

求解二级分销网络模型的混合微粒群算法

周鲜成¹, 赵志学¹, 贺彩虹², 徐戈²

- (1. 湖南商学院 计算机与电子工程学院, 湖南 长沙, 410205;
2. 湖南商学院 会计学院, 湖南 长沙, 410205)

摘要:针对现有算法在求解二级分销网络模型时计算量大、难以适用于求解大型规划问题和易陷入局部最优等不足,提出一种求解二级分销网络模型的混合微粒群算法。该算法以二级分销网络的总成本作为适应度函数,采用一种精简的编码方式,通过将遗传算法的变异和交叉操作引入微粒群算法,实现二级分销网络模型的离散优化。算例仿真结果表明:采用提出的算法能获得全局最优解,且收敛性好,运算速度快,稳定性好,能有效避免算法的早熟收敛问题。

关键词:二级分销网络;混合微粒群算法;遗传算法;供应链

中图分类号:TP202.7;F203

文献标志码:A

文章编号:1672-7207(2010)02-0623-05

Mixed-particle swarm optimization for two-level distribution network model

ZHOU Xian-cheng¹, ZHAO Zhi-xue¹, HE Cai-hong², XU Ge²

- (1. School of Computer and Electronic Engineering, Hunan University of Commerce, Changsha 410205, China;
2. School of Accounting, Hunan University of Commerce, Changsha 410205, China)

Abstract: Based on the fact that there are large calculation, difficulty of solving large programming problems, and possibility of falling into local optimum, a mixed-particle swarm optimization was proposed to solve such disadvantages of two-level distribution network model. The proposed algorithm took the total cost of two-level distribution network as the fitness function, and a streamlined encoding was applied. The particle swarm optimization was combined with the mutation and crossover operations of the genetic algorithm in the proposed algorithm to realize the discrete optimization of two-level distribution network model. The simulation results show that the proposed algorithm can effectively avoid the premature convergence, have the access to the global optimal solution, and can enhance efficiency of algorithm.

Key words: two-level distribution network; mixed-particle swarm optimization; genetic algorithm; supply chain

在目前面向客户的制造环境中,企业的驱动力已由生产转向分销和服务。合理地建立分销网络(Distribution network),加强分销环节管理,是当前需求驱动竞争环境下,提高客户满意度、增强企业竞争力的重要途径;因此,分销网络的优化设计以及求解在需求驱动的供应链(Supply chain)中显得尤为重要。人们对于分销网络的建模和求解进行了较多研究,提

出了多种模型和求解方法,如:赵晓煜等^[1]针对各需求地对产品的需求和工厂的生产具有模糊性的特点,提出了模糊机会规划约束模型;Pikul等^[2]提出了结合设施选址和需求分配的多产品、单个制造中心的双层规划分销系统网络模型;宓燕等^[3]针对需求变化的情况,提出了基于需求变化状态下的随机模型;Mistsuo等^[4]建立了多周期分销系统的网络模型;Ali^[5]建立了

收稿日期：2009-06-20；修回日期：2009-09-18

基金项目：湖南省科技计划项目(2009GK3054)；湖南省教育厅重点科研项目(09A048)

通信作者：周鲜成(1965-)，男，湖南双峰人，博士，教授，从事智能信息处理和供应链管理等研究；电话：0731-88688272；E-mail: zxc6501@126.com

各个分销中心容量限制不同的分销系统网络模型; Yang 等^[6]提出了定单生产环境下企业分销系统网络模型; Wee 等^[7]提出了产销一体化网络模型; Daniela 等^[8]提出了融入库存决策的分销系统网络模型; Mokashi 等^[9]提出了多周期和生产时间最小的分销系统网络模型; Schneeweiss 等^[10]提出了同时考虑生产条件与供应条件的影响, 目标函数为总成本最小、总利润最大的分销系统网络模型。求解上述分销系统网络模型有多种方法, 主要有穷举法、分枝定界法和遗传算法等。穷举法存在计算量大的不足; 分枝定界法难以适用于求解大型的规划问题; 而遗传算法虽能求解大型问题, 但易陷入局部最优, 并且运算效率不高^[11-12]。在此, 本文作者将遗传操作引入微粒群算法 (Particle swarm optimization, PSO)^[13], 提出求解二级分销网络模型的混合微粒群算法。

