

文章编号: 1001-0920(2007)09-1000-05

模糊需求下物流系统 CL RIP 问题研究

崔广彬, 李一军

(哈尔滨工业大学 管理学院, 哈尔滨 150001)

摘要: 从物流系统集成的角度出发, 考虑到客户需求的模糊性, 建立了多仓库单级物流配送系统中的设施选址、车辆运输路线安排、库存控制的集成优化模型, 用来解决在给定的多个潜在设施点中选出一系列设施的位置, 并确定巡回运输路线。同时基于客户所采用的单时期模糊需求存贮策略确定其最佳订货量, 并给出了求解该模型的启发式算法。最后通过实例计算证明了上述模型和算法的有效性。

关键词: 模糊需求; 设施选址; 车辆运输路线安排; 库存控制

中图分类号: N945

文献标识码: A

Combined location routing and inventory problem with fuzzy demand in logistics system

CUI Guang-bin, LI Yi-jun

(School of Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China. Correspondent: CUI Guang-bin, E-mail: cgb717@hit.edu.cn)

Abstract: From the point of integrated logistics, and considering fuzzy demand of customs, a model of combined location routing and inventory problem (CL RIP) is established for the single-stage logistics distribution network with multi-depot. CL RIP is used to allocate depots from several potential locations and schedule vehicle routing. Customers' order quantities are determined based on single-period inventory control with fuzzy demands. A heuristics algorithm is presented to solve the model. Finally, an example is given to illustrate the effectiveness of the models and methods.

Key words: Fuzzy demand; Depot location; Vehicle routing; Inventory control

1 引言

定位-运输路线安排问题(LRP)是物流网路设计和物流管理决策中的难题,LRP问题是定位-分配问题(LAP)和车辆运输路线安排问题(VRP)的集成。通常对于大部分LRP所做的研究都忽略了库存控制问题^[1-4],然而库存控制与设施选址和车辆运输路线安排是密切相关的^[5-6],Perl和Sirisoponsilp设计的网络模型便认识到了设施选址、车辆运输路线安排、库存控制之间所存在着的相互依赖性^[7]。为了控制总物流成本,必须从系统的角度出发进行总体分析,充分考虑定位-运输路线安排-库存控制问题的集成(CL RIP)。

LRP所包括的两个子问题LAP和VRP都是NP-hard问题,因此LRP是NP-hard问题^[8],而

CL RIP问题是比LRP问题更为复杂的问题,也是NP-hard问题^[9]。精确求解CL RIP问题很困难,通常采用启发式算法,文献[9]提供了一个求解CL RIP问题的两阶段启发式算法。文献[10]把CL RIP问题分成两个子问题:1)设施定位-分配问题;2)运输路线安排和库存控制问题。使用禁忌搜索结合模拟退火混和算法求解了该问题。上述的CL RIP模型考虑了客户随机需求的不确定性,客户的库存控制采用多时期的随机存贮策略。库存设置的一个重要原因就是为了解决不确定性,而且通常在库存研究中所面临的一个实际问题就是客户需求的不确定性。为了度量这种不确定性,人们引入了概率理论,但用概率来描述不确定性所需要的前提条件是必须得到精确的历史统计数据,否则客户需求

收稿日期: 2006-05-28; 修回日期: 2006-10-30.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70501009).

作者简介: 崔广彬(1972—),男,黑龙江齐齐哈尔人,博士生,从事智能决策、物流系统优化的研究;李一军(1957—),男,哈尔滨人,教授,博士生导师,从事商务智能、信息系统安全工程研究。

不确定性的概率分布就无法获得. 随着生产经营过程日益复杂, 产品生命周期越来越短, 要想获得精确的历史统计数据很难, 甚至是不可能, 于是人们开始用模糊数学来表述库存管理中的不确定性.

本文基于客户(销售商)所采用的单时期模糊需求存贮策略^[11], 建立了多仓库单级物流配送系统的 CL RIP 模型.

