

网上零售业多产品配送服务定价研究

肖青¹, 王东²

(1. 上海交通大学中美物流研究院, 上海 200030; 2. 上海交通大学软件学院, 上海 200240)

摘要: 随着越来越多的网上零售商开始实施有条件的免运费策略, 如何确定免运费的条件和运费成为电商企业面临的重要问题。该问题抽象成为一个两阶段的博弈模型: 首先消费者根据效用最大化的原则确定购买决策, 然后零售商在考虑消费者购买决策的基础上依据利润最大化原则设定物流定价策略。通过算法设计和算例分析, 得到免运费阈值设定在产品价格组合边界时, 零售商利润会发生跳跃。

关键词: 电子商务; 配送服务; 消费者效用函数; 消费者剩余

中图分类号: F713.36 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)09-2619-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.09.015

Research on multi-products delivery plan in B2C companies

XIAO Qing¹, WANG Dong²

(1. Sino-US Global Logistics Institute, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China; 2. Software Institute, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: With more and more B2C companies start to provide free delivery service to attract the customers, how to design the free-shipping rule to maximize the retailers' profit and market share has become a new problem facing the online retailers. This paper decomposed the problem into a two-stage model: customer's behavior model and retailer's profit model. First, it built the customer's behavior model to get the optimal purchasing decisions of consumers under a given free shipping threshold and product price. And then it maximized the retailer's profit model which was established on the result of the customer's behavior function to determine the optimal free shipping policy of retailer. Through algorithm design and numerical study, it found that the retailer's profits would jump when free shipping threshold was set at the boundary of product price combination value.

Key words: e-commerce; delivery; customer utilization function; consumer surplus

步入 21 世纪, 电子商务惊人的发展速度开始逐渐显示其优越性。据中国电子商务研究中心监测数据显示, 2007 年网络零售市场交易规模为 520 亿元, 到 2011 年, 这一数字就突破了 8000 亿元, 达到 8019 亿元^[1]。据目前的发展态势预测, 网上销售市场仍处于高速的增长阶段。面临如此巨大且高速增长的市场, 无论是成熟的网络零售商还是新兴的网络零售商都有着巨大的增长潜力。如何吸引客户购买, 增加企业的市场份额, 成为电商企业面临的一个难题。

“免运费”作为一种独特的促销方式被越来越多的网上零售商所采用。零售商通过设定一个免运费的阈值来激励消费者增加购买量, 把几次订单合并在一起, 减少频繁的小额订货。一个过大的免运费阈值可能达不到激励消费者的作用; 但一个过小的免运费阈值又可能会使零售商因为要承担过多的运费而降低自己的利润。如何制定免费送货规则和设计物流定价策略来最大化零售商的利润和市场份额就成为实务界和学术界共同关注的问题。

1 文献回顾

随着有条件的免运费送货策略的应用越来越广泛, 对它的研究的理论也越来越多。有学者从电商的配送模式入手, 研究网上零售商选择不同的配送模式对于零售商利润的影响, 如

Li 等人^[2]从配送时效入手, 将价格歧视理论引用到电商企业运费制定, 针对顾客对送货时效性的不同需求, 制定不同的配送选项; Terry 等人^[3]研究电子商务中“最后一公里”网上零售商的配送策略对于消费者购买行为的影响。结论表明: 在网站上公布承运商特别是知名承运商如 FedEx、UPS、DHL 等会增加消费者的购买欲望。

还有学者通过与一些电子商务网站合作展开研究, 获取网站的销售数据。通过实证分析, 得出了一些关于配送服务定价策略对于零售商利润影响的结论。例如: Lewis 等人^[4]将运费设定成是订单金额的一个阶梯函数, 通过建立标准概率序列模型来模拟运费对消费者购买决策的影响; Leng 等人^[5]将运费函数模拟成消费者购买金额的一个线性函数 $S(A) = s_0 + sA$ ($S(A)$ 为消费者所需支付的运费, s_0 为基准运费, A 为消费者的购买金额); Lewis^[6]通过划分阶段, 将消费者的购买决策转换为一个离散的动态规划模型, 通过优化模型, 得到消费者在给定的观测区间内作出的一个使自身效用最大化的最优决策集合; Gümüs 等人^[7]研究两种电子商务环境下产品定价模式, 即零售商免运费模式 (ZS 模式) 和收取运费模式 (PS 模式) 下适用的企业类型。

