

文章编号: 1001-0920(2006)04-0689-04

基于模糊优化的物流配送路径(MLRP)问题研究

张潜^{1a,2}, 李钟慎^{1b}, 胡祥培³

(1 华侨大学 a 商学院, b 机械与自动化学院, 福建 泉州 362021; 2 沈阳工程学院, 沈阳 110015; 3 大连理工大学 系统工程研究所, 辽宁 大连 116023)

摘要: 研究采用嵌入模糊决策规则的遗传算法(即模糊优化方法)求解物流配送多目标定位-运输路线安排问题(MLRP), 重点考虑了时间和运输成本两个目标的MLRP的求解方法. 该算法分成3个阶段, 首先利用遗传算法对初始种群搜索选择优化配送路径; 然后应用配送网络调度算法综合评价来确定配送路径中的关键路径和非关键路径; 最后根据模糊决策规则计算其各个调度相应的指标, 并对已挑选出来的染色体中的某些位基因进行调整, 以提高算法的收敛性. 计算机仿真结果证明了将此混合算法用于求解中、小规模物流配送问题的有效性.

关键词: 多目标定位-运输路线安排问题; 模糊优化; 物流系统优化; 遗传算法

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Research on Multi-objective Location Routing Problem Based on Fuzzy Optimization

ZHANG Qian^{1a,2}, LI Zhong-shen^{1b}, HU Xiang-pei³

(1a Business School, 1b School of Mechanics Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China; 2 Shenyang College of Engineering, Shenyang 110015, China; 3 Institute of Systems Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China Correspondent: ZHANG Qian, Email: zhangyl@hqu.edu.cn)

Abstract: The fuzzy optimizing method that fuzzy rules are embedded in genetic algorithm (GA) is proposed for solving multi-objective location routing problem (MLRP). The two objectives are focused on time and transportation cost constraints. The algorithm includes three steps. Firstly, the optimal distribution routes are chosen by genetic operation. Secondly, the scheduling algorithm is applied in distribution network in order to determine the key routes or non-key routes. Lastly, the related factors for scheduling are computed by fuzzy rules. Some gene of chosen chromosome is regulated. The convergence of this algorithm is improved. Simulation results show that this algorithm is effective to solve small-scale or medium scale logistics distribution problem.

Key words: Multi-objective location routing problem (MLRP); Fuzzy optimizing method; Logistic systematic optimization; Genetic algorithm (GA)

1 引言

定位-运输路线安排问题(LRP)是定位-配给问题(LA)和运输车辆路线安排问题(VRP)的集成LRP调度问题具有复杂性、多约束性的特点,属于组合优化问题,很难获得对于一般问题的解决方案^[1]. 关于LRP概念早期研究主要集中在LRP的复

杂性上,文献[2]将运输车辆多点停留特性与定位-运输网络结合起来进行研究;Cornuejol等在用精确算法^[3]求解银行定位优化问题时提出,如果设施的位置确定,LRP可简化为多仓库的VRP问题. 设定位问题(FLP)和VRP被称为LRP的子问题. 因此,LRP属NP-hard问题,其核心是建模和求解算法

收稿日期: 2005-05-26; 修回日期: 2005-07-05

基金项目: 霍英东基金项目(104009); 辽宁省教育厅科学研究计划项目(2004F013); 福建省自然科学基金项目(A0510019); 华侨大学基金项目; 福建省科学计划重点项目(2005R032).

作者简介: 张潜(1971—),女,沈阳人,副教授,博士,从事复杂系统的建模与控制、物流运输调度的研究; 胡祥培(1962—),男,安徽黄山人,教授,博士生导师,从事智能运筹学、电子商务的研究

由于LRP问题的复杂性,精确求解很困难 Laporte 等于1986年研究了不受旅行长度限制的LRP精确算法,他们用公式描述了整数规划,并采用放宽约束条件的方法来解决这一问题:Bookbinder 等于1988年定义了3层多商品配送体系,建立了非线性混合整数规划模型,并结合Bender's分解将问题分解成定位配给和运输问题两部分.LRP的精确算法仅限于小规模的问题(最高20~50客户),随着问题研究对象增多,可采用启发式算法解决大规模的LRP问题.国内学者蔡延光等用模拟退火和禁忌搜索^[4]求解带时窗的多重运输调度问题

