

文章编号: 1000-8152(2009)11-1218-07

3级网状随机性库存控制策略的仿真优化

高镜媚, 汪定伟

(东北大学 系统工程研究所, 辽宁 沈阳 110004)

摘要: 研究了多制造商, 多分销商和多零售商的3级网状随机性库存系统的 (r, Q) 库存控制策略问题. 由于该系统具有顾客到达时间服从泊松分布, 随机顾客需求量, 随机顾客购买行为, 随机订货时间和制造商生产容量有限等特点, 使得解析方法很难描述系统中的多种复杂随机因素并无法求解有效的库存控制策略. 为此建立了以总成本最小为目标的数学模型, 运用了基于仿真的优化方法, 通过将仿真方法与粒子群优化算法相结合对问题进行求解. 最后通过仿真实例与比较, 验证了模型和基于仿真的粒子群优化方法的可行性和有效性, 也表明了基于仿真的优化方法在供应链管理中的适用性.

关键词: 3级库存; 数学模型; 仿真优化; 粒子群优化算法

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

Simulation-based optimization on three-echelon network stochastic inventory control policies

GAO Jing-mei, WANG Ding-wei

(Institute of System Engineering, Northeastern University, Shenyang Liaoning 110004, China)

Abstract: The problem of how to set the (r, Q) inventory control policies for a three-echelon network stochastic inventory system is studied. Because the customer arrival time is a Poisson process, and all of the customer demand, the customer purchasing behavior and the lead time are stochastic and the production capacity is limited in the inventory system, it is difficult for the analytical method to describe various complex and stochastic factors and develop an effective inventory control policy. A mathematical model is built for minimizing the total cost. Next, the simulation-based optimization method is used to solve the problem by combining the simulation method together with the particle-swarm optimization algorithm. The simulation results demonstrate the feasibility and the effectiveness of the mathematical model and the simulation-based particle-swarm optimization method by comparisons, and show the applicability of the simulation-based optimization method in the supply chain management.

Key words: three-echelon inventory; mathematical model; simulation-based optimization; particle swarm optimization

1 引言(Introduction)

库存成本是供应链系统的核心成本之一. 有效的库存控制策略不但可以降低企业的库存成本, 从而降低经营成本, 提高企业在市场中的竞争力, 而且可以提高整条供应链的运作性能, 起到改善和优化供应链管理的作用. 确定库存控制策略的方法大概可以分为两类: 一类是解析方法; 另一类是系统仿真方法. 自Clark和Scarf^[1]于1960年提出“级库存”这个概念以来, 众多研究人员开始利用各种解析方法来解决供应链多级库存问题^[2~4]. 然而, 在大多数实际的库存系统中, 订货时间、需求量等系统变量通常都是随机的, 属于随机性库存系统, 变量的随机性以

及变量之间的复杂关系使得用解析方法求解不但需要做一些假设(例如, 假定随机变量服从正态分布), 而且公式复杂, 求解困难.

系统仿真方法则不受随机变量的影响, 可以更自然地描述系统变量之间的非线性关系, 从而能够比较完整、准确地把握真实系统, 在更大的广度和深度上对系统进行研究分析. 然而仿真方法本身并不是优化方法, 只有将仿真方法与优化方法相结合, 才能起到真正意义上对系统进行优化的目的. 近年来, 很多学者研究并运用基于仿真的优化方法解决了许多领域的设计优化问题, 如复杂工程系统^[5,6]、供应链和物流系统^[7,8]、制造系统^[9,10]以及社会经济系

收稿日期: 2008-05-15; 收修改稿日期: 2009-02-22.

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(70931001); 国家自然科学基金创新群体资助项目(60821063); 国家自然科学基金面上基金资助项目(70771021); 国家教育部博士点基金资助项目(200801450008).

统^[11,12]等. Arnold和Köchel^[13]在1996年首先使用基于仿真的优化方法求解复杂的库存系统控制问题, 之后很多研究人员利用这种方法解决了各种多级库存问题^[14~16].

