

# 基于 FIFO 的存在退货的易逝品库存系统的仿真研究

孟丽君

(浙江大学 管理学院,浙江 杭州 310027)

**摘要:**随着技术进步、客户需求的不断升级,越来越多的产品体现出易逝品的特征。而政府法规对生产者责任的规定以及客户环保意识的增强、市场竞争的激烈,使得企业不得不思考在面对越来越多出现的退货情况下,如何有效控制库存系统的运行。文章基于产品年龄的概念,对随机环境下的存在产品退货的易逝品的库存控制系统进行了仿真研究,采用的是基础库存控制策略。并改变了相关参数,通过仿真得到相关结论。系统仿真结论表明:考虑到产品生命周期的存在退货的易逝品库存系统的运作要优于传统未考虑产品生命周期的库存控制系统,从而证明了在库存控制系统中考虑到产品生命周期因素的有效性。

**关键词:**易逝品;产品年龄;仿真

**中图分类号:**F270.7      **文献标志码:**A      **文章编号:**1008-5831(2009)03-0050-06

## 一、研究背景

随着客户需求日趋多样化和个性化,这使得客户更新淘汰产品的速度越来越快,由此而导致了产品的生命周期不断缩短,大量性能良好的产品在没有损坏的时候,就进入了淘汰阶段,使得越来越多的产品具有易逝品的特征<sup>[1]</sup>。

易逝品是指具有生产提前期长、销售期短、期末未售出的商品残值较低甚至需要处理成本、市场需求不确定性大等显著特征的一类产品的总称。如伴随人类节假日文化、潮流文化或重大事件影响而产生的易逝品,或是由于技术进步推动和消费者需求不断升级而产生的一些高科技类易逝品,如半导体和数码通讯等消费类电子产品等。同时,随着市场竞争的激烈程度不断增加,越来越多的企业采用较为宽松的销售策略,允许客户在一些特定的情况下退回其产品。且政府法规对生产者延伸责任、产品召回的重视以及消费者环保意识的增加,使得企业在越来越多的情况下需要面对产品退货的情况。在现有易逝品的研究中,还没有学者对存在退货情况的易逝品的库存控制策略进行研究。因此,笔者对逆向物流背景下存在紧急订货情况下的易逝品的库存控制系统进行了仿真研究。

## 二、产品年龄的概念

引入易逝品产品的生命周期概念主要是体现:当产品订货进入库存几个周期后,就会过期从而无法满足未来的需求,需要从现有库存中剔除。为了在库存系统中体现出生命周期的因素,我们采用 Brant E. Fries 所给出的产品年龄的概念<sup>[2]</sup>。此时的产品过期可以是因为技术过时而导致不再存在市场需求;也可以是由于存放太久,产品本身在功能上或者是性质上发生了变化,从而无法用于满足市场需求。无论是何种原因导致产品这样一种生命周期现象的存在,在本系统

收稿日期:2008-11-27

作者简介:孟丽君(1982-)女,山西人,浙江大学管理学院博士研究生,主要从事逆向物流优化研究。  
欢迎访问重庆大学期刊社网 <http://jks.cqu.edu.cn>

中,都可以用产品年龄来表示。在本系统中,产品年龄从 0 逐渐增加到  $L$ , 年龄的最大值为  $L$ , 当产品年龄达到这一最大值的时候, 该产品则过期, 需要从可用库存系统中剔除。