本文研究了多目标定位-运输路线安排问题(MLRP).由于MLRP问题不同目标之间相互制约,其建模和求解具有一定的困难.本文重点考虑了时间和运输成本两个目标MLRP的数学模型及其求解算法,提出了嵌入模糊规则的遗传算法,即模糊优化方法,并满足总的成本最小和时间准时两个条件^[5,6].该算法分成3个阶段:第1阶段利用遗传算法进行配送优化路径选择;第2阶段利用调度算法计算其相应的指标;第3阶段利用模糊决策规则进行染色体的调整.其实质是一种混合遗传算法,其目的是在遗传算法的重组选择循环中嵌入附加的局部优化模块,使之移动到最后的局部最优解.由于算法引入了模糊决策评价指标,使其在求解MLRP问题时比遗传算法具有更强的收敛性.同时,算法为实际物流配送问题的解决提供了新的思路和参考^[7].

2 多目标LRP问题的模型建立

2.1 模型中的决策变量

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{如果第 } k \text{ 个运输工具从客户 } i \text{ 到客户 } j, i \in S, j \in S, k \in V, i \neq j; \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$$Z_r = \begin{cases} 1, & \text{如果在 } r \text{ 处建立一个设施, } r \in G; \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

2.2 模型中的参数含义

$G = \{r | r = 1, \dots, R\}$ 是一系列可行 R 处的潜在设施; $H = \{i | i = R + 1, \dots, R + N\}$ 是一系列需要服务的客户; $S = G \cup H$ 是指所有的地点和客户总和(包括仓库); $V = \{v_k | k = 1, \dots, K\}$ 是 K 个运输工具可以到达设施的路线; C_{ijk} 为第 k 个从客户 i 到客户 j 的平均单位距离的运输成本; C_k 为获得第 k 个运输工具的平均单位成本; d_{ij} 为从客户 i 到客户 j 的距离; α, β 分别为第1级、第2级目标的权系数; q_j 为客户 j ($j \in H$) 需求的平均数量; Q_k 为运输工具 k ($k = 1, \dots, K$) 的容量; C_r 为未按客户要求而拖期将货运到的平均单位时间惩罚成本; t_{ijk} 为第 k 辆车从客户 i 到客户 j 行使所用时间; T_k 为第 k 辆车的发车时

间; T_i, T_j 分别为客户 i 到客户 j 的时间; ET_{ij}, LT_{ij} 分别为客户 i 到客户 j 时间段的下限和上限; T_{ij} 为从客户 i 到客户 j 按要求准时将货物运到所用的时间(它可以是某一个客户事先指定的到达时间段 $ET_{ij} \leq T_{ij} \leq LT_{ij}, T_{ij} = T_k + t_{ijk}$); T_{ijb} 为从客户 i 到客户 j 没按要求拖期将货物运到所用的时间; X_{rjk}, X_{mk} 分别为第 k 辆车从仓库 r 为客户 j 和客户 m 提供服务.

2.3 模型的建立

LRP目标分为如下几级目标:

第1级目标是按客户的要求准时送货以提高物流服务质量,以下称准时完成配送任务.客户订货时经常会规定货物到达的时间以及如何安排配送,以达到客户对时间的要求.这是该系统被重视的目标之一.第2级目标是合理优化物流配送路线以实现总成本最低,以下称成本最低.这是物流配送公司提高经济效益的要求.总成本包括运输路线总成本、开办设施的运营总成本、货物拖期惩罚总成本.注意:对于每台车辆,形成闭通路时每个顶点的驶入次数与驶出次数相同,每台车辆在车队位置驶出最多一次均为绝对目标.因此,MLRP的目标规划模型^[8,9]为

$$f_1(x) = \min \left[\alpha \sum_{i,j \in H, k \in V} (LT_{ij} - T_{ij})^2 + \beta \sum_{i,j \in H, k \in V} (T_{ij} - ET_{ij})^2 \right], \quad (1)$$