然而通过对上述相关文献的总结, 发现目前对多级库存问题的研究大多是两级或多级串行的简单结构, 而且对随机因素的考虑不够全面. 为此, 本文针对供应链多级库存系统的复杂性和随机性, 设计了3级网状随机性库存系统, 使其具有以下特点: 1) 顾客到达时间服从泊松分布; 2) 顾客需求量是随机变量; 3) 顾客购买行为是随机变量; 4) 订货时间是随机变量; 5) 制造商生产容量有限制. 通过以整条供应链的总成本最小为目标建立数学模型, 应用基于仿真的PSO方法(particle swarm optimization, 粒子群优化, 简称PSO)进行求解, 并通过算例, 与经典的经济订购批量方法(economic ordering quantity, 简称E.O.Q.)相比较, 对模型和方法进行验证.

2 问题描述(Problem statement)

对本文设计的3级网状随机性库存系统的描述如下:

此系统包括了 M 个制造商、 N 个分销商和 P 个零售商, 如图1所示. 供应链上各节点企业采取的是一种常用的 (r, Q) 库存控制策略, 其中 r 代表订货点(对于制造商为生产点), Q 代表订货批量(对于制造商为生产批量), 各节点企业每经过一个固定周期, 检查当前库存量, 若库存量低于订货点 r , 则发出订货; 否则, 不订货. 由于上级节点企业的当前库存量有限, 所以允许订货量不完全被满足, 即实际到货量 $\leq Q$, 其中零售商可以向任一个分销商发出订货, 分销商可以向任一个制造商发出订货, 他们的订货时间是随机的.

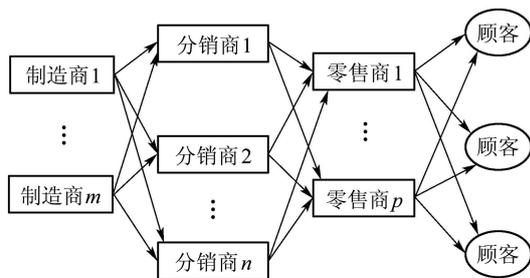


图 1 3级网状库存系统示意图

Fig. 1 Schematic view of three-echelon network inventory system

由于实际中制造商的生产能力往往有一定限制, 所以这里为了不失一般性, 假设不同制造商单位时间段内的生产能力不同, 而且为了更好地协调生产与供需之间的关系, 将制造商的生产分为两部分进

行, 一部分按照 (r, Q) 策略进行生产, 与是否有下级节点企业(分销商)订货无关, 目的是为了当有分销商订货时, 能够及时供货; 而另一部分则是在尽可能降低库存成本的前提下, 当制造商现有库存量无法满足当前订货量时, 在生产能力范围内再生产以尽量满足订货.

由于在实际生活中顾客的随机性是造成供应链随机性的一个重要因素, 所以这里假设每个零售商的顾客到达时间都服从泊松分布, 每个顾客所购买的商品数量是随机变量. 当顾客到达的第一个零售商无法满足顾客需求时, 顾客可能有两种选择行为, 一是选择放弃购买; 二是选择去另一个零售商购买, 这时如果需求还没有被满足, 则认为发生缺货现象, 并由第一个零售商承担缺货损失成本, 也就是不存在顾客需求被部分满足的情况.

可见, 本文所研究问题的本质就是针对多种随机因素影响下的3级网状库存系统, 如何确定各节点的有效合理 (r, Q) 库存控制策略, 使得整条供应链的总成本, 即生产成本、库存成本、订货成本和缺货损失成本之和达到最小.

3 模型建立(Model building)

基于上面对问题的描述, 下面将给出问题的数学模型.