对于退货产品, 假定其经过简单的清洗等步骤就可以再次使用, 因此, 忽略这一段时间及由此产生的可再利用产品库存, 直接进入可服务产品库存当中。由于退货产品在退回到企业之前, 已经在市场上流通过一段时间, 其进入库存时的年龄定义不一定是从 0 开始, 是服从随机分布的。假定退货产品的寿命周期  $l$  是服从以下已知概率的离散分布,

$$p(l = k) = p_k, k = 0, 1, 2, \dots, L, \sum_{k=0}^L p_k = 1.$$

### 三、系统假设

产品需求及其退货是服从泊松分布的两个相互独立的随机过程, 其均值和方差分别为  $\lambda_d, \sigma_1, \lambda_r, \sigma_2$ 。不允许缺货, 当可服务产品的库存无法满足本周期客户对产品需求的时候, 将通过紧急订货的方式来满足市场需求。且紧急订货成本要高于正常订货成本。本系统对于库存产品满足需求的方式采用的是 FIFO 即 first-in, first out。即: 退货产品根据其年龄的大小插入到现有库存的排序当中, 首先将剩余寿命时间最短的产品能够尽快用于产品满足, 从而降低产品过期的概率。退货产品可以直接用来满足需求。而在大多种易逝品的库存控制系统种, FIFO 方式是最优的<sup>[3]</sup>。

本系统所采取的库存控制策略为基础库存控制策略  $y$ , 即每个周期期初可服务产品的库存如果低于目标库存  $y$ , 我们就进行订货, 所订购量要使得可服务产品的库存数量达到  $y$ 。期初可服务产品的库存包括上个周期期末的用于满足市场需求之后剩余的可服务产品库存数加上本周期期初的退货产品。

系统成本包括:  $C$  为正常采购单位采购成本;  $h$  为单位库存成本;  $p$  为单位销售价格;  $v$  为过期产品的处理成本;  $c_e$  为紧急订货的单位采购成本;  $c_r$  为退货产品恢复到新产品状态所需要的修复成本。为了计算的方便, 我们假定计划周期末所有剩余产品的价值为零。

用  $X_n$  表示第  $n$  周期期初的库存产品数量, 此时未进行订货, 过时产品未剔除, 本周期退货产品未进入库存时的库存量, 则  $X_{n+1}$  为第  $n+1$  周期期初的库存产品数量, 也为第  $n$  周期期末的库存数量, 库存系统如图 1 表示。

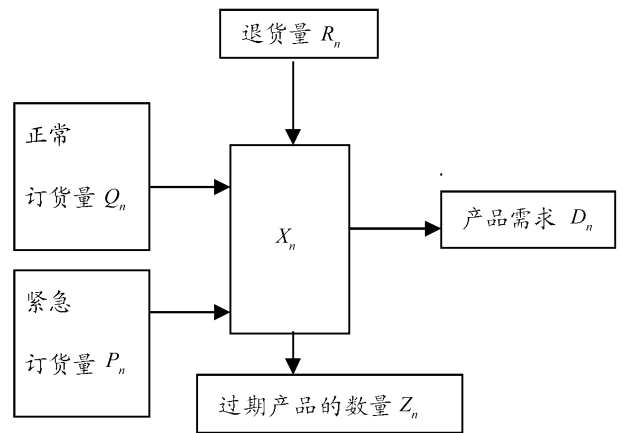


图1 库存系统

其中,  $D_n$  表示第  $n$  个周期的产品需求量;  $R_n$  表示第  $n$  个周期的产品退货量;  $Q_n$  表示第  $n$  个周期的产品正常订货量;  $Z_n$  表示第  $n$  周期期末, 在满足了市场需求之后, 可服务产品库存当中剩余的产品年龄为  $L$  的过期产品的数量;  $P_n$  表示第  $n$  个周期的紧急产品订货量。

当产品生命周期  $L \geq 2$  的时候, 当期库存可以进入下一周期。我们用  $w_i \geq 0$  表示可服务库存中年龄为  $i$  的产品量。期初, 当上周期过期的产品已经排除出于可服务产品库存当中, 而本周期还没有进行订货, 本周期退货产品尚未进入库存时, 库存状态可以用一个  $L-1$  维向量表示  $w(w_1, w_2, w_3, \dots, w_{L-1})$ 。用  $u_i$  代表退货产品当中年龄为  $i$  的产品数量, 可以用一个  $L-1$  维向量表示退货产品的状态  $u(u_1, u_2, u_3, \dots, u_{L-1})$ , 在未订货之前, 可用库存是以上两种库存量之和。随着系统的运行,  $w_j(n)$  需要时时更新。根据本周期产品需求情况、退货产品情况、期初  $w_j(n)$  值的产品年龄大于  $j$  的可服务产品的库存状态, 来确定下周期期初  $w_j(n+1)$  的值。