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^K C_k \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^{R+N} X_{ijk} q_j + \sum_{i=1}^R F_i Z_i + \sum_{i=1}^K C_k \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^{R+N} X_{ijk} C_{ijk} q_j d_{ij}. \quad (2)$$

满足约束条件

$$\sum_{k \in V, i \in H} X_{ijk} = 1, \quad \forall j \in H; \quad (3)$$

$$\sum_{i \in H, j \in S} q_j X_{ijk} \leq Q_k, \quad \forall k \in V; \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S} X_{ipk} - \sum_{j \in S} X_{pj k} > 0, \quad \forall k \in V, p \in S; \quad (5)$$

$$\sum_{r \in G, j \in H} X_{rjk} = 1, \quad \forall k \in V; \quad (6)$$

$$\sum_{k \in V} X_{mk} + Z_r + Z_m \leq 2, \quad \forall m = 1, \dots, R, r \in G; \quad (7)$$

$$\sum_{k \in V, j \in H} X_{rjk} - Z_r \leq 0, \quad \forall r \in G; \quad (8)$$

$$\sum_{j \in K} X_{rjk} - Z_r \leq 0, \quad \forall k \in V, r \in G; \quad (9)$$

$$\sum_{r \in G, i \in H} X_{rik} + \sum_{j \in H, m \in G} X_{jmk} = 1, \quad \forall k \in V; \quad (10)$$

$$T_{ij} = \sum_{k \in V, j \in H, i \in H} X_{ijk} t_{ijk},$$

$$\forall i, j \in H, k \in V; \quad (11)$$

$$X_{ijk}(T_j - T_i) \leq 0, \forall i, j \in H, k \in V; \quad (12)$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ or } 1, \forall i, j \in S, k \in V; \quad (13)$$

$$Z_r = 0 \text{ or } 1, \forall r \in G. \quad (14)$$

目标函数(1)为运输提前/拖期惩罚的总时间取极小,从而保证货物准时运输给客户;目标函数(2)为总的成本(包括运输路线成本,获得运输工具成本,选择和运作仓库所需成本)求极小值

约束条件(3)确保每一个顾客仅由一个运输工具提供服务;约束条件(4)为运输工具容量的约束条件,满足在路线上行驶的每台车辆都不超过其容量;约束条件(5)为一系列路线连续约束,指运至某一点的货物由同一辆车运出;约束条件(6)保证每一个运输车辆的路线最多从一个仓库驶出;约束条件(7)保证在任意两个仓库之间没有其他连接方式;约束条件(8)和(9)提供了每一运输工具的行驶源于一个仓库且只能有一个起点;约束条件(10)保证任何两个配送中心不会在同一个行车路线上;约束条件(11)提供了第 1 级目标中 T_{ij} 的数学表达式;约束条件(12)保证行车路线时间的顺序性;约束条件(13)和(14)保证满足取整数约束

3 MLRP 问题的模糊优化求解方法

由于不同的潜在设施所选择的路径的运输费用、运输时间不同,如何策略性地挑选不同配送方案,将导致不同的交货期及运输费用。如果配送工作拖期完成,则要受到拖期惩罚,因此优化配送方案应使得拖期惩罚费用与运输路线费用之和最少。为此,本文提出了嵌入模糊决策的遗传算法。其基本思想是:首先利用遗传算法进行优化路径选择,得到遗传算法的初始种群;然后通过模糊决策规则计算,调度各个相应的指标,对已挑选出来的染色体中某些位基因进行改良,从而产生新的遗传种群,传递到下一代,以提高算法的收敛性