模型中使用的符号和参数如下: m 为制造商索引号($m = 1, 2, \dots, M$); n 为分销商索引号($n = 1, 2, \dots, N$); p 为零售商索引号($p = 1, 2, \dots, P$); t 为时间阶段索引号($t = 1, 2, \dots, T$); c_m 为制造商 m 单位产品的生产成本; p_m 为制造商 m 单位阶段的最大生产能力; h_m 为制造商 m 单位产品的库存成本; h_n 为分销商 n 单位产品的库存成本; h_p 为零售商 p 单位产品的库存成本; oc_n 为分销商 n 一次订购成本; oc_p 为零售商 p 一次订购成本; o_n 为分销商 n 订购单位产品的价格; o_p 为零售商 p 订购单位产品的价格; tr_n 为分销商 n 单位时间的运输成本; tr_p 为零售商 p 单位时间的运输成本; s_p 为零售商 p 单位产品的缺货损失成本.

随机变量如下: D_{pt} 为第 t 阶段零售商 p 的需求量; L_n 为分销商 n 的订货时间; L_p 为零售商 p 的订货时间.

决策变量如下: x_m 为制造商 m 的生产点; X_m 为制造商 m 的生产批量; y_n 为分销商 n 的订货点; Y_n 为分销商 n 的订货批量; z_p 为零售商 p 的订货点; Z_p 为零售商 p 的订货批量.

这样, 目标函数为

$$\min f(x_m, X_m, y_n, Y_n, z_p, Z_p) = \min \left[\sum_{m=1}^M (c_m \cdot Q_{ma} + h_m \cdot I_{ma}) + \dots \right]$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^N (h_n \cdot I_{na} + oc_n \cdot W_{na} + \\ & o_n \cdot Q_{na} + tr_n \cdot L_{na}) + \\ & \sum_{p=1}^P (h_p \cdot I_{pa} + oc_p \cdot W_{pa} + \\ & o_p \cdot Q_{pa} + tr_p \cdot L_{pa} + s_p \cdot S_{pa}), \quad (1) \\ \text{s.t. } & Q_{ma} \leq p_a. \quad (2) \end{aligned}$$

这里需要说明的是:

1) 目标函数(1)表达的是整条供应链总的平均成本最小;约束条件(2)表示制造商生产能力约束;

2) 从目标函数(1)中可以看出订货成本由3部分组成:一是订购成本,只与订购次数有关;二是运输成本,只与运输时间有关,而与订货数量无关;三是产品订货成本,只与订货数量有关,而与运输时间无关;

3) 目标函数(1)中的变量的含义如下: Q_{ma} 为制造商 m 平均生产产品数量; I_{ma} 为制造商 m 平均库存量; I_{na} 为分销商 n 平均库存量; W_{na} 为分销商 n 平均订购次数; Q_{na} 为分销商 n 收到的平均订货量; L_{na} 为分销商 n 平均订货时间; I_{pa} 为零售商 p 平均库存量; W_{pa} 为零售商 p 平均订购次数; Q_{pz} 为零售商 p 收到的平均订货量; L_{pa} 为零售商 p 平均订货时间; S_{pa} 为零售商 p 平均缺货量;

4) 由于本文所研究的3级网状库存系统是一种随机性库存系统,虽然目标函数中的变量是决策变量的函数,但由于多种随机因素的存在,导致这些变量也是不确定的,无法给出它们的解析表达式,因此这里利用它们的期望值来表征整条供应链总的平均成本,并以其为目标建立数学模型^[17].

由此可见,当用解析方法求解模型时,必须对原问题施加一些假设或简化一些相对影响较小的不确定变量,使原来的不确定性模型转化为确定性模型,否则将无法求解.为此,本文将介绍基于仿真的优化方法(simulation-based optimization,简称SBO),并应用其对问题进行有效求解.

4 基于仿真的优化方法(SBO)

4.1 基本原理(Fundamental principle)

随着人们所关注的系统越来越复杂,最优化技术也相应地不断发展,从应用数学规划方法阶段,目标函数和约束条件均为解析函数;发展到智能优化方法阶段,目标函数和约束条件可以为含有判断逻辑的计算机程序;再发展到现在的基于仿真优化方法阶段,用大量的仿真统计数据来进行性能评价.一般地,应用基于仿真的优化方法来设计优化的系统主要具有以下特点:1)人们对系统的特性和内在规则还不完全清楚,缺乏必要的相关知识,只能把系统当

作黑箱来处理;2)系统中复杂因素多,关联多,很难用数学模型来表述,或者即使表述出来也难以处理;3)系统含有大量不确定性因素,只能用仿真加统计的方法才能对系统性能进行评估.

