

文章编号:1006-5911(2010)01-0127-06

基于协同进化粒子群的多层供应链协同优化

吴学静,周泓,梁春华

(北京航空航天大学 经济管理学院,北京 100191)

摘要:为了从整体角度优化调度供应链网络的各个环节,研究了带软时间窗的分批配送问题及其对需求分配与生产调度的影响,考虑在满足一定客户满意度水平条件下的最小化运作成本。建立了该问题的模型,针对此模型设计了协同进化粒子群优化算法并进行求解。通过实验研究表明,软时间窗对于问题的运作成本有很大的影响,整个供应链网络的协同优化对降低运作成本起到了关键的作用。

关键词:供应链;协同进化;粒子群优化;分批配送;软时间窗

中图分类号:F406.6

文献标识码:A

Collaborative optimization of multi-echelon supply chain based on co-evolutionary particle swarm optimization

WU Xue-jing, ZHOU Hong, LIANG Chun-hua

(School of Economics & Management, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: To perform overall optimizing the scheduling of each entity in supply chain network, the batching delivery problem with soft time windows and its impact on the requirement distribution and production scheduling in manufacturing enterprises were studied. How to minimize operation costs while satisfying certain customer service level was also considered. To deal with these problems, a model considering requirement distribution, scheduling and the batching delivery was constructed. And a co-evolutionary Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm was developed to tackle the production scheduling and batching delivery problems. Two experiments were carried out, and the computation results showed that the effect of soft time window was critical, and the proposed algorithms played important role in reducing operation cost in collaborative optimization in supply chain networks.

Key words: supply chain; co-evolutionary; particle swarm optimization; batching delivery; soft time window

0 引言

生产系统与物流系统集成管理的竞争力来自于整体的协调、沟通和资源共享^[1-3],只有采用综合集成的方法,充分考虑不同子系统之间的相互作用和关联,才能实现全局最优^[1,4-5]。许多学者对多层供应链优化问题进行了研究^[1-3,6-11],但迄今为止,多数

成果还主要集中于概念意义上的物流集成,企业如何实施生产与物流系统的集成,如何让这种集成的思想真正地指导实践进而转化成效益,是亟待解决的问题。本文考虑如何从整体的角度来优化产品的需求分配、生产调度与分批配送问题,利用软时间窗因素来调节各模块的优化进程,进而得到更优的运作方案,以获得更低的运作成本。该问题比单纯的

收稿日期:2009-01-14;修订日期:2009-04-13。Received 14 Jan. 2009;accepted 13 Apr. 2009.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70771003,70521001);北京航空航天大学博士生创新基金资助项目(430264);北京市科委博士生资助项目(ZZ0762);航空科学基金资助项目(2008ZG55014)。Foundation items:Project supported by the National Natural Science Foundation, China (No. 70771003,70521001), the Innovation Foundation of BUAA for PhD Graduates, China(No. 430264), the Beijing Municipal Science & Technology Commission, China(No. ZZ0762), and the Aeronautical Science Foundation, China(No. 2008ZG55014).

作者简介:吴学静(1979-),女,天津人,北京航空航天大学经济管理学院博士研究生,主要从事生产与物流系统优化及仿真的研究。

E-mail: xj_w0626@126.com。

需求分配、调度与配送问题更加复杂^[4,12-14],故以协同进化算法^[11,15]为主框架,集成两个粒子群优化算法——随机粒子群(Random Particle Swarm Optimization, Random-PSO)与粒子群与分层聚类混合算法(Particle Swarm Optimization Hierarchical Clustering algorithm, PSO-HC)^[4,8-10,13,16-19]来求解该问题,获得了满意的结果。

1 带软时间窗的需求分配、生产调度与分批配送集成优化

带时间窗约束的物流配送问题是对配送问题的进一步扩展,它在配送问题的基础上增加了服务时间窗的限制,这里的服务时间窗指车辆到达各客户的时间范围^[1-2,6,12,20]。由于软时间窗允许配送有一定程度的提前或延后,会对客户造成一定程度的不便,企业就会针对不同的情况对客户给予补偿,从而产生不便成本^[3,6],表 1 所示为不便成本函数^[1]。现实生活中有太多的不确定因素存在,因为软时间窗约束问题与实际情况更加吻合,所以具有很强的实用背景和研究意义^[2-3,7,12,21-23]。利用有限的资源合理安排生产,并按照产品的交货时间窗的需求来优化产品的生产调度与配送就更加难以解决,该问题是个 NP 难题^[3,6-7,12]。针对以上分析,本文综合考虑产品的需求分配、产品在各个工厂中的调度安排,以及将产成品进行分批配送的问题。

