

基于遗传算法的直接再利用网络设施定位方法

崔 欣, 李 波, 马大奎

(天津大学管理学院工业工程系, 天津 300072)

摘 要: 针对逆向物流网络中同时包含正向流和逆向流的设施定位问题, 构建一种逆向物流直接再利用网络能力受限设施定位模型, 以增加生产能力约束。利用遗传算法的全局搜索能力和新颖的约束处理避免了传统拉格朗日启发式算法中求上下限的繁琐计算过程。在不同的遗传算法参数下进行多次实验评定, 均能收敛到全局最优解, 且计算稳定、收敛速度快。

关键词: 逆向物流; 直接再利用网络; 设施定位; 遗传算法

Facility Location Method for Directly Reusable Network Based on Genetic Algorithm

CUI Xin, LI Bo, MA Da-kui

(Dept. of Industrial Engineering, School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072)

【Abstract】 This paper proposes Capacitated facility location model for Directly Reusable Network (CDRN) in reverse logistics. Direct and reverse flows are both included and production capacity constraints are appended. Genetic Algorithm(GA) is presented to solve the model for its global search ability. This approach and novel constraint treatment avoids the redundant evaluation of the lower and upper bound in the process of Lagrange heuristic algorithm. The experiment is evaluated by using different parameters. The results indicate that the method does achieve the convergence of the optimal solutions and provides better accuracy steadily and rapidly.

【Key words】 reverse logistics; directly reusable network; facility location; genetic algorithm

目前, 越来越多的企业开始考虑物流系统中制造企业同顾客或销售中心间的逆向物流问题^[1]。逆向物流网络系统并不总是正向物流网络的对称映像, 关于逆向物流系统中的设施定位与优化问题, 大多学者只考虑一个方向(正向或逆向), 普遍采用拉格朗日启发式算法求解^[2-4]。直接再利用网络(DRN)^[5-6]是逆向物流网络系统中回收的物品可以直接再使用或仅须简单处理后便可再使用, 如托盘、瓶子、纸箱等。文献[7]针对DRN网络, 提出一个同时考虑正向流和逆向流的设施定位方法, 建立了非能力受限设施定位规划模型, 该方法使用基于拉格朗日启发式的算法求解, 对可行解的上下界进行优化迭代, 但计算比较复杂。本文考虑到正向流和逆向流及它们之间存在的相互约束关系, 引入了生产能力限制条件并鉴于遗传算法良好的全局搜索能力提出了一种基于遗传算法逆向物流直接再利用网络能力受限的设施规划方法。

1 问题描述及数学模型

1.1 目标函数的构造

正向流是生产商到销售商的产品流, 逆向流是销售商返回到生产商的再利用物流。DRN网络的主要功能是生产产品, 收集、运输和储存待返回的物品, 其关键是如何确定生产地和销售地及相关的运输计划。基于对直接再利用网络的调查分析, 做如下假设:

(1) 有两种参与者: 生产者与销售者。集装箱、瓶子、托盘等统称为“容器”, 所有返回到生产地的容器将被直接再利用于正向物流的产品制造或运输。清洁或修复操作在生产地进行。

(2) 销售地对产品的需求、返回容器的数量和生产商的生

产能力已知且确定。销售商的产品需求可由一个或多个制造商共同满足。

(3) 返回容器的数量与正向产品的运输数量直接相关, 它是生产商制造或运输等流程所必需的。若制造商缺少再利用容器, 则须补充。

(4) 每个制造地点均有充足的能力进行返回容器的再加工, 且相应成本可被忽略。

本文引入的参数有: $j \in J$, 表示生产地; $i \in I$, 表示销售地; 全集 $R = I \cup J$; $s, t \in R$, 表示两个不同的地点, 可能是生产地或销售地; d_{st} 为两点间距离; 当且仅当 $s \in I$ 且 $t \in J$ 时, $d_{ij} = d_{st}$, 表示生产地 j 与销售地 i 之间的最短距离; f_j 为在地点 j 建立生产地的固定成本; r 为单位容器内的产品数; M_j 为生产地 j 的生产能力; cb 为购买容器的单位成本; h_i 为销售地 i 的需求; hr_i 为从销售地 i 返回容器的数量; c_{ij} 为生产地 j 到销售地 i 单位总成本; c_{ji} 为从地点 i 到生产地 j 的单位返回品的单位总成本; XB_j 为地点 j 从外部购买容器的数量, 若 $Y_j = 1$, 则设施定位于地点 j ; 若 $Y_j = 0$, 则设施不是位于地点 j 。 X_{ij} 为生产地 j 提供给销售地 i 的产品数量占销售地 i 对产品总需求量的百分数; XR_{ij} 为从销售地 i 返回到生产地 j 的可用容器数量占所有返回到生产地 j 的返回品总数的百分数。