在第  $n$  周期期初, 当退货产品进入库存系统中, 此时库存系统中的可用库存量为  $X_n + R_n$  个单位, 需求量为  $D_n$ 。对于任意周期来说, 需要判断可服务产品的期初库存状态、目标库存状态  $y$  与这一周期的需求  $D_n$  之间的关系: 在系统运行到第  $n$  时刻, 此周期需求  $D_n$  是已知的, 由于我们采用了目标库存的库存控制策略, 因此在每次需求到达系统, 系统此时的库存状态一定是大于等于  $y$ , 这是由于当库存状态小于  $y$  时, 我们会进行正常订货, 使其库存状态恢复到  $y$  值。只有当本周期确定的需求  $D_n \geq y$ , 才会出现紧急订货的情况。成本分析如下:

(1) 当  $X_n + R_n < y$  时进行正常订货, 订货量为  $Q_n = (y - X_n - R_n)_+$ , 相应的正常订货成本为  $c(y - X_n - R_n) = CQ_n$ ; 当  $X_n + R_n \geq y$ , 不需要进行正常订货。

(2) 当  $X_n + R_n + [y - X_n - R_n]_t < D_n$ , 即需求无法用现有库存获得全部满足, 系统需要进行紧急订货, 订货量为  $P_n = D_n - X_n - R_n - [y - X_n - R_n]_+ = D_n - X_n - R_n - Q_n$ , 由此而产生了单一紧急订货成本, 表示为  $C_e = c_e(D_n - X_n - R_n - [y - X_n - R_n]_t)$ 。

(3) 当  $X_n + R_n + [y - X_n - R_n]_+ \geq D_n$ , 不需要进行紧急订货, 即需求可以用库存来满足, 由此产生了库存成本函数表示为  $H = h(X_n + R_n + (y - X_n - R_n)_+ - D_n - Z_n)$ 。

(4) 当  $w_{L-1}(n) + u_{L-1}(n) \geq D_n$ , 期末被废弃的产品数量为  $Z_n = w_{L-1} + u_{L-1} - D_n$ , 相应的剩余价值为  $V = v(w_{L-1} + u_{L-1} - D_n)$ 。

(5) 每个周期的退货产品数量为  $R_n$ , 其相应的修复成本为:  $R_n \cdot c_r$  (我们假定每个周期退货产品所需要的修复提前期为零, 不考虑退货产品的修复批量问题)。

(6) 则期末库存  $X_{n+1}$  即下一周期的期初库存等式为:

$$X_{n+1} = X_n + R_n + [y - X_n - R_n]_+ + [D_n - X_n - R_n - (y - X_n - R_n)_+]_+ - D_n - Z_n$$

(7) 本周期的成本函数为:

$$C_n = c(y - X_n - R_n)_+ + c_e(D_n - X_n - R_n - [y - X_n - R_n]_+)_+ + h(X_n + R_n + (y - X_n - R_n)_+ - D_n - R_n)_+ - D_n - Z_n)_+ + v(w_{L-1} + u_{L-1} - D_n)_+ + R_n \cdot c_r$$

本周期的收入函数为:  $P_n = p * D_n$

$$\begin{aligned} \text{目标函数, 期望总收入为 } J &= E\left(\sum_{n=1}^N p * D_n - C_n\right) \\ &= E\left(\sum_{n=1}^N p * D_n - cQ_n - (c_e - h)(D_n - X_n - R_n - Q_n)_+ - v(w_{L-1} + u_{L-1} - D_n)_+\right) \end{aligned}$$