基于仿真的优化方法是一种通过将仿真方法与优化方法相结合来对问题进行优化的方法,其基本原理如图2所示,主要包括两个模块:一是上层的优化模型,二是下层的仿真模型,对于由优化模型所得到的解,仿真模型将对其提供评价价值并返回给优化模型,优化模型根据此评价价值,继续寻找更优的解,仿真模型也会继续对解提供评价价值,如此重复,直到满足了一定的停止准则,从而得到了系统的最优解.

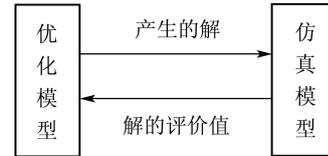


图2 基于仿真的优化方法原理图

Fig. 2 Diagram of simulation-based optimization method

4.2 仿真模型(Simulation model)

由于本文所研究的3级网状库存系统是随机性库存系统,系统状态的变化都是在离散时间点上发生的,因此可以对本系统建立离散事件系统仿真模型.离散事件系统有事件调度法、活动扫描法和进程交互法等仿真策略,在库存系统中,由于事件类型比较少,事件之间的关系也比较简单,因此可以采用事件调度法作为仿真策略.

由于本文所研究的库存系统执行的是 (r, Q) 库存控制策略,所以控制变量就是 x_m, X_m, y_n, Y_n, z_p 和 Z_p ;状态变量就是各节点企业的库存量,即 I_m, I_n 和 I_p ;统计变量可以是总的平均库存成本、总的平均订货成本、总的平均缺货损失成本和总的平均成本等.

本文采用VC++6.0实现了离散事件系统仿真模型,在实现时采用了面向对象技术,主要由以下类构成:顾客类,零售商类,分销商类,制造商类和统计类,并将状态变量和统计变量设定为相关类的成员变量进行更新处理,使得整个程序结构清晰,便于以后对仿真模型的修改和实现.

4.3 基于仿真的PSO方法(Simulation-based PSO)

在仿真模型的基础上,将仿真模型与PSO算法相结合,得到基于仿真的PSO方法的步骤如下:

步骤1 初始化一群粒子,种群大小为 K ,每个粒子的维数为 D ,迭代次数为 J .在约束条件范围内随机设定粒子的初始位置和初始速度,即 $x_k^0 =$

$x_{k1}^0, x_{k2}^0, \dots, x_{kD}^0$, $v_k^0 = (v_{k1}^0, v_{k2}^0, \dots, v_{kD}^0)$, 其中: $k = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, J, d = 1, 2, \dots, D$;

步骤 2 对种群中的每个粒子进行仿真, 即将每个粒子的位置作为控制变量, 输入到仿真模型, 得到每个粒子的当前评价值;

步骤 3 每个粒子通过将当前评价值与历史最好评价值相比较, 来更新自己的当前最好位置, 用 $P_k^j = (p_{k1}^j, p_{k2}^j, \dots, p_{kD}^j)$ 来表示;

步骤 4 将每个粒子的当前最好位置与全局所经历的最好位置 P_g^j 相比较, 如果当前最好位置较好, 则更新 $P_g^j = (p_{g1}^j, p_{g2}^j, \dots, p_{gD}^j)$;

步骤 5 每个粒子根据式(2)和式(3)计算自己的新速度和新位置, 如果新位置在约束区域内, 则更新位置, 否则不更新:

$$v_{kd}^{j+1} = \omega^j v_{kd}^j + C_1 \xi (p_{kd}^j - x_{kd}^j) + C_2 \eta (p_{gd}^j - x_{kd}^j), \tag{3}$$

$$x_{kd}^{j+1} = x_{kd}^j + v_{kd}^{j+1}. \tag{4}$$

步骤 6 检查终止条件, 如果不满足终止条件, 转到步骤2; 否则停止迭代.