基于上述假设, 对文献[7]的模型进行了改进, 加入生产

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“基于智能表示的空间调度理论与方法在物流管理中的应用”(70572045)

作者简介: 崔欣(1982-), 女, 硕士, 主研方向: 物流管理与工程; 李波, 教授; 马大奎, 硕士

收稿日期: 2007-05-21 **E-mail:** acuixin@yahoo.com.cn

能力限制条件。本文的直接再利用网络能力受限的设施定位模型 CDRN(Capacitated DRN)如下：

$$\begin{aligned} \min & \sum_j f_j Y_j + \sum_i \sum_j c_{ij} h_i d_{ij} X_{ij} + \sum_i \sum_j cr_{ij} hr_i d_{ij} XR_{ij} + \sum_j cb XB_j \\ \text{s.t.} & (1) \sum_j X_{ij} = 1, \quad \forall i, \\ & (2) \sum_j XR_{ij} = 1, \quad \forall i, \\ & (3) \sum_i hr_i XR_{ij} + XB_j \leq (1/r) \sum_i h_i X_{ij}, \quad \forall j, \\ & (4) X_{ij} \leq Y_j, \quad \forall ij, \\ & (5) XR_{ij} \leq Y_j, \quad \forall ij, \\ & (6) \sum_i h_i X_{ij} \leq M_j Y_j, \quad \forall j, \\ & (7) Y_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j, \\ & (8) X_{ij}, XR_{ij} \geq 0, \quad \forall ij, \\ & (9) 0 \leq XB_j \leq MY_j, \quad \forall j, \end{aligned}$$

M ：充分大的数。

约束(1)和约束(2)分别保证满足产品和返回容器的需求。约束(3)是此模型的关键约束，连接了正向流和逆向流，表示正向流和逆向流在每个地点 j 的关系，即每个生产地 j 容器(返回品)的可利用数量应按比例比生产地 j 要生产或运输的产品数量稍微多些。约束(4)和约束(5)表示定位变量和布置变量。约束(6)是生产能力限制条件。约束(7)表示定位变量为 0-1 变量。约束(8)是非负约束。约束(9)指定只有生产地才有权购买产品。

1.2 模型的优化

求解该问题之前，首先对模型进行简化处理^[7]。假设生产商购买容器的单位成本固定，且 $cb \gg cr_{ij}, \forall ij$ ，则可从模型中简化约束(3)，去掉约束(9)。另外假设系统对容器的总需求不少于返回品数量，即 $\sum_i hr_i \leq (1/r) \sum_i h_i$ ，引入约束 $\sum_i hr_i XR_{ij} \leq (1/r) \sum_i h_i X_{ij}, \forall j$ 来取代约束(3)。购买品数量等于需求量和返回品数量之差

$$XB_j = (1/r) \sum_i h_i X_{ij} - \sum_i hr_i XR_{ij}, \quad \forall j \quad (1)$$

将式(1)代入目标函数，其中， $\sum_j cb XB_j = cb((1/r) \sum_i h_i X_{ij} - \sum_i hr_i XR_{ij})$ 。根据上述讨论，变量 $XB_j, \forall j$ 对目标函数没有影响。将模型CDRN转化为不考虑 XB_j 的CDRN'：

$$\begin{aligned} \min & \sum_j f_j Y_j + \sum_i \sum_j c_{ij} h_i d_{ij} X_{ij} + \sum_i \sum_j cr_{ij} hr_i d_{ij} XR_{ij} \\ \text{s.t.} & (1), (2), (4), (5), (6), (7), \\ & \sum_i hr_i XR_{ij} \leq (1/r) \sum_i h_i X_{ij}, \quad \forall j \quad (3') \end{aligned}$$

当购买容器的成本 cb 随生产地变化而变化时，模型中唯一改变的是目标函数中变量 X_{ij} 和 $XR_{ij}, \forall ij$ 的值，但它们不影响模型的有效性和随后使用的优化算法。