表 1 可采用的不便成本函数^[6]

编号	不便成本	函数	变量函数
1	线性成本	$p(t_i)=a(A_i-t_i)$	$E_i \leq t_i \leq A_i$
		$p(t_i)=0$	$A_i \leq t_i \leq B_i$
		$p(t_i)=a(t_i-B_i)$	$B_i \leq t_i \leq L_i$
2	二次成本	$p(t_i)=b(A_i-t_i)^2$	$E_i \leq t_i \leq A_i$
		$p(t_i)=0$	$A_i \leq t_i \leq B_i$
		$p(t_i)=b(t_i-B_i)^2$	$B_i \leq t_i \leq L_i$
3	常数成本	$p(t_i)=p^{\max}$	$E_i \leq t_i \leq A_i$
		$p(t_i)=0$	$A_i \leq t_i \leq B_i$
		$p(t_i)=p^{\max}$	$B_i \leq t_i \leq L_i$
4	无穷成本	$p(t_i)=\infty$	$E_i \leq t_i \leq A_i$
		$p(t_i)=0$	$A_i \leq t_i \leq B_i$
		$p(t_i)=\infty$	$B_i \leq t_i \leq L_i$
5	零成本	$p(t_i)=0$	$E_i \leq t_i \leq A_i$
		$p(t_i)=0$	$A_i \leq t_i \leq B_i$
		$p(t_i)=0$	$B_i \leq t_i \leq L_i$

注:[A_i, B_i]为内时间窗; $[E_i, L_i]$ 为外时间窗; $E_i \leq A_i \leq B_i \leq L_i, P^{\max}$ 为所有节点中的最大不便成本。

1.1 问题描述

考虑多订单多产品带软时间窗的需求分配、生产调度与分批配送问题。已知有 N 个订单,每个订单 i 有 NC_i 种产品,所有 $\sum_i NC_i$ 种产品首先被分配到 M 个工厂中,每个工厂有生产能力的限制。被分配到各个工厂内的产品将进行调度安排,决定各个产品的加工先后顺序,此处并不考虑机器调整时间。产品加工完成后直接被送到配送中心进行存储,并根据其交货时间窗的范围安排其运输批次和运输车辆。图 1 所示为问题的结构图。

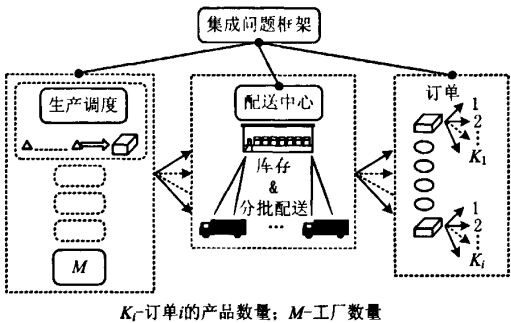


图 1 问题的结构图

1.2 数学模型

(1) 设定以下符号及变量

D_{ij} 为订单 i 的产品 j 的需求量; MCA_k 为工厂 k 的生产能力限制; $CVEC$ 为每辆车的固定费用; CUS_{ij} 为配送中心处产品 j 的单位时间单位产品库存成本; CUM_k 为工厂 k 生产产品 j 的单位生产成本; VC 为车的载重量(所有车辆同质); CI_{ij} 为订单 i 的产品 j 的不便成本; TS_{ij} 为订单 i 的产品 j 的库存时间; TP_{ijk} 为订单 i 的产品 j 在工厂 k 的加工时间; UTD_{ij} 为订单 i 的产品 j 的内时间窗上限; DTD_{ij} 为订单 i 的产品 j 的内时间窗下限; TEA_{ij} 为订单 i 的产品 j 的外时间窗下限; TTD_{ij} 为订单 i 的产品 j 的外时间窗上限; TL_{ij} 为订单 i 的产品 j 的生产完工时间; M 为工厂数量; N 为订单数量; C 为客户满意度水平; NC_i 为订单 i 订购的产品种类;

$$num_{ij} = \begin{cases} 1, & COMD(i,j) = l, \\ & UTD_{ij} \leq TX_i \leq DTD_{ij}, \forall i,j; \\ 0, & \text{其他。} \end{cases}$$

