

包装技术与工艺

混合模拟植物生长算法在包装件配送中的应用

樊贵香

(山西交通职业技术学院, 太原 030031)

摘要: **目的** 针对改进模拟植物生长算法(IPGSA)容易陷入局部最优解及其算法运行时间较长, 提出混合模拟植物生长算法(HPGSA)来求解带时间窗车辆调度问题(VSPTW)。**方法** 在 IPGSA 基础上, 提出求解包装件物流配送中 VSPTW 的混合模拟植物生长算法(HPGSA)。改进 IPGSA 初始调度方案的构造方式, 设计求解 VSPTW 的 C-W 算法用于构造 HPGSA 的初始调度方案; 改进 IPGSA 的邻域搜索算子, 选择插入搜索算子和互换搜索算子对 HPGSA 进行邻域搜索; 对 18 个不同规模的 Solomon 算例进行仿真测试。**结果** 相对于其他智能算法, HPGSA 具有更好的求解性能, 能够保证 VSPTW 对求解算法的要求。**结论** HPGSA 的全局优化能力、稳定性和运行速度均优于 IPGSA、遗传算法、蚁群算法和禁忌搜索算法。

关键词: 包装件物流配送; 时间窗; 车辆调度; 模拟植物生长算法

中图分类号: TB485.3; TP301.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)13-0043-07

Application of Hybrid Plant Growth Simulation Algorithm in Packaged Products Distribution

FAN Gui-xiang

(Shanxi Communications Polytechnic, Taiyuan 030031, China)

ABSTRACT: This work was aimed to improve the performance of improved plant growth simulation algorithm (IPGSA) to solve vehicle scheduling problem with time windows (VSPTW). Based on IPGSA, a hybrid simulation PGSA (HPGSA) was proposed to solve VSPTW in the logistics distribution of packaged products. Firstly, the method in IPGSA to produce initial scheduling scheme was improved, and the C-W algorithm was designed and solved to construct the initial scheduling scheme of HPGSA. Secondly, the neighborhood search operator of IPGSA was improved, and the insert and swap search operators were selected to carry out the neighborhood search of HPGSA. Finally, a simulation test was carried out on 18 Solomon cases at different scales. Compared with other intelligent algorithms, HPGSA had better performance and could guarantee the requirement of VSPTW. The global optimization ability, stability and running speed of HPGSA were better than IPGSA, genetic algorithm, ant colony algorithm and tabu search algorithm.

KEY WORDS: logistics distribution of packaged products; time windows; vehicle scheduling; plant growth simulation algorithm

包装件物流管理包括对包装件的仓储、装载、配送、卸货等一系列环节^[1-2]。包装件物流配送是以包装件为配送对象的物流管理模式, 这里研究的

车辆调度问题(VSP)是包装件物流配送的核心部分, 一直是学者们研究的重点领域^[3-4]。近年来, 随着 JIT、敏捷制造等生产制造理念的发展, 再加上客

收稿日期: 2016-01-31

作者简介: 樊贵香(1978—), 女, 山西汾阳人, 硕士, 山西交通职业技术学院讲师, 主要研究方向为物流管理。

用户对配送时间的精度要求越来越高,时间因素在包装件物流配送特别是在包装件 VSP 中发挥着越来越重要的作用^[5],因此对包装件物流配送中带时间窗的车辆调度问题(VSPTW)的研究具有重大的实际意义。VSPTW 在 VSP 基础上增加了对配送的时间限制,属于非确定性多项式难题,它的求解算法可以分为精确算法和近似算法。精确算法虽然能够求得 VSPTW 的全局最优解,但其计算量将随问题规模的增大呈指数增加,因此精确算法多用于小规模问题的求解。近似算法是学者们研究的重点,学者们先后提出了遗传算法^[6]、禁忌搜索算法^[7]、蚁群算法^[8]和粒子群算法^[9]等近似算法求解 VSPTW。

模拟植物生长算法(PGSA)是李彤于 2005 年提出的一种新型智能优化算法,它模拟植物向着阳光生长的特性,最初用于求解非线性整数规划问题^[10]。由于算法参数设定极为简单,PGSA 逐渐被学者们应用于工程技术领域。文献[11]采用 PGSA 优化了电容布局的径向分布系统;文献[12]在模拟植物生长算法的基础上,提出了解决应急物流中心选址问题的智能算法;文献[13]则首次将模拟植物生长算法应用于推销员旅行问题。截止目前为止,车辆调度优化领域中基于 PGSA 的求解算法非常有限,只有文献[14]利用 PGSA 求解过 VSPTW。该文献的研究重点在于构建最小化车辆配送成本的机会约束规划模型,缺乏对 PGSA 的深入研究。经过仿真测试可知,文中 IPGSA 在求解 VSPTW 时,容易陷入局部最优解,且运行耗时较长,算法求解性能有待进一步加强。

基于上述分析,这里在文献[14]的基础上提出了一种求解 VSPTW 的混合 PGSA(HPGSA)。首先,设计了求解 VSPTW 的 C-W 算法,并利用 C-W 算法求得的较优解作为 HPGSA 的初始调度方案;其次,选择了插入搜索和互换搜索 2 种邻域搜索算子搜索新生长点;最后,利用 Solomon 中的 18 个标准算例测试了 HPGSA 的全局寻优能力、稳定性和算法运行速度,并与 IPGSA, GA, TS 和 ACO 等传统智能算法进行对比。

1 背景

1.1 问题描述

包装件物流配送中的 VSPTW 通常可描述为现有若干客户需要进行包装件配送服务^[15]。客户的位

置和需求量已知,车辆载重能力给定;每个客户能且只能被访问 1 次,每辆配送车辆所访问客户的需求量之和不能超过车辆的最大承载能力,且车辆均从起点出发,完成所有客户的配送任务后再返回起点;每个客户 i 均拥有 1 个时间窗 $[e_i, l_i]$, 车辆必须在该时间窗内对客户进行服务,如果车辆早于时间 e_i 到达客户 i , 则必须等到 e_i 才能开始服务。要求以行驶距离最短为目标进行车辆调度,完成所有客户的配送任务。

1.2 数学模型

用 $G=(V,E)$ 表示配送网络; V 表示节点集, $V = \{0,1,\dots,n\}$, 其中 0 表示包装件配送中心,其余节点表示客户; E 表示弧集, $E = \{(i,j)|i,j \in V,i \neq j\}$; d_{ij} 表示客户 i 到客户 j 的运输距离; K 表示配送车辆集合, $K = \{1,2,\dots,m\}$, m 为完成配送任务所需车辆数; Q 表示车辆的最大载重; q_i 表示客户 i 的需求量; t_i 表示车辆到达顾客 i 的时间, t_{ij} 表示车辆从客户 i 到客户 j 的行驶时间, t_{si} 表示车辆在客户 i 处的服务时间。

设定决策变量

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{车辆}k\text{服务完客户}i\text{后前往客户}j\text{服务} \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{车辆}k\text{服务客户}i \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$$

则 VSPTW 的数学模型为:

$$\min f = \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ijk} \tag{1}$$

约束条件

$$\sum_{i=1}^n q_i y_{ik} \leq Q; \forall k \in K \tag{2}$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = y_{jk}; j = 1, 2, \dots, n; \forall k \in K \tag{3}$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ijk} = y_{ik}; i = 1, 2, \dots, n; \forall k \in K \tag{4}$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = \begin{cases} 1, & i = 1, 2, \dots, n; \forall k \in K \\ m, & i = 0 \end{cases} \tag{5}$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1; \forall S_{2 \leq |S| \leq n-1} \subseteq V / \{0\} \tag{6}$$

$$t_i + t_{ij} + t_{si} - M(1 - x_{ijk}) \leq t_j; i, j = 0, 1, \dots, n; \forall k \in K \tag{7}$$

$$e_i \leq t_i \leq l_i; i = 1, 2, \dots, n \tag{8}$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ 或 } 1; i, j = 0, 1, \dots, n; \forall k \in K \quad (9)$$

$$y_{ik} = 0 \text{ 或 } 1; i = 0, 1, \dots, n; \forall k \in K \quad (10)$$

其中, 式(1)表示行驶距离最短的目标函数; 式(2)表示车辆 k 的能力约束; 式(3)—(5)表示每个客户能且只能被服务一次, 车辆从配送中心出发, 完成配送任务后返回配送中心; 式(6)表示消除子回路约束, S 表示子回路; 式(7)和式(8)表示客户的时间窗约束, M 为一个较大的数; 式(9)和式(10)表示变量约束。

2 混合模拟植物生长算法

2.1 模拟植物生长算法

PGSA 主要通过模拟植物向光生长的特性, 建立随机性动力模型, 进而寻找全局最优解。文献[10]从数学角度出发, 建立了模拟植物向光性的概率生长模型, 其核心思想为: 1 棵树从树根所在点 S_0 长出树干 M , 假定 M 上具有 k 个阳光照射条件好于树根的生长点 $S_{M1}, S_{M2}, \dots, S_{Mk}$, 分别用 $P_{M1}, P_{M2}, \dots, P_{Mk}$ 表示各生长点对应的形态素浓度。其计算公式为:

$$P_{Mi} = [f(S_0) - f(S_{Mi})] / \Delta_i; i = 1, 2, \dots, k \quad (11)$$

其中,

$$\Delta_i = \sum_{i=1}^k [f(S_0) - f(S_{Mi})] \quad (12)$$

式中: $f(S)$ 表示所在点的环境信息(目标函数值), 也称为背光函数, 函数取值越小, 表示对应生长点的阳光照射条件越好。由式(11)与式(12)进

一步推导, 可知 $\sum_{i=1}^k P_{Mi} = 1$ 。随机产生一个 $[0, 1]$

之间的数 γ , γ 包含于 $P_{M1}, P_{M2}, \dots, P_{Mk}$ 中的 1 个区间, 则对应的生长点获得优先生长的权利。假定 γ 位于 P_{M2} 内, 那么生长点 S_{M2} 将优先长出树枝 m 。假设 m 上有 q 个比树根阳光照射条件好的生长点 $S_{M1}, S_{M2}, \dots, S_{Mq}$, 对应的形态素浓度为 $P_{M1}, P_{M2}, \dots, P_{Mq}$ 。由于此时植物的生长环境发生了变化, 所有生长点的形态素浓度值也需要重新计算:

$$P_{Mi} = \frac{f(S_0) - f(S_{Mi})}{\Delta_1 + \Delta_2}; i = 1, 2, \dots, k, i \neq 2 \quad (13)$$

$$P_{Mj} = \frac{f(S_0) - f(S_{Mj})}{\Delta_1 + \Delta_2}; j = 1, 2, \dots, q \quad (14)$$

其中,

$$\Delta_1 = \sum_{i=1, i \neq 2}^k [f(S_0) - f(S_{Mi})] \quad (15)$$

$$\Delta_2 = \sum_{j=1}^q [f(S_0) - f(S_{Mj})] \quad (16)$$

同理, 所有生长点更新后的形态素浓度之和仍然为 1。再次采用上述生成随机数的方式可以得到后续的优先生长点及对应的树支。反复进行此过程, 直到不再产生新枝为止, 就长成了一棵大树。

2.2 混合模拟植物生长算法

文献[14]在 PGSA 的基础上, 提出了求解 VSPTW 的改进算法(IPGSA)。IPGSA 改进的关键在于: 用自然数编码构造的随机初始方案表示树根, 如 0-1-0-3-0-5-0; 以车辆调度问题的邻域搜索算子搜索新的生长点。可见, IPGSA 只是对 PGSA 进行了基础的改进, 缺乏深入研究。对 IPGSA 的仿真结果表明, IPGSA 算法在求解 VSPTW 时, 容易陷入局部最优解, 且算法运行时间较长。通过分析可知, 造成 IPGSA 上述问题的原因有 2 个方面: 初始调度方案质量较差, PGSA 对于初始值的依赖性较强^[12], IPGSA 中随机生成的初始调度方案, 严重影响了算法求解精度; 邻域搜索算子选择不合理, 对于原始解结构破坏过大的邻域搜索算子, 虽然能够扩大算法的搜索空间, 增加新生长点的多样性, 避免算法陷入局部最优解, 但这样的盲目搜索也增加了算法的运行时间。与之相反, 对原始解结构的影响过小的邻域搜索算子, 缩小了算法搜索空间, 减少了算法运行时间, 但难以保证新生长点的多样性, 容易导致算法陷入局部最优解。对此, 这里在 IPGSA 基础上, 设计了初始方案的构造算子和邻域搜索算子。

2.2.1 初始方案构造算子

PGSA 严重依赖于初始值, 初始值的质量关系着算法的求解性能。为了提高初始值的质量, 这里设计了求解 VSPTW 的 C-W 算法, 并用以构造初始方案, 具体步骤如下^[16]。

1) 将所有客户与配送中心相连, 计算行驶距离。连接任意 2 个客户 i 和 j , 并按式(17)计算车辆行驶距离节约值:

$$s(i, j) = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij} \quad (17)$$

2) 根据式(17)求出所有节约值, 将 $s(i, j)$ 从大到小排序, 并存入集合 M 中。

3) 判断 M 是否为空集。为空, 算法停止; 否则, 算法进入下一步。

4) 取出 M 中的第 1 个元素 $s(i, j)$, 判断客户 i 和 j 在路径上的位置。若满足下列任一条件, 则算法转入下一步, 否则, 转入第 7 步: 客户 i 和 j 均不在已构成的线路上; 客户 i 和 j 在已构成的线路上, 但不与配送中心直接相连; 客户 i 和 j 在已构成的线路上, 且 1 个客户为起点, 另 1 个客户为终点。

5) 如果连接客户 i 和 j , 路径上的货物总量是否满足车辆载重约束。如果满足, 算法进入下一步; 否则, 算法进入第 7 步。

6) 连接客户 i 和 j , 计算车辆到达客户 j 的时间比原始路线 j 上的任务开始时间的推迟量或者提前量 E_{Lj} , 计算公式:

$$E_{Lj} = t_i + t_{si} + t_{ij} - t_j \quad (18)$$

同时, 计算原路线 j 后的任务不需要等待的最大提前量:

$$E_j = \min_{r \geq j} \{t_r - e_r\} \quad (19)$$

$$L_j = \min_{r \geq j} \{l_r - t_r\} \quad (20)$$

判断 E_{Lj} 的值, 如满足下面任一条件, 则连接客户 i 和 j , 否则转入第 7 步: $E_{Lj} = 0$; $E_{Lj} < 0$ 且 $-E_{Lj} \leq E_j$; $E_{Lj} > 0$ 且 $E_{Lj} < L_j$ 。

7) $M = M - s(i, j)$, 算法转入第 3 步。

2.2.2 邻域搜索算子

基于 IPGSA 的自然数编码形式, 采用插入和互换 2 种邻域搜索算子。

1) 插入搜索。随机选取某一子路径中任一客户, 并将其插入到其它子路径中。如, 将路径 R_0 中第 2 条子路径的客户 2 插入到第 3 条子路径的 3 和 6 和之间。

$$R_0: 0-1-4-0-2-5-0-3-6-0 \rightarrow R_0: 0-1-4-0-5-0-3-2-6-0$$

2) 互换搜索。随机选取路径中的任意 2 个客户点, 交换其位置。如, 将路径 R_0 中的客户 4 和 2 交换位置。

$$R_0: 0-1-4-0-2-5-0-3-6-0 \rightarrow R_0: 0-1-2-0-4-5-0-3-6-0$$

插入搜索对已有解的破坏程度较小, 能够保证算法的小范围迁移; 互换搜索对已有解的破坏程度稍大, 但能够促进算法的广域搜索。由于 2 种邻域结构的直径较小, 而车辆调度优化问题的局部最优解和全局最优解在解空间里是彼此靠近的, 所以采用这 2 种邻域搜索算子既可以增加 HPGSA 新生长

点的多样性, 避免算法陷入局部最优解, 又可以将搜索空间控制在 1 个较小范围的解空间里, 缩短算法的运行时间。

2.3 混合模拟植物生长算法求解 VSPTW 的实现过程

基于上述分析, 这里提出了求解 VSPTW 的混合模拟植物生长算法(HPGSA), 见图 1。

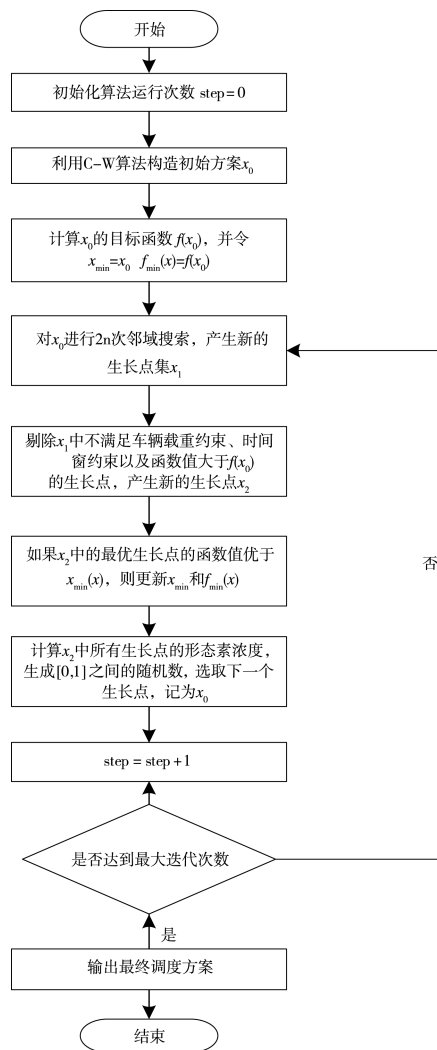


图 1 HPGSA 求解 VSPTW 的流程
Fig.1 Flow chart of solving VSPTW with HPGSA

3 算例分析

采用 VSPTW 的 Solomon 算例集测试 HPGSA 的求解性能。首先, 在 CPU i3-2440, RAM 8G ddr3 1600, MATLAB 2011a 的运行环境下, 分别采用 HPGSA 和 IPGSA 求解算例。对每个算例运行 20 次, 统计最好解、最好解与已知最优解的误差、平

均值、平均值与已知最优解的误差和平均运行时间等指标, 结果见表 1。误差 1 表示最好解与已知最优解的误差, 计算公式为: 误差 1=(最好解-已知最优解)/已知最优解 \times 100%。平均值表示算法运行 20

次求得解的平均值。误差 2 表示平均值与已知最优解之间的误差, 计算公式与误差 1 相似。时间表示算法 20 次求解的平均运行时间。

表 1 IPGSA 和 HPGSA 仿真对比的结果
Tab.1 Comparison of the simulation results of IPGSA and HPGSA

算例	客户数	已知最优解	IPGSA					HPGSA				
			最好解/km	误差 1/%	平均值/km	误差 2/%	时间/s	最好解/km	误差 1/%	平均值/km	误差 2/%	时间/s
C104	25	186.90	211.00	12.89	223.12	19.38	10.85	186.90	0.00	188.31	0.75	0.14
C201	25	214.70	215.60	0.42	234.87	9.39	12.56	214.70	0.00	214.85	0.07	0.20
R103	25	454.60	501.36	10.29	526.47	15.81	11.23	455.12	0.11	461.73	1.57	0.33
R201	25	463.30	490.11	5.79	500.31	7.99	9.89	464.52	0.26	500.24	7.97	0.57
RC101	25	461.10	490.30	6.33	499.40	8.31	15.32	461.10	0.00	465.68	0.99	0.15
RC208	25	269.10	328.71	22.15	352.87	31.13	9.71	269.10	0.00	284.71	5.80	0.03
C103	50	361.40	383.66	6.16	412.35	14.10	15.67	361.40	0.00	362.20	0.22	0.42
C201	50	360.20	378.35	5.04	423.33	17.53	14.98	360.83	0.17	381.03	5.78	0.78
R101	50	1044.00	1072.20	2.70	1093.97	4.79	10.37	1045.75	0.17	1048.26	0.41	0.70
R201	50	791.90	864.38	9.15	956.78	20.82	17.42	793.34	0.18	886.50	11.95	1.21
RC101	50	944.00	995.47	5.45	1011.23	7.12	14.41	944.00	0.00	958.50	1.54	1.66
RC204	50	444.20	566.40	27.51	598.36	34.71	18.37	445.78	0.36	474.40	6.80	0.78
C101	100	827.30	989.36	19.59	997.78	20.61	22.95	828.90	0.19	827.38	0.01	1.07
C201	100	589.10	603.90	2.51	625.89	6.25	26.19	590.03	0.16	590.63	0.26	0.95
R103	100	1208.70	1499.37	24.05	1505.77	24.58	19.87	1225.50	1.39	1249.37	3.36	2.53
R201	100	1143.20	1554.48	35.98	1785.97	56.23	17.66	1162.74	1.71	1245.10	8.91	1.94
RC101	100	1619.80	1921.36	18.62	2017.94	24.58	19.85	1664.34	2.75	1691.34	4.42	1.20
RC205	100	1154.00	1701.23	47.42	1945.60	68.60	23.47	1172.38	1.59	1312.60	13.74	2.31
平均值		—	—	14.56	—	21.77	16.15	—	0.50	—	4.14	0.94

根据表 1, 对于上述 18 个 VSPTW 标准算例, IPGSA 均不能求得最优解, 且大部分算例的“误差 1”高于 6%, 特别是客户规模较大的 RC204, R103, R201, 和 RC205 算例更是高达 24%以上。HPGSA 能够求得 C104, C201, RC101, RC208, C103 和 RC101 等 6 个算例的最优解, 且绝大部分算例的“误差 1”低于 0.4%。此外, HPGSA 的“误差 1”的平均值为 0.50%, 远小于 IPGSA 的 14.56%。可见, 与 IPGSA 相比, HPGSA 的全局寻优能力得以大幅度提高; HPGSA 的“误差 2”的平均值 4.14% 远小于 IPGSA 对应的 21.77%, 说明 HPGSA 的求解稳定性较好, 而 IPGSA 的稳定性较差; 分析

IPGSA 和 HPGSA 的“时间”值可知, 与 IPGSA 相比, HPGSA 的运行时间得以大幅度缩短, 说明 HPGSA 的运行速度更快, 能够在更短的时间内寻找到更优的解。综上分析, HPGSA 在全局寻优能力、算法稳定性和运行速度上均优于 IPGSA, 证明了文中对于 IPGSA 的改进是有效的, 改进后的算法求解 VSPTW 的性能更好。

为了进一步验证 HPGSA 的性能, 分别采用遗传算法(GA)^[6]、禁忌搜索算法(TS)^[7]和蚁群算法(ACO)^[8]对上述算例进行求解。对每个算例运行 20 次, 得到相应指标见表 2, 各算法参数分别采用对应文献的参数设置。

表2 GA, ACO, TS 和 HPGSA 仿真对比的结果
Tab.2 Comparison of the simulation results of GA, ACO, TS and HPGSA

算例	客户数	GA			ACO			TS			HPGSA		
		误差 1/%	误差 2/%	时间/s	误差 1/%	误差 2/%	时间/s	误差 1/%	误差 2/%	时间/s	误差 1/%	误差 2/%	时间/s
C104	25	0.00	3.92	48.90	0.00	1.32	18.25	0.00	7.06	0.92	0.00	0.75	0.14
C201	25	6.84	7.39	52.57	0.00	0.40	19.45	12.50	18.20	0.45	0.00	0.07	0.20
R103	25	5.12	5.56	51.26	0.00	1.05	20.99	6.87	7.65	1.14	0.11	1.57	0.33
R201	25	6.10	7.94	45.61	1.56	4.94	18.40	11.24	13.68	0.48	0.26	7.97	0.57
RC101	25	3.98	4.05	56.43	1.03	1.98	21.49	5.01	5.68	1.12	0.00	0.99	0.15
RC208	25	10.25	11.95	51.49	5.64	11.03	22.77	13.47	16.12	0.47	0.00	5.80	0.03
C103	50	4.37	5.00	51.35	2.17	3.43	32.29	6.56	7.74	0.75	0.00	0.22	0.42
C201	50	12.74	14.53	57.92	6.98	9.99	26.85	21.01	26.79	2.91	0.17	5.78	0.78
R101	50	7.93	8.59	54.71	2.87	3.30	35.28	5.20	5.36	0.63	0.17	0.41	0.70
R201	50	11.56	13.55	51.06	8.98	12.56	22.66	12.36	15.20	1.79	0.18	11.95	1.21
RC101	50	7.66	8.97	55.21	5.01	5.89	27.61	8.85	10.84	2.45	0.00	1.54	1.66
RC204	50	10.80	12.72	58.11	9.57	13.36	28.67	13.50	16.46	0.26	0.36	6.80	0.78
C101	100	7.63	8.29	51.91	6.98	7.64	35.24	9.03	10.40	1.05	0.19	0.01	1.07
C201	100	9.85	10.73	57.41	9.12	10.97	37.29	12.20	15.24	0.70	0.16	0.26	0.95
R103	100	10.99	11.25	59.53	8.01	9.57	28.43	11.78	15.82	2.29	1.39	3.36	2.53
R201	100	12.56	13.75	68.52	8.97	13.53	30.02	16.95	21.60	1.68	1.71	8.91	1.94
RC101	100	5.80	6.04	51.86	4.91	5.62	29.26	8.74	11.15	3.66	2.75	4.42	1.20
RC205	100	16.75	18.44	78.54	10.32	16.63	39.48	24.50	28.93	2.37	1.59	13.74	2.31
平均值		8.39	9.59	55.69	5.12	7.40	27.47	11.10	14.11	1.39	0.50	4.14	0.94

根据表2,分析各算法的“误差1”的值可知,HPGSA能够求出6个算例的最优解,ACO能够求出3个,而GA和TS均只能求出1个,且各算法的“误差1”的平均值从小到达分别为HPGSA,ACO,GA和TS,说明各算法的全局寻优能力由强到弱分别为HPGSA,ACO,GA和TS。各算法的“误差2”的平均值由小到大分别为HPGSA,ACO,GA和TS,说明HPGSA的稳定性最好,ACO次之,GA和TS最弱。HPGSA和TS算法的平均运行时间远小于GA和ACO,且HPGSA的运行时间最短,说明HPGSA的运行速度最快,TS的运行速度次之,GA和ACO的运行速度最慢。综上所述,HPGSA在全局寻优能力、稳定性和运行速度上均优于ACO,GA和TS,这得益于HPGSA在IPGSA基础上,改进了初始解生成方式,通过提高初始调度方案的质量进而提高了算法的全局搜索能力。同时,改进的邻域搜索算子既保证了生长点的多样性,又将搜索空间控制在一个较小范围的解空间里,进而缩短了算法的运行时间,加快了算法运行速度。

大量的仿真实验表明,相对于其他智能算法,

HPGSA具有更好的求解性能,能够保证VSPTW对求解算法的要求。

4 结语

文中对求解包装件物流配送中VSPTW的模拟植物生长算法进行了研究,针对IPGSA容易陷入局部最优解及其算法运行时间较长,从初始调度方案构造方式和邻域搜索方式2个方面对IPGSA进行了改进,并在此基础上提出了HPGSA。结果表明,文中提出的HPGSA具有良好的求解性能,为VSPTW的研究提供了一种新的思路。

参考文献:

- [1] 黄颖为,李燕培,孙德强.改进遗传算法在包装件物流调度中应用的研究[J].包装工程,2008,29(1):105—107.
HUANG Ying-wei, LI Yan-pei, SUN De-qiang. Study of Improved Genetic Algorithm for Packages Vehicle Routing Problem[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1):105—107.
- [2] 马祥丽,张惠珍,马良.蝙蝠算法在物流配送车辆路

- 径优化问题中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2015, 45(24):80—86.
- MA Xiang-li, ZHANG Hui-zhen, MA Liang. Application of Bat Algorithm in Vehicle Routing Problem of Logistics Distribution[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2015, 45(24):80—86.
- [3] XU S H, LIU J P, ZHANG F H, et al. A Combination of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for Vehicle Routing Problem with Time Windows[J]. Sensors, 2015, 15(9):21033—21053.
- [4] 曹平方, 李灵, 李诗珍. 基于分枝界定的 VRP 模型精确算法研究及应用[J]. 包装工程, 2014, 35(17):97—101.
- CAO Ping-fang, LI Ling, LI Shi-zhen. Research and Application of the Accurate Algorithm of VRP Model Based on Branch and Bound Method[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(17):97—101.
- [5] KUMAR S N, PANNEERSELVAM R. A Time-Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows for E-Commerce Supplier Site Pickups Using Genetic Algorithm[J]. Intelligent Information Management, 2015(7):181—194.
- [6] 葛显龙, 辜羽洁, 谭柏川. 基于第三方带软时间窗约束的车辆路径问题研究[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(3):689—693.
- GE Xian-long, GU Yu-jie, TAN Bai-chuan. Research on Vehicle Routing Problem with Soft Time Window Based on Third Party Logistics[J]. Application Research of Computers, 2015, 32(3):689—693.
- [7] 张炯, 郎茂祥. 有时间窗配送车辆调度问题的禁忌搜索算法[J]. 北京交通大学学报, 2004, 28(2):103—106.
- ZHANG Jiong, LANG Mao-xiang. The Tabu Search Algorithm for Distribution Vehicle Scheduling Problem with Time Windows[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2004, 28(2):103—106.
- [8] 李琳, 刘士新, 唐加福. 改进的蚁群算法求解带时间窗的车辆路径问题[J]. 控制与决策, 2010, 25(9):1379—1383.
- LI Lin, LIU Shi-xin, TANG Jia-fu. Improved Ant Colony Algorithm for Solving Vehicle Routing Problem with Time Windows[J]. Control and Decision, 2010, 25(9):1379—1383.
- [9] BEDNÁŘ J, KALVOVÁ J, SMOLEN R F. A Hybrid Particle Swarm Optimization for Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery[J]. Computers & Industrial Engineering, 2013, 65(1):39—53.
- [10] 李彤, 王春峰, 王文波, 等. 求解整数规划的一种仿生类全局优化算法-模拟植物生长算法[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(1):76—85.
- LI Tong, WANG Chun-feng, WANG Wen-bo, et al. A Global Optimization Bionics Algorithm for Solving Integer Programming-Plant Growth Simulation Algorithm[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2005, 25(1):76—85.
- [11] RAO R S, NARASIMHAM S, RAMALINGARAJU M. Optimal Capacitor Placement in a Radial Distribution System Using Plant Growth Simulation Algorithm[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2011, 33(5):1133—1139.
- [12] 曾敏刚, 余高辉. 基于改进模拟植物生长算法的应急物流中心选址研究[J]. 软科学, 2011(10):41—45.
- ZENG Min-gang, YU Gao-hui. Research on the Location of Emergency Logistics Center Based on Improved Plant Growth Simulation Algorithm[J]. Soft Science, 2011(10):41—45.
- [13] 郗莹, 马良, 戴秋萍. 多目标旅行商问题的模拟植物生长算法求解[J]. 计算机应用研究, 2012(10):3733—3735.
- XI Ying, MA Liang, DAI Qiu-ping. Plant Growth Simulation Algorithm for Multi-Criteria Travelling Salesman[J]. Application Research of Computers, 2012(10):3733—3735.
- [14] 曹庆奎, 刘新雨, 任向阳. 基于模拟植物生长算法的车辆调度问题[J]. 系统工程理论与实践, 2015(6):1449—1456.
- CAO Qing-kui, LIU Xin-yu, REN Xiang-yang. Vehicle Scheduling Problem Based on Plant Growth Simulation Algorithm[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2015(6):1449—1456.
- [15] CETIN S, GENCER C. A Heuristic Algorithm for Vehicle Routing Problems with Simultaneous Pick-up and Delivery and Hard Time Windows[J]. Open Journal of Social Sciences, 2015, 3(3):35—41.
- [16] 李军, 郭耀煌. 物流配送车辆优化调度理论与方法[M]. 北京:中国物资出版社, 2001.
- LI Jun, GUO Yao-huang. The Theory and Method of Logistics Distribution Vehicle Optimal Scheduling[M]. Beijing:China Materials Press, 2001.