另外一些学者从消费者效用入手, 分析了影响消费者购买决策的各种因素, 形成了一些模拟不同类型的消费者对某一产

收稿日期: 2012-12-27; 修回日期: 2013-02-18

作者简介: 肖青 (1988-), 女, 湖北潜江人, 硕士, 主要研究方向为电子商务、供应链 (happyshaw@sjtu.edu.cn); 王东 (1969-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为电子商务、RFID、物联网等。

品的喜爱程度和支付愿意的方法。例如:Braden 等人^[8]在研究某公司产品非线性动态定价问题时,用一个指数来衡量消费者对于产品的兴趣;Sarvary 等人^[9]在信息产品市场竞争分析中,引入了消费者对于信息产品的一个感知参数,这个参数越大,表明消费者对于该信息更重视;Gajanan 等人^[10]用喜好参数 θ 来定义不同类型的消费者对某一产品特性的喜爱程度,用 θ_s 来衡量消费者对单位产品的支付愿意。Tirole^[11]表明,消费者的效用函数是随着消费者对于该商品的预期值增加而增加的。Chung^[12]和 Coto-Millan^[13]表明,消费者效用是关于消费者的心理预期值和产品数量两个变量的函数;Basu 等人^[14]在研究销售人员的报酬体系时,采用平方根效用函数(square root utility function)来描述销售员对于报酬的满意程度。

2 模型建立

2.1 问题描述

两种产品已经基本可以描述当消费者面临几种产品选择时的购买决策,本文设定零售商销售的产品为两种。表1是模型的参数及变量。

表1 符号及其含义

符号	含义	符号	含义
p_j	产品j销售价格	m_j	产品j 边际利润率(利润/成本)
r	零售商每笔订单的物流成本	q_{ij}	第i个消费者购买产品j的数量
i	消费者i(消费者总数为N)	θ_{ij}	消费者i对产品j的心理预期, $\theta \geq 0$
A_i	消费者i 购买金额	T	免运费阈值

为了更好地研究消费者对于零售商变量(产品价格、免运费阈值、订单处理成本、运费)的反应程度,对模型作了如下假设:

a) 消费者是理性的,即消费者在自己消费能力允许的情况下,按照追求效用最大化原则进行消费。

b) 根据文献综述中学者采用的平方根效用函数,假设消费者的效用与消费的产品数量、消费者对于产品的心理预期的关系如下:

$$u_{ij} = \theta_{ij} \sqrt{q_{ij}} \tag{1}$$

c) 企业收取的运费函数为

$$S(q_j) = \begin{cases} s & \text{if } \sum_j p_j q_j < T \\ 0 & \text{if } \sum_j p_j q_j \geq T \end{cases} \tag{2}$$

2.2 消费者行为模型求解

根据零售商制定的免运费规则,当消费者购买金额小于 T 时,消费者必须支付价格为 s 的运费;当消费者购买金额大于 T 时,消费者可以享受免运费的优惠。基于消费者都是理性的假设,对于每一个消费者可以建立如下的消费者剩余函数:

$$G(q_1, q_2) = \begin{cases} \sum_{j=1}^2 (\theta_j \sqrt{q_j} - p_j q_j) - s & \text{if } \sum_{j=1}^2 p_j q_j < T \\ \sum_{j=1}^2 (\theta_j \sqrt{q_j} - p_j q_j) & \text{if } \sum_{j=1}^2 p_j q_j \geq T \end{cases} \tag{3}$$

