

一种逆向物流网络的多期动态选址方法^①

李波, 曾成培

(天津大学管理学院物流工程与管理系, 天津 300072)

摘要: 提出一种逆向物流网络的多期动态选址方法. 不同于静态的、单期模型, 考虑需求变化的不同时期下, 计算机相关产品逆向物流网络的多层设施定位方法. 基于遗传算法, 采用二进制十进制混合编码的染色体来表示回收点、回收点的回收期及回收中心相关的决策变量; 设计顾客对回收点、回收点对回收中心的两个子分配算法来保证所有约束的满足性, 并进行拟合度函数的评价; 提出的特定遗传进化操作使得模型求解方向趋于回收点、回收中心和生产点相结合的最佳逆向物流网络; 最后的仿真实例说明了所提方法的有效性.

关键词: 逆向物流; 遗传算法; 多期动态选址

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2008)05-0076-09

0 引言

近年来, 随着人们环保意识的增强, 相关环境法律法规的出台以及经济利益的驱动, 逆向物流作为闭环工链的一部分, 得到了政府、企业以及学者的更广泛关注和研究^[1,2]. 与正向物流相比, 逆向物流具有更复杂的回收渠道、更不确定的顾客需求以及更多样化的处理方式; 此外, 逆向物流所考虑的影响因素也比正向物流复杂得多. 正是逆向物流的这些特性, 使得在逆向物流管理中的首要任务就是优化逆向物流网络, 其中确定逆向物流网络的层级结构、分散与集中程度, 设施的位置、数目和容量是逆向物流网络设计的核心问题. 虽然逆向物流的兴起较晚, 但其发展较快, 已经有一些国外的相关研究成果, 如 Moritz Fleischmann^[3,4]、Vaidyanathan Jayaraman^[5] 等人对逆向物流及其数量模型进行了综述; Anna Nagurney^[6] 等人对逆向供应链的管理以及电子废品的回收给出了一个框架结构; Maria Isabel Gomes Salema^[7] 等人提出一个混合整数规划模型, 以解决逆向物流网络中不确定需求下能力受限的设施定位问题; Hyun

Jeung Ko^[8] 等人提出了一个整合正向物流与逆向物流的动态设施定位模型. 国内关于逆向物流的研究起步较晚, 直到近几年才出现一些研究成果. 黄祖庆等^[9] 对直线型再制造供应链的结构效率进行了分析; 赵宜^[10] 等人提出一个基于遗传算法和分枝定界法的混合整数规划模型, 以解决废弃物回收的设施选址定位问题; 周根贵^[11] 等人在随机需求下提出一个结合正向物流的逆向物流设施选址定位模型.

由于逆向物流系统中的回收物品在延迟时间、质量和数量上的高度不确定性, 并且多数回收品需要经过检测、分类等运作工序, 因而逆向物流系统的设施选址定位比传统的选址定位问题^[12] 更为复杂. 到目前为止, 多数的逆向物流模型都是对传统设施选址模型的修改或拓展. 逆向物流网络设计一般还只局限于确定型的设施定位模型, 而来自供给和需求的不确定性只是由具体情景和参数分析说明, 而且模型大都从静态、单一阶段的角度考虑, 动态、多阶段的闭环网络设计大多还没有涉及.

① 收稿日期: 2006-09-27; 修订日期: 2008-07-03.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70572045).

作者简介: 李波(1967—), 女, 山西人, 教授, 博士生导师. Email: libo0410@yahoo.com.cn

本文根据实际需求,扩展了静态、单一阶段的逆向物流网络设施定位模型,提出了一个多期的、动态的针对计算机等相关电子产品的逆向物流网络多层设施定位模型(即顾客对回收点、回收点对回收中心、回收中心对制造中心的网络结构)。模型考虑了需求在不同时期发生变化情况下,逆向物流网络的回收点将相应进行调整,但回收中心保持不变的设施定位方法。基于遗传算法,采用二进制十进制混合编码形式,染色体表示了回收点、回收点的回收期及回收中心相关的决策变量,设计了顾客对回收点的分配算法和容量限制下回收点对回收中心的分配算法来保证所有约束的满足性,通过特殊的遗传进化操作使得模型求解方向趋于回收点、回收中心和生产点相结合的最佳逆向物流网络;最后的仿真实例说明了所提方法的有效性。