#### 四、库存仿真

对于随机型库存系统的复杂性, 一般的数学解

析方法无法获得最优解。而仿真方法则可以有效解决这类问题<sup>[4]</sup>。随机性库存控制系统的目标是系统生命周期内发生的总费用最小化, 而不确定因素的存在使得最终决策的指定是基于概率预测的基础之上。因此, 由于随机性的存在使得我们所获得的最优决策是整个系统生命周期内的最佳控制量, 是统计意义上的最优解。而不是相对于某一批次已发生的订货的最佳量。

我们用 MATLAB 语言对该系统进行建模仿真来分析本库存系统。采用的是终止型仿真(Terminating Simulation), 仿真结束时刻是仿真运行时间达到事先确定的最大仿真时刻。而特定参数背景下的最优值, 是通过内德—米德所提出的单纯形法来获得<sup>[5]</sup>。内德—米德方法主要是一个模式搜索过程, 方法要求选择三个解做为一个初始三角形的三个顶点, 比较三个顶点的值, 选择函数值最大的点(解)做为最差顶点, 算法寻求一个新的顶点来代替这一最差顶点, 形成新的三角形。不断的重复这一过程, 随着三角形的不断较小从而获得函数极小值的解。我们使用 matlab7.1 对内德—米德算法和函数进行编程<sup>[6]</sup>。在以下的讨论中, 我们采用的参数设置为:

需求和退货密度参数为:  $\lambda_d = 50$  件/周期,  $\lambda_r = 20$  件/周期; 相关成本参数为:  $c = 15$  元/件,  $h = 9$  元/件,  $p = 50$  元/件,  $v = 5$  元/件,  $c_e = 20$  元/件,  $g = 20$  元/件,  $c_d = 20$  元/件,  $c_r = 10$  元/件; 仿真周期设置  $n = 200$  周期, 产品最大的年龄  $L = 10$  周期。通过仿真程序的运算, 其最佳  $y^* = 47$ 。用图形分别表示系统运行的每个时刻的可服务产品数量、系统总收入的曲线图。相应的仿真图形如图 2。