2 基于遗传算法的算法设计

2.1 编码和适应度函数的设计

CDRN'模型中两种参与者：生产者与销售者，因此，本文在遗传算法中采用二进制编码，染色体基因值为 1 表示该地点是生产地；为 0 表示该地是销售地。对应的基因依次连在一起构成该编码的 1 个个体，如 {011101100100}。

染色体的适应度是反映染色体性能优劣的唯一指标，适应度越大，它在以后的遗传中存活的机率越大。本文对函数求最小化，因此，可取适应度函数 $f(i)=1/O(i)$ ，其中， $f(i)$ 为第 i 个个体的适应度； $O(i)$ 为第 i 个个体的 CDRN' 目标函数值(生产地数量至少为 1，所以 $O(i) \neq 0$)。

2.2 约束处理和染色体修复策略

对于正向流，各个销售地对产品的需求由耗费成本最小

的生产商来提供。判断此分配方案各个生产点是否超出了生产能力限制，若是，则超出部分的需求由运输成本次小的生产商提供。若最终无法满足该销售地点的需求，则将目前生产能力最大的销售地变为生产地。如果算例有可行解，则在全部地点都变为生产地之前得到满足正向流约束条件的可行解。对于此正向流可行解，若有销售点超出了接收返回品的能力限制，则对返回容器数量大的销售地进行优先布置，超出部分的销售地需求由耗费成本次小的生产商接收。

2.3 选择策略

按适应度排列群体中的个体，采取精英选择方法复制适应度值最大的染色体并使它直接进入下一代。下一代染色体中其余染色体采用轮盘选择法产生：假设种群中第 i 个个体适应度为 $f_i(i=1, 2, \dots, N_{pop})$ ，群体总的适应度为 $\sum_i^{N_{pop}} f_i$ ，则将

$$f_i / \sum_i^{N_{pop}} f_i$$

2.4 交叉操作

产生一个 $[0, 1]$ 区间的随机数 z ，如果 $z < P_c$ ，则随机选择两个个体 P_1 和 P_2 作为父代，对两个父代染色体的基因片断进行单点交叉运算： $P'_1 = rP_1 + (1-r)P_2$ ， $P'_2 = rP_2 + (1-r)P_1$ ， P'_1 和 P'_2 为生成的新个体。对于产生的非法染色体进行修复策略。

2.5 变异操作

产生一个 $[0, 1]$ 区间的随机数 z ，如果 $z < P_m$ ，则对染色体的随机变异点基因进行反转变异运算(即 $0 \rightarrow 1$ 或 $1 \rightarrow 0$)。对于产生的非法染色体进行修复策略。

2.6 算法过程

- step 1 初始化操作，包括群体规模 N_{pop} ，进化代数 M_{gen} ，交叉概率 P_c ，变异概率 P_m 等；
- step 2 产生初始群体；
- step 3 确定初始方案，计算个体的适应度值并排序；
- step 4 令寻优代数 $T=1$ ；
- step 5 如果 $T > M_{gen}$ ，则停止并输出结果，否则 $T=T+1$ ，进行下一步；
- step 6 采取精英选择进行染色体复制；
- step 7 交叉和变异操作，对于产生的非法染色体进行修复策略；
- step 8 计算个体的评价，转 step 5。

3 仿真试验及结果分析

本文采用文献[8]的例子说明遗传算法的有效性。该例有 12 个地点：A, B, ..., L(图 1)，点划线中间的数字表示两点间的距离 d_{st}^0 。两点之间的最短距离 d_{st} 可由 Dijkstra^[9] 方法算出。正向流产品的单位距离总成本是 0.35，返回品是正向单位距离总运输成本的 90%， $r=1$ 。方块中的数字分别是该点的定位成本、生产能力上限、产品需求和本地可以返回的返回品数量。不同参数设置下的试验结果见表 1。

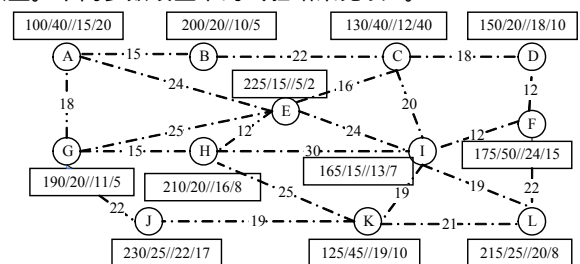


图 1 已知条件示意图

(下转第 209 页)