5 仿真实例及分析(Simulations and analyses)

考虑由2个制造商($m = 2$)、2个分销商($n = 2$)和3个零售商($p = 3$)组成的3级网状随机性库存系统, 分别用两种方法对问题进行求解, 一种是基于仿真的优化方法, 另一种是E.O.Q.方法, 并通过比较分析得出结论.

5.1 基于仿真的PSO方法(Simulation-based PSO)

基于仿真的PSO方法采用VC++6.0在Windows平台上(主频80 G, 内存512 M)实现. 下面首先分别给出系统参数、仿真模型参数以及PSO参数的设置, 最后得出优化结果.

5.1.1 系统参数(Parameters of system)

系统参数的设置如表1所示. 假设系统中各节点企业的初始库存量均为200.

表 1 系统参数

Table 1 Parameters of system

	单位库存 成本/元	单位生产 成本/元	单位缺货 成本/元	一次订购 成本/元	单位时间 运输成本/元	单位产品 价格/元	生产能力 限制
制造商1	0.6	3	—	—	—	—	400
制造商2	0.5	2	—	—	—	—	350
分销商1	0.8	—	—	70	30	4	—
分销商2	1	—	—	80	20	6	—
零售商1	1	—	13	80	40	5	—
零售商2	1.2	—	10	100	30	7	—
零售商3	0.9	—	17	60	20	9	—

5.1.2 仿真模型参数(Parameters of simulation model)

仿真模型中的随机变量如表2所示, 其中包括3个零售商的顾客到达时间所服从泊松分布的参数 λ ; 服从多项分布的3个零售商的顾客随机需求量; 服从多项分布的3个零售商和两个分销商的随机订货时间; 以及当顾客所到达的第一个零售商无法满足需求时, 服从多项分布的顾客随机购买行为. 由于篇幅限制, 在表2中零售商和分销商分别简写为“零”和“分”. 仿真整个供应链系统运作一个季度的情况, 则将仿真运行时间设为100个阶段, 即100天, 每个阶段的时间长度设为8 h(480 min), 即每个阶段(每天)的顾客到达时间不超过480 min.

5.1.3 PSO参数(Parameters of PSO)

为了使PSO具有较好的搜索能力, 惯性权重 $\omega(j)$ 采用自适应惯性权重, 在算法迭代的过程中根据公式 $\omega^j = (\omega^0 - \omega^J) \cdot (J - j) / J + \omega^J$, 从 ω^0 逐渐减少为 ω^J , 其中 $\omega^0 = 0.8, \omega^J = 0.3$. 学习因子 C_1 和 C_2 的比例影响着粒子的自我总结能力和向群体中优秀个体学习能力之间的关系, 有关文献表示, 在 $C_1 \geq C_2$, 但 $C_1 + C_2 \leq 4$ 的情况下, PSO会有更好的表现, 所以这里设 $C_1 = 2, C_2 = 1.5$ ^[18]. 因为系统中2个制造商、2个分销商和3个零售商的(r, Q)策略各不相同, 共有14个决策变量, 所以原问题解的维数, 即粒子维数为 $D = 14$. 迭代次数 $J = 200$ 为PSO迭代终止条件.

表2 仿真模型参数

Table 2 Parameters of simulation model

λ	需求量						订货时间					购买行为				
	0	2	4	6	8	10	1	2	3	4	5	放弃	零1	零2	零3	
零1	0.2	0.1	0.2	0.25	0.15	0.2	0.1	0.3	0.45	0.25	—	—	0.1	—	0.5	0.4
零2	0.15	0.2	0.25	0.1	0.1	0.15	0.2	0.2	0.5	—	0.3	—	0.15	0.4	—	0.45
零3	0.1	0.15	0.3	0.1	0.2	0.1	0.15	—	0.4	0.4	0.2	—	0.15	0.4	0.45	—
分1	—	—	—	—	—	—	—	—	0.3	0.45	—	0.25	—	—	—	—
分2	—	—	—	—	—	—	—	0.2	—	0.4	—	0.4	—	—	—	—