(2) 决策变量

$$DM_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{订单 } i \text{ 的产品 } j \text{ 由工厂 } k \text{ 来加工;} \\ 0, & \text{否则。} \end{cases}$$

SCH_{ijk} 为订单 i 的产品 j 在工厂 k 的加工顺序; TX_l 为第 l 次运输的起始时间; $NUMB$ 为总运输批次; $COMD(i, j) = l$ 为订单 i 的产品 j 将于第 l 批次运输; $VN(l)$ 为第 l 批次运输所需车辆数; $W(l)$ 为第 l 批次货物的总重。

将 $[DTD_{ij}, UTD_{ij}]$ 定义为订单 i 的产品 j 的内时间窗, D_{ij}^{\max} 是订单 i 的产品 j 允许破坏的最大时间, 则外时间窗为 $[TEA_{ij}, TTD_{ij}]$, 此处 $TEA_{ij} = DTD_{ij} - D_{ij}^{\max}$, $TTD_{ij} = UTD_{ij} + D_{ij}^{\max}$ 。

(3) 模型描述

目标为最小化总成本, 即最小化生产成本、库存成本、运输成本与不便成本之和。

$$1) \text{Production cos } t = \sum_j \sum_k \sum_i D_{ij} DM_{ijk} CUM_{ijk}.$$

$$2) \text{Storage cos } t = 1/2 \sum_i \sum_j D_{ij} TS_{ij} CUSS_{ij}.$$

此处, $TS_{ij} = TX_l - TL_{ij}$, 且 $COMD(i, j) = l$ 。客户 i 的产品 j 的库存时间 TS_{ij} 等于订单 i 的产品 j 的起运时间减去其生产完工期。其中, $TL_{ij} = \sum_{(m,o)} TP_{mok} + TP_{ijk}$, 此处 $SCH_{(m,o)k} < SCH_{(i,j)k}$ 。

$$3) \text{Distribution cos } t = \sum_{l=1}^{NUMB} VN_l CVEC.$$

此处, $VN(l) = \lceil W(l)/VC \rceil$, 如果 $COMD(i, j) = l$, 则 $W(l) = \sum_i \sum_j D_{ij}$ 。

$$4) \text{Inconvenience cos } t = \sum_i \sum_j CI_{ij} (1 - num_{ij}),$$

$$\begin{aligned} \text{Total cos } t = & \sum_j \sum_k \sum_i D_{ij} DM_{ijk} CUM_{ijk} + \\ & 1/2 \sum_i \sum_j D_{ij} TS_{ij} CUSS_{ij} + \sum_{l=1}^{NUMB} VN(l) CVEC + \\ & \sum_i \sum_j CI_{ij} (1 - num_{ij}). \end{aligned}$$

(4) 约束

1) 工厂生产能力限制 $\sum_i \sum_j D_{ij} DM_{ijk} \leq MCA_k, \forall k$ 。

2) 客户 i 的产品 j 仅由一个工厂加工, $\sum_k DM_{ijk} = 1, \forall i, j$ 。

3) 产品 j 的生产完工期不大于其起始配送时间, $TL_{ij} \leq TX_l$, 此处 $COMD(i, j) = l, \forall (i, j)$ 。

4) 每批次运输不超过可用车辆总数限制, $VN(l) \leq NVEC$ 。

5) 所有产品的送达时间不超过其外时间窗限制, $TEA_{ij} \leq TX_l \leq TTD_{ij}$, 此处 $COMD(i, j) = l, \forall (i, j)$ 。

$$6) \text{客户满意度约束 } \frac{\sum_i \sum_j num_{ij}}{\sum_i NC_i} \geq C.$$

2 算法设计

粒子群优化算法是一种基于群体的演化算法, 其思想来源于人工生命和演化计算理论, 是群集智能的代表方法之一^[9,14,16]。1997年, 粒子群优化算法用来解决组合优化问题, 取得了很好的效果^[4,8-9,13-14]。但随着问题复杂程度的提高, 粒子群优化算法的优势不再那么明显, 容易陷入局部优解, 为克服这个缺点, 笔者利用粒子群嵌入协同进化算法来解决本文的复杂优化问题。协同进化算法以种群为基础, 模拟生物界中不同物种之间协同进化的方式来指导优化过程, 因此算法对于解决复杂系统的优化问题有很强的优势^[11,15]。个体适应值采用式(1)计算, 其值属于(0, 1]。

$$f_q(s) = \frac{g_q(s) - \{\max_{u \in Pop[q]} g_q(u) + 1\}}{\min_{u \in Pop[q]} g_q(u) - \{\max_{u \in Pop[q]} g_q(u) + 1\}}. \quad (1)$$