通过最大化该消费者剩余函数,可以得到消费者购买数量与 θ_s, s, T 之间的关系。本文设计了一套算法来求解该最优化问题。算法的主要思路如下:

a) 首先将该整数规划问题整数约束松弛求解得到一个局部最优解: $(q_1, q_2) = [(\frac{\theta_1}{2p_1})^2, (\frac{\theta_2}{2p_2})^2]$ 。

b) 对线性规划局部最优解 (q_1, q_2) 分别向上向下取整,令

$$q_1^C = \lceil q_1 \rceil, q_1^F = \lfloor q_1 \rfloor, q_2^C = \lceil q_2 \rceil, q_2^F = \lfloor q_2 \rfloor。$$

c) 当 $p_1 q_1^C + p_2 q_2^C \geq T$ 时(此时消费者达到了免运费的条件),比较 $G(q_1^C, q_2^C), G(q_1^C, q_2^F), G(q_1^F, q_2^C), G(q_1^F, q_2^F)$ 的大小,得出两种产品最优的购买数量为

$$(q_1, q_2) = \{ \bar{q}, \max(G(q_1^C, q_2^C), G(q_1^C, q_2^F), G(q_1^F, q_2^C), G(q_1^F, q_2^F))) \}$$

d) 当 $p_1 q_1^C + p_2 q_2^C < T$ 时,此时消费者的购买金额达不到免运费的阈值,消费者会有两种选择:维持现有的购买选择,支付 s 运费;增加购买量,使得购买金额达到免运费阈值。而此时零售商的产品不止一种,消费者可以选择增加其中任何一种产品的购买量或者增加两种产品的购买量来达到免运费购买金额,并且消费者增加购买数量的选择都是基于消费者剩余有所增加的前提做出的。下述的过程是用来判断消费者是否会增加购买数量,并且增加的购买数量为多少。令

$$(q_1^*, q_2^*) = \{ \bar{q}, \max(G(q_1^C, q_2^C), G(q_1^C, q_2^F), G(q_1^F, q_2^C), G(q_1^F, q_2^F))) \}$$

(a) 取自然数 $a=0$,判断 $\text{Ceiling}[(T - p_1(q_1^F + a))/p_2] > 0$,若是,进入到(b),否则转到(e);

(b) 令 $Q_1 + q_1^F + a, Q_2 = \text{Ceiling}[(T - p_1(q_1^F + a))/p_2]$,若 $G(Q_1, Q_2) > G(q_1^*, q_2^*)$,转到(c),否则到(d);

(c) 令 $q_1^* = Q_1, q_2^* = Q_2$;

(d) $a = a + 1$,返回(a);

(e) 判断 $G(q_1^*, q_2^*) > 0$,若是,输出最优的购买数量 (q_1^*, q_2^*) ,否则 $(q_1^*, q_2^*) = (0, 0)$,停止搜索,输出 (q_1^*, q_2^*) 。

图1所示为消费者行为模型求解算法示意图。

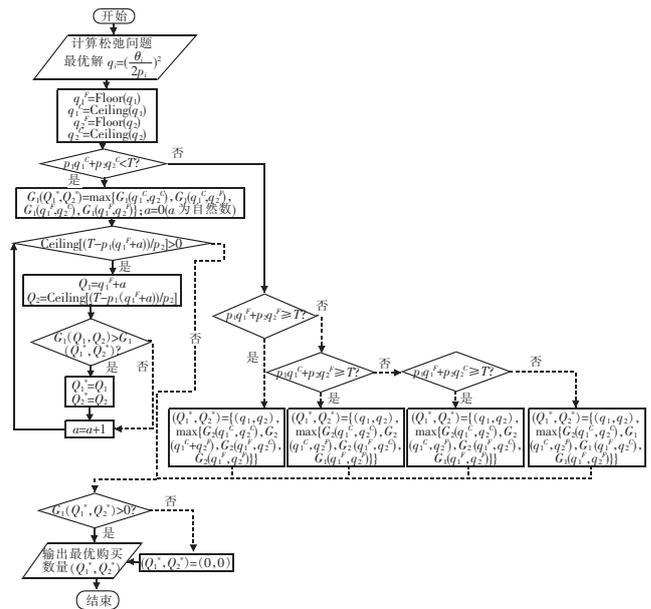


图1 消费者行为模型求解算法

根据上述算法,本文通过 C#编程,得到了给定条件下消费者的购买决策。现实中消费者对于某一产品期望值的分布是“中间集中,两端分散”的一种形式,即近似的正态分布。本文对心理预期值 θ_{i1} 和 θ_{i2} 的取值作了处理,即设置两个步长,通过变步长的方式,将 θ_{i1} 和 θ_{i2} 模拟成近似的正态分布。图2所示为消费者行为模型求解的界面。