5.1.4 输出结果(Results)

因为本文研究的目的就是使整条供应链的总成本达到最小, 因此在应用基于仿真的PSO方法进行求解的迭代过程中, 以仿真模型得到的总的平均成本作为每个粒子的评价值, 从而得出总的平均成本随迭代次数的变化曲线, 如图3所示, 可以看出当迭代到153次, 总的平均成本收敛到5,931时, 曲线不再有明显的变化, 说明了基于仿真的PSO方法在有限的迭代次数内可以对原问题进行有效求解, 所得到的最优解如表3所示。

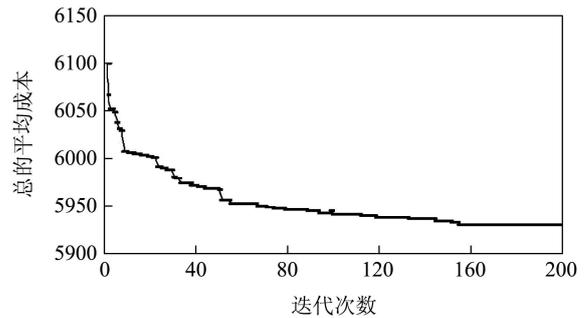


图3 总的平均成本随迭代次数的变化曲线

Fig. 3 Graph between total average cost and iterations

表3 SBO方法和E.O.Q.方法得到的最优解及其他6种策略

Table 3 Optimal solutions of both SBO and E.O.Q. and other six policies

策略	(x_1, X_1)	(x_2, X_2)	(y_1, Y_1)	(y_2, Y_2)	(z_1, Z_1)	(z_2, Z_2)	(z_3, Z_3)
SBO	(192, 103)	(190, 157)	(165, 130)	(212, 209)	(93, 142)	(108, 193)	(104, 124)
EOQ	(230, 400)	(230, 350)	(736, 497)	(782, 420)	(404, 640)	(420, 433)	(216, 174)
策略1	(230, 103)	(230, 157)	(736, 130)	(782, 209)	(404, 142)	(420, 193)	(216, 124)
策略2	(192, 400)	(190, 350)	(165, 497)	(212, 420)	(93, 640)	(108, 433)	(104, 174)
策略3	(211, 400)	(210, 350)	(451, 497)	(497, 420)	(249, 640)	(264, 433)	(160, 174)
策略4	(211, 252)	(210, 254)	(451, 314)	(497, 315)	(249, 391)	(264, 313)	(160, 149)
策略5	(230, 252)	(230, 254)	(736, 314)	(782, 315)	(404, 391)	(420, 313)	(216, 149)
策略6	(192, 252)	(190, 254)	(165, 314)	(212, 315)	(93, 391)	(108, 313)	(104, 149)

5.2 经典的E.O.Q.方法(E.O.Q.)

虽然本文研究的3级网状库存系统是随机性库存系统, 但由于所考虑的参数的波动性不大, 所以近似将其认为是确定性库存系统, 并用E.O.Q.方法分别计算系统中每一级的总的平均成本, 最后将它们之和作为整个系统的总的平均成本。

根据第2小节的问题描述, 可以将每个零售商认为是允许缺货, 生产需要一定时间的存储模型, 将每个分销商认为是不允许缺货, 生产需要一定时间的存储模型, 这样根据E.O.Q.方法求得的零售商、分销商和制造商的最优 (r, Q) 策略如表3所示, 再将其作为控制变量输入到仿真模型, 得到整个

系统的总的平均成本为6,750。

5.3 仿真实验结果(Simulation results)

5.3.1 库存控制策略设计(Inventory control policies design)

基于仿真的PSO方法和E.O.Q.方法得到的最优解, 以及由它们的解组合而成的另外6种库存控制策略如表3所示, 其中第1种由E.O.Q.方法得到的最优订货点和SBO方法得到的最优订货批量组成; 第2种由SBO方法的最优订货点和E.O.Q.方法得到的订货批量组成; 第3种由SBO方法与E.O.Q.方法的最优订货点的平均值和E.O.Q.方法得到的最优订货批量组成; 第4种由SBO方法和E.O.Q.方

法的最优订货点和最优订货批量的平均值组成;第5种由E.O.Q.方法得到的最优订货点和由SBO方法与E.O.Q.方法的最优订货批量的平均值组成;第6种由SBO方法得到的最优订货点和由SBO方法与E.O.Q.方法的最优订货批量的平均值组成。

5.3.2 结果的分析与比较(Result analyses and comparisons)

由于在每次仿真实验中, 随机变量都可能存在一定的误差, 所以为了避免随机变量的误差影响到仿真结果的真实性和准确性, 这里将上面的八组策略分别作为控制变量输入到仿真模型, 并仿真10次, 来得到平均意义下的各项统计变量, 如表4所示, 其中库存成本率为总的平均库存成本与

总的平均成本的比值, 订货成本率、缺货成本率和生产成本率与库存成本率的解法相似, 这里不再赘述. 需要说明的是仿真实验受到随机变量的影响, 使得每次仿真结果稍有差异。

由表4可知应用SBO方法时, 整条供应链总的平均成本相对E.O.Q.方法降低了14.2%, 在订货次数基本相同的情况下, 由于E.O.Q.方法得到的零售商和分销商的订货点相对较大, 所以使得应用E.O.Q.方法的总的平均订货成本远远大于SBO方法, 而且E.O.Q.方法的订货批量的增大也导致了总的平均库存成本和生产成本的增加; 但是, 应用SBO方法时各节点的库存量减小, 也导致了总的平均缺货成本增加。

表 4 SBO, E.O.Q.及其他6种策略得到的各项统计变量
Table 4 Statistical variables of SBO, E.O.Q. and other six policies

统计变量	总的平均成本/元	库存成本率/%	订货成本率/%	缺货成本率/%	生产成本率/%	平均缺货次数	零售商订货次数	分销商订货次数
SBO	5931	4.5	14.9	78.1	2.5	59	128	49
EOQ	6910	11.2	39.6	41	8.2	34	132	52
策略1	6419	5.7	19.7	71.3	3.3	60	128	54
策略2	6751	9.1	31.8	54.6	4.5	45	118	39
策略3	6783	9.7	34.6	48.4	7.3	41	129	44
策略4	6470	6.6	32	57.1	4.3	48	129	52
策略5	6503	6.7	30.5	54.9	7.9	47	127	50
策略6	6427	6.7	24.4	65.5	3.4	50	134	42

通过比较E.O.Q.的策略和策略3,2, 策略5,4和6可以看出, 在订货批量相同的情况下, 管理者适当减小订货点, 可以有效地减少生产成本, 订货成本和库存成本, 从而减少总成本; 通过比较策略2和6, 策略3和4, 及策略5和1,

可以看出在订货点相同的情况下, 管理者适当减少订货批量, 可以有效地减少订货成本和库存成本, 从而减少总成本。

还可以看出, 少量的缺货虽然导致企业支付一定的缺货成本, 但却不同程度地降低了库存成本、订货成本和生产成本, 使得整条供应链的总成本也可能随之降低; 但如果想提高对顾客的服务水平, 管理者可以考虑适当提高订货点 r 和订货批量 Q 的值。

6 结论(Conclusions)

本文考虑了多制造商、多分销商和多零售商的3级网状随机性库存系统的 (r, Q) 库存控制策略

问题, 建立了以总成本最小为目标的数学模型, 并应用基于仿真的优化方法对问题进行求解, 最后通过将多个统计值与E.O.Q.方法及多种策略相比较, 验证了基于仿真的优化方法的可行性和有效性, 为供应链管理提供了有帮助的参考策略, 并且对如何改善供应链管理具有一定的指导意义. 此外, 针对更加复杂的随机性多级库存系统(例如带有价格波动或突发事件等情况)的库存控制策略问题还有待进一步研究。

参考文献(References):

- [1] CLARK A J, SCARF H. Optimal policies of a multi-echelon inventory problem[J]. *Management Science*, 1960, 6(3): 475 – 490.
- [2] DEUERMEYER B L, SCHWARZ L B. A model for the analysis of system service level in warehouse-retailer distribution systems: The identical retailer case[C] //SCHWARZ L B. *Studies in Management Science: Multi-level Production /Inventory Control Systems*. North Holland: Elsevier, 1981: 163 – 193.
- [3] BASHYAM S, FU M C. Optimization of (s, S) inventory systems

- with random lead time and a service level constrain[J]. *Management Science*, 1998, 44(12): 243 – 256.
- [4] HOPP W J, SPEARMAN M L, ZHANG R Q. Easily implementable inventory control policies[J]. *Operations Research*, 1997, 45(2): 327 – 340.
- [5] LEE H, CHEW E P, TENG S, et al. Multi-objective simulation-based evolutionary algorithm for an aircraft spare parts allocation problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 189(2): 476 – 491.
- [6] BARBIERI R, BARBIERI N. Finite element acoustic simulation based shape optimization of a muffler[J]. *Applied Acoustics*, 2006, 67(3): 346 – 357.
- [7] KÄMPF M, KÖCHEL P. Simulation-based sequencing and lot size optimisation for a production-and-inventory system with multiple items[J]. *International Journal of Production Economics*, 2006, 104(1): 191 – 200.
- [8] BACHELET B, YON L. Model enhancement: improving theoretical optimization with simulation[J]. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2007, 15(6): 703 – 715.
- [9] ARAKAWA M, FUYUKI M, INOUE I. An optimization-oriented method for simulation-based job shop scheduling incorporating capacity adjustment function[J]. *International Journal of Production Economics*, 2003, 85(2): 359 – 369.
- [10] ALLAOUI H, ARTIBA A. Integrating simulation and optimization to schedule a hybrid flow shop with maintenance constraints[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2004, 47(3): 431 – 450.
- [11] ADACHI J, GUPTA A. Simulation-based parametric optimization for long-term asset allocation using behavioral utilities[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2005, 29(3): 309 – 320.
- [12] MITCHELL K, NAGRIAL M, RIZK J. Simulation and optimisation of renewable energy systems[J]. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2005, 27(2): 177 – 188.
- [13] ARNOLD J, KÖCHEL P. Evolutionary optimization of a multi-location inventory model with lateral transshipments[C] // *Proceedings of Ninth International Working Seminar on Production Economics*. Lynkoping: University of Lynkoping, 1996: 401 – 412.
- [14] KÖCHEL P, NIELÄNDER U. Simulation-based optimisation of multi-echelon inventory systems[J]. *International Journal of Production Economics*, 2005, (93/94): 505 – 513.
- [15] LEE Y H, KIM S H. Optimal production-distribution planning in supply chain management using a hybrid simulation-analytic approach[C] // *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*. Piscataway: IEEE, 2000: 1252 – 1259.
- [16] DING H W, BENYOUCEF L, XIE X L. A simulation-based optimization method for production-distribution network design[C] // *Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. Piscataway: IEEE, 2004: 4521 – 4526.
- [17] 赵晓煜, 汪定伟. 供应链中二级分销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(20): 249 – 252. (ZHAO Xiaoyu, WANG Dingwei. Fuzzy chance constrained programming model for bi-level distribution network design in the supply chain[J]. *Control Theory & Applications*, 2002, 19(2): 249 – 252.)
- [18] PARSOPOULOS K E, VRAHATIS M N. Recent approaches to global optimization problems through particle swarm optimization[J]. *National Computing*, 2002, 1(2/3): 235 – 306.

作者简介:

高镜媚 (1981—), 女, 博士研究生, 主要研究方向为供应链分销网络多级库存的基于仿真的优化, E-mail: gaojingmei@163.com;

汪定伟 (1948—), 男, 教授, 博士生导师, 从事仿真优化、复杂系统建模与优化等研究, E-mail: dwwang@mail.neu.edu.cn.