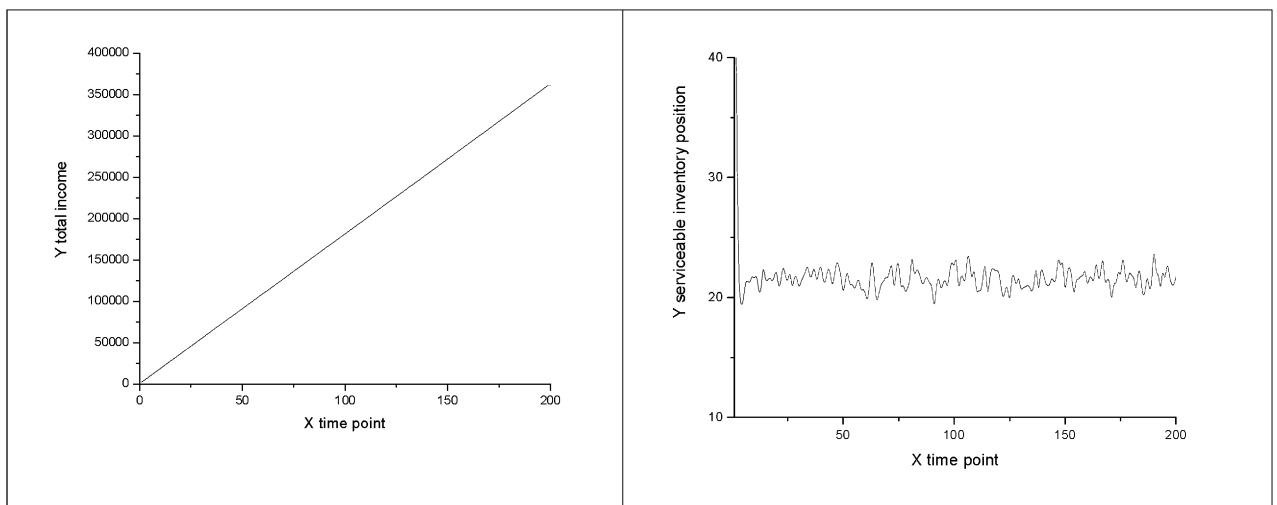


图 2 系统仿真结果

## 五、参数敏感性分析

### (一) 改变退货密度函数: 令 $\lambda_r = 40$

在不同的产品生命周期阶段, 退货与需求之间的关系有所不同。在产品刚进入市场的时候, 由于是新产品, 产品的性能与质量还不稳定, 市场接受度不高, 其需求不大, 与此同时, 会由于技术的不完善、积极的市场推广措施, 导致市场退货率相对于需求的比例较高。而随着市场推广, 大众对产品接受度的提高, 产品获得市场认可, 且技术的不断完善使得产品的性能与质量趋于稳定, 市场需求增加, 而技术的完善使得退货的比例相对减少。到了产品衰退

期, 此时, 需求减少, 新型号产品投入市场, 之前投放市场的原有产品库存成为滞销品, 此外产品正常磨损和使用不当、产品召回都导致产品退货率会有所上升。因此, 我们将产品需求密度固定不变, 与此同时, 改变产品退货密度, 从而改变其相对值来反映这一现象的存在。

由于退货产品的修复成本低于正常采购成本, 因此当退货量增加时, 有更多较低成本的退货产品代替成本较高的新产品来满足产品需求, 从而使得系统的每个周期的收入都相对增加, 从而系统运行的总收入也有所增加。系统仿真结果如图 3。

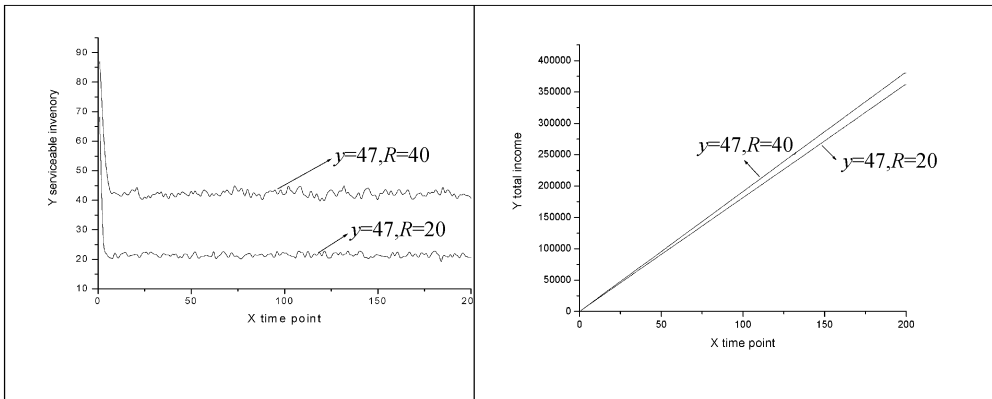


图 3 退货密度增大后的系统仿真结果及对比

### (二) 紧急订货成本和正常订货成本之间的差距

$c_e = 40$

紧急订货成本与正常订货成本之间的差距所反映的一个主要信息是企业是否提倡自身所持有的产品库存应当尽量少, 在满足客户需求的时候, 允许以较高的成本订购产品来满足, 以此来控制企业的库存成本。同时, 也反映了企业产品的供应商情况。只有当企业的供应商有能力在极短时间内提供企业所需要的产品, 且价格合理的情况下, 紧

急订货对于企业来说才是可行的。当紧急订货的成本要远远高于正常订货成本和库存成本, 这使得当系统维持较高的库存水平来满足客户需求变得更加有利。系统仿真结果表明当紧急订货成本高于正常订货成本和产品库存成本之和的时候, 系统可服务产品的最佳库存数量要高于参数未变的最佳库存数量值。且由于紧急订货成本的增加, 使得系统总收入相对下降。运行结果也表明了系统的最优性。