1 问题的提出及数学描述

某制造企业计划将某产品打入某地区市场, 设置了多个较分散的零售商(需求地), 并建有多个生产工厂, 同时建立一些分销中心以降低分销网络成本和管理复杂性。本模型中, 考虑在这些需求地中选择一些点建立大型分销中心, 在分销中心建立仓库, 而在没被选为分销中心的需求地建立分销点, 且每个分销点只由 1 个分销中心供货, 在不同需求地建立或租用仓库的月费用是不同的。根据调研, 已知各需求点月需求量、各需求点运价、产地到需求地运价以及各需求地建立或租用仓库的月费用。需要解决的问题是如何设置分销中心, 确定分销中心供货点, 使总费用最少^[12]。建立的模型如下:

$$\min \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N c_{ln} (a_n + \sum_{m=1}^N a_m y_{nm}) z_{ln} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N b_{nm} a_m y_{nm} + \sum_{k=1}^K d_k \quad (1)$$

$$\sum_{n=1}^N y_{nm} = 1 \quad (2)$$

$$(1 - x_n) \times \sum_{m=1}^N y_{nm} = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{l=1}^L z_{ln} = x_n \quad (4)$$

$$x_n, y_{nm}, z_{ln} \in \{0, 1\}, \forall n, m, l \quad (5)$$

其中 n 和 m 为需求地号 $m=1, 2, \dots, N, n=1, 2, \dots, N$; l 为产地号; a_n 为需求地 n 的月需求; b_{nm} 为需求地 n 到需求地 m 的运价; c_{ln} 为产地 l 到需求地 n 的运价;

d_k 为需求地建立第 k 个仓库的费用; L 为最大产地号; N 为最大需求地号; K 为最大仓库号; x_n 为分销中心的决策变量 $x_n=0$ 表示需求地 n 不建立分销中心 $x_n=1$ 表示需求地 n 要建立分销中心 y_{nm} 表示需求地 n (分销中心)向需求地 m 供货的决策变量, $y_{nm}=0$ 表示需求地 n 不负责需求地 m 的供货 $y_{nm}=1$ 表示需求地 n 负责需求地 m 的供货; z_{ln} 表示第 l 个产地负责向需求地 n (分销中心)供货的决策变量, $z_{ln}=0$ 表示第 l 个产地不负责向需求地 n (分销中心)供货, $z_{ln}=1$ 表示第 l 个产地负责向需求地 n (分销中心)供货。

式(1)为目标函数, 其中: 第 1 项为产地至分销中心的总运费; 第 2 项为分销中心至分销点的总运费; 第 3 项为仓库建立或租用的总费用。约束条件式(2)~(5)中, 式(2)表示分销点只由 1 个分销中心供货; 式(3)表示只有分销中心才供货; 式(4)表示每个分销中心只由 1 个产地供货, 并且产地只向分销中心供货^[12]。

2 求解二级分销网络模型的混合微粒群算法

2.1 标准微粒群算法

PSO 算法是一种实数域内的进化算法。设微粒群的搜索区域为 N 维空间, 则第 i 个微粒的位置可表示为 $P_i (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iN})$, 其飞行速度表示为 $v_i (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iN})$; 每一个微粒所经历的具有最大适应值的位置称为个体最优, 记为 $P_{bi} (P_{bi1}, P_{bi2}, \dots, P_{biN})$, 种群中所有微粒所经历的最大适应值位置称为全局最优, 记为 $G_b (G_{b1}, G_{b2}, \dots, G_{bN})$ 。对 PSO 算法的每一次迭代, 微粒通过动态跟踪 P_{bi} 和 G_b 来更新自身的速度和位置。对于最小化问题, 目标函数值越小, 对应的适应度便越高。其速度和位置的进化公式为:

$$v_{ij}(t+1) = \omega v_{ij}(t) + c_1 r_1(t) \cdot [P_{bij}(t) - P_{ij}(t)] + c_2 r_2(t) [G_{bj}(t) - P_{ij}(t)] \quad (6)$$

$$P_{ij}(t+1) = P_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (7)$$

其中: 下标“ i ”表示第 i 个微粒; “ j ”表示微粒的第 j 维; “ t ”表示第 t 代; ω 称为惯性权重; c_1 和 c_2 为加速常数, 通常在 0~2 间取值; $r_1(t)$ 和 $r_2(t)$ 为在(0, 1)之间取值的 2 个相互独立的随机序列^[13]。