式中: $f_q(s)$ 为种群 $Pop[q]$ ($q=1, 2, \dots, M$) 中第 s 个个体的适应值, $g_q(u)$ 为种群 $Pop[q]$ 中第 u 个个体通过与共生伙伴合作得到的目标函数值^[23]。

2.1 Random-PSO 算法设计

当订单到达配送中心后, 首先需要将各产品分配到各工厂中进行加工, 即所提到的需求分配问题。已知有 N 个订单, 每个订单 i 有 NC_i 种产品, 所有 $\sum_i NC_i$ 种产品首先被分配到 M 个工厂中。粒子按如下公式更新粒子轨迹, 以调整其需求分配方案:

$$v_{ijk}^p = r \cdot v_{ijk}^g + r_1 \cdot (p_{ij}^g - x_{ijk}^g) + r_2 \cdot (p_{ij}^g - x_{ijk}^g), \quad (2)$$

$$x_{ijk}^p = x_{ijk}^g + v_{ijk}^p, \quad (3)$$

如果 $x_{ijk}^p = k$, 则

$$counter_{ijk}^p = counter_{ijk}^g + 1, \quad (4)$$

$$pbl_{ijk}^p = \frac{counter_{ijk}^p}{M}. \quad (5)$$

对于粒子 k 的订单 i 的工件 j , 给定某个工厂 l , 令 $PBL = \{pbl_{ij1}^p, pbl_{ij2}^p, \dots, pbl_{ijM}^p\}$, 升序排列该序列, 得到 $PBL' = \{pbl_{ij1'}^p, pbl_{ij2'}^p, \dots, pbl_{ijM'}^p\}$ 。令 $pbl_{ijk'}^p = pbl_{ijk'+1}^p + pbl_{ijk'}^p$, 产生一个随机数 $rand \in [0, 1]$, 如果 $pbl_{ijk'}^p < rand < pbl_{ijk'+1}^p$, 则

$$x_{ijk}^p = k' + 1. \quad (6)$$

对于式(1)中的粒子速度按如下公式进行更新:

如果 $r_1 > 0.5, r_2 > 0.5$, 则

$$v_{ijk}^p = r \cdot v_{ijk}^p + (p_{ij}^l - x_{ijk}^p) + (p_{ij}^g - x_{ijk}^p); \quad (7)$$

如果 $r_1 > 0.5, r_2 \leq 0.5$, 则

$$v_{ijk}^p = r \cdot v_{ijk}^p + (p_{ij}^l - x_{ijk}^p); \quad (8)$$

如果 $r_1 \leq 0.5, r_2 > 0.5$, 则

$$v_{ijk}^p = r \cdot v_{ijk}^p + (p_{ij}^g - x_{ijk}^p); \quad (9)$$

如果 $r_1 \leq 0.5, r_2 \leq 0.5$, 则

$$v_{ijk}^p = r \times v_{ijk}^p. \quad (10)$$

2.2 PSO-HC 算法设计

任意工厂 $k=1, 2, \dots, M$, 对于所有工件 (i, j) , 如果 $DM_{ijk}=1$, 意味着工件 (i, j) 被分配到了 k 工厂加工。对分配到各工厂的工件进行调度安排, 采用粒子群优化算法对问题求解, 粒子按照以下公式改变其位置与速度:

$$v_{d(i,j)} = \omega v_{d(i,j)} + r_1(p_{d(i,j)} - x_{d(i,j)}) + r_2(p_{g(i,j)} - x_{d(i,j)}); \quad (11)$$

$$S(v_{d(i,j)}) = \begin{cases} \frac{(UTD_{(i,j)} / TL_{(i,j)})^\alpha}{(1 + e^{-v_{d(i,j)}})^\beta} + \gamma \cdot rand(), & TL_{(i,j)} / UTD_{(i,j)} > 1; \\ \frac{1}{(1 + e^{-v_{d(i,j)}})^\beta} + \gamma \cdot rand(), & \text{其他。} \end{cases} \quad (12)$$

