Mi W. Research on genetic algorithm — based simulation of dynamic container truck scheduling [C]. IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering, 2012: 131—135.
- [5] 曾庆成, 陈文浩, 胡祥培. 集装箱码头外部集卡预约优化模型与算法[J]. 中国管理科学, 2015, 23(10): 125—130.
- [6] Bish E K, Thin - Yin L, Li C, Ng J W C, David S. A analysis of a new vehicle scheduling and location problem [J]. Naval Research Logistics, 2001, 48(5): 363—385.
- [7] 徐远琴, 韩晓龙. 集卡与岸桥及场桥联合调度模型优化 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2013, 32(2).
- [8] 樊陆彬, 梁承姬, 余文婧. 不确定环境下的岸桥—集卡协调调度耦合模型建立与求解[J]. 计算机应用, 2016 (3): 843—848.
- [9] Niu B, Xie T, Bi Y, Liu J. Bacterial colony optimization for integrated yard truck scheduling and storage allocation problem [C]// IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2014: 431—437.
- [10] Niu B, Xie T, Duan Q Q, Tan L J. Particle swarm optimization for integrated yard truck scheduling and storage allocation problem. In: IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2014: 634—639.
- [11] 邢曦文, 毛钧, 张睿, 靳志宏. 基于混合流水作业组织的集装箱码头装卸作业集成调度优化[J]. 中国管理科学, 2014, 22(10): 97—105.
- [12] Lee D H, Cao J X, Shi Q, Chen J H. A heuristic algorithm for yard truck scheduling and storage allocation problems [J]. Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review, 2009, 45 (5): 810—820.
- [13] Ng W C, Mak K L, Zhang Y X. Scheduling trucks in container terminals using a genetic algorithm [J]. Engineering Optimization, 2007, 39(1): 33—47.
- [14] Lee L H, Chew E P, Tan K C, Wang Y. Vehicle dispatching algorithms for container transshipment hubs [J]. Operations Research — Spektrum, 2010, 32 (3): 663—685.
- [15] 关菲, 张强. 模糊多目标物流配送中心选址模型及其求解算法[J]. 中国管理科学, 2013(S1): 57—62.
- [16] Liao C J, Tseng C T, Luarn P. A discrete version of particle swarm optimization for flowshop scheduling problems [J]. Computers & Operations Research, 2007, 34(10): 3099—3111.
- [17] Gaing Z L. Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints [J]. Power Systems IEEE Transactions on, 2003, 18 (3): 1187—1195.
- [18] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization [C]// IEEE International Conference on Neural Networks, 1995. Proceedings, 1995, 4: 1942—1948.
- [19] Cheng R, Jin Y. A social learning particle swarm optimization algorithm for scalable optimization [J]. Information Sciences, 2015, 291(6): 43—60.
- [20] Liang J J, Qin A K, Baskar S. Comprehensive learning particle swarm optimizer for global optimization of multimodal functions [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2006, 10(3): 281—295.
- [21] Kennedy J, Mendes R. Population structure and particle swarm performance. Evolutionary Computation, 2002. CEC '02. Proceedings of the 2002 Congress on, 2002: 1671—1676.
- [22] Wang Z X, Chan F T S, Chung S H, Niu B. Minimization of delay and travel time of yard trucks in container terminals using an improved ga with guidance search [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2015, 1—12.
- [23] Shi Y, Eberhart R C. Parameter selection in particle swarm optimization. International Conference on Evolutionary Programming Vii. Springer — Verlag, 1998: 591—600.
- [24] Niu B, Xie T, Chan F T S, Tan L J, Wang Z X. Particle swarm optimization for the truck scheduling in container terminals [J]. Information Science, Electronics and Electrical Engineering (ISEEE), 2014, 21(16): 3719—3726.
- [25] Niu B, Xie T, Tan L J, Bi Y, Wang Z X. Swarm intelligence algorithms for yard truck scheduling and storage allocation problems [J]. Neurocomputing, 2015, 188: 284—293.
- [26] Bean J C. Genetic Algorithms and Random Keys for Sequencing and Optimization [J]. Informs Journal on Computing, 1994, 6: 154—160.
- [27] Tasgetiren M F, Liang Y C, Sevkli M, Gencyilmaz G. A particle swarm optimization algorithm for makespan and total flowtime minimization in the permutation flowshop sequencing problem [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 177(3): 1930—1947.

## Intelligent Optimization for Truck Dispatch with the Yard Storage Location Varying Factor

ZHANG Fang-fang, NIU Ben, LI Li, WU Lang

(College of Management, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

**Abstract:** During the port operation, the truck, a basic fundamental tool, is playing a significant role in transporting containers between seaside and yard storage. The yard being used for container storage and transshipment, the appropriateness and effectiveness of its special arrangement is a key factor significantly influencing the truck transportation and even the operation of the whole port. The traditional research is generally based on the container yard of static data of location, while in reality, the location available varies according to the import and export of containers. This paper, with the dynamic positions of container yard taken into consideration, studies the truck dispatch. As this is a typical NP-hard issue which has been proved, and particle swarm optimization can be well applied in application problem settlement, this paper explores the solution using particle swarm optimization. Meanwhile, to test the effect of this method, this paper selected four improved methods based on PSO to deal with the problem and the researcher conducts a comparative analysis of the optimized results. According to the results, the comprehensive learning mechanism-based particle swarm optimization proves to be the most appropriate method.

**Key words:** yard; truck scheduling; intelligent optimization