2 单时期模糊需求存贮模型的建立

2.1 模糊需求

市场需求是变化多端的, 为了使物流系统优化更能贴近实际情况, 需要引入需求的不确定性. 通常客户的需求体现在各个需求点的销售量上, 对于任意一个需求点而言, 客户的需求量是不断变化的, 无法确定. 在库存管理中, 销售商们可能既不知道其所处的市场区域对其所订购的某种产品的准确需求量, 同时又由于缺乏历史资料, 他们也不能够通过对历史资料的统计分析来获得产品需求量的概率分布. 在这种不确定情况下, 如果能够知道产品需求量的变化范围, 便可用模糊数来表示需求量, 产品需求量的变化范围就构成了一个模糊集. 此时对需求量的描述是模糊的, 可以用符号 \tilde{d} 来表示. 在这个模糊集中的任何一个值都有可能成为实际需求量, 但其可能性是不一样的, 这些可能性就构成了需求量对该模糊集的隶属度. 隶属度由隶属函数来确定, 隶属函数用 $\mu_{\tilde{d}}(x)$ 表示, 隶属函数实质上反映了决策者对 \tilde{d} 中每个值的可信程度的估计. 根据隶属函数几何形状的不同, 不确定情况下的模糊数有多种形式, 在库存研究中常用的是三角模糊数.

2.2 单时期模糊需求存贮模型

所谓单时期的模糊需求存贮模型, 是指在一个周期内订货只进行一次, 若未到期末货已售完也不再补充订货; 若发生滞销, 未售出的货应在期末处理. 这类订货可以重复进行, 但在各周期之间订货量与销售量互相保持独立. 假设某销售商仅在每个时期的一开始可以对某种产品提出订货, 每件的单位成本为 c , 同订货量无关. 每件的售价为 p , 若到期末有未售出的产品时每件的处理价格为 h , 销售商可完全处理掉剩余产品, 并且 $p > c > h$. 在模糊需求情况下, 本文用三角模糊数 $\tilde{d} = (l, m, n)$ 表示产品的需求量. \tilde{d} 的隶属函数如下:

$$\mu_{\tilde{d}}(x) = \begin{cases} (x - l) / (m - l), & l \leq x \leq m; \\ (n - x) / (n - m), & m \leq x \leq n; \\ 0, & x > n \text{ 或 } x < l. \end{cases}$$

设销售商的产品订购数量为 Q , 由于 $p > c > h$, 订货量 Q 应满足 $l \leq Q \leq n$. 销售商的订货成本费为 $c \cdot Q$, 当产品的需求量大于订购量时产生的缺货

损失费为 $p \cdot \max\{0, \tilde{d} - Q\}$, 而当需求量小于订购量时产生的处理收入为 $h \cdot \max\{0, Q - \tilde{d}\}$. 所以在一个周期内, 销售商从订货到在期末完全售出产品所付出的总费用 $\bar{T}(Q)$ 为

$$\bar{T}(Q) = c \cdot Q + p \cdot \max\{0, \tilde{d} - Q\} - h \cdot \max\{0, Q - \tilde{d}\}. \quad (1)$$

设需求量为 x , 则当 $l \leq x \leq Q$ 时, $T(x|Q) = c \cdot Q - h \cdot (Q - x)$; 当 $Q \leq x \leq n$ 时, $T(x|Q) = c \cdot Q + p(x - Q)$. 显然, 总费用值 $T(x|Q)$ 是需求量 x 的函数, 故 $\bar{T}(Q)$ 与需求量 \tilde{d} 的隶属函数相同, 如图 1 所示.