令 $s_{d(i,j)} = \{s(v_{d(i,j)})\}$, 则

$$y_{d(i,j)} = f_L(s_{d(i,j)}) = l, \quad (13)$$

$$z_{d(i,j)} = \begin{cases} x_{d(i,j)} + y_{d(i,j)} + rand() & rand() < r_3, \\ x_{d(i,j)} + rand() & \text{其他。} \end{cases} \quad (14)$$

令 $z_i^{t+1} = \{z_{d(i,j)}\}$, 则

$$x_{d(i,j)} = f_L(z_{d(i,j)}) = l. \quad (15)$$

2.3 协同进化粒子群的算法步骤

步骤 1 分别初始化两个粒子群 Random_PSO 与 PSO_HC。

步骤 2 按照式(2)~式(10)运行 Random_PSO, 解决需求分配问题。

步骤 3 按照式(11)~式(15)运行 PSO_HC, 解决调度与分批配送问题。

步骤 4 根据式(1)计算协同进化算法适应值, 并评价 Random_PSO 算法的粒子极值与全局极值。

步骤 5 转步骤 2, 直到满足循环终止条件。

3 仿真分析

本章针对企业运作管理的实际特点和需求进行相应的仿真研究。以前企业采取的方式是每个工厂配有运输队伍, 工厂将加工完成的产品直接送到各地的商店暂时保管, 然后根据订单配送到客户所在地, 这种模式的弊端在于不管配送件数多少, 各分店中都必须配备送货人员和卡车, 运输费用相当高, 占物流费用的 70% 以上。设置配送中心后, 企业将设置在全国各地分公司处的保管和配送等业务从各公司中分离出来, 对货物进行集中管理与配送, 节省了一大笔开销。配送中心一般建立在分公司集中的大城市, 一个中心可承担约 20 个分公司的商品配送业务。同时, 配送中心负责制订库存与配送计划, 将交货期较接近的产品放到一批配送, 从而减少运输车辆与运输次数, 进而降低配送成本。另外, 配送中心还负责对各个工厂进行需求分配的调度, 整体协调, 避免产生不当的调度方案, 使整个企业能够以较低的成本获得较高的收益, 并获得一定的客户满意度。

针对以上情况, 本文对相同的需求与模型结构进行了两次不同的实验研究, 每次实验具有不同的目的与方法。实验一用来分析软时间窗因素对供应链网络优化过程的影响; 实验二用来分析协同优化和独立优化对运作成本的影响。每次实验对四个问题进行研究: ① 3 个订单, 每个订单 4 种产品; ② 3 个订单, 每个订单 8 种产品; ③ 6 个订单, 每个订单 6 种产品; ④ 4 个订单, 每个订单 12 种产品。各订单的各产品均在 4 个工厂进行生产, 各工厂均有生产能力限制。

对于实验一, 表 2 为采用各种不便成本的结果, 反映了软时间窗因素对运作成本的影响。其中, 不变成本 1~3 分别表示线性成本、二次成本、常数成本和零成本。与采用不便成本 4 相比, 若采用不便成本 1~3, 则会导致稍高的运作成本和显著的时间窗破坏值的下降。对于二次不便函数, 其内时间窗破坏程度高于线性不便成本与常数不便成本, 除了问题二, 该种情况均适用。对于二次不便成本函数, 其对时间窗破坏的惩罚小于其他两函数。如果想把总的时间窗的破坏分配到尽量少的客户中, 则应选择常数不便成本。实际上, 二次不便成本由于具有较高的客户满意度与较低的运作成本, 更容易被采用。

表 2 软时间窗对于运作成本的影响

	不便成本			
	1	2	3	4
问题 1				
运输成本	17 149.9	16 288.2	17 236.2	16 011.4
时间窗破坏值/h	25.1	32.7	11.9	65.8
服务不满意率/%	21.6	25.0	18.3	53.2
问题 2				
运输成本	34 221.7	34 093.7	34 864.4	32 449.2
时间窗破坏值/h	59.5	54.1	33.6	104.4
服务不满意率/%	20.1	19.9	16.7	43.3
问题 3				
运输成本	45 378.3	42 520.2	54 337.3	41 154.3
时间窗破坏值/h	75.1	129.7	47.7	146.1
服务不满意率/%	33.3	41.3	28.1	65.7
问题 4				
运输成本	70 520.9	70 907.1	74 903.6	69 710.6
时间窗破坏值/h	126.8	110.8	94.5	183.7
服务不满意率/%	30.4	41.7	23.1	58.9