2.2 混合微粒群算法设计的基本思想

标准微粒群算法主要适用于连续空间函数的优化问题, 而二级分销网络模型的优化目标是要确定分销中心的设置地点、设置数量以及各分销中心负责供货的需求地, 是一个典型的离散优化问题; 因此, 标准微粒群算法不能直接应用于二级分销网络模型的优

化。为此, 本文将遗传算法中的变异和交叉操作引入微粒群算法, 对标准微粒群算法进行改造, 使其能应用于离散问题的求解。在此基础上, 提出一种求解二级分销网络模型的混合微粒群算法。

2.2.1 编码

(1) 种群编码。应用微粒群算法求解二级分销网络模型的关键是如何编码。对于该问题, 微粒群算法的编码采用如下设计: 设种群中的个体为 N 维, 个体的每一维 P_j ($j=1, 2, \dots, N$) 为非零整数, 其范围为 $[-L, S]$, P_j 有 S 个负数, 表示建立 S 个分销中心; L 为产地数量。 $P_j < 0$ 表示在第 j 个需求地建立分销中心, 且由第 $|P_j|$ 产地供货; $P_j > 0$ 表示在第 j 个需求地建立分销点, 且由第 P_j 分销中心供货^[12]。

(2) 编码说明。为了解释编码的含义, 举例进行编码说明。设有 3 个产地、10 个需求地, 编码如下:

需求地: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 P_j : 2 2 -2 1 2 -3 2 2 3 -1

解码如下:

当 j 为 3, 6, 10 时, 对应的 $P_j < 0$, 因此, $x = [0 0 1 0 0 1 0 0 0 1]$ 。表示在第 3, 6 和 10 个需求地建立分销中心, 在其他需求地建立分销点。

对应 $P_3 = -2, z_{23} = 1, P_6 = -3, z_{36} = 1, P_{10} = -1, z_{110} = 1$, 由此可以得出 z 矩阵:

$$z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由第 1 个分销中心(需求地 3)供货的有 P_3 和 P_4 , 得出 $y_{33} = y_{34} = 1$; 由第 2 个分销中心(需求地 6)供货的有 P_1, P_2, P_5, P_6, P_7 和 P_8 , 得出 $y_{61} = y_{62} = y_{65} = y_{66} = y_{67} = y_{68} = 1$; 由第 3 个分销中心(需求地 10)供货的有 P_9 和 P_{10} , 得出 $y_{99} = y_{910} = 1$ 。由此可以得出:

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

2.2.2 适应度函数

为评价种群中个体的优劣, 以式(1)作为算法的适

应度函数, 即

$$Fit_i(x_n, y_{nm}, z_{ln}) = f(x_n, y_{nm}, z_{ln}) = \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N c_{ln} (a_n + \sum_{m=1}^N a_m y_{nm}) z_{ln} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N b_{nm} a_m y_{nm} + \sum_{k=1}^K d_k \tag{8}$$

适应度最小的微粒为最优微粒。

2.2.3 种群更新策略

在混合微粒群算法中, 遗传算法的变异和交叉操作被引入微粒群算法。将式(6)中的 $\omega v(t)$ 看作遗传算法中的变异操作, 将式(6)中的第 2 项和第 3 项看作是遗传算法的交叉操作, 让当前解首先与个体最优位置进行交叉操作, 然后, 与全局最优位置进行交叉操作, 从而产生新的微粒。

(1) 检测修补策略, 主要是零检测和范围检测。零检测是为了保证任一需求地必须是分销中心或者是分销点之一; 而范围检测是为了保证微粒在交叉和变异更新之后应满足取值范围。修补策略主要是对检测不满足取值范围的微粒重新赋值, 使其符合取值范围。

(2) 变异操作策略。

Step 1 在解空间(P_1, P_2, \dots, P_{10})中随机选择 1 到 N 的整数 j ;

Step 2 随机对 P_j 进行变异, 变异范围为 $[-L, S]$ 。

(3) 交叉操作策略。

Step 1 2 个串 old1 和 old2 交叉, 在第 2 个串 old2 中随机选择 1 个交叉区域;

Step 2 old1 相应的交叉区域由 old2 交叉区域代替。

2.3 算法步骤

根据混合微粒群算法设计的基本思想, 设计算法的具体操作步骤如下。

(1) 种群初始化。设定种群规模和最大迭代次数, 在规定范围内对微粒的位置和速度进行初始化。

(2) 检测和解码。检测主要是范围检测。对符合条件的进行解码, 否则进行修补。解码的目的是由 P_i 生成 x, y 和 z 。

(3) 计算适应度。根据式(8), 计算每个微粒的适应度 $Fit_i(x_n, y_{nm}, z_{ln})$ 。

(4) 对于每个微粒, 将其适应度 $Fit_i(x_n, y_{nm}, z_{ln})$ 与所经历过的最好位置 P_{bi} 的适应度进行比较, 若 $Fit_i(x_n, y_{nm}, z_{ln})$ 较小, 则将其对应位置作为当前的最优位置。

(5) 对于每个微粒, 将其适应度 $Fit_i(x_n, y_{nm}, z_{ln})$ 与群体所经历的最好位置 G_b 的适应度进行比较, 若

$Fit_i(x_n, y_{nm}, z_{ln})$ 较小, 则将其对应位置作为当前的全局最优位置。

(6) 对微粒进行交叉和变异操作, 更新微粒的速度和位置。

(7) 如未达到最大迭代次数, 则返回第(2)步。

(8) 输出全局最好位置 G_{bo} 。

3 算例仿真及分析

3.1 算例仿真

采用文献[12]中的算例, 对 3 个产地、10 个需求地的问题进行求解, 表 1~4 所示为算例提供的参数。微粒群算法的参数设定如下: 种群规模为 20, 最大进化

代数 100。算法采用 Matlab7.0 编程, 在 CPU 为 2 G、内存为 4 G 的 PC 机上运行。算法平均在第 40 代左右收敛, 产生的最优解为 $[-1 \ 1 \ -3 \ 1 \ 1 \ 3 \ 1 \ 3 \ -2 \ 3]$, 在第 1, 3 和 9 点处建立分销中心, 总费用为 6 274 300 元。

3.2 分析对比

为了验证算法的有效性, 将提出的算法与穷举法、基于遗传算法的求解方法进行对比分析, 其运算结果如表 5 所示。从表 5 可以看出: 寻优结果优于遗传算法结果; 在收敛性方面, 遗传算法要到 90 代才会收敛, 而提出的混合微粒群算法在 40 代左右即可收敛, 收敛性更好; 在运算速度方面, 遗传算法达到收敛平均需要 30 s, 而采用提出的混合微粒群算法只需 21 s, 运算速度更快, 特别是在求解大型规划问题时具有较大优势。

表 1 各需求地之间的运价

Table 1 Demand node to demand node transportation cost

运价/元

需求地	需求地									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	85	211	148	110	120	170	165	205	250
2	85	0	145	90	98	150	215	179	180	208
3	211	145	0	85	150	226	295	200	140	115
4	148	90	85	0	80	150	227	146	105	128
5	110	98	150	80	0	80	155	90	105	155
6	120	150	226	150	80	0	85	70	140	201
7	170	215	295	227	155	85	0	120	305	265
8	165	179	200	146	90	70	120	0	95	160
9	205	180	140	105	105	140	305	95	0	78
10	250	208	115	128	155	201	265	160	78	0

表 2 产地到各需求地间的运价

Table 2 Plant to demand node transportation cost

运价/元

产地	需求地									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	315	390	530	450	410	410	430	460	410	500
2	420	480	370	390	430	490	550	440	350	490
3	380	470	440	410	450	430	500	420	360	550

表 3 各需求地的月需求量

Table 3 Demand details month at demand node

需求地	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
需求量/台	900	3 200	1 800	1 100	2 300	800	1 000	1 400	1 900	600