2.3 零售商利润模型求解

根据上述的消费者行为模型求解程序,参数值设定如图2

所示(此处的参数选择是基于现实情况的分析。本文通过调研得到了现今主流电商的订单处理成本,大概在 15~25 元/单,此处选取 15 元/单的订单处理成本;产品边际利润=利润/成本,一般生活用品边际利润大概在 0.1~0.3 左右,3C 类产品边际利润大概在 0.3~0.5 左右,此处选取 0.15 的边际利润值;运费从 5~20 选取了 5、10、15、20 四个值,基本能覆盖现今大部分电商企业收取的运费值),得到 222 720 条消费者购买记录。本文对这 222 720 条记录进行了处理,建立了零售商利润与消费者购买决策之间的关系。表 2 所示为处理过的数据(注:此处只截取部分数据),处理逻辑如下:

消费者购买金额 $A = \text{产品价格 } p_1 \times \text{消费者购买数量 } q_1 + \text{产品价格 } p_2 \times \text{消费者购买数量 } q_2$

消费者支付的运费 $s_i = \text{if}(\text{消费者购买金额} < 0, \text{if}(\text{消费者购买金额} < \text{免运费阈值 } T, \text{运费 } s, 0), 0)$

零售商利润 $\Pi = \text{if}(\text{消费者购买金额} < 0, \text{消费者购买金额} \times \text{产品边际利润} + \text{消费者支付的运费} - \text{订单处理成本}, 0)$

表 2 零售商利润与各变量之间的关系

P_1	50	50	50	50	50	50
θ_1	50	50	100	100	100	100
P_2	200	200	200	200	200	200
θ_2	190	205	190	235	235	255
T	50	150	280	260	270	390
S	5	5	20	20	5	15
q_1	1	1	2	2	1	1
q_2	0	1	1	1	1	1
m	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
r	15	15	15	15	15	15
A	50	250	300	300	250	250
s_i	0	0	0	0	5	15
Π	-7.5	22.5	30	30	27.5	37.5

3 算例分析

针对上述数据,本文进行了一系列的分析和处理,得到了以下几点结论:

结论 1 最优的免运费阈值在消费者对该产品预期的均值附近。

根据图 2 所示进行参数选择后,得到其他条件给定时,产品 1、2 价格分别为(260,50),(250,50)时,零售商的利润随着免运费阈值的变化情况,如图 3 所示。

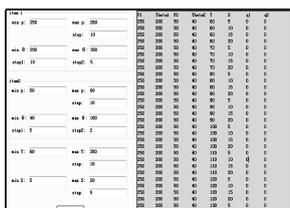


图 2 消费者行为模型求解界面

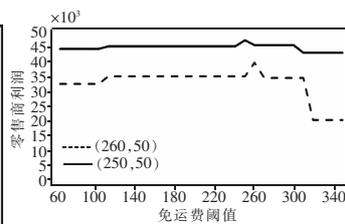


图 3 零售商利润随免运费阈值变化(1)

对比两组价格组合下的图形,得到最优的免运费阈值为消费者对主要产品预期的均值。

结论 2 消费者对产品的期望值越集中,免运费阈值的设定对于零售商利润的影响越大。

本文选取了当产品价格组合为(250,50)下,消费者对于产品期望值的正态分布陡峭(标准差大)和平稳(标准差小)两种情况下,免运费阈值对于零售商利润的影响,如图 4 所示。为了在统一量纲下进行比较,本文将零售商利润除以两种情况

下消费者的人数,得到零售商的平均利润。

从图 4 中看到,当将免运费阈值设定为 250 时,消费者对于产品的期望值越集中,零售商利润的跳跃幅度越大。可以得出结论:消费者对于产品的期望值分布越集中,在该值附近设置免运费阈值对于零售商的利润影响越大。

结论 3 给定消费者购买该产品的金额在该消费者对产品的心理预期范围之内。当免运费阈值设定在所有产品价格组合边界时,零售商利润会发生跳跃。

本文选取了免运费阈值远大于消费者对于产品的心理预期时的一组参数值来进行分析。通过对模型求解得到的数据值进行分析,得到了当产品价格组合为(250,50)时,零售商的利润随免运费阈值的变化趋势图,如图 5 所示。