对于实验二,表 3 展示了采用独立方法进行整体优化与采用协同进化粒子群方法进行整体优化的运作成本变化。独立方法则首先采用 Random-PSO 算法求解需求分配问题,对 p_1 个粒子进行 n_1 次迭代得到相对优解,将所得的结果输入给 PSO-HC 算法,并对 p_2 个粒子进行 n_2 次迭代,来优化生产调度与分批配送的优化。而协同进化粒子群算法则在 Random-PSO 的 q_1 个粒子进行 m_1 次迭代以求解需

求分配问题后,将 m_1 个粒子极值输入给 PSO-HC 算法,对 q_2 个粒子进行 m_2 次迭代,并将结果反馈给协同进化算法,再对 Random-PSO 的粒子速度与位置进行更新,然后进行 PSO-HC 的寻优过程。以协同进化算法为框架带动 Random-PSO 与 PSO-HC 算法进行 m_3 次迭代,最终得到满意解。不难计算,两种方法的算法复杂度分别为 $O(PM \cdot NN)$ 和 $O(m_1 m_2 m_3 q_2)$ 。其中, $PM = \max\{p_1, p_2\}$, $NN = \max\{n_1, n_2\}$ 。

虽然协同进化粒子群的算法复杂度略有增加,但从表 3 中可以看出,整体优化供应链网络可以使成本降低 7.54%~13.86%,成果显著。协同优化方法使得生产成本、不便成本和配送成本均有所降低。由于协同方法可以整合分批配送问题中的许多配送,使得交货时间窗较近的产品放到同一批次运输,减少了配送次数与配送车辆,进而降低了配送费用。而且,从不便成本的下降可以看出,协同优化使不满意的服务有所降低。若将产品分配到不恰当的工厂进行加工,有可能导致产品提前期提高,进而导致启运时间点的延误,最终造成产品无法按时交货。整体协调则可以最大程度地避免此种情况的发生,产生更加合理的需求分配方案和生产与配送方案,同时得到更低的运作成本,但是以稍高的库存成本为代价。通过利用各种优势,协同优化供应链网络得到了更低的运作成本。

表 3 协同优化成本分析

N	NC	独立优化运作成本				协同优化运作成本				协同运作降低的 运作成本百分比/%
		Pro	Inv	Del	Inc	Pro	Inv	Del	Inc	
3	4	31 610.5	1 637.3	14 000	1 530.1	29 930.6	2 133.5	12 000	1 033.1	7.54
3	8	48 213.2	3 025.6	20 000	2 288.1	45 014.8	4 933.6	16 000	1 940.2	7.63
6	6	58 903.3	4 251.2	24 000	7 144.4	51 082.8	5 147.5	20 000	6 098.3	12.69
4	12	76 822.8	6 957.6	32 000	9 001.1	64 915.4	8 346.7	26 000	8 213.2	13.86

注: N 为订单编号; NC 为每个订单中产品数量; Pro 为生产成本; Inv 为库存成本; Del 为配送成本; Inc 为不便成本

4 结束语

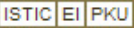
本文从系统的角度研究了产品的生产调度与分批配送问题,分析了在采用不同的不便成本的情况下,软时间窗因素对运作成本的影响以及协同优化的管理方式给物流企业带来的效益。建立了该问题的集成模型,并应用协同进化粒子群算法求解该问题,得到了满意的结果。以上分析表明,采用协同优

化的方式管理物流运作能够给企业带来可观的利润。因此,从实践的角度看,企业应该改变物流企业的运营模式,使之适应协同优化的管理方式;在理论研究方面,可以考虑将具体的运输路径子模块加入整个模型,从整体角度分析需求分配、库存与分批配送问题对成本与客户满意度的影响。在相当长一段时期内,生产、库存、配送等的协同优化对运作成本的影响,以及多周期库存量对整体协调效果与运作

成本的影响等问题依旧是研究的热点。同时,在算法研究方面,如何把协同进化算法与各种启发式算法结合起来,以加强其局部搜索能力并提高算法的时间性能,将是协同进化算法在优化领域亟需解决的问题。

参考文献:

- [1] BAUSCH D O, BROWN G G, RONEN D. Scheduling short-term marine transport of bulk products[J]. *Maritime Policy and Management*, 1998, 25(4): 335-348.
- [2] BALAKRISHNAN N. Simple heuristics for the vehicle routing problem with soft time windows[J]. *Journal of Operational Research Society*, 1993, 44(3): 279-287.
- [3] TAILLARD E, BADEAU P, GENDERAU M, et al. Tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows[J]. *Transportation Science*, 1997, 31(2): 170-186.
- [4] KENNEDY J, EBERHART R. A discrete binary version of the particle swarm algorithm[C]//*Proceedings of World Multi Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*. Piscataway, N. J., USA: IEEE Press, 1997: 4104-4109.
- [5] YUSUF Y Y, SARHADI M, GUNASEKARAN A. Agile manufacturing: the drivers, concepts and attributes[J]. *International Journal of Production Economics*, 1999, 62 (1/2): 33-43.
- [6] FAGERHOLT K. Ship scheduling with soft time windows—an optimization based approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 131(3): 559-571.
- [7] HOKEY M. A multi-objective vehicle routing problem with soft time windows: the case of a public library distribution system[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 1991, 25(3): 179-188.
- [8] EBERHART R, KENNEDY J. A new optimizer using particle swarm theory[C]//*Proceedings of the 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science*. Washington, D. C., USA: IEEE, 1995: 39-43.
- [9] HUANG Min, WU Xuejing, WANG Xingwei. Virtual enterprise risk programming based on ant system under electronic commerce[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2005, 11(10): 1456-1460 (in Chinese). [黄敏, 吴学静, 王兴伟. 电子商务下基于蚂蚁系统的集成式企业风险规划[J]. *计算机集成制造系统*, 2005, 11(10): 1456-1460.]
- [10] KAUFMAN L, ROUSSEUW P. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis[M]. New York, N. Y., USA: Wiley, 1990.
- [11] POTTER M, DE JONG K A. Cooperative coevolution: an architecture for evolving coadapted subcomponents[J]. *Evolutionary Computation*, 2000, 8(1): 1-29.
- [12] ZHOU Hong, LI Zhengdao, WU Xuejing. Hybrid ant colony optimization algorithm for unrelated parallel machine scheduling problem[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2008, 14(9): 1733-1741 (in Chinese). [周泓, 李政道, 吴学静. 一种求解变速机调度问题的混合蚁群优化算法[J]. *计算机集成制造系统*, 2008, 14(9): 1733-1741.]
- [13] SHE Y, EBERHART R. A modified particle swarm optimizer[C]//*Proceedings of IEEE World Congress on Computational Intelligence*. Washington, D. C., USA: IEEE, 1998: 69-73.
- [14] KENNEDY J, MENDES R. Population structure and particle swarm performance[C]//*Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation*. Washington, D. C., USA: IEEE, 2002: 1671-1676.
- [15] SHI Y, KROHLING R. Co-evolutionary particle swarm optimization to solving min-max problems[C]//*Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation*. Washington, D. C., USA: IEEE, 2002: 1682-1687.
- [16] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization [C]//*Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*. Washington, D. C., USA: IEEE, 1995: 1942-1948.
- [17] GUHA S, RASTOGI R, SHIM K. CURE: an efficient clustering algorithm for large databases [C]//*Proceedings of ACM SIGMOD International Conference of Management of Data*. New York, N. Y., USA: ACM, 1998: 73-84.
- [18] SUDIPTO G, RAJEEV R, KYUSEOK S. ROCK: a robust clustering algorithm for categorical attributes[J]. *Information System*, 2000, 25(5): 345-366.
- [19] KARYPIS G, HAN E, KUMAR V. Chameleon: hierarchical clustering using dynamic modeling [J]. *IEEE Computer*, 1999, 32(8): 68-75.
- [20] HALL N G, POSNER M E. Earliness-tardiness scheduling problems, I: weighted deviation of completion times about a common due date[J]. *Operations Research*, 1991, 39(5): 836-846.
- [21] NOLAND R B, POLAK J W. Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues[J]. *Transport Review*, 2002, 22(1): 39-54.
- [22] BAKER K R, SCUDDER G D. Sequencing with earliness and tardiness penalties: a review[J]. *Operations Research*, 1990, 38(1): 22-36.
- [23] DIRKBIK U P, MARTIN F. Benchmarks for scheduling on a single machine against restrictive and unrestrictive common due dates [J]. *Computers & Operations Research*, 2001, 28(8): 787-801.

作者: 吴学静, 周泓, 梁春华, WU Xue-jing, ZHOU Hong, LIANG Chun-hua
作者单位: 北京航空航天大学, 经济管理学院, 北京, 100191
刊名: 计算机集成制造系统 
英文刊名: COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING SYSTEMS
年, 卷(期): 2010, 16(1)
被引用次数: 5次

参考文献(23条)

1. BAUSCH D O; BROWN G G; RONEN D [Scheduling shortterm marine transport of bulk products](#) 1998(04)
2. BALAKRISHNAN N [Simple heuristics for the vehicle routing problem with soft time windows](#) 1993(03)
3. TAILLARD E; BADEAU P; GENDERAU M [Tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows](#) 1997(02)
4. KENNEDY J; EBERHART R [A discrete binary version of the particle swarm algorithm](#)[外文会议] 1997
5. YUSUF Y Y; SARHADI M; GUNASEKARAN A [Agile manufacturing: the drivers, concepts and attributes](#) 1999(1/2)
6. FAGERHOLT K [Ship scheduling with soft time windows an optimization based approach](#)[外文期刊] 2001(03)
7. HOKEY M A [A multi-objective vehicle routing problem with soft time windows: the case of a public library distribution system](#) 1991(03)
8. EBERHART R; KENNEDY J [A new optimizer using particle swarm theory](#)[外文会议] 1995
9. 黄敏; 吴学静; 王兴伟 [电子商务下基于蚂蚁系统的集成式企业风险规划](#)[期刊论文]-[计算机集成制造系统-CIMS](#) 2005(10)
10. KAUFMAN L; ROUSSEEUW P [Finding groups in data: an introduction to cluster analysis](#) 1990
11. POTTER M; DE JONG K A [Cooperative coevolution: an architecture for evolving coadapted subcomponents](#) [外文期刊] 2000(01)
12. 周泓; 李政道; 吴学静 [一种求解变速机调度问题的混合蚁群优化算法](#)[期刊论文]-[计算机集成制造系统-Cims](#) 2008(09)
13. SHE Y; EBERHART R [A modified particle swarm optimizer](#)[外文会议] 1998
14. KENNEDY J; MENDES R [Population structure and particle swarm performance](#)[外文会议] 2002
15. SHI Y; KROHLING R [Co-evolutionary particle swarm optimization to solving min-max problems](#) 2002
16. KENNEDY J; EBERHART R [Particle swarm optimization](#)[外文会议] 1995
17. GUHA S; RASTOGI R; SHIM K [CURE: an efficient clustering algorithm for large databases](#) 1998
18. SUDIPTO G; RAJEEV R; KYUSEOK S [ROCK: a robust clustering algorithm for categorical attributes](#) 2000(05)
19. KARYPIS G; HAN E; KUMAR V [Chameleon: hierarchical clustering using dynamic modeling](#)[外文期刊] 1999(08)
20. HALL N G; POSNER M E [Earliness-tardiness scheduling problems, I: weighted deviation of completion times about a common due date](#) 1991(05)
21. NOLAND R B; POLAK J W [Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues](#)[外文期

刊] 2002(01)

22. [BAKER K R;SCUDDER G D Sequencing with earliness and tardiness penalties:a review](#)[外文期刊] 1990(01)

23. [DIRKBISK U P;MARTIN F Benchmarks for scheduling on a single machine against restrictive and unrestrictive common due dates](#)[外文期刊] 2001(08)

引证文献(5条)

1. [李芳](#), [邱俊茹](#), [叶春明](#), [郑晴](#) [基于供应链的协同生产调度研究发展现状与展望](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2010(11)

2. [蒋大奎](#), [李波](#), [谭佳音](#) [一类求解订单分配和排序问题的集成优化算法](#)[期刊论文]-[控制与决策](#) 2013(2)

3. [樊雪梅](#), [杨印生](#), [王龙昭](#) [仿生理论在供应链绩效评价中的应用](#)[期刊论文]-[现代管理科学](#) 2012(9)

4. [施灿涛](#), [于浩洋](#), [何小林](#), [李铁克](#), [杜景红](#) [带有多级制造环节的供应链能力分配方法及应用](#)[期刊论文]-[中国管理信息化](#) 2012(18)

5. [李芳](#), [单大亚](#), [马婷](#) [基于多智能体的虚拟企业群协同生产调度模式研究](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2013(6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjjczxt201001018.aspx