表 4 在各需求地建立/租用各类仓库的平均月费用

Table 4 Establishing or hire storehouse at demand node cost in a month		费用/元								
最大 存储量/台	需求地									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3 000	28 000	41 000	23 000	19 000	35 000	15 000	18 000	19 000	23 000	10 000
6 000	53 000	79 000	43 000	35 000	67 000	27 000	33 000	35 000	43 000	17 000
8 000	70 000	109 000	55 000	43 000	91 000	31 000	40 000	43 000	55 000	16 000
10 000	84 000	123 000	69 000	57 000	105 000	45 000	54 000	57 000	69 000	30 000
16 000	112 000	164 000	92 000	76 000	140 000	60 000	72 000	76 000	92 000	40 000

表 5 $S=3, n=10$ 时算法运算结果比较Table 5 Comparison of computing results using different methods when $S=3$ and $n=10$

算法	迭代次数	运算时间/s	最优结果/元
穷举法	2.8×10^4	—	6 274 300
遗传算法	90	30	6 696 700
混合微粒群算法	40	21	6 274 300

注: S 为产地数量; n 为需求地数量。

4 结论

(1) 将微粒群算法应用于二级分销网络模型的求解, 为求解二级分销网络模型提供了一种新的思路和方法。

(2) 将遗传算法的交叉和变异操作引入微粒群算法, 使微粒群算法能应用于离散问题的求解。

(3) 提出的混合微粒群算法应用于二级分销网络模型的求解时, 能获得全局最优解, 且收敛性好, 运算速度快, 稳定性好, 不容易陷入局部最优。

参考文献:

- [1] 赵晓煜, 汪定伟. 供应链中二级分销系统网络优化设计的模糊机会约束规划模型[J]. 控制理论与应用, 2002, 19(2): 249-253.
ZHAO Xiao-yu, WANG Ding-wei. Fuzzy chance constrained programming model for bi-level distribution network design in the supply chain[J]. Control Theory and Applications, 2002, 19(2): 249-253.
- [2] Pikul H, Jayaraman V. A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution[J]. Computer Operations Research, 2003, 25(1): 869-878.
- [3] 宓燕, 陈伟达. 供应链中二级分销系统网络优化设计的随机规划模型[J]. 系统工程, 2003, 21(5): 29-32.

- MI Yan, CHEN Wei-da. A randomized programming model for bi-level distribution network designing in the supply chain[J]. Systems Engineering, 2003, 21(5): 29-32.
- [4] Mitsuo G, Admi S. Hybrid genetic algorithm for multi-time period production/distribution planning[J]. Computer and Industrial Engineering, 2005, 48(4): 799-809.
- [5] Ali A. Designing a distribution network in a supply chain system formulation and efficient solution procedure[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 171(2): 567-576.
- [6] Yang P C, Wee H M. A single-vendor and multi-buyers production-inventory policy for a deteriorating item[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(3): 570-581.
- [7] Wee H M, Yang P C. The optimal and heuristic solution of a distribution network[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 158(3): 626-632.
- [8] Daniela A, Maria G S. Distribution network design: New problems and related models[J]. European Journal of Operational Research, 2005, 165(3): 610-624.
- [9] Mokashi S D, Kokkosis A C. Application of dispersion algorithms to supply chain optimization[J]. Computers and Chemical Engineering, 2003, 27(7): 924-949.
- [10] Schneeweiss C, Zimmer K. Hierarchical coordination mechanisms within the supply chain[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 153(3): 687-703.
- [11] 孙会君, 高自友. 基于分布式工厂的供应链二级分销网络生产计划优化模型[J]. 中国管理科学, 2002, 10(6): 40-43.
SUN Hui-jun, GAO Zi-you. Production planning models of two-echelon distribution network in supply chain based on distributed plants[J]. Chinese Journal of Management Science, 2002, 10(6): 40-43.
- [12] 黄海新, 武利勇, 汪定伟, 等. 基于遗传算法的二级分销网络模型及其求解[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(8): 914-918.
HUANG Hai-xin, WU Li-yong, WANG Ding-wei, et al. Optimization model for a two-level distribution network and its genetic algorithm-based solution[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(8): 914-918.
- [13] 张增辉, 胡卫东, 郁文贤. 遗传二进制多粒子群优化算法及其在子阵 STAP 中的应用[J]. 信号处理, 2009, 25(1): 52-56.
ZHANG Zeng-hui, HU Wei-dong, YU Wen-xian. Genetic binary multiple particle swarm optimization algorithm and application in subarray STAP[J]. Signal Processing, 2009, 25(1): 52-56.

(编辑 陈灿华)