1 数学模型的建立

1.1 问题描述

假设有一个生产计算机及其相关设备的企业(简称为CE),由于采用了直销和比较自由的退货策略,使得它需要处理大量的退回产品。考虑到在较长的一段时期内顾客需求是在变化的,回收点在不同时期内也应该是变动的。从回收点收集的退回产品应在一定时间内运送到回收中心,并在回收中心对这些退回产品进行检查,将可能修理或恢复的产品分拣出来,其余的产品运回生产所在地进行最终处理。回收点是可以根据用户分布情况考虑租赁类似零售店、药店等代为回收,租用这些回收点将只考虑各种变动成本;而回收中心是由CE公司建立和运营的,且由于较高的建设成本,这里假设在不同的运营期内回收中心是固定不变的。由于生产地是确定的,为简化问题,假设生产地到各回收中心的距离可以看作是相同的,因此在建模时可以不再考虑回收中心与生产地之间的运输成本。

CE公司面临的逆向物流网络设施定位问题就是:选取哪些备选点作为回收点,建立哪些回收中心以及采用哪些逆向物流渠道,CE公司的目标是最大程度地节约该逆向物流网络设施定位所引起的潜在成本,因此,本文提出一个非线性混合整

数规划模型来描述这个多期问题。要求在相应的能力限制和服务需求下,该模型能够找出优化的回收点和回收中心的最佳位置、数量及其回收量。在建立数学模型之前,需要做出下列一些假设和简化:(1)由于单个顾客退回产品的数量不大,单个顾客直接将产品退回回收中心会造成成本的增加,因此这种做法是不允许的,产品的退回应按照顾客到回收点,回收点到回收中心的流程来执行;(2)由于单个顾客退回产品的数量不大,对于来自单个顾客的退回产品,一个回收点应有足够的容量来接受这些产品;(3)在顾客周边的一定距离范围内,都应存在相应的回收点,如果与顾客相对应的回收点在规定的距离范围内,那么他们之间的运输费用可以忽略不计;(4)由于回收点是租用的,回收点变动所产生的费用可以忽略不计;(5)在同一期内,顾客的日需求不会发生变化,但在不同期内,顾客的日需求是变化的。

1.2 模型参数和决策变量

1)根据以上研究的问题说明和假设条件,相关的模型标号和参数说明如下:

标号:

i ——第 i 个顾客, $i \in I$, I 表示所有需要服务的顾客集合;

j ——第 j 个回收点, $j \in J$, J 表示备选的回收点集合;

k ——第 k 个回收中心, $k \in K$, K 表示备选的回收中心集合;

t ——第 t 运营期, $t \in T$, T 表示动态选址问题中运营期数的集合,如 $T = \{1, 2, 3\}$ 表示考虑三期的动态选址问题,每一期的运营时间以天为单位来表示;

模型参数:

a ——回收点每期的租金成本;

b ——每单位存货的日储存成本;

w ——每期的运营时间(以天计算);

r_{it} ——第 t 运营期内每日来自顾客 i 的产品回收量;

h ——单位产品的处理成本;

q_k ——建立回收中心 k 的成本;

m_k ——回收中心 k 的最大吞吐量;

d_{ij} ——顾客 i 到回收点 j 的距离;

d_{jk} ——回收点 j 到回收中心 k 的距离;

l ——顾客到回收点允许的最大距离;

$f(X_{ijk}, d_{jk})$ —— $E\alpha\beta$ (运费率函数),其中 E 是单位产品运费率; α 是折扣率,是根据回收点 j 与回收中心 k 之间的运输量 X_{ijk} 确定的,随着运输量 X_{ijk} 处于不同的范围(如下式中 p_1, p_2), α 的取值是不同的; β 是惩罚率,是根据回收点 j 与回收中心 k 之间的距离 d_{jk} 确定的,随着运输距离 d_{jk} 处于不同的范围(如下式中 q_1, q_2), β 的取值是不同的,即

$$\alpha = \begin{cases} 1 & X_{ijk} \leq p_1 \\ \alpha_1 & p_1 < X_{ijk} \leq p_2 \\ \alpha_2 & X_{ijk} > p_2 \end{cases} \quad \text{其中 } \alpha_2 < \alpha_1 < 1, \quad p_1 < p_2$$

$$\beta = \begin{cases} 1 & d_{jk} \leq q_1 \\ \beta_1 & q_1 < d_{jk} \leq q_2 \\ \beta_2 & d_{jk} > q_2 \end{cases} \quad \text{其中 } 1 < \beta_1 < \beta_2, \quad q_1 < q_2$$

M ——任意设定的一个大数.

2) 模型的决策变量

T_{ij} ——第 t 运营期内回收点 j 的回收期,以天表示,不同的回收点可以具有不同的回收期.回收期是一个时间段(比如3天),在该时间段内,回收点接受顾客的退回产品,并在时间段结束时将所有退回产品运送到回收中心,这样回收期也表示了回收点到回收中心的运送频率,如回收期是3天,表示3天一次运送的频率;

X_{ijk} ——第 t 运营期内回收点 j 在每一回收期结束时运送到回收中心 k 的产品回收量;

Y_{ij} ——第 t 运营期内顾客 i 与回收点 j 的对应关系,满足

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{若第 } t \text{ 运营期内顾客 } i \text{ 分配给回收点 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

Z_{ij} ——表示第 t 运营期内是否选择回收点 j , 满足

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{若第 } t \text{ 运营期内回收点在 } j \text{ 点建立} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

G_k ——表示是否选择回收中心 k , 满足

$$G_k = \begin{cases} 1 & \text{若回收中心在 } k \text{ 点建立} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

1.3 数学表达式

根据上述对问题的描述以及相关的参数和假设说明,可以得到如下的数学模型:

$$\text{Min } TC = \sum_i \left\{ a \sum_j Z_{ij} + bw \sum_j \sum_i r_{ii} Y_{ij} \times \right.$$

$$\left. \frac{(T_{ij} + 1)}{2} + hw \sum_i r_{ii} + \sum_k G_k \sum_j (X_{ijk} \frac{w}{T_{ij}}) \times f(X_{ijk}, d_{jk}) \right\} + \sum_k q_k G_k \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_j Y_{ij} = 1, \forall i \in I, \forall t \in T, \quad (2)$$

$$\sum_i Y_{ij} \leq MZ_{ij}, \forall j \in J, \forall t \in T, \quad (3)$$

$$\sum_i r_{ii} Y_{ij} T_{ij} = \sum_k X_{ijk}, \forall j \in J, \forall t \in T, \quad (4)$$

$$\sum_j X_{ijk} \leq m_k G_k, \forall k \in K, \forall t \in T, \quad (5)$$

$$\sum_j Z_{ij} \geq 1, \forall t \in T, \quad (6)$$

$$\sum_k G_k \geq 1 \quad (7)$$

$$\sum_j X_{ijk} G_k \geq G_k, \forall k \in K, \forall t \in T, \quad (8)$$

$$d_{ij} Y_{ij} \leq l, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T, \quad (9)$$

$$X_{ijk} \geq 0, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T, \quad (10)$$

$$T_{ij} \in (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), \forall j \in J, \quad (11)$$

$$Y_{ij}, Z_{ij}, G_k \in (0, 1), \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T. \quad (12)$$

目标函数(1)使逆向物流的总成本最小化,总成本包括回收点租金、退回产品的存储费、处理费、运输费以及回收中心的建设费.其中 $bw \sum_j \sum_i r_{ii} Y_{ij} \frac{(T_{ij} + 1)}{2}$ 表示的是在第 t 运营期内,退回产品在回收点的存储费,虽然产品的退回是随机的,但为了简便,可以认定产品在每一期内是均匀退回的,因此单位产品在回收点的存储期为 $(T_{ij} + 1)/2$; $\sum_k G_k \sum_j (X_{ijk} \frac{w}{T_{ij}}) \times f(X_{ijk}, d_{jk})$ 表示的是在第 t 运营期内,退回产品从回收点运送到回收中心的运输费, $(X_{ijk} \frac{w}{T_{ij}})$ 表示第 t 运营期内回收点 j 到回收中心 k 的产品回收量, $f(X_{ijk}, d_{jk})$ 是单位回收产品的运费率函数,与运输量 X_{ijk} 和运输距离 d_{jk} 相关.约束(2)确保每位顾客对应一个回收点;约束(3)防止关闭的回收点接受顾客的退回产品,即如果回收点 j 在第 t 运营期内是关闭的($Z_{ij} = 0$),则该回收点在第 t 运营期内不能接受顾客的退回产品($\sum_j Y_{ij} = 0$);约束(4)使得每个回收点的输入流等于输出流;约束(5)确保来自回收点的退回产品总量不会超过回收中心的

最大容量；约束(6)和(7)确保每期内有最少的回收点和回收中心来进行产品回收；约束(8)确保开放的回收中心的每期回收量大于0，即如果回收中心 k 是开放的 ($G_k = 1$)，则在任意的第 t 运营期内，回收中心 k 的回收量大于0 ($\sum_j X_{ijk} G_k > 0$)；约束(9)确保每个回收点的附近都有一定量的顾客。约束(10)保持决策变量 X_{ijk} 的非负性；约束(11)限制决策变量 T_{ij} (回收点的回收期) 的整数范围；约束(12)保证决策变量 Y_{ij} 、 Z_{ij} 和 G_k 取值为0或1。

2 基于遗传算法的逆向物流网络多期动态选址方法

从以上模型描述，可以看出该问题所涉及的逆向物流网络设计属于 NP-complete 问题，一般的非线性规划方法求解非常复杂。启发式方法在求解这类问题时通常是可行的，本文提出了一种由两个子算法组成的遗传算法来解决该逆向物流网络的设施定位问题。

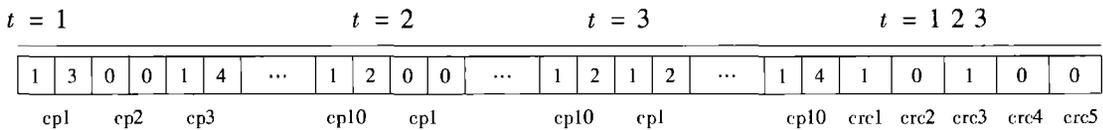


图1 染色体编码图:cp = 回收点;cre = 回收中心。

Fig. 1 The codes of chromosome; cp = return points, cre = return centers

2.2 遗传操作

遗传操作根据编码的设计和问题的约束，设计了适合该模型求解的特殊遗传操作算子，以便进化得到最优子代。

1) 精华选择策略：根据个体的适应度值，将当前种群中最好的20%直接复制到下一代种群中。需要注意的是，由于个体的编码只包括了部分决策变量，其它的决策变量是通过两个子算法确定的，因此在复制这些最好的个体时，应将个体所对应的所有决策变量全部复制到下一代中。

2) 期期间多点交叉策略：考虑到个体的编码包括了每期的决策变量，在对个体进行交叉操作时，采用期期间多点交叉策略。根据个体的适应度

2.1 编码

这里提出了一种二进制和十进制相结合的混合编码形式，表示的是与回收点、回收点的回收期以及回收中心相关的决策变量。由于本文考虑的是多期动态设施定位问题，为了得到全局最优，把多期的这些决策变量都编码在一个染色体内。比如如图1表示了一个可能的染色体，一共有3期，包括10个回收点(用cp1—cp10表示)以及5个回收中心(用cre1—cre5表示)。每期内回收点是变化的，而回收中心是保持不变的。每个回收点包含两位：第一位表示的是回收点的开(=1)/关(=0)，即备选点选中还是没有选中；第二位表示的是该回收点的回收期(取值范围是0~7的整数，表示天数)。图1中，第一期的回收点1被选中，回收期为3天；回收点2没有选中，回收期为0，即没有选中的回收点，其回收期一定是0等等。而回收中心仅仅用一位来表示它的开/关结果，在图1中回收中心1和3被选中。

为了提高解的可行性，在生成初始种群时，采用启发式知识给出一定限制：就确保每期至少有一个回收点和回收中心是开放的。

值，选出种群中最好的两个个体，并从每期回收点所对应的开关位中随机选择一个交叉点(例如，三期问题需要从回收点开关位中选择三个交叉点)，再从回收中心所对应的开关位中随机选择一个交叉点，然后交换这两个父代个体的部分代码串，得到两个子代个体。图2给出了以3期问题为例交叉操作的图示。

3) 开关点变异策略：变异操作是为了产生一定的随机性，并防止模型的解陷入局部最优。跟交叉一样，变异的类型也取决于编码。在本文所采用的遗传算法中，变异操作首先是在每一期所对应的编码中随机选择一个开关位，然后将其值从0转化为1，或从1转化为0。如果该开关位对应的是回收点，改变后二进制位的值是0，那么将其对应

的回收期也置为0;否则,随机产生一个1到7的整数作为该回收点的回收期.这样,就能更好地保

持种群的多样性.图3给出了以3期问题为例的变异操作的图示.

	t=1 交叉点1				t=2 交叉点2				t=3 交叉点3				交叉点4											
父代1	1	3	0	0	...	1	2	0	0	...	1	3	1	2	1	2	...	1	4	1	0	1	0	0
父代2	1	2	1	4	...	0	0	1	5	...	0	0	1	4	1	5	...	0	0	1	1	0	0	1
子代1	1	3	1	4	...	0	0	1	5	...	1	3	1	2	1	2	...	0	0	1	1	1	0	0
子代2	1	2	0	0	...	1	2	0	0	...	0	0	1	4	1	5	...	1	4	1	0	0	0	1

图2 交叉操作

Fig. 2 Crossover operations

	t=1 变异点1				t=2 变异点2				t=3 变异点3															
父代	1	4	0	0	...	1	3	0	0	...	1	3	1	2	1	2	...	1	4	1	0	1	1	0
子代	1	4	1	2	...	1	3	0	0	...	0	0	1	2	1	2	...	1	4	0	0	1	1	0

图3 变异操作

Fig. 3 Mutation operations

2.3 拟合度函数

拟合度函数是与模型(1)式目标函数相关的一个函数.这里令拟合度函数为 $f(v)$,目标函数为 $f(c)$,惩罚函数为 $f(p)$,则 $f(v) = M/(f(c) + f(p))$ 其中: M 为任意设定的一个大数,惩罚函数 $f(p)$ 的数学表达如下:

$$\sum_i \sum_j \sum_k pv \times h(d_{ij}, Y_{ij}, l) + \sum_i \sum_j \sum_k pv \times g(X_{jk}, m_k, G_k) + \sum_i \sum_j \sum_k pv \times f(X_{jk}, G_k)$$

其中: pv 是惩罚值,取值可比任何可能的目标函数值都要大得多;若 $d_{ij} > l$,则 $h(d_{ij}, Y_{ij}, l) = 1$;否则为0;如果 $\sum_j X_{jk} > m_k$,则 $g(X_{jk}, m_k, G_k) = 1$;否则为0;如果 $\sum_j X_{jk} < G_k$,则 $f(X_{jk}, G_k) = 1$;否则为0.惩罚函数实际上是对三个约束的检查.这三个约束的检查分别位于下列三个步骤中,并且它们之间具有顺序关系,也就是当前一个约束不满足时,停止对后续约束的检查以及该个体的后续任何操作.

对于目标函数和约束条件而言,适应度是一种衡量个体好坏的尺度.通过上一小节的遗传操作,可以从染色体中得到部分决策变量,如回收点的开/关、每个回收点的回收期及其回收中心的开/关.根据这些变量,本文又设计了两个分配子

算法,来得到其它的决策变量;然后根据这些决策变量计算出每个个体的适应度函数值.主要步骤包括以下三步:

步骤1 根据回收点与顾客之间的距离矩阵,将每期内开放的回收点分配给相应的顾客.为此,本文设计了一个回收点分配算法来确定顾客与回收点之间的对应关系.该回收点分配算法的伪代码程序如下:

```

Read_CCPdata(); % 读取与顾客、回收点相关的数据
For(i = 1; i <= CustomerNum; i++) % 对每个顾客分配一个合适的回收点
    Check_feasibility; % 可行性检查
    CP_feasibility(i); % 生成顾客i的可分配回收点集合
    CP_Customer(i); % 给顾客i指定一个回收点
    Add_Penalty(); % 添加惩罚函数,对惩罚函数中的第一个约束进行检查
End
Sta_CPReturnNum(); % 统计回收点的回收量
Output(); % 输出顾客与回收点的对应关系以及回收点的回收量

```

步骤2 根据回收中心的容量限制,给每期内开放的回收点指定一个合适的回收中心.同样,本文设计一个回收中心分配算法来确定回收点与回收中心的对应关系.这里采用了两个启发式优化策略:一是对回收量大的回收点的优先分配策略;另一个是对可分配回收中心指定选择权重的策略.该回收中心分配算法的伪代码程序如下:

```

Read_CPCRCdata(); % 读取与回收点、回收中心相关的数据
Sta_OpenCP(); % 统计开放的回收点
Sequence_CP(); % 根据回收量对回收点进行排序
For(j = 1; j <= OpenCPNum; j++) % 对每个开放的回收点分配一个合适的回收中心
    CRC_feasibility(j); % 生成回收点j的可分配回收中心集合
    CRC_Weight(j); % 根据回收中心与回收点j的距离分配回收中心的选择权重
    CRC_CP(j); % 给回收点j指定一个回收中心
End
Sta_CRCReturnNum(); % 统计回收中心的回收量
Add_Penalty(); % 添加惩罚函数,对惩罚函数中的第二个约束进行检查
Output(); % 输出回收点与回收中心的对应关系以及回收中心的回收量

```

步骤3 对每个个体以及相关决策变量进行可行性检查,并添加惩罚函数,对惩罚函数中的第三个约束进行检查,最后计算个体的适应度值.

3 仿真实例及其结果

为了验证本文提出方法的有效性,本文在文献[2]实验数据的基础上进行了扩展,随机模拟生成了回收点和回收中心的备选位置,并确定了需要提供服务的30个顾客群和他们在不同时期的日需求量.为了简化问题,本文采用欧几里德距离来测量行驶距离,而且要求顾客到回收点的最

大允许距离为25km.此外,与回收点和回收中心相关的其它输入参数如表1所示.由于顾客是小批量地退回产品,为了使回收点和回收中心的距离与运输量达到一定的平衡,还要为回收点考虑一个适当的回收期.

通过上述分析,采用本文提出的遗传算法来求解前面发展的数学模型,GA参数值是通过大量的试验来设定的.其中种群大小=500,代数=300,复制率=20%,交叉率=80%,变异率随着代数的增加在5%到10%之间变化.运行环境:MATLAB7.2,CPU P4 1.5GH,内存256M.经过多次运行比较,得出种群大小为500时,模型的成本最优,为555 945,每期都包括四个回收点和两个回收中心,CPU时间为297.15s.图4表示的是这种较优情况下每代的最佳适应度、平均适应度与代数之间的关系.最后表5总结了该模型的解,而图5、图6和图7是对模型最后解的选址图形描述.

表1 输入参数

Table 1 Input parameters

参数	标记符号	数值
回收点每期的租金	a	200
单位产品的日储存成本	b	0.1
每期的工作日	w	250
回收点单位产品的处理成本	h	0.1
建立回收中心的成本	q_k	3 000
回收中心的吞吐量	m_k	1 000 单位
回收点的覆盖范围	l	25km
单位产品标准运输成本	E	1
不同运输量对应的折扣率	α_1	0.8
	α_2	0.6
	p_1	200 单位
	p_2	400 单位
不同运输距离对应的惩罚率	β_1	1.1
	β_2	1.2
	q_1	25km
	q_2	60km

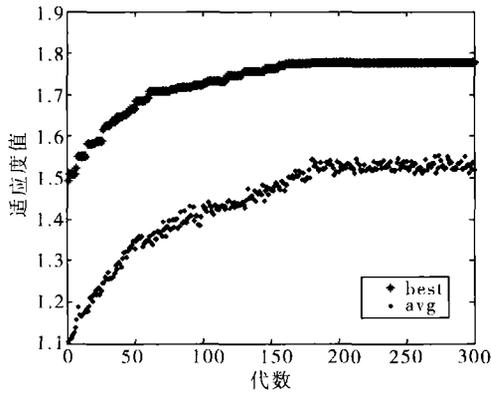


图4 适应度值与代数的关系

Fig. 4 The relationship of fitness values and generations

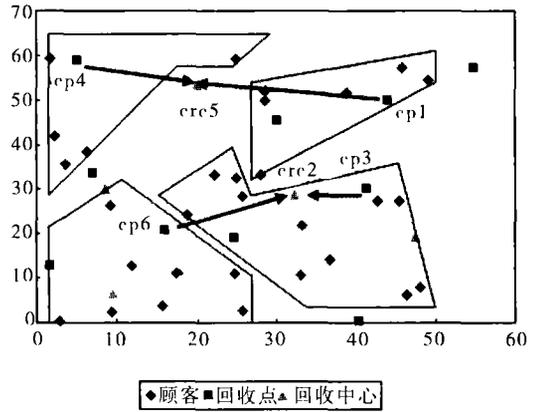


图5 模型解的图形描述 ($t = 1$)

Fig. 5 The graphic description of model results ($t = 1$)

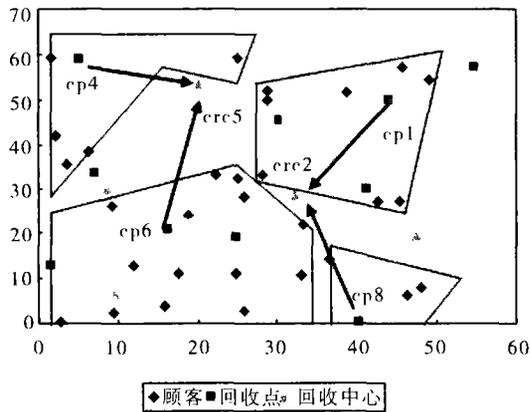


图6 模型解的图形描述 ($t = 2$)

Fig. 6. The graphic description of model results ($t = 2$)

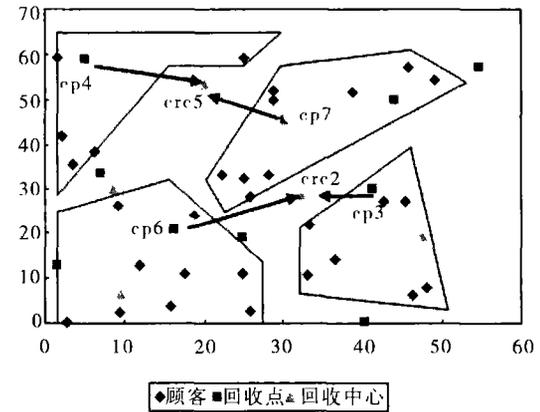


图7 模型解的图形描述 ($t = 3$)

Fig. 7 The graphic description of model results ($t = 3$)

表5 多期动态选址模型的解

Table 5 The results of multi-period dynamic location model

$t = 1$	(回收点; 回收期, 回收量)	(1; 2, 466) (3; 2, 492) (4; 3, 438) (6; 2, 450)
	(回收中心; 回收量)	(2; 942) (5; 904)
$t = 2$	(回收点; 回收期, 回收量)	(1; 2, 444) (4; 3, 420) (6; 1, 418) (8; 6, 420)
	(回收中心; 回收量)	(2; 862) (5; 840)
$t = 3$	(回收点; 回收期, 回收量)	(3; 2, 452) (4; 4, 468) (6; 2, 498) (7; 2, 516)
	(回收中心; 回收量)	(2; 950) (5; 984)
	回收点的总租金	2 400
	回收中心的总建设成本	6 000
	总的存货储存成本	100 275
	总的处理成本(回收点)	63 750
	总的运输成本	383 520
	总的逆向物流成本	555 945

从试验可以得到:模型的解对于种群大小和最大代数的变化是不灵敏的. 模型在十组不同的参数下,总逆向物流成本之间的差距都没有超过

0.5%. 即本文的遗传算法关于种群大小和最大代数的改变对模型解的影响不是很明显,这也说明提出的遗传算法对参数具有鲁棒性,对求解该问

题具有较高的稳定性.此外,从图4可以看出,由于种群中存在着不可行个体,在进化初期整体的适应度与最优个体的适应度差距较大,但在180代后整体进化趋于稳定,而最优个体的进化也不太明显,两者的适应度差距较小,并趋于稳定.这说明在进化后期种群中的不可行个体已经大量减少,同时也表明该算法在求解这类问题时具有较好的收敛能力.

4 结束语

回收点和回收中心在成功实施逆向物流操作

中起着非常关键的作用,回收点和回收中心的定位或分布几乎决定了逆向物流系统的成败.根据问题的特点,本文提出了一个非线性混合整数规划模型,并应用遗传算法求解该模型,目的是为产品回收的逆向物流网络提供一种低成本的解决方案.由于回收产品存在联合与转运问题,本模型明确地考虑了运费折扣与存货成本之间的平衡.同样地,该模型及其解决方法能够使得逆向物流人员确定出回收点联合作业的周期以及产品回收的总逆向物流成本.仿真表明,对于3个周期、规模为30个顾客群、10个潜在回收点以及5个潜在回收中心这类问题,遗传算法能够提供较好的解决方法.

参考文献:

- [1]刘丽文,供应链管理思想及其理论和方法的发展过程[J].管理科学学报,2003,6(2):81—88.
Liu Liwen. Survey on evolution of SCM theory and methods[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(2): 81—88. (in Chinese).
- [2]Hokey Min, Hyun Jeung Ko, Chang Seong Ko. A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns[J]. Omega, 2006, 34: 56—69.
- [3]Moritz Fleischmann, Jacqueline M. Bloemhof-Ruwaard, Rommert Dekker, Erwin van der Laan, Jo A. E. E. van Nunen, Luk N. Van Wassenhove. Quantitative models for reverse logistics: A review[J]. European Journal of Operational Research, 1997, 103: 1—17.
- [4]Mortiz Fleischmann, Hans Ronald Krikke, Rommert Dekker, Simme Douwe P. Flapper. A characterisation of logistics networks for product recovery[J]. Omega, 2000, 28: 653—666.
- [5]Vaidyanathan Jayaraman, Raymond A. Patterson, Erik Rolland. The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 150: 128—149.
- [6]Anna Nagurney, Fuminori Toyasaki. Reverse supply chain management and electronic waste recycling: A multitiered network equilibrium framework for e-cycling[J]. Transportation Research Part E, 2005, 41: 1—28.
- [7]Maria Isabel Gomes Salema, Ana Paula Barbosa-Povoa, Augusto Q. Novais. An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 179(3): 1063—1077.
- [8]Hyun Jeung Ko, Gerald W. Evans. A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs[J]. Computers & Operations Research, 2007, 34(2): 346—366.
- [9]黄祖庆,达庆利,直线性再制造供应链决策结构的效率分析[J].管理科学学报,2006,9(4):51—57.
Huang Zuqing, Da Qingli. Study on efficiency of serial supply chains with remanufacture[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(4): 51—57. (in Chinese).
- [10]赵宜,尹传忠,蒲云.回收物流设施多层选址模型及其算法[J].西南交通大学学报,2005,40(4):530—534.
Zhao Yi, Ying Chuan-zhong, Pu Yun. Facility location model for multi-level returned logistics and its algorithm[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2005, 40(4): 530—534. (in Chinese)
- [11]周根贵,曹振宇.遗传算法在逆向物流网络选址问题中的应用研究[J].中国管理科学,2005,13(1):42—47.
Zhou Gen-gui, Cao Zhen-yu. A genetic algorithm approach to location-allocation problem in reverse logistic network[J].

Chinese Journal of Management Science, 2005, 13(1): 42—47. (in Chinese)

[12] 齐二石, 田 青, 宋宁华. 物流系统规划设计方法综述[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2003, 5(3): 225—228.

Qi Ershi, Tian Qing, Song Ninghua. Survey on designing methods of logistics systems planning[J]. Journal of Tianjin University (Social version), 2003, 5(3): 225—228. (in Chinese)

Method of multi-period dynamic location in reverse logistic network

Li Bo, ZENG Cheng-pei

School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: This paper proposes a method of multi-period dynamic location in reverse logistic network. Unlike the static, single-period models, under the different demands in different periods, this paper considers applying a dynamic facility location approach to develop the multi-echelon reverse logistics network for computer and relevant product returns. Based on genetic algorithm, each chromosome, which consists of binary values and decimal values, denotes the decision variables correlated with return points, return points' return period and return centers. In order to satisfy all constraints, we design two sub-distribution algorithms which deal with customer- return points and return points- return centers, and then the fitness function can be evaluated. The special evolution operation proposed in this paper can make the solution of the model tend to be the best reverse logistics network linking return points, return centers and manufacturing facilities. The usefulness of the proposed model and algorithm was validated by an illustrative example.

Key words: reverse logistics; genetic algorithm; multi-period dynamic location