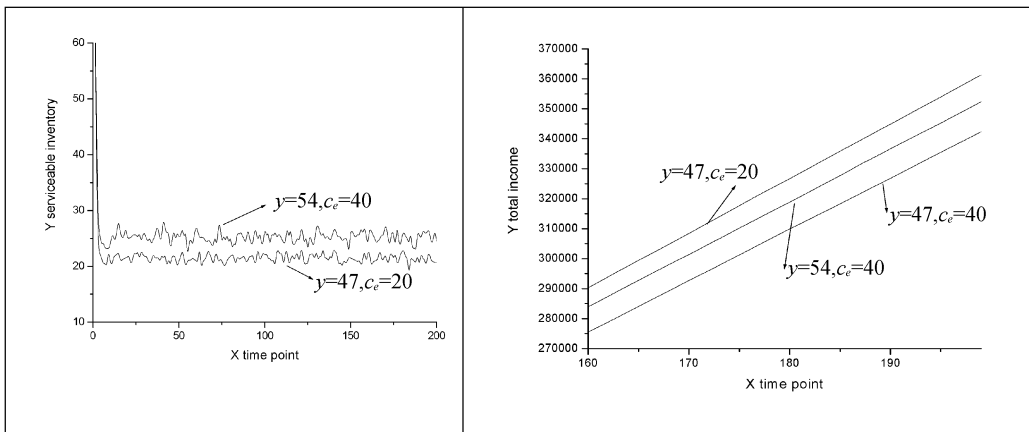


图 4 紧急订货成本增大后的系统仿真结果及对比

(三) 修复成本的变化

当修复成本  $c_r = 10$  变为  $c_r = 30$ , 对比当修复成本超过正常采购成本和紧急采购成本的时候, 讨论退货产品修复的经济性。

当修复成本上升到  $c_r = 30$  的时候, 系统最优值为:  $Y = 47$ ,  $\text{total} = 1\,420$ 。我们将  $c_r = 30$  下退货密度分别为  $R = 20, R = 40, R = 0$  的系统运行情况进行

了。仿真结果显示, 退货密度越大, 其每周期期初可服务产品的库存水平越高; 而每周期获得的净收入则随着退货密度的增大而减少, 从而系统运作的总收入也随着退货密度的增大而减少。由此可见, 当修复成本过高, 超过了正常采购成本和紧急采购成本的时候, 那么对退货产品所进行的修复就不再具有经济可行性。

