

多目标的供应链集成优化及数值仿真*

马雪芬

(上海水产大学海洋学院 上海 200090)

孙树栋

(西北工业大学系统集成与工程管理研究所 西安 710072)

摘要: 针对供应链设计中的供应链优化这个关键问题, 建立了一个多目标的供应链集成优化模型。该模型将供应链三个层次的优化内容集成在一起进行优化, 采用成本、柔性、客户服务水平以及向用户承诺的产品交付时间四个度量指标。针对多目标优化模型, 提出了一种改进的多群体遗传算法。最后, 利用一个具体实例进行了数值仿真。

关键词: 供应链 多目标 优化 遗传算法 仿真

中图分类号: TH166

0 前言

进行供应链优化是供应链设计及其进入实用化的基本要求, 建立优化模型并进行数值仿真是进行优化的关键问题之一。

目前, 关于供应链优化的研究主要有三个层次: 协作企业优选、策略层优化以及操作层优化。协作企业优选主要是仅仅从单个企业的角度对供应链中涉及的企业进行优选; 策略层优化的目标主要是决定成本最有效的设施位置(工厂、配送中心)、通过供应链的物流以及用户到配送中心的任务; 建立操作层优化模型的目标主要是决定每个产品在每个相关协作企业的安全库存、补充产品批量的数量和频率、产品运输和生产的提前期、客户服务水平以及采购件的采购订货策略^[1]。供应链协作企业的优选与策略层优化有许多相似的地方^[2], 如果从供应链整体的角度选择协作企业, 可以达到供应链策略层优化的目的。因此, 供应链优化的任务主要是从供应链整体的角度对所有相关的协作企业进行优选并对供应链的订货、生产和库存等策略的参数进行优化。

供应链集成优化是将协作企业优选、策略层优化、操作层优化三个层次的优化内容集中于一个模型中, 通过建立这样的—个多目标单一优化模型进行同时考虑供应链的协作企业、供应、生产以及配送等环节的多目标优化。这有利于取得供应链的整体最优, 突出供应链的集成思想。并对实现高效、

有效、灵活的供应链设计, 以及供应链性能的评价都有重要意义。这里建立了一个多目标的供应链集成优化模型, 并设计了一种改进的多群体遗传算法对优化模型进行求解和分析, 最后给出了供应链优化的一个实例。

1 数学模型

供应链是贯穿核心企业产品的原材料以及零部件采购、产品制造、销售直至运输给最终用户的一个过程。这个过程共包含了采购、生产、销售和物流四个关键环节, 伴随着这四个环节还有订单的处理、库存以及售后服务。因此, 围绕核心企业产品整个生产过程的进行, 供应链涉及的相关企业有节点企业和支撑企业。节点企业包括协作企业和生产商。协作企业有原材料供应商、零部件供应商(以下一律称为供应商)、产品的销售企业和第三方物流企业。第三方物流企业是提供产品的运输及配送、订单处理、库存管理和售后服务的企业。生产商是基于订货生产供应链的核心企业。支撑企业就是为整个供应链的运行提供信息、资金等的企业。根据供应链设计的简洁性原则, 供应链可以采用仅一个层次的销售代理, 即只包含与核心企业有直接关系的销售协作企业, 比如, 与核心企业有直接关系的销售代理: 批发商、零售商、专卖商或者代理商, 这些处于单层次的销售代理向核心企业的订货量比较大, 统一将这些产品销售企业称为企业用户。

供应链采取订货生产的管理方法能够减少大量的产品库存成本。这里主要是针对具有一个生产商的基于订货生产的供应链进行优化, 对于采购件而言, 针对同类采购件有多个供应商的情况, 已有

* 国家 863/CIMS 主题基金资助项目(2002AA414060)。20040614 收到初稿, 20041130 收到修改稿

文献证明这种情况比单个供应商更合理^[3]。为简化模型，假设多个供应商的供应量平均分配。

1.1 优化模型的前提和基础

(1) 供应链生产的产品分为定型产品和定制产品两类。定型产品指功能、式样比较大众化，用户通常可以接受的产品，具有成品库存；定制产品完全按用户的定单要求进行生产，可以满足用户的个性化需求，没有库存。

(2) 采购件采用周期订货的(T, S)库存补给策略，即固定的检查周期 T 、固定的定货提前期及最大库存量 S ；定型产品采用需求量和提前期随机的固定定货量、固定定货点库存补给策略；基于订货生产的管理方法中，核心企业采用循环生产策略，即每隔固定的间隔期触发一次生产^[4]。