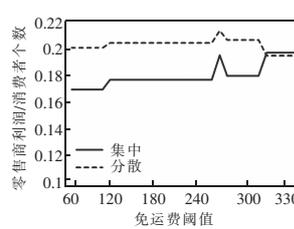


图 4 零售商利润随免运费阈值变化(2)

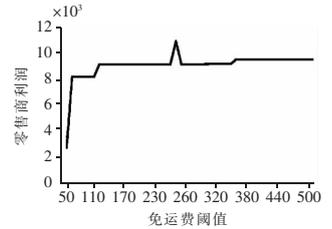


图 5 零售商利润随免运费阈值变化(3)

从图 5 中可以看出,当免运费阈值设定为 50、100、250、300、350 这几个产品价格组合时,零售商的利润会发生跳跃的情况,并且不同的价格组合值处,零售商利润的跳跃幅度有所不同。另外,当免运费阈值超过消费者对于产品的心理预期后,免运费阈值设定在价格组合处时,对零售商利润没有影响。如图 5 所示,当免运费阈值设定在 400、450 时,零售商利润不受影响。

综上所述,消费者对于产品的期望值和产品的价格均对零售商利润有着非常大的影响,特别当消费者对于产品的期望值大于或接近购买金额时,将免运费阈值设定在消费者对于产品的期望值分布均值附近的产品价格组合值时,能为零售商带来较大收益。

4 结束语

本文以当前 B2C 企业的运费策略为研究对象,采用博弈论的思想建立了一个两阶段的模型来解决网上零售商企业配送服务定价策略问题。基于算法设计和 C# 程序设计求解模型生成的一系列解进行了算例分析,得到了一些结论:当产品价格消费者对该产品的心理预期范围之内时,免运费阈值设定在所有产品价格组合边界会发生零售商利润跳跃的情况,并且最优的免运费的阈值应该设定在消费者期望分布的均值附近。然而企业最优的配送服务定价策略还受多种因素的影响,其形式较为复杂且依赖于参数的具体取值。作为探索性的研究,本文还存在一定的不足和局限,比如现实生活中订单货物的总重量、总体积、客户的地理位置等都会影响零售商的运费策略设计。

参考文献:

[1] 中国电子商务研究中心. 2011 年度中国 B2C 电子商务市场调查报告[R]. 2011.
 [2] LI H, EMIN D. Quality-based price discrimination: evidence from Internet retailers' shipping options[J]. Journal of Retailing, 2011, 12 (2): 421-436.

参考文献:

- [1] YIN Hui, CHENG Feng-juan, ZHANG De-xian. Using LDA and ant colony algorithm for spam mail filtering [C] //Proc of the 2nd International Symposium on Information Science and Engineering. Washington DC: IEEE Computer Society, 2009: 368-371.
- [2] WANG Ren. Feature selection strategies for spam e-mail filtering [D]. Montreal, Quebec: Concordia University, 2006: 25-31.
- [3] CUI Bin, MONDAL A, SHEN Jia-lie, *et al.* On Effective e-mail classification via neural networks [C] //Proc of the 16th International Conference on Database and Expert Systems Applications. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 85-94.
- [4] DUDA R O, HART P E, STORK D G. Pattern classification [M]. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2000: 114-121, 568-575.
- [5] JANECEK A, GANSTERER W. E-mail classification based on NMF [C] //Proc of the 9th SIAM International Conference on Data Mining. [S. l.]: University of Vienna, 2009: 1345-1354.
- [6] YOUN S, McLEOD D. A comparative study for email classification [C] //Advances and Innovations in Systems, Computing Sciences and Software Engineering. [S. l.]: Springer, 2007: 387-391.
- [7] AMAYRI O, BOUGUILA N. A study of spam filtering using support vector machines [J]. *Artificial Intelligence Review*, 2010, 34(1): 73-108.
- [8] CHANG M, YIH W, MEEK C. Partitioned logistic regression for spam filtering [C] //Proc of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data mining. New York: ACM Press, 2008: 97-105.
- [9] THURAU C, HLAVAC V. