

文章编号: 1001-0920(2006)11-1316-05

铁路行包基地及配送点选址问题禁忌搜索算法

尹传忠¹, 卜雷², 程学庆¹, 蒲云¹

(1. 西南交通大学 交通运输学院, 成都 610031; 2. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 200331)

摘要: 分析了铁路行包运输物流化发展背景及行包运输物流配送的特点, 给出了铁路行包基地及配送点选址的数学模型, 应用改进的扫描法构造问题尽可能好的初始解, 并通过巧妙地设计罚函数、合理构造邻域及随机选取禁忌长度的一种禁忌搜索算法对初始解优化。计算结果表明, 扫描法和禁忌搜索算法结合的两阶段法, 不仅可以得到良好的计算结果, 而且具有搜索空间小、求解速度快的优点, 该方法有效、可行。

关键词: 铁路行包; 选址; 禁忌搜索; 扫描法; 配送点

中图分类号: TP301.6; F252 **文献标识码:** A

Tabu Search Algorithm on Location for Railway Baggage and Parcel Base and Distribution Sites

YIN Chuan-zhong¹, BU Lei², CHEN G Xue-qing¹, PU Yun¹

(1. School of Traffic and Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. School of Traffic and Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200331, China Correspondent: YIN Chuan-zhong, E-mail: ychzh585@sohu.com)

Abstract: Based on the developments of modern logistics and features of logistics distribution of railway baggage and parcel, a mathematical model of planning railway baggage and parcel base and distribution sites is presented. An improved sweep algorithm is applied to gain the initial solution. The initial solution is optimized by a tabu search algorithm which consists of designing punishment function, constructing reasonable neighborhood and selecting tabu length randomly. The computational result demonstrates that the two-phase approach of combining sweep algorithm and tabu search algorithm can give not only high quality solution but also small searching space and fast speed.

Key words: Railway baggage and parcel; Location; Tabu search algorithm; Sweep algorithm; Distribution sites

1 引言

为适应市场竞争, 弥补原运输方式的不足, 发挥铁路行包运输的优势, 适应现代物流的发展, 铁道部成立了中铁行包快递有限责任公司(简称中铁行包公司), 与邮政部门进行了跨行业、跨部门的战略合作, 共同出资组建新时速速递有限责任公司, 把铁路既有的、以基地为中心的快捷运输网和邮政的同城配送、区域配送网有机地结合在一起; 将铁路干线运输优势与邮政区域配送优势整合, 形成一个覆盖全国、连接主要城市的运输配送体系; 根据各种交通运输的不同优势, 实现分级配送或多层次配送。铁路行包基地及配送点选址是铁路行包公司跨入现代物

流门槛的关键环节, 对铁路行包运输业的现代物流活动有着重要的影响, 合理的选址能够减少行包配送费用, 降低运营成本。因此, 对铁路行包基地选址及配送点的规划是一项重要的决策问题。

2 国内外研究现状

目前对于铁路行包基地及配送点联合选址问题尚未见到有影响的研究成果。但对于选址问题, 作为一种组合优化问题, 并不是新的课题。同时, 随着对问题研究的深入, 产生了许多丰富的模型及算法, 该类问题一般都是NP-hard问题^[1,2]。文献[3]按照连续模型、网络模型、混合整数规划模型给出了模型的具体形式, 对不同条件下模型的变换形式, 尤其是混

收稿日期: 2005-07-19; 修回日期: 2005-11-23

作者简介: 尹传忠(1971—), 男, 黑龙江绥化人, 博士生, 从事交通运输规划与管理、物流配送优化的研究; 蒲云(1962—), 男, 重庆人, 教授, 博士生导师, 从事交通运输规划与管理、大系统优化等研究。

合整数规划模型进行了详细的分析, 给出了 7 种不同条件下的混合整数规划模型及其应用, 同时回顾并分析了各种模型的不同算法。文献[4]给出了 9 个选址模型, 包括简单选址模型、有容量限制的选址模型、需求变动的选址模型、动态选址模型等, 其目标函数几乎都是使运输费用和固定选址投资费用最小。因此, 针对不同的选址问题, 应建立不同的模型, 而且随着讨论的问题越来越复杂, 启发式算法是求解的方向。

3 铁路行包物流配送流程及特点

3.1 铁路行包物流配送流程

铁路行包物流配送过程有其独特的特点, 配送过程如图 1 所示。

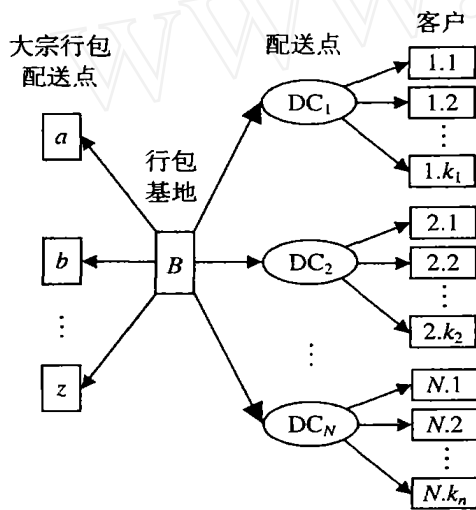


图 1 铁路行包物流配送流程

3.2 铁路行包运输物流配送的特点

铁路行包运输物流配送除了具有一般物流配送的特点外, 还具有如下特点:

- 1) 客户复杂, 没有一定的规律性;
- 2) 配送受旅客列车行李车组织影响较大, 如列车是否正点, 行李车能力利用等;
- 3) 客户之间存在等级区别, 如行李优先于包裹, 包裹还分为 1~4 类, 抢险救灾物资应优先安排等;
- 4) 有运到期限约束, 无需考虑库存费用;
- 5) 行包基地的选址一般在现有铁路枢纽站选择, 除了考虑建立一般的物流中心固定成本外, 还应考虑对所选车站调车作业及通过能力的影响。

4 问题的数学模型

4.1 建立模型的基本假设与前提

考虑到问题的复杂性, 在建立模型时作如下假设:

- 1) 行包基地候选地点为铁路枢纽内的几个备

选车站;

2) 每个邮政网点都具有建立行包配送点的条件, 定义改建费用为零 (无论选哪个邮政点, 改建费用基本相同, 比较费用为零);

3) 假设某些邮政点被定为行包配送点, 其他邮政点即为客户;

4) 大宗行包不经过配送点中转而直接配送到客户;

5) 运费为距离的线性函数;

6) 除运输费用外其他费用统一定为固定费用;

7) 每一客户由固定的配送点服务, 并且需求是固定的。

4.2 符号体系

$N = \{1, 2, \dots, n\}$, 表示可供选择的行包基地的集合;

$M = \{1, 2, \dots, m\}$, 表示邮政点中选择为配送点的集合;

$K = \{1, 2, \dots, k\}$, 表示除去选择为配送点的邮政点的集合;

f_i 为在 i 点设立行包基地的固定费用 (包括基础设施的建设费用, 设立行包基地后对现有通过能力及调车作业影响而产生的费用等);

d_{ij}, d_{ik}, d_{jk} 分别表示各点之间的欧氏距离;

c_{ij}, c_{ik}, c_{jk} 为运价;

$\omega_j, \omega_k, \omega_l$ 为运量

4.3 模型的建立

结合铁路行包物流配送特点, 建立如下混合整数规划模型^[3,5]:

$$F(x, y) = \min_{i \in N} f_i X_i + \sum_{i \in N, j \in M} c_{ij} \omega_j d_{ij} Y_{ij} + \sum_{i \in N, k \in K} c_{ik} \omega_k d_{ik} Y_{ik} + \sum_{j \in M, k \in K} c_{jk} \omega_k d_{jk} Y_{jk}, \quad (1)$$

$$s.t. \quad X_i = 1, \forall i; \quad (2)$$

$$Y_{jk} = 1, \forall j, k; \quad (3)$$

$$Y_{jk} \leq Y_{ij}, \forall i, j, k; \quad (4)$$

$$Y_{ij} \leq X_i, \forall i, j; \quad (5)$$

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{若 } i \text{ 被确定为行包基地,} \\ 0, & \text{否则;} \end{cases} \quad (6)$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若邮政点 } j \text{ 被确定为配送点,} \\ 0, & \text{否则;} \end{cases} \quad (7)$$

$$Y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{若基地 } i \text{ 直接为客户 } k \text{ 配送,} \\ 0, & \text{否则;} \end{cases} \quad (8)$$

$$Y_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{若配送点 } j \text{ 为客户 } k \text{ 配送,} \\ 0, & \text{否则;} \end{cases} \quad (9)$$

模型中,式(1)为目标函数,其中第1部分为建立行包基地的固定费用,第2部分为行包基地到配送点的运输费用,第3部分为大宗行包从行包基地直接配送的运输费用,第4部分为由配送点到客户的运输费用;式(2)保证所在区域只建一个行包基地;式(3)保证每个客户只能有一个配送点为其服务;式(4),(5)保证没有基地或配送点的地点不会有配送点或客户对应;式(6)~(9)为0-1变量

5 求解算法

该问题模型为混和整数规划模型,本文使用两阶段法进行求解,第1阶段用扫描法和传统迭代法求得尽可能好的初始解;第2阶段采用禁忌搜索算法来改进所得到的解

5.1 初始解可行解的构造

Step 1: 用 Sweep 法(扫描法)根据业务量及现有车辆能力对城市内邮政点进行分组,扫描法的基本原理如下:

先计算出所要访问点的极坐标,并按极角大小排序,然后在满足可行性条件的前提下,按极角大小归并到不同的子路径中.算法通过极角大小对客户/节点加以聚类,本质上是将距离近的客户归并到一个子路径中,同时聚类要满足的可行性条件仍为车辆的能力约束,本文对每组内业务量的约束可从公式 $q = U [0.6, 1.0] * Q$ 的计算结果中随机选取,其中: q 表示业务量约束, Q 表示参与配送车辆的载重, U 表示区间.本文将扫描法加以改进,即重新选择新的坐标原点并进行多次扫描

Step 2: 欲使 $F(x, y)$ 最小,必有 $\frac{\partial F(x, y)}{\partial x} = 0$ 和 $\frac{\partial F(x, y)}{\partial y} = 0$, 从而求出迭代公式并计算出每组内至组内各邮政点费用最低点的坐标 (x, y) .

Step 3: 计算组内与 (x, y) 距离最近的邮政点,该邮政点即为所求的该组内的配送点

Step 4: 根据选出的各配送点,重新计算 $F(x, y)$, 并将计算的结果记录在事先制订好的记录表中.

Step 5: 重新选择新的位置为极点,按扫描法进行分组,转向 Step 2, 将计算结果记录在记录表中,如此循环,将计算结果进行比较,找出满意的计算结果作为初始可行解

5.2 禁忌搜索算法

禁忌搜索算法(TS)是由 Glover 于 1986 年提出的,禁忌搜索算法是对局部搜索的一种扩展,是一种全局逐步寻优的智能和通用的启发算法,是对人类智力过程的一种模拟.其搜索性能完全依赖于邻域结构和初始解,尤其容易陷入局部最优.它通过引入

一个灵活的存储结构和相应的禁忌准则来避免迂回搜索,跳出局部最优解,并通过藐视原则来赦免一些被禁忌的优良状态,以保证多样化的有效搜索,实现最终全局优化^[7,8].

5.2.1 邻域的构造

本文采用 1-移动和 1-交换的方式构造邻域^[9],具体方法如下:

1) 1-移动(1-move)

1-move 是与运算符 $(1, 0)$ 和 $(0, 1)$ 相同的启发式算法,它能有效改善解的质量和拙劣解的可行性.具体操作方法是:从一个分组内删除一个客户点,然后将此客户点插入到另一分组内

2) 1-交换(1-exchange)

1-exchange 方法是从两个分组内删除两个客户,并将其分别插入到对方的组内,该方法能有效增加局部搜索能力

5.2.2 解的评价

用禁忌搜索算法求解组合优化问题时需要求解进行评价,使算法在迭代过程中不断搜索到质量更优的解.为了充分对解的空间进行搜索,算法接受导致不可行性解的变换,本文通过引入罚函数的方法对解的质量进行评价,即

$$Z = \sum_{r=1}^L [f(r) + pE(r)]$$

式中: Z 为评价函数的目标值, L 为每个分组方案数中的分组数, $f(r)$ 为问题的目标函数, $E(r)$ 为超出每分组业务量的部分, p 为惩罚因子.

若一个解是可行的,则 $E(r)$ 等于零. p $[0.001, 10.000]$ 开始时等于 1, 并通过一个自调参数来加权;每隔 10 次迭代测试一次,若前面 10 个解都是可行的,则将其除 2;若所有 10 个解都是不可行的,则将其乘 2^[10].这种机制可以产生一种可行解和不可行解的组合,有利于减少陷入局部最优解的可能性

5.2.3 禁忌对象及禁忌长度

禁忌对象是指禁忌表中的那些局部最优解.本文将每次迭代得到的最好解作为禁忌对象放入禁忌表中,并修改其任期,刷新禁忌表

禁忌长度是指被禁对象不允许被选取的迭代步数.其选取方法有 3 种:固定的、动态的或随机的.固定禁忌长度是在求解过程中保持不变;动态禁忌长度的选取依据求解过程函数的性质而调整;随机禁忌长度的选择是依据在一定数量的循环后,解的质量没有改变而决定的.由研究经验知,随机选取禁忌长度比其他两种方法更有效,解的质量不损失^[11],故本文采用随机选取禁忌长度的方法

5.2.4 候选集合

本文将从当前解的领域中随机选择若干个邻居作为候选集合

5.2.5 特赦规则

本文采用典型的特赦规则, 如果经一邻域交换的解比已发现的最好解低得多, 那么就忽略这一交换的禁忌情况, 交换可以执行

5.2.6 终止准则

本文采用迭代指定步数的终止准则

5.2.7 算法描述

iter 为当前迭代步数;

Max. iter 表示最大迭代步数;

stable. iter. = 0.2 * Max. iter.

Step1: 采用 5.1 中的初始解, 并置该解为当前最好解; 置 iter = 0; 禁忌表 S: = {Φ}.

While(iter < Max. iter) do the following:

Begin

Step2: 随机选择两种邻域变换之一, 将所挑选变换作用于当前解, 并将所产生的解加入候选集中;

Step3: iter. = iter + 1; 从候选解集中选择非禁忌的最佳解, 或若存在一个优于当前最好解的禁忌候选解, 则解禁该解, 并将其作为更新的当前最好解;

Step4: 如果 iter = stable. iter/2 时, 解的质量没有改善, 则设禁忌长度从区间 [1, m + 1] 随机选取, 其中 m 表示初始解中配送点数^[11];

Step5: 如果获得了可行解, 但在 iter = stable. iter 最好可行解没有改善, 则 iter = Max. iter, 否则 iter = iter + 1.

End

6 实例分析

设行包基地待选地点有两个 B₁ 和 B₂, 其位置坐标分别为 B₁(0, 0), B₂(54, 48); f₁ = 100, f₂ = 150; I ~ III 表示大宗行包点, 直接由行包基地配送; 1 ~ 30 为一般邮政点; 为计算方便, 运价 C_{ij}, C_{jk}, C_{ik} 均设为 1. 各邮政点的基本情况见表 1. 参数设定: Max. iter = 500, 则 stable. iter. = 100; 禁忌长度随机选取; 候选解的数量 = 50. 本文采用 Matlab 语言, 在 P₃ 处理器, 内存 64MB 的计算机上进行试验计算

本文分别采用 (0, 0), (30, 20), (20, 30) 作为极点进行扫描, 按 5.1 求初始解, 得到分组 1~ 分组 3, 计算结果见表 2. 根据计算结果选择较好的一组(分组 2) 作为初始解, 利用禁忌搜索算法运算 20 次, 计算结果见表 3. 得到的优化解为: 行包基地设在 B₁, 配送点分别设在 3(1, 3, 5, 6, 8, 15, 19); 4(4, 2, 7, 9,

10); 11(11, 12, 13, 14, 16, 17); 20(18, 20, 22, 21, 23, 25); 27(24, 26, 27, 28, 29, 30).

表 1 某城市邮政点的基本情况

邮政点	坐标	运量	邮政点	坐标	运量
I	(52, 10)	5	15	(15, 12)	1.0
II	(48, 40)	6	16	(32, 25)	0.4
III	(0, 36)	5	17	(33, 32)	0.4
1	(33, 1)	0.4	18	(15, 16)	1.0
2	(44, 3)	1.0	19	(6, 8)	1.1
3	(18, 1)	0.6	20	(19, 23)	1.3
4	(37, 3)	1.1	21	(26, 31)	1.0
5	(24, 4)	1.3	22	(21, 33)	0.9
6	(8, 2)	0.4	23	(13, 27)	1.2
7	(36, 10)	0.4	24	(21, 43)	0.3
8	(52, 17)	1.0	25	(5, 15)	0.2
9	(12, 4)	0.6	26	(15, 41)	0.3
10	(31, 16)	1.0	27	(8, 32)	2.2
11	(42, 21)	1.5	28	(7, 40)	1.4
12	(51, 29)	0.5	29	(3, 24)	0.3
13	(29, 18)	0.7	30	(2, 48)	0.2
14	(37, 26)	0.2			

表 2 初始解记录表

	分 组	配送点	费用	基地
	1, 2, 3, 4, 5, 6	1		
分	7, 8, 9, 10, 11, 12	11		
组	13, 14, 15, 16, 17, 18, 19	18	1 977.34	B ₁
1	20, 12, 22, 23, 24	22		
	25, 26, 27, 28, 29, 30	27		
	11, 12, 14, 16, 17, 21, 24	14		
分	22, 26, 30, 28, 27	27		
组	23, 20, 29, 13, 25, 18	20	1 899.88	B ₁
2	19, 15, 6, 8, 3, 5	3		
	10, 1, 4, 7, 2, 9	4		
	17, 21, 22, 24, 26, 30, 28	22		
分	27, 29, 23, 25, 19	27		
组	6, 18, 8, 15, 20, 3	18	1 944.91	B ₁
3	5, 1, 4, 13, 10	5		
	7, 2, 9, 11, 16, 14, 12	11		

表 3 采用禁忌搜索算法的计算结果

	分 组	配送点	费用	基地
	11, 12, 14, 16, 17, 21, 24	14		
	22, 26, 30, 28, 27	27		
初	23, 20, 29, 13, 25, 18	20	1 899.86	B ₁
始	19, 15, 6, 8, 3, 5	3		
解	10, 1, 4, 7, 2, 9	4		
	11, 12, 13, 14, 16, 17	11		
	24, 26, 27, 28, 29, 30	27		
优	18, 20, 22, 21, 23, 25	20	1 880.33	B ₁
化	1, 3, 5, 6, 8, 15, 19	3		
解	4, 2, 7, 9, 10	4		

为了对算法进行客观评价, 本文基于同样的初始解, 采用遗传算法对实例进行了 20 次求解, 取其中最好的一组计算结果, 各计算结果的比较见表 4. 由表 4 可见, 禁忌搜索算法不仅可以得到质量更好

的解,而且求解速度快 同时还尝试采用随机选取初始解的方法,分别采用遗传算法(GA)和禁忌搜索算法(TS)对实例进行20次计算,计算费用分别为1 944.91和1 907.80,平均计算时间均大于1 s,可见,无论是解的质量还是收敛速度都比本文的方法差,说明采用扫描法求初始解是有效的

表4 禁忌搜索算法和遗传算法计算结果比较

	分 组	配送 点	平均计算 时间/s	费 用	基 地
GA	11, 12, 13, 14, 16, 17	11			
	22, 24, 26, 27, 28, 30	27			
	18, 20, 21, 23, 25, 29	20	0.43	1 890.9	B ₁
	3, 5, 6, 8, 15, 19	3			
	1, 4, 2, 7, 9, 10	4			
TS	11, 12, 13, 14, 16, 17	11			
	24, 26, 27, 28, 29, 30	27			
	18, 20, 22, 21, 23, 25	20	0.25	1 880.33	B ₁
	1, 3, 5, 6, 8, 15, 19	3			
	4, 2, 7, 9, 10	4			

7 结 语

本文针对铁路行包运输的特点,给出了优化行包基地及配送点选址规划的数学模型,将改进的扫描法和禁忌搜索算法结合起来求解,能够得到良好的计算结果,而且搜索空间小,求解速度快 因为扫描法来源于求解路径问题,所以本文的计算方法为配送路径研究奠定了良好的基础,对铁路行包公司规划行包基地和配送点的选址布局有着一定的意义 此外,铁路行包运输客户的需求是动态的,而本文是基于客户需求是静态的情况,因此,研究动态需求条件下的选址模型和算法,以及配送车辆的调度是下一步需要解决的问题

参考文献(References)

- [1] Cornujis G, Fisher M L, Nemheuser G L. Location of Bank Accounts to Optimize Float: An Analytic Study of Exact and Approximate Algorithms [J]. *Management Science*, 1977, 23(8): 45-56
- [2] Owen S H, Daskin M S. Strategic Facility Location: A

Review [J]. *European J of Operational Research*, 1998, 111: 423-447.

- [3] Klöse A, Drexl A. Facility Location Models for Distribution System Design [J]. *European J of Operational Research*, 2005, 162: 4-29.
- [4] Aikens C H. Facility Location Models for Distribution Planning [J]. *European J of Operational Research*, 1985, 22(2): 1-19.
- [5] Revelle C S, Eiselt H A. Location Analysis: A Synthesis and Survey [J]. *European J of Operational Research*, 2005, 162: 423-447.
- [6] Gillett B, Miller L. A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem [J]. *Operations Research*, 1974, 22: 340-349.
- [7] 夏洁, 高金源, 余舟毅. 基于禁忌搜索的启发式任务路径规划算法[J]. *控制与决策*, 2002, 17(增): 773-776 (Xia J, Gao J Y, Yu Z Y. Heuristics Decision Algorithm for Mission Path Planning Based on Tabu Search [J]. *Control and Decision*, 2002, 17(S): 773-776)
- [8] 刑文训, 谢金星. *现代优化计算方法*[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 11-28 (Xing W X, Xie J X. *Computing Method of Modern Optimization* [M]. Beijing: Publishing House of Tsinghua University, 1999: 11-28)
- [9] Zhong Y, Cole M H. A Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows: A Guided Local Search Solution [J]. *Transportation Research Part E*, 2005, 41: 131-144.
- [10] 符卓. 带装载能力约束的开放式车辆路径问题及禁忌搜索算法研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2004, 3: 124-127. (Fu Z. The Capacitated Open Vehicle Routing Problem and Its Tabu Search Algorithm [J]. *System Engineering Theory and Practice*, 2004, 3: 124-127.)
- [11] Rolland E, Schilling D A, Current J. An Efficient Tabu Search Procedure for the p-Median Problem [J]. *European J of Operational Research*, 1996, 96: 329-342.

(上接第1315页)

- [6] 王玉涛, 周建常, 王师. 神经网络与时差方法结合预报铁水含硅量[J]. *钢铁*, 1999, 34(11): 7-11 (Wang Y T, Zhou J C, Wang S. Application of Neural

Network Model and Temporal Difference Method to Predict the Silicon Content of the Hot Metal [J]. *Iron and Steel*, 1999, 34(11): 7-11)