(3) 假定所有企业用户对定型产品的日常需求都服从泊松分布；定制产品对某一生产间隔期内的需求已经获得；而且根据产品信息以及 BOM(按订单生产模式的 BOM 系统)也已经获得了采购件的需求。

(4) 定制产品用户每次的订货是一个单位。

1.2 性能度量指标

供应链优化的性能度量可以基于四个方面：成本、柔性、客户反应和时间^[5]。采用以下四个定量的性能度量指标：成本、柔性、向用户承诺的产品交付时间以及客户服务水平。

(1) 成本。包括供应链运行过程中的一切费用：供应商成本、生产商成本、企业用户成本以及第三方物流企业成本。

(2) 柔性。供应链的柔性指当市场和用户需求发生变化时，供应链能快速适应变化的能力。能力越强，表明柔性越大。对于需求减少的情况，由于每一个协作企业可以同时参与多个供应链，这时各个协作企业可以有其他任务。因此，需求变化主要针对需求突然增加的情况，这时供应链适应这种变化的能力大小可表明其柔性好坏。供应链的柔性从两个方面来考虑：生产能力能否满足增加的需求；第三方物流企业的运输能力和库存能力能否满足增加的需求。

(3) 向用户承诺的产品交付时间。基于订货生产的供应链生产的定制产品没有成品库存，用户不可能立即得到产品。因此，为了充分满足用户需求，考虑用向用户承诺的产品交付时间作为供应链基于时间的性能度量指标。

(4) 客户服务水平。订单满足率指在指定的时间范围内，供应链能够按时、按质、按量地满足用户订单的比率，是基于客户反应的性能度量指标。

对基于订货生产的供应链来说，订单满足率是指在向用户(包括企业用户和定制产品的用户)承诺的产品交付时间范围内满足用户需求的订单率，这个交付时间能满足用户的要求。这里的客户服务水平指标是指供应链整体的订单满足率，用产品的订单满足率来度量。

1.3 目标函数

1.3.1 符号说明

优化模型的下标、决策变量以及已知输入量的含义如表 1 所示。

表 1 优化模型中的符号说明

参数	定义
i	定型产品索引, $i=1, \dots, I$
i'	定制产品索引, $i'=1, \dots, I'$
y_1, l_1, b_1	原材料、零部件种类索引, $y_1=1, \dots, Y_1, l_1=1, \dots, L_1, b_1=1, \dots, B_1$
z	同类采购件的供应商索引, $z=1, \dots, Z, Z$ 为备选供应商数量
k	企业用户索引, $k=1, \dots, K, K$ 为备选企业用户数量
d	第三方物流企业索引, $d=1, \dots, D, D$ 为备选数量
a	最终用户区域索引, $a=1, \dots, A$
e	核心企业生产的可替换自制件索引, $e=1, \dots, E$
I	协作企业被选择为 1, 否则为 0
T	生产间隔期, 也是采购件的订货周期(d)
r	企业用户对定型产品的订货点, 假定各个企业用户都相同
Q	企业用户对定型产品的订货量, 假定各个企业用户都相同
S	采购件的目标库存
r, r'	供应链产品的客户服务水平
T, T'	向用户承诺的产品交付时间(h)
s_1	同类采购件供应商所需的数量
e_1	所需的企业用户数量
d_1	所需的第三方物流企业数量
o	采购件和产品的订货成本
p	原材料、零部件的单位采购成本
R_1	采购件和产品每天需求的平均值
T_2	采购件的订货提前期
T_3	定型产品订货提前期的均值
s_2	产品的生产准备费用
s_3	单位生产费用
I_1	定型产品的日常需求服从的泊松分布的参数
h	单位库存保持成本(元/ d)
y	单位距离的单位运输成本
D_1	两个协作企业之间的距离(km)
Y	原材料供应商
L	零件供应商
B	部件供应商
M	核心生产企业
E_1	企业用户
H	最终用户区域
F	单位产品的服务费用
q	单位产品的缺货成本
x	定型产品的单位销售成本
x_1	定制产品的单位销售成本
w_1, w_2, w_3	生产柔性、运输柔性和库存柔性的权重
M_1	核心企业每天生产产品的最大生产能力
a	采购件的库存占用系数(产品单位/采购件单位)
M_2	第三方物流企业每天最大的运输能力

(续)