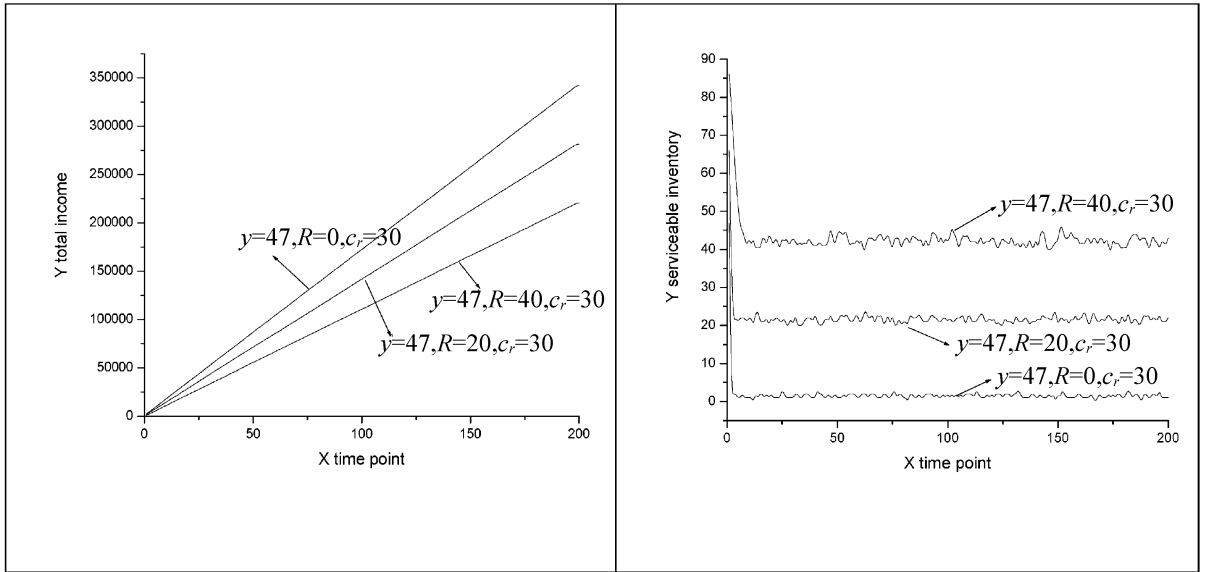


图5 产品修复成本为30元/件下的产品修复经济性对比

当修复成本  $c_r = 10$  时, 系统最优值为:  $Y = 47$ ,  $\text{total} = 1\,420$ 。我们将  $c_r = 10$  下退货密度分别为  $R = 20, R = 40, R = 0$  的系统运行情况进行对比。仿真结果显示, 退货密度越大, 其每周期期初可服务产品的库存水平越高; 且每周期获得的净收入则随着退货密

度的增大而增大, 从而系统运作的总收入也随着退货密度的增大而增大。由此可见, 当修复成本低于正常采购成本和紧急采购成本的时候, 对退货产品所进行的修复是经济可行的。且退货产品的退货密度越大, 这种退货产品修复所带来的效益也更为明显。