3.1 遗传算法的自然数编码优化模型

根据问题的特点,遗传算法的基因编码采用自然数编码方式,即选定仓库所要提供服务的客户运输路线先后顺序作为基因的编码策略

定义 1 染色体 $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ 代表运输路线的客户集合, $1 \leq X_i \leq N_i$, 其中 X_i 为客户 i 的运输路线序号,原目标函数可简化为

$$\min f(x) = \alpha(T_{ij} - M T_{ij}) + \sum_{i=1}^N d_{ij}, \quad (15)$$

其中 α 为配送子系统给定的常数

3.2 算法描述

对于物流配送多目标 LRP 问题,可通过配送网络调度来提高算法的寻优能力,同时可采取相应的

调整策略,在尽可能减少拖期的情况下,降低配送运输路线成本,从而使总成本(总费用)最低。模糊优化方法即为嵌入模糊规则的遗传算法,它是混合遗传算法的一种,其目的是在重组选择循环中嵌入附加的局部优化模块,使之移动到最后的局部最优解。算法分为 3 个阶段:第 1 阶段利用遗传算法进行配送优化路径选择;第 2 阶段利用调度算法计算其相应的指标;第 3 阶段利用模糊决策规则进行染色体的调整。具体实现步骤如下:

Step 1: 设定种群规模 NP, 最大迭代代数 NG, 交叉概率 P_c , 变异概率 P_m 。

Step 2: 调用配送调度算法,计算综合评价系数,并确定关键路径和非关键路径

Step 3: 随机产生 NP 个染色体的初始种群: $Z = [X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X(N)]$, $X_j(i) \leq X_k(i)$, 任何 $j, k, i = 1, 2, \dots, NP$ 。其中 $X_j(i)$ 是一个不大于 N_i 的自然数。设事实上种群的迭代数为 $k = 0$, 初始可行解为 $X^* = X(0)$, 目标函数 $F^* = Q$, Q 为一个大的整数

Step 4: 判断是否满足终止条件,如果满足则转 Step 9; 否则转 Step 5

Step 5: 对于染色体 $X(i), i = 1, 2, \dots, NP$, 进行如下操作:

1) 调用配送网络算法,得出 θ

2) 调用模糊决策规则,返回目标函数值 $f(i)$, 并记忆选择 $X(i)$ 。

3) 记录最大、最小的目标函数值,即

$$f_{\max} = \max\{f(X_i), i = 1, 2, \dots, NP\},$$

$$f_{\min} = \min\{f(X_i), i = 1, 2, \dots, NP\}.$$

令 $i^* = \arg\{f(X_i) = f_{\min}\}$, $X(i^*)$ 为最小目标函数值的染色体

Step 6: If $f^* < f_{\min}$, Then $f^* = f_{\min}, X^* = X(i^*)$ 。

Step 7: 计算适应函数及每条基因的适应值,根据基因的适应值计算其选择概率,并根据选择概率的大小,随机选取基因进行复制

Step 8: 进行交叉和变异运算,产生新一代种群,并用上一代中最好的基因随机替代一个新基因,转 Step 4

Step 9: 输出结果,记录 f^* 和 X^* 作为最优解,结束

4 仿真结果分析

在计算机上对上述算法用 VC++ 进行仿真实验,遗传算子的参数设置为 $P_c = 0.63, P_m = 0.26$ 。分别选择同型车对 3 个潜在设施、10 个客户及 6 个潜在设施、20 个客户配送实例进行仿真计算,其最

优值、均值、最大值、达优率如表1所示。种群规模 pop-size = 200, 迭代次数 max-gen = 1000

表1 仿真结果

问题规模	算法	达优率 %	最优值	均值	最大值
3/10	GA/FD	96	1 831.80	1 831.80	1 833.80
	GA	43	1 831.80	1 836.80	1 837.30
6/20	GA/FD	91	3 691.20	3 692.90	3 696.30
	GA	30	3 691.20	3 693.90	3 711.30

5 结 语

本文提出了一种采用模糊决策规则的遗传算法(即模糊优化方法)求解MLRP问题。首先利用遗传算法对初始种群搜索选择优化路径;然后根据模糊决策规则计算其各个调度相应的指标;最后对已挑选出来的染色体中某些位基因进行改良,从而产生新的遗传种群。由于模糊优化求解比单纯的遗传算法具有更强的收敛性,此方法对于求解物流配送路径优化问题更具实际意义。计算机仿真实验证明了该算法的有效性。

参考文献(References)

- [1] Hokey M, Vaidyanathan J, Rajesh S. Combined Location-routing Problem: A Synthesis and Future Research Directions [J]. *European J of Operational Research*, 1998, 108(1): 1-15
- [2] Watson-Gandy C, Dohrn P. Depot Location with Van Salesmen - A Practical Approach [J]. *Omega*, 1973, 1(3): 321-329
- [3] Cornuejols G, Fisher M L, Nemheuser G L. Location of Bank Accounts to Optimize Floats: An Analytic Study of Exact and Approximate Algorithms [J]. *Management Science*, 1997, 23(8): 323-326
- [4] 蔡延光, 钱积新, 孙优贤. 带有时间窗的多重运输调度问题的自适应 Tabu Search 算法 [J]. *系统工程理论与实践*, 2000, (12): 42-50.
(Cai Y G, Qian J X, Sun Y X. Tabu Search of Multi-transportation Scheduling with Time Window [J]. *System Engineering Theory and Practice*, 2000, (12): 42-50.)
- [5] 张潜, 高立群, 胡祥培. 集成化物流中的定位-运输路线问题(LRP)优化算法评述 [J]. *东北大学学报*, 2003, 24(1): 31-34
(Zhang Q, Gao L Q, Hu X P. Review on Optimal Algorithm of Location-routing Problem (LRP) in Integrated Logistics [J]. *J of Northeastern University*, 2003, 24(1): 31-34.)
- [6] 张潜, 高立群, 刘雪梅, 等. 定位-运输路线问题的两阶段启发式算法 [J]. *控制与决策*, 2004, 19(7): 773-777.
(Zhang Q, Gao L Q, Liu X M, et al. A Two-phase Heuristics Approach to Location-routing Problem [J]. *Control and Decision*, 2004, 19(7): 773-777.)
- [7] William P N, Wesley J B. Solving the Pickup and Delivery Problem with Time Windows Using Reactive Tabu Search [J]. *Transportation Research Part B*, 2000, (34): 107-121.
- [8] Campos V, Mota E. Heuristic Procedures for the Capacitated Vehicle Routing Problem [J]. *Computational Optimization and Applications*, 2000, 16(2): 265-277.
- [9] 汪定伟, 容启亮, 叶伟雄. 企业动态联盟中的伙伴挑选模型及其模糊优化方法 [J]. *中国科学, E 辑*, 2002, 32(6): 824-830
(Wang D W, Rong Q L, Ye W X. Fuzzy Optimizing Method for Chosen Partner Model in the Enterprise [J]. *Chinese Science E*, 2002, 32(6): 824-830.)
- [6] Yang J J, Wu F X, Shi Z K. Robust H_{∞} -infinity Fault Tolerant Controller Design for Linear Delay Systems with Uncertainty [J]. *Control Theory and Application*, 2000, 17(3): 442-448
- [7] Liu P, Zhou D H. Robust Fault Tolerant Control of Uncertain Time-delay Linear Systems [J]. *Progress in Science*, 2003, 13(6): 464-469
- [8] Li Z H. Robust Fault Tolerant Control of Uncertain Systems with State and Control Time Delay [J]. *J of Hunan University*, 2000, 27(1): 60-66
- [9] Liu P, Zhou D H. Study on Robust Fault Tolerant Control of Uncertain Linear Time-delay Systems [J]. *Control Theory and Application*, 2003, 20(1): 78-80
- [10] 王德进. H_2 和 H_{∞} 优化控制理论 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2001: 169-173
(Wang D J. H_2 and H_{∞} Optimal Control Theory [M]. Harbin: Publisher of Harbin Institute of Technology, 2001: 169-173.)
- [11] Yang G H, Wang J, Yeng C S. Reliable Guaranteed Cost Control for Uncertain Nonlinear Systems [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 2000, 45(11): 2188-2192
- [12] Yang Y, Yang G H, Soh Y C. Reliable Control of Discrete-time Systems with Actuator Failure [J]. *IEE Proc-Control Theory Application*, 2000, 147(4): 428-432

(上接第670页)