参数	定义
M_3	第三方物流企业每天最大的库存能力
r_1, r'_1	产品过去的订单满足率
T_4	产品承诺的交付安全期(h)
r_2	供应商生产的生产率
g	在一定客户服务水平下需求变化的安全系数
s	每天需求的标准差
r_3	供应链要求的最低的订单满足率

1.3.2 成本函数

供应链运行总成本 C 由供应商成本 C_1 、生产商成本 C_2 、企业用户成本 C_3 、第三方物流企业成本 C_4 四部分组成。即

$$\min C = \min(C_1 + C_2 + C_3 + C_4)$$

(1) 供应商成本 C_1 。包括采购件订货成本 C_{P0} 和采购成本 C_P 。

$$C_1 = C_{P0} + C_P =$$

$$\left[\sum_{y_1=1}^{Y_1} \sum_{z=1}^Z (I_{y_1,z} o_{y_1,z}) + \sum_{h_1=1}^{L_1} \sum_{z=1}^Z (I_{h_1,z} o_{h_1,z}) + \sum_{b_1=1}^{B_1} \sum_{z=1}^Z (I_{b_1,z} o_{b_1,z}) \right] + \sum_{y_1=1}^{Y_1} \sum_{z=1}^Z \left\{ I_{y_1,z} p_{y_1,z} \left[R_{y_1} (T + T_{2y_1}) / s_{1y_1} \right] \right\} + \sum_{h_1=1}^{L_1} \sum_{z=1}^Z \left\{ I_{h_1,z} p_{h_1,z} \left[R_{h_1} (T + T_{2h_1}) / s_{1h_1} \right] \right\} + \sum_{b_1=1}^{B_1} \sum_{z=1}^Z \left\{ I_{b_1,z} p_{b_1,z} \left[R_{b_1} (T + T_{2b_1}) / s_{1b_1} \right] \right\}$$

(2) 生产商成本 C_2 。包括产品生产准备费用 C_{SS} 、生产费用 C_{SP} 、核心件生产准备费用 C_{SSE} 、生产费用 C_{SPE} 和定制产品缺货成本 C_{QN} 、订货成本 C_{ON} 、销售成本 C_{XN} 。

$$C_2 = C_{SS} + C_{SP} + C_{SSE} + C_{SPE} + C_{QN} + C_{ON} + C_{XN} =$$

$$\sum_{i=1}^I (s_{2i} + s_{3i} R_{1i} T) + \sum_{i'=1}^{I'} \sum_{a=1}^A \left[(s_{2i'} + s_{3i'} R_{1i',a}) T \right] + \sum_{e=1}^E (s_{2e} + s_{3e} R_{1e} T) + T \left\{ \sum_{i'=1}^{I'} \sum_{a=1}^A \left[q_{i'} R_{1i',a} (1 - r'_1) \right] + \sum_{i'=1}^{I'} \sum_{a=1}^A \left[(o_{i'} R_{1i',a}) + \left(x_1 \sum_{i'=1}^{I'} \sum_{a=1}^A R_{1i',a} \right) \right] \right\}$$

(3) 企业用户成本 C_3 。主要包括定型产品的缺货成本 C_{QT} 、产品订货成本 C_{OT} 、销售成本 C_{XT} 。

$$C_3 = C_{QT} + C_{OT} + C_{XT} =$$

$$\left\{ \sum_{i=1}^I \left[q_i R_{1i} (1 - r_1) \right] + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I (o_i I_k I_{1i} / Q_i) + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I (I_k x_k I_{1i}) \right\} T$$

(4) 第三方物流企业成本 C_4 。主要包括库存保管成本 C_I (采购件和定型产品库存)、运输成本 C_D 和产品寿命周期成本 C_C (产品寿命周期成本指最终产品可替换件的生产费用和产品的维修费用)，即

$$C_4 = C_I + C_D + C_C$$

$$C_I = T \sum_{d=1}^D I_d \left\{ \sum_{y_1=1}^{Y_1} (h_{d,y_1} R_{y_1} / 2) + \sum_{h_1=1}^{L_1} (h_{d,h_1} R_{h_1} / 2) + \sum_{b_1=1}^{B_1} (h_{d,b_1} R_{b_1} / 2) + \sum_{i=1}^I \left[h_{d,i} \times (Q_i / 2 + r_i - I_i T_{3i}) \right] \right\}$$

$$C_D = \left\{ \sum_{d=1}^D \sum_{y_1=1}^{Y_1} \sum_{z=1}^Z \left\{ I_d y_{d,y_1,z} I_{y_1,z} D_1(Y_{y_1,z}, M) \times \left[(S_{y_1} - R_{1y_1} / 2) / s_{1y_1} \right] \right\} + \sum_{d=1}^D \sum_{h_1=1}^{L_1} \sum_{z=1}^Z \left\{ I_d y_{d,h_1,z} I_{h_1,z} D_1(L_{h_1,z}, M) \times \left[(S_{h_1} - R_{1h_1} / 2) / s_{1h_1} \right] \right\} + \sum_{d=1}^D \sum_{b_1=1}^{B_1} \sum_{z=1}^Z \left\{ I_d y_{d,b_1,z} I_{b_1,z} D_1(B_{b_1,z}, M) \times \left[(S_{b_1} - R_{1b_1} / 2) / s_{1b_1} \right] \right\} + \sum_{d=1}^D \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \left[I_d y_{d,k} I_k D_1(M, E_{1k}) I_i T \right] + \sum_{d=1}^D \sum_{a=1}^A \sum_{i'=1}^{I'} \left[I_d y_{d,a,i'} D_1(M, H_a) I_{1a,i'} T \right] \right\}$$

$$C_C = \left[\sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I (I_d f_i R_{1i}) + \sum_{d=1}^D \sum_{a=1}^A \sum_{i'=1}^{I'} (I_d f_{i'} R_{1a,i'}) \right] T$$

式中 $S_{y_1} = g s_{y_1} \sqrt{T_{2y_1}} + R_{1y_1} (T_{2y_1} + T)$

$$S_{h_1} = g s_{h_1} \sqrt{T_{2h_1}} + R_{1h_1} (T_{2h_1} + T)$$

$$S_{b_1} = g s_{b_1} \sqrt{T_{2b_1}} + R_{1b_1} (T_{2b_1} + T)$$

1.3.3 柔性函数

供应链柔性 R_X 由三部分组成：生产柔性 R_{X1} 、运输柔性 R_{X2} 和库存柔性 R_{X3} 。

$$\max R_X = \max(w_1 R_{X1} + w_2 R_{X2} + w_3 R_{X3}) =$$

$$\begin{aligned}
 & w_1 T \left[\sum_{i=1}^I (M_{1_i} - R_{1_i}) + \sum_{a=1}^A \sum_{i'=1}^{I'} (M_{1_{a,i'}} - R_{1_{a,i'}}) \right] + \\
 & w_2 T \sum_{d=1}^D \left\{ I_d \left[M_{2_d} - \sum_{i=1}^I R_{1_i} - \sum_{a=1}^A \sum_{i'=1}^{I'} R_{1_{a,i'}} - \right. \right. \\
 & \left. \left. \sum_{y_1=1}^{Y_1} (a_{y_1} R_{1_{y_1}}) - \sum_{i=1}^{L_1} (a_{l_1} R_{1_{l_1}}) - \sum_{h=1}^{B_1} (a_{b_1} R_{1_{b_1}}) \right] \right\} \\
 & w_3 \sum_{d=1}^D \left\{ I_d \left[M_{3_d} - \sum_{i=1}^I (Q_i / 2 + r_i - I_{1_i} T_{3_i}) - \right. \right. \\
 & \left. \left. \sum_{y_1=1}^{Y_1} (a_{y_1} R_{1_{y_1}} / 2) - \sum_{l_1=1}^{L_1} (a_{l_1} R_{1_{l_1}} / 2) - \sum_{h=1}^{B_1} (a_{b_1} R_{1_{b_1}} / 2) \right] \right\}
 \end{aligned}$$

$$\max(T_{2_{y_1}}, T_{2_{l_1}}, T_{2_{b_1}}) < T < \min(T_1, T'_1)$$

(5) 向用户承诺的产品交付时间约束

$$T_1 \leq 24 \times \max(T_{3_i} + T_{4_i}) =$$

$$24 \times \max\{T_{3_i} + (T_{3_i} + T) \times \max[0, (r - r_1)]\}$$

$$T'_1 \leq 24 \times \max(T_{3_{i'}} + T_{4_{i'}}) =$$

$$24 \times \max\{T_{3_{i'}} + (T_{3_{i'}} + T) \times \max[0, (r' - r'_1)]\}$$

(6) 客户服务水平约束

$$r_3 \leq r \quad r' \leq 1$$

1.3.4 向用户承诺的产品交付时间

为提高用户的满意度，提出承诺交付安全期的概念及其计算方法。承诺的交付安全期是指在考虑最近生产周期的客户服务水平的基础上，为产品交付保留的一定的时间余地。这样可以应付不确定因素并提高供应链的信誉度。其计算方法如下

$$T_{4_i} = (T_{3_i} + T) \times \max[0, (r - r_1)]$$

$$T_{4_{i'}} = (T_{3_{i'}} + T) \times \max[0, (r' - r'_1)]$$

基于订货生产的供应链没有定制产品的库存，则该类产品的平均交付时间就等于产品的订货提前期。向用户承诺的最长交付时间为产品的平均交付时间与交付安全期之和。如果这个时间的长短能满足用户的要求，则没有订单损失，否则订单损失。

1.4 约束条件

(1) 决策变量定义域约束

$$\sum_{z=1}^Z I_{y_1,z} = s_{1_{y_1}} \quad \sum_{z=1}^Z I_{l_1,z} = s_{1_{l_1}}$$

$$\sum_{z=1}^Z I_{b_1,z} = s_{1_{b_1}} \quad \sum_{d=1}^D I_d = 1$$

$$\sum_{k=1}^K I_k = e_1 \quad r_i \geq 0 \quad Q_i \geq 0$$

(2) 采购件可获得性约束

$$(S_{y_1} / s_{1_{y_1}}) \leq \left[\min(r_{2_{y_1}})(T_{2_{y_1}} + T) \right]$$

$$(S_{l_1} / s_{1_{l_1}}) \leq \left[\min(r_{2_{l_1}})(T_{2_{l_1}} + T) \right]$$

$$(S_{b_1} / s_{1_{b_1}}) \leq \left[\min(r_{2_{b_1}})(T_{2_{b_1}} + T) \right]$$

(3) 库存约束

$$\sum_{y_1=1}^{Y_1} (a_{y_1} R_{1_{y_1}} / 2) + \sum_{l_1=1}^{L_1} (a_{l_1} R_{1_{l_1}} / 2) + \sum_{b_1=1}^{B_1} (a_{b_1} R_{1_{b_1}} / 2) +$$

$$\sum_{i=1}^I (Q_i / 2 + r_i - I_{1_i} T_{3_i}) \leq M_{3_d}$$

(4) 生产约束

2 算法设计

上述供应链优化模型是一个多目标、具有约束的非线性混合整数规划模型。该模型具有以下特点：优化模型包含成本和柔性两个目标函数；目标函数和约束条件都是非线性的；决策变量包括 0—1 变量和连续变量两类。另外，优化模型的目标函数比较复杂，很难确定函数的某些性质，比如，目标函数为凸函数或非凸函数，是单峰或多峰等。遗传算法是一种全局性的概率搜索算法，不同于传统的搜索和优化方法。它具有对函数的性态无要求、搜索效率高、较好的全局搜索能力等优势，并且可以处理多目标、混合参数的约束优化问题^[6,7]。所以，针对供应链优化模型的特点，提出一种改进的多群体遗传算法对其求解。

改进的多群体遗传算法采用多个群体，各个群体之间没有个体的迁移和交换。对于成本目标函数，多个群体分别进化，最后获得非劣解子集 1，进化过程中，对每一代各个群体中的最优解，计算其与非劣解子集 1 中解的最小距离 d_{ij} (非劣解子集为空时，不必计算距离)。如果 d_{ij} 大于某一给定值 e ，则将群体中的最优解放入非劣解子集 1，然后该群体继续进化。相反，则对两个解对应的目标函数值进行比较：如果群体中的最优解优于非劣解子集中的解，则将进化群体的最优解放入非劣解子集 1；否则，进化群体的最优解不放入非劣解子集 1。对于柔性目标函数，也有多个群体分别进行相同的进化和计算，最后获得非劣解子集 2。然后求解两个非劣解子集的交集，如果交集不为空，则交集的解元素就是能使两个目标都达到最优的最优解。否则，非劣解子集 1 和 2 并集的子集就是优化模型最终的非劣解集。决策者可直接从最终的非劣解集中挑选满意的折衷解。具体算法设计如下所述。

(1) 编码。针对优化模型中包含混合决策变量

的情况,采用混合编码的方法。其中 0—1 变量采用二进制编码形式;其他变量如订货点、订货量、目标库存、客户服务水平属于连续变量,采用实数编码形式。对于生产间隔期和向用户承诺的产品交付时间这两个变量,由于在模型中是以天和小时为单位的,文中也将其作为连续变量计算,之后再向右取整。

(2) 初始化。结合使用抛弃不可行解法和惩罚函数法处理优化模型中的约束条件。初始化时,采用抛弃不可行解法检查随机生成的个体是否满足优化模型中的域约束、等式约束条件,如果满足,该个体可作为一个初始化可行解,否则抛弃这个解,重新寻找可行的个体,直到可行个体数量达到规定的群体规模为止。不等式约束条件在选择操作中采用惩罚函数法处理。

(3) 选择算子。选择操作中首先检查群体中的各个个体是否满足不等式约束,如果满足,则计算个体的目标函数,否则计算该个体的违反约束的程度。然后,计算各个个体的适应度值。满足约束的个体的适应度值等于目标值,不满足约束的个体的适应度值等于最差个体目标值与该个体违反约束程度的度量值之和。最后,采用联赛选择的方法进行选择,直到满足规定的群体规模。该选择算子中采用的适应度值计算方法不需要惩罚参数,避免了使用惩罚函数法很难找到适当的惩罚参数的困难。

(4) 交叉算子。从群体多样性的角度来看,随着交叉点数的增多,其群体多样性测度保持不变。而且,多点交叉算子与两点交叉算子的性能差别不大^[6]。因此,在实际中大量采用两点交叉算子。文中对于二进制编码的变量,也采用两点交叉算子;对于实数编码的参数,采用算术交叉算子。两个个体进行交叉操作后产生的新个体有可能会违反域约束、等式约束,所以,交叉操作后对新个体进行约束条件的检查,如果不满足约束,重新进行交叉操作,否则,将交叉操作产生的新个体作为新一代群体的个体,重复此过程,直到达到群体规模。

(5) 变异算子。对于二进制编码的变量采用通常的单点变异,实数编码的变量采用实数变异算子。个体经过变异操作后产生的新个体也可能违反域约束、等式约束,所以,变异操作后对新个体进行约束条件的检查,如果不满足约束,重新进行变异操作,否则,将变异操作产生的新个体作为新一代群体的个体,重复此过程,直到达到群体规模。

(6) 终止条件。对于多群体 GA 的单个群体来讲,终止条件为进化代数达到规定的最大值。

3 实例

某一供应链围绕生产商,由原材料供应商、零件供应商、部件供应商、企业用户、第三方物流企业以及产品的最终用户组成。该供应链采取订货生产方法,生产的产品具有模块化的特点,需要将这些产品进行模块化分解。根据分解的结果,需要原材料供应商 Y_1 类,零件供应商 L_1 类,生产非核心模块的部件供应商 B_1 类。各类原材料的备选供应商有 Z_{y_1} 个,各类零件的备选供应商有 Z_{l_1} 个,各类部件的备选供应商有 Z_{b_1} 个,备选的企业用户和第三方物流企业分别有 K 个和 D 个。本实例主要就是完成这个供应链的集成优化,确定出一个非劣解集,供决策者选择。每一个非劣解都将给出该供应链的优化结果:供应链所需个数的各类协作企业具体是哪些企业,操作层策略的参数、定型产品和定制产品的客户服务水平 r 、 r' 以及向用户承诺的产品交付时间 T_1 、 T_1' 的大小应该为多少。其中,供应链所需各类协作企业的个数分别为:原材料供应商 s_{1y_1} 、零件供应商 s_{1l_1} 、部件供应商 s_{1b_1} 、企业用户 e_1 、第三方物流企业 d_1 。操作层策略的参数包括:采购件订货周期以及生产间隔期 T 、采购件的目标库存 S 、企业用户的订货点 r 和企业用户的订货量 Q 。

对该实例进行优化依据的模型就是上述供应链集成优化模型。表 2 列出了实例的主要参数值,优化模型求解的遗传算法参数如表 3 所示。对于二进制变量,交叉概率和变异概率采用了基于阶段进化的适应性策略,将 GA 的整个进化过程划分为三个阶段: $[0, 0.382T]$, $[0.382T, 0.618T]$, $[0.618T,$

表 2 优化模型的主要参数值

参数	参数值	参数	参数值	参数	参数值
T	4	d_1	1	s_{1y_1}	2, 3
T'	2	Y_1	2	Z_{l_1}	3, 5, 7, 4, 5, 4, 6, 4
K	7	L_1	8	s_{1l_1}	2, 3, 5, 2, 3, 2, 4, 2
e_1	5	B_1	5	Z_{b_1}	4, 6, 5, 3, 5
D	3	Z_{y_1}	4, 5	s_{1b_1}	2, 4, 3, 2, 3

表 3 遗传算法的主要参数

群体个数	单个群体规模	交叉概率	
		二进制	实数
3	60	1, 0.75, 0.5	算数交叉
最大进化代数		变异概率	
		二进制	实数
500		10/l, 1/l, 0.1/l	0.2

注: l 为位串长度。

T]。其中， T 为最大进化代数。针对不同的进化阶段，交叉概率和变异概率的取值不同。

利用改进的多群体遗传算法，在 Matlab 6.5 遗传算法工具箱基础上，结合自己编写的部分算法程序对上述实例进行了求解，获得了非劣解子集 1 和 2，而且子集 1 和 2 的交集是空集。因此，最终的非劣解集是非劣解子集 1 和 2 并集的子集。本实例中，非劣解集由子集 1 中针对三个群体来说各个群体的最优个体和子集 2 中各个群体的最优个体组成，共包含 6 个非劣解，下面给出解集中的一个非劣解。

二进制决策变量

原材料供应商：[1 1 0 0 0 ; 0 1 0 1 1]，零件供应商：[1 1 0 0 0 0 0 ; 1 1 0 1 0 0 0 ; 1 1 1 0 1 0 1 ; 0 1 0 0 0 0 ; 1 1 0 0 1 0 0 ; 1 0 0 1 0 0 0 ; 1 0 1 0 1 1 0 ; 0 0 1 1 0 0 0]，部件供应商：[0 0 1 1 0 0 ; 0 1 0 1 1 1 ; 1 0 1 0 1 0 ; 1 1 0 0 0 0 ; 1 0 0 1 1 0]，第三方物流企业：[1 0 0]，企业用户：[1 1 0 0 1 1 1]。

实数决策变量

订货点：[4 003.81 ; 4 000 ; 4 016.51 ; 4 000]，订货量：[7 346.88 ; 7 010.64 ; 8 017.81 ; 8 013.96]，生产间隔期：[27]，最大目标库存：[103 533.97, 138 015.42 ; 138 827.18, 188 881, 150 396.11, 183 977.04, 235 297.21, 138 588.71, 470 885.89, 281 618.24 ; 19 467.86, 35 495.46, 81 534.59, 150 926.21, 731 17.65]。

性能度量指标值

成本(元)：[1.532 25×10⁷]，柔性(产品单位)：[4 231.98]，向用户承诺的产品交付时间(h)：[838 ; 906]，客户服务水平：[0.99 ; 0.908 1]。

上述的二进制决策变量中，参数值为 1 表示该参数对应的协作企业被选中，参数值为 0 表示没有被选中。如原材料供应商选择变量[1 1 0 0 0 ; 0 1 0 1 1]表示：第一类原材料的备选供应商中供应商 1 和供应商 2 被选中；第二类原材料的备选供应商中供应商 2、供应商 4 和供应商 5 被选中。其他二进制决策变量的意义类同。

4 结论

建立了一个基于订货生产的供应链集成优化模型，针对该多目标优化模型，提出了一种改进的多群体遗传算法并用一个数值例子对优化模型进行了数值仿真。

提出的供应链优化模型是针对基于订货生产的供应链优化问题而提出的。当前，基于订货生产的供应链还没有在我国企业广泛实施，应用该优化

模型时，模型中参数的确定需要通过对具体企业在实施基于订货生产时的实际情况及历史数据的分析得到。另外，为了降低建立多目标优化模型的复杂性，提出的多目标优化模型没有考虑产品类型的变化及设备的调整能力。

参 考 文 献

- 1 Ehap H S, Benita M B a multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *Omega*, 2000, 28 : 581 ~ 598
- 2 John C, Charles W. Application of facility location modeling constructs to vendor selection problems. *European Journal of Operations Research*, 1994, 76 : 387 ~ 392
- 3 Ram G S. Managing supply chain inventories : A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model. *Int. J. Production Economics*, 1999, 59 : 341 ~ 354
- 4 Dellaert N P, Meio M T. Make-to-order policies for a stochastic lot-sizing problem using overtime. *International Journal of Production Economics*, 1998, 20 : 79 ~ 97
- 5 Benita M B. Supply chain design and analysis : models and methods. *Int J. Production Economics*, 1998, 55 : 281 ~ 294
- 6 李敏强, 寇纪淞, 林丹, 等. 遗传算法的基本理论与应用. 北京: 科学出版社, 2002
- 7 王小平, 曹立明. 遗传算法—理论、应用与软件实现. 西安: 西安交通大学出版社, 2002

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION AND SIMULATION OF SUPPLY CHAIN

Ma Xuefen

(Ocean College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090)

Sun Shudong

(System Integration and Engineering Management Institute, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract: The optimization of supply chain is studied. A multi-objective model is constructed, which simultaneously optimizing collaborative enterprises, strategic and operational planning. Moreover, in the model, multi-objective analysis is adopted to allow use of a performance measurement system that includes cost, flexibility, customer service levels and delivery time of products. Furthermore, a improved multi-population pareto genetic algorithm is designed for the model. Finally, the model is illustrated by an example and the

simulation result is obtained.

Key words: Supply chain Multi-objective Optimization

Genetic algorithm Simulation

作者简介: 马雪芬, 女, 1973 年出生, 博士。主要从事供应链理论及应用、资源优化、系统集成与工程管理等研究。

E-mail: maxuefen@yahoo.com.cn

《机械工程学报》英文版投稿须知

(一) 简介

《机械工程学报》英文版(以下简称《学报》英文版)创刊于 1988 年,在十几年的办刊实践中,始终坚持严谨、严肃、求真、唯实、理论联系实际学风与文风,及时报道机械工程领域在基础理论、工程技术应用方面所取得的重大科研成果,着重报道具有综合性、基础性、开发性和边缘性的科技成果和先进经验,紧密地随着中国和世界机械科学技术的发展而发展,赢得了国内外机械行业专家的赞誉,成为中国机械工程领域最具权威性的学术期刊之一。《学报》英文版面向国内外发行,并与二十多个国家及我国香港、台湾地区的多家单位建立了交换关系。

《学报》英文版建立了由世界各国机械工程领域知名专家、学者组成的国际编委会,有越来越多的国际机械工程领域专家、学者关注刊物的发展。《学报》英文版得到我国高等院校、国家重点实验室及科研院所的大力资助,获得中国科协择优支持基础性和高科技学术期刊专项资助经费的资助,获得国家自然科学基金委员会的资助。《学报》英文版被 EI、CA、SA、CSA 及 AJ 等多家国际检索系统收录,从 1998 年起至今发表的论文全部被 EI 收录。《学报》英文版刊登的论文属于国家和省部级基金项目资助的约占 80%,不少论文在理论和技术上取得了突破性进展,已转化为先进生产力,产生了较好经济效益和社会效益。《学报》英文版已成为评定博士点、评估国家重点实验室、申请国家自然科学基金、申报科研成果和晋升职称等的重要依据,得到了国内外机械行业专家的好评,在历年各级期刊评比中获得了好名次。

(二) 特别指出

由于《学报》中文版的英文译名正好与《学报》英文版同名,使得一些作者误以为它们是同一种期刊以不同的文种形式出版。因此这里特别指出:《学报》英文版与《学报》中文版是两种不同的期刊,《学报》英文版为季刊,160 页/期;《学报》中文版为月刊,240 页/期,其内容是完全不重复的。

为进一步发挥《学报》英文版在世界范围内的“高水平学术阵地”和“重要窗口作用”,扩大我国机械工程领域的优秀科研成果在世界范围内的影响,加强科研工作者与国外同行的交流,欢迎广大国内外学者积极踊跃地将优秀科研论文投到《学报》英文版。大家共同努力将《学报》英文版办成具有国际品牌的大刊、名刊,使其成为中国机械工程界走向世界的桥梁!

(三) 投稿要求

1. 投稿应遵循本刊《作者须知》、《投稿式样》和《投稿要求》(可从《机械工程学报》网站 <http://www.cjme.com.cn> 下载)。
2. 论文字数不受限制,一般为 4 页以上(正文字号小 5 号, A4 纸),其中摘要 300~500 字左右。
3. 来稿请用 A4 纸打印,一式三份,其中二份为英文稿,一份为中文译稿(中文译稿应与英文稿的内容一致)。
4. 初稿不需要提供电子文档,审稿通过提交修改稿时需附带论文的电子文档(*.doc 文件)。
5. 编辑部对来稿有修改权,重大删改时会与作者协商,排版后的清样将邮给作者进行核对。
6. 稿件文责自负,勿一稿多投。未被采用的稿件,编辑部将给作者发退稿通知,但原稿恕不退还。
7. 作者可随时到编辑部的网站查询稿件的处理情况。

(四) 联系方式

通信地址:北京市百万庄大街 22 号《机械工程学报》编辑部,100037

电话:010-88379907 ; 传真:010-68994557

E-mail: cjme@mail.machineinfo.gov.cn