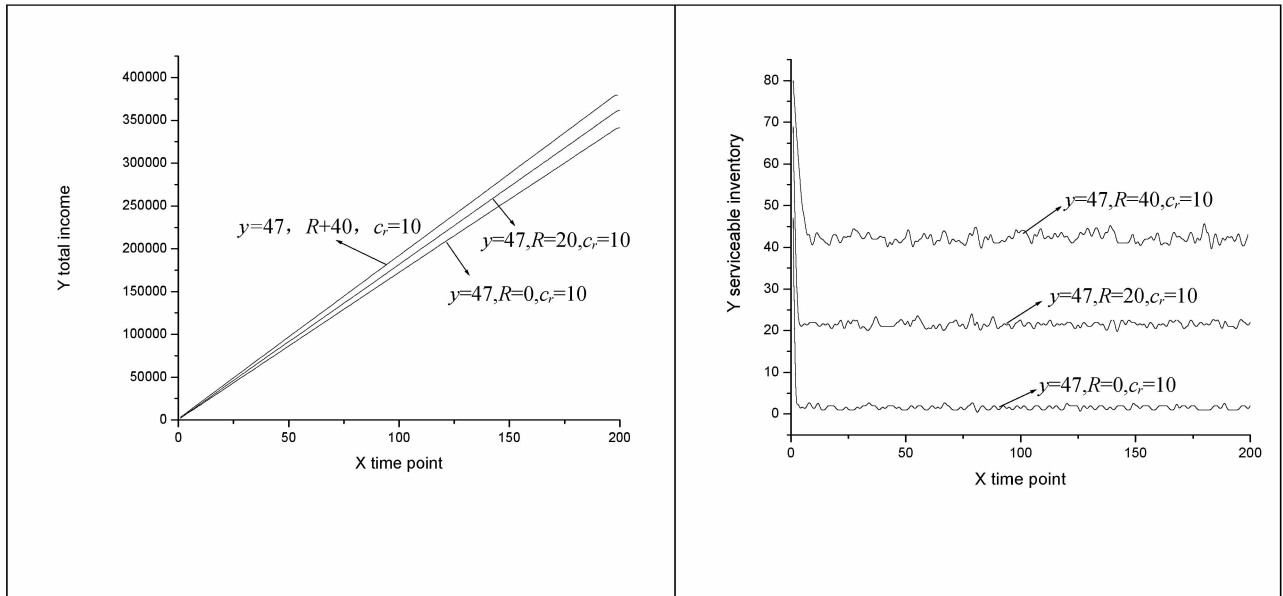


图6 产品修复成本为10元/件下的产品修复经济性对比

以上分析表明, 从经济角度, 企业在面对从技术角度上可修复的退货产品时, 需要考虑其修复成本  
欢迎访问重庆大学期刊社网 <http://qks.cqu.edu.cn>

本与订货成本或全新制造成本之间的差异,来确定是否可将可修复的退货产品进行修复。

(四)与不考虑产品生命周期的库存系统对比

系统仿真结果表明,不考虑产品生命周期的库

存控制系统其可服务产品的库存水平高于产品生命周期的库存控制系统。这一原因主要在于后者考虑了产品过期所带来的成本。因此降低可服务产品的库存水平,可以降低产品过期的概率,从而使得库存系统运行的总收入有所增加。

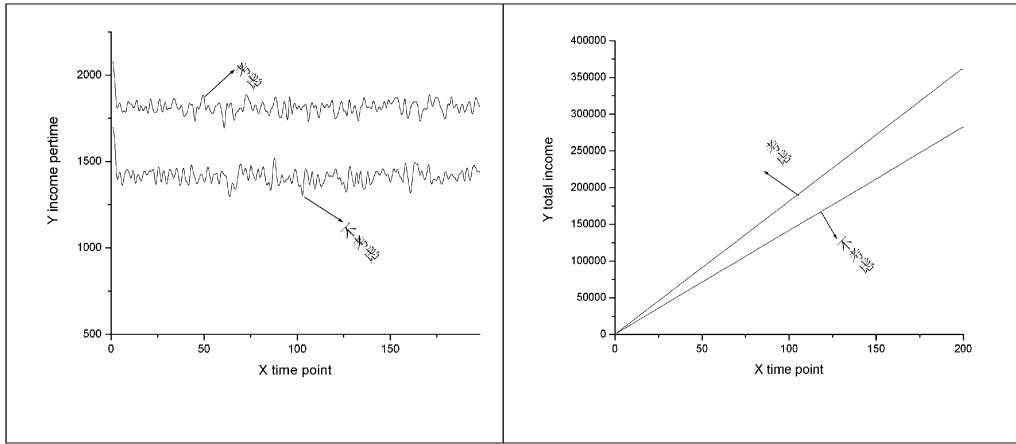


图7 不考虑产品生命周期的库存系统仿真结果及对比

参考文献:

- [1] FISHER M, RAMAN A. Making supply meet demand in an uncertainty world[J]. Harvard Business Review, 1994, 72: 83-93.
- [2] BRANT E FRIES. Optimal ordering policy for a perishable commodity with fixed lifetime [J]. Operations Research, 1975, 23(1): 46-61.
- [3] NAHMIAS S. Perishable inventory theory: a review [J]. Operation Research, 1982, 30(4): 680-708.
- [4] 宣慧玉, 高宝俊. 管理与社会经济系统仿真[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
- [5] 薛定宇, 陈阳泉. 高等应用数学问题的 MATLAB 求解 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [6] MATHEWS J H, FINK K D. 数值方法(Matlab 版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

## Simulation Study about Perishable Products Inventory System with Resalable Product Return

MENG Li-jun

(School of Management, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** With the rapidly changing environment, more and more products are having the characteristics of the perishable product. Simultaneously, companies face the problem of product return more often than not. Based on the idea of product age, the paper is a simulation study about the perishable product inventory system with resalable product return. Also, some parameters are changed to find how the system will react to be adapted to these changes.

**Key words:** perishable products; product age; simulation

(责任编辑 傅旭东)