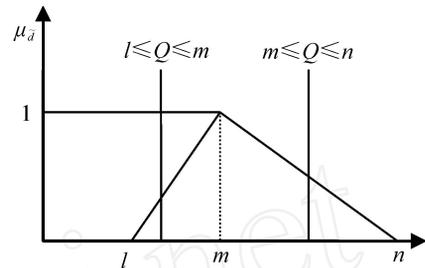


图 1 \tilde{d} 的隶属函数

2.3 最佳订货量的确定

当对模糊数进行排序时, 首先应解模糊即非模糊化, 其方法有多种, 本文采用均值面积度量法^[12,13]. $\bar{T}(Q)$ 为模糊数, 其任意 α -截集为 $(\bar{T}(Q))_{\alpha} = [T_L(\alpha), T_R(\alpha)]$, $(0 < \alpha < 1)$ 是隶属度变化区间内的任意水平值, 则均值面积 $T(Q)$ 为

$$T(Q) = \int_0^1 \frac{(T_L(\alpha) + T_R(\alpha))}{2} d\alpha.$$

1) 当 $l \leq Q \leq m$, 且 $\alpha = \mu_{\tilde{d}}(Q) = (Q - l) / (m - l)$, 有

$$T(Q) = \frac{1}{2} \cdot (p \cdot Q - h \cdot Q + h \cdot l - p \cdot l) + \frac{1}{4} (m \cdot h + p \cdot l - h \cdot l - p \cdot m) + (c \cdot Q - p \cdot Q + \frac{1}{4} p \cdot l + \frac{1}{4} p \cdot n + \frac{1}{2} p \cdot m), \quad (2)$$

$$\frac{\partial T(Q)}{\partial Q} = (c - p) + \frac{1}{2} (p - h) \cdot \alpha = (c - p) + \frac{(Q - l)(p - h)}{2(m - l)}.$$

因 $\frac{\partial^2 T(Q)}{\partial Q^2} = \frac{p - h}{2(m - l)} > 0$, 所以 $T(Q)$ 存在最小值.

$$\text{由 } \frac{\partial T(Q)}{\partial Q} = (c - p) + \frac{1}{2} \cdot (p - h) \cdot \alpha = 0, \text{ 有 } 0 = \frac{2(p - c)}{(p - h)} \cdot 1.$$

由 $\frac{\partial T(Q)}{\partial Q} = (c - p) + \frac{(Q - l)(p - h)}{2(m - l)} = 0$, 有

$$Q^* = l + \frac{2(p - c)}{(p - h)}(m - l).$$

2) 当 $m < Q < n$, 且 $\mu_i(Q) = (n - Q)/(n - m)$, 有

$$T(Q) = \frac{1}{2} \cdot (p \cdot Q - p \cdot Q + p \cdot n - h \cdot n) + \frac{1}{4} \cdot (p \cdot m + h \cdot n - p \cdot n - m \cdot h) + (c \cdot Q - h \cdot Q + \frac{1}{2} h \cdot m + \frac{1}{4} h \cdot n + \frac{1}{4} h \cdot l). \quad (3)$$

由 $\frac{\partial T(Q)}{\partial Q} = (c - h) - \frac{(n - Q)(p - h)}{2(n - m)} = 0$, 有

$$Q^* = n - \frac{2(c - h)}{(p - h)}(n - m).$$

通过上述分析可知最佳订货量 Q^* 如下:

$$Q^* = \begin{cases} l + \frac{2(p - c)}{(p - h)}(m - l), & (p - c) < (c - h); \\ n - \frac{2(c - h)}{(p - h)}(n - m), & (p - c) > (c - h). \end{cases} \quad (4)$$

3 单级多仓库物流系统的 CL RIP 模型

CL RIP 问题可以描述为: 为使整个系统费用最小化, 在给定的多个潜在设施点中选出一系列设施的位置, 并确定出从各个被选中的设施到各个客户的巡回运输路线, 同时也要基于客户所采用的存贮策略确定其最佳订货量. 本文对 CL RIP 问题所进行的研究主要是基于多仓库单级物流配送系统, 在该物流系统中假设已知客户(销售商)的数量、位置和模糊需求量, 已知所有潜在的仓库分布和位置, 以及车辆的数量和型号. 系统中存在的多个仓库直接为客户提供送货, 通常采用将所有的客户按区域分配给不同的仓库, 一个客户只能由一个仓库提供服务. 最终需要确定仓库的位置、车辆为销售商送货的巡回路线、以及巡回路线上的客户采用单时期模糊需求存贮策略时其最佳的订货量.

3.1 假设条件

- 1) 客户需求为单一品种的商品, 并且有多个潜在的仓库;
- 2) 每个客户仅能由同一车辆为其提供服务;
- 3) 在为客户提供运输服务的每条巡回运输路线上只有一辆车;
- 4) 每条巡回运输路线上的客户的总需求不能超过车辆的运载能力;
- 5) 每辆车在完成每次运输任务后返回到出发

点;

- 6) 运输车辆为同一车型.

3.2 模型参数

I 为所有客户节点集合; J 为所有潜在仓库节点集合; K 为所有运输车辆集合; cm 为单位运输距离的运输成本; d_{ij} 为节点 i 与节点 j 间的距离, $i, j \in (I \cup J)$; F_j 为在节点 j 处建立配送中的固定成本, $j \in J$; b 为车辆的运载能力; Q_i 为客户 i 的订货量, $i \in I$; p_i 为客户 i 的每件产品售价, $i \in I$; \tilde{d}_i 为客户 i 的产品模糊需求量, $i \in I$; c 为每件产品的单位成本; h_i 为客户 i 的未售出产品的处理价格, $i \in I$.

3.3 决策变量

$X_{ijk} = 1$, 如果运输车辆 k 从节点 i 到节点 j , $k \in K, i \in (I \cup J), j \in (I \cup J)$; 否则 $X_{ijk} = 0$.
 $Y_j = 1$, 如果在节点 j 处建立一个仓库, $j \in J$; 否则, $Y_j = 0$.
 $Z_{ij} = 1$, 如果客户节点 i 由仓库节点 j 供货, $i \in I, j \in J$; 否则, $Z_{ij} = 0$.

3.4 模型的建立

$$\min \sum_{i \in (I \cup J), j \in (I \cup J), k \in K} cm \cdot d_{ij} \cdot X_{ijk} + \sum_{j \in J} F_j \cdot Y_j + \sum_{i \in I} (c \cdot Q_i + p_i \cdot \max\{0, \tilde{d}_i - Q_i\} - h_i \cdot \max\{0, Q_i - \tilde{d}_i\}), \quad (5)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{k \in K, j \in (I \cup J)} X_{ijk} = 1, \quad i \in I; \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I, j \in (I \cup J)} Q_i \cdot X_{ijk} \leq b, \quad k \in K; \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I, j \in J} X_{ijk} \leq 1, \quad k \in K; \quad (8)$$

$$\sum_{i \in (I \cup J)} X_{ijk} - \sum_{j \in (I \cup J)} X_{jik} = 0, \quad k \in K; \quad (9)$$

$$\sum_{h \in (I \cup J)} X_{ihk} + \sum_{h \in (I \cup J)} X_{jhk} - Z_{ij} = 1, \quad i \in I, j \in J, k \in K; \quad (10)$$

$$X_{ijk} = 0, 1, \quad k \in K, i \in (I \cup J), j \in (I \cup J); \quad (11)$$

$$Y_j = 0, 1, \quad j \in J; \quad (12)$$

$$Z_{ij} = 0, 1, \quad i \in I, j \in J. \quad (13)$$

式(5) 保证物流系统的总成本(包括运输费用、仓库的固定建设费用、客户库存费用) 最小; 式(6) 保证每个客户只能在一条巡回运输路线上; 式(7) 保证每条巡回运输路线上的货运量不超过车辆的运载能力; 式(8) 保证每辆车的运输路线的出发点最多始于一个仓库节点; 式(9) 保证运输路线的连续性, 即将货物运至某一点的车辆, 必须在同一点离开; 式(10) 保证只有运输路线经过了客户节点, 客

户节点才可以被指派给仓库节点;式(11) ~ 式(13) 保证决策变量为整数.

4 模型求解的启发式算法

4.1 初始解的求解方法

Step1: 客户的订货需求是物流系统优化的一个关键输入数据,其值的确定与客户所采取的库存策略有关.当客户采用单时期模糊需求存贮策略时,为满足物流系统的总费用最小,将目标函数(5)解模糊化后对定购量 Q_i 求导数,便可得到文中的公式(4),利用式(4) 求出各客户节点的最佳订货量 Q_i ($i \in I$).

Step2: 1) 设 $k = 1, r = 1, b =$ 车辆运载能力, $\text{MaxSwap} = 0$; 2) 把所有客户节点放入集合 I ; 3) 将所有仓库节点放入集合 J .

Step3: 1) 从集合 I 中随机选取一个客户节点; 2) 将该客户节点放入集合 V_k 中; 3) 从集合 I 中删除该客户节点.

Step4: 1) 从集合 I 中选择具有最小边际费 CS 的客户节点 w 作为下一个候选客户节点; 2) 令 $V_k = V_k + \{w\}$, 由式(2) 或(3) 求出 $T(Q_i)$; 3) 令 $CS = S(V_k) - S(V_k)$, 集合 V_k 和 V_k 中遍历各节点的运输路线长度分别记为 Dis_k 和 $\text{Dis}_k, S(V_k)$ 和 $S(V_k)$ 可由下式计算:

$$S(v_k) = \text{Dis}_k + \sum_{i \in V_k} T(Q_i),$$

$$S(V_k) = \text{Dis}_k + \sum_{i \in V_k} T(Q_i).$$

Step5: 如果集合 V_k 中的客户节点和候选客户节点 w 的订货量不大于车辆运载能力 b , 那么, 1) 把候选客户节点 w 放入集合 V_k 中; 2) 从集合 I 中删除节点 w ; 3) 转向 Step6, 否则: 设 $k = k + 1$, 把候选客户节点 w 放入集合 V_k 中, 从集合 I 中删除候选客户节点 w , 转向 Step6.

Step6: 如果集合 I 为空集, 那么转向 Step7; 否则, 转向 Step4.

Step7: 计算 $V_t(1 \leq t \leq k)$ 的重心坐标如下:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^{q_t} x_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^{q_t} Q_i}, Y_t = \frac{\sum_{i=1}^{q_t} y_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^{q_t} Q_i}.$$

(X_t, Y_t) 为 V_t 的重心坐标, q_t 为 V_t 中的客户节点总数, Q_i 为 V_t 中客户节点 i 的订货量, (x_i, y_i) 为客户节点 i 的坐标 ($1 \leq i \leq q_t$).

Step8: 1) 从仓库集合 J 中选择一个距集合 V_t 的重心坐标最近的仓库节点; 2) 将该仓库节点放

入集合 V_t ; 3) 从仓库节点集合 J 中删除该仓库节点; 4) 设 $r = r + 1$.

Step9: 如果 $r = k$, 那么转向 Step9; 否则, 转向 Step8.

Step10: 将最终所求得客户初始巡回运输路线记为 $V_t, 1 \leq t \leq k$, 求出每条巡回运输路线的费用 SC_t (包括仓库的固定建设费用、运输费用、库存费用), 并求出系统的总费用 $SC = \sum_{t=1}^k SC_t$, 并令 $SC = SC, U_t = V_t, 1 \leq t \leq k$.

4.2 改进解的求解方法

Step1: 1) 设已开仓库的节点总数 $\text{NOD} = k$, 将 4.1 中所求得客户初始巡回运输路线放入集合 V 中, 从集合 V 中任选一条巡回运输路线 $V_t, 1 \leq t \leq k$, 并且关闭该巡回运输路线上的仓库, 从所有潜在仓库集合中选出距巡回运输路线 V_t 的重心坐标最近的仓库节点, 并将该仓库指派给运输路线 V_t ; 2) 从巡回运输路线集合 V 中删除 V_t ; 3) 设 $\text{NOD} = \text{NOD} - 1$.

Step2: 1) 根据目标函数(5) 计算系统的总费用 SC ; 2) 如果 $SC < SC$, 那么令 $SC = SC, U_t = V_t$, 并转向 Step3; 否则, 转向 Step1.

Step3: 如果 $\text{NOD} = 1$, 那么转向 Step4; 否则转向 Step1.

Step4: 1) 设 $V_t = U_t, 1 \leq t \leq k$; 2) 随机选择一个关闭的仓库和一个巡回运输路线 V_t 中开放的仓库, 并将二者进行交换; 3) 计算系统的总费用 SC .

Step5: 如果 $SC < SC$, 那么令 $SC = SC, U_t = V_t, 1 \leq t \leq k$, 并转向 Step6; 否则令 $\text{MaxSwap} = \text{MaxSwap} + 1$, 并转向 Step6.

Step6: 如果 $\text{MaxSwap} \geq \frac{L+J}{2}$ (l, j 表示潜在仓库的数量), 那么转向 Step7; 否则, 转向 Step4.

Step7: 输出最优解 SC 和 $U_t, 1 \leq t \leq k$, 并终止计算.

5 实例计算

假定在某单级多仓库物流配送系统中有 5 个潜在仓库, 10 个客户. 如下条件已知: $cm = 1, c = 50, b$

表 1 仓库参数

仓库	空间位置坐标	固定费用
j_1	(30, 40)	300
j_2	(80, 100)	350
j_3	(150, 130)	380
j_4	(180, 190)	400
j_5	(105, 115)	400

表2 客户参数

客户	空间位置坐标	模糊需求量	产品售价	产品处理价格
i_1	(35, 50)	(40, 45, 50)	70	40
i_2	(60, 75)	(48, 50, 55)	72	40
i_3	(100, 110)	(45, 48, 50)	75	42
i_4	(120, 90)	(57, 60, 64)	65	38
i_5	(150, 145)	(45, 48, 50)	68	35
i_6	(130, 90)	(35, 40, 45)	75	45
i_7	(55, 80)	(38, 40, 42)	78	44
i_8	(170, 160)	(76, 80, 82)	72	42
i_9	(90, 70)	(86, 90, 95)	65	39
i_{10}	(20, 50)	(68, 70, 75)	70	37

= 150, 仓库的其他参数见表1, 客户采用单时期模糊需求存贮策略, 客户的其他参数见表2.

1) 根据已知条件, 利用文中给出的式(1)~(3), 所求出的系统中各客户节点的最佳订货量 Q_i ($1 \leq i \leq 10$) 和费用 $T(Q_i)$ ($1 \leq i \leq 10$) 如下:

$$Q_1 = 46.67, T(Q_1) = 2283.3;$$

$$Q_2 = 51.88, T(Q_2) = 2564.4;$$

$$Q_3 = 48.75, T(Q_3) = 2401.9;$$

$$Q_4 = 60.44, T(Q_4) = 3036.2;$$

$$Q_5 = 48.18, T(Q_5) = 2407.6;$$

$$Q_6 = 43.33, T(Q_6) = 2020.8;$$

$$Q_7 = 41.29, T(Q_7) = 2009.9;$$

$$Q_8 = 80.93, T(Q_8) = 3990.7;$$

$$Q_9 = 90.77, T(Q_9) = 4541.5;$$

$$Q_{10} = 71.06, T(Q_{10}) = 3567.1.$$

2) 利用4.1中方法获得的初始巡回运输路线及其费用如下: $U_1 = \{i_5, i_6, i_7, j_5\}, SC_1 = 7087.6; U_2 = \{i_2, i_1, i_3, j_2\}, SC_2 = 7794.6; U_3 = \{i_4, i_{10}, j_1\}, SC_3 = 7128.1; U_4 = \{i_8, j_4\}, SC_4 = 4453.9; U_5 = \{i_9, j_3\}, SC_5 = 5091.3$; 系统总费用 $SC = 31555.5$.

3) 在初始解 $U_5 = \{i_9, j_3\}$ 中, 将 j_3 删除, 并将该巡回运输路线分配给 j_2 后可减少系统总费用; 将初始解 $U_1 = \{i_5, i_6, i_7, j_5\}$ 中的 j_5 与 j_3 交换后也可减少系统的总费用. 故利用4.2中的方法获得的改进解为: $U_1 = \{i_5, i_6, i_7, j_3\}, U_2 = \{i_2, i_1, i_3, j_2\}, U_3 = \{i_4, i_{10}, j_1\}, U_4 = \{i_8, j_4\}, U_5 = \{i_9, j_2\}$; 基于改进解的系统总费用 $SC = 31056.2$, 此时的系统总费用小于初始巡回运输路线下系统的总费用.

6 结 语

在不确定条件下, 当由于缺乏历史资料而不能

准确知道客户需求服从何种概率分布时, 用模糊数表示需求的不确定性更加符合实际情况. 根据这一思想, 本文建立了基于单时期模糊库存策略的设施选址、车辆运输路线安排、库存控制问题的集成优化模型, 该模型更能体现物流系统复杂的实际特征. 选址成本、运输成本、库存成本在物流系统总成本中占有很大的比重, 因此为了能够更好地控制物流系统总成本, 必须从系统的角度出发进行总体分析, 在物流系统集成优化研究中充分考虑 CLRIP 问题.

参考文献(References)

- [1] Perl J, Daskin M S. A warehouse location-routing problem[J]. Transportation Research Quarterly, 1985, 19B(5): 381-396.
- [2] Srivastava R. Alternate solution procedures for the location-routing problem[J]. Omega, 1993, 21(4): 497-506.
- [3] Dilek Tuzun, Laura I Burke. A two-phase tabu search approach to the location routing problem[J]. European J of Operational Research, 1999, 116(1): 87-99.
- [4] Tai-His Wu, Chinyao Low, Jiunn-Wei Bai. Heuristic solution to multi-depot location-routing problems[J]. Computers & Operation Research, 2002, 29(10): 1393-1415.
- [5] Daskin M S. Logistics: An overview of the state of the art and perspectives on future research [J]. Transportation Research, 1985, 19A(5/6): 383-398.
- [6] Hokey Min, Vaidyanathan Jayaraman, Rajesh Srivastava. Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions[J]. European J of Operational Research, 1998, 108(1): 1-15.
- [7] Perl J, Sirisoponsilps. Distribution networks: Facility location, transportation and inventory [J]. Int J of Physical Distribution and Material Management, 1988, 18(6): 18-26.
- [8] Lenstra J K, Rinnooy Kan A H G. Complexity of vehicle routing and scheduling problems[J]. Network, 1981, 11(2): 221-227.
- [9] Liu S C, Lee S B. A two-phase heuristic method for the multi-depot location-routing problem taking inventory control decisions into consideration [J]. Int J of Advanced Manufacturing Technology, 2003, 22(11-12): 941-950.
- [10] Lin S C, Lin C C. A heuristic method for the combined location routing and inventory problem[J]. Int J of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 26(4): 372-381.

(下转第1016页)

免对计算资源不必要的耗费.因而,这些参数的取值是 DCMOCEA 的关键因素.本文对以上参数值的选取是经多次实验反复调试得到的,图 5 给出了 DCMOCEA 在函数 ZDT1 的某一次运行中子群体个数随进化代数变化的曲线图.

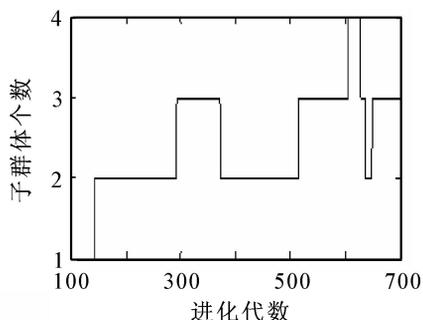


图5 DCMOCEA 的子群体个数随进化代数的变化

以上实验针对的是 2 目标或 3 目标优化问题,其结果也可以推广到具有多个(4)优化目标的问题中.在本文中,DCMOCEA 采用实数编码,以便于解决连续优化问题.若改变 DCMOCEA 的编码方式,并采用适当的交叉和变异算子(如在 TSP 问题中采用城市序号顺序编码、部分匹配交叉和对换变异算子),则 DCMOCEA 也同样适用于求解离散组合多目标优化问题(如 TSP, Flow-shop 等问题).

5 结 论

本文提出一种新型的合作型多目标优化协同进化算法,该算法依据子群体新增和灭绝的条件动态地调整子群体的个数.把所提算法和其余两种有效的多目标进化算法在具有不同特性的标准测试函数上进行了比较,结果表明所提算法具有更高的搜索效率,它能够在较少的目标评价次数下,产生一组收敛性能与分布性能均较优的非劣解.今后的工作将进一步研究所提算法中参数的自适应控制方法,并把它应用于实际优化问题.

参考文献(References)

[1] Iorio A W, Li X D. A cooperative coevolutionary multiobjective algorithm using non-dominated sorting [C]. Proc of the Genetic and Evolutionary Computation Conf, Part I. Washington: Springer-Verlag, 2004: 537-

548.

- [2] Kuntinec M, Kittipong B, Nachol C. Multi-objective optimisation by co-operative co-evolution[C]. Parallel Problem Solving from Nature. Birmingham: Springer-Verlag, 2004: 772-781.
- [3] Potter M A, De J K. A cooperative coevolutionary approach to function optimization[C]. Proc of Parallel Problem Solving from Nature III. Germany: Springer-Verlag, 1995: 249-257.
- [4] Lohn J D, Kraus W F, Haith G L. Comparing a coevolutionary genetic algorithm for multiobjective optimization [C]. Congress on Evolutionary Computation. Piscataway: IEEE Service Center, 2002: 1157-1162.
- [5] 曹先彬, 李金龙, 王煦法. 基于生态协同的多目标优化研究[J]. 软件学报, 2001, 12(4): 521-528.
(Cao Xian-bin, Li Jin-long, Wang Xurfa. Research on multiobjective optimization based on ecological cooperation[J]. J of Software, 2001, 12(4): 521-528.)
- [6] Coello C A, Sierra M R. A coevolutionary multi-objective evolutionary algorithm[C]. Proc of the 2003 Congress on Evolutionary Computation. Australia: IEEE Press, 2003: 482-489.
- [7] 孙晓燕, 巩敦卫. 变种群规模合作型协同进化遗传算法及其在优化中的应用[J]. 控制与决策, 2004, 19(12): 1437-1440.
(Sun Xiao-yan, Gong Dun-wei. Varying population size cooperative coevolutionary genetic algorithm and its application in optimization [J]. Control and Decision, 2004, 19(12): 1437-1440.)
- [8] Deb K, Pratap A, Agarwal S, et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II [J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2002, 6(2): 182-197.
- [9] Zitzler E, Deb K, Thiele L. Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Empirical results [J]. Evolutionary Computation, 2000, 8(2): 173-195.
- [10] Deb K, Agrawal R B. Simulated binary crossover for continuous search space [J]. Complex Systems, 1995, 9: 115-148.

(上接第 1004 页)

[11] Chiang Kao, Wen Kai Hsu. A single-period inventory model with fuzzy demand [J]. Computers and Mathematics with Application, 2002, 43(6-7): 841-848.

[12] Yager R R. A procedure for ordering fuzzy subsets of

the unit interval [J]. Information Sciences, 1981, 24(4): 143-161.

[13] Liou T S, Wang M J. Ranking fuzzy numbers with integral values [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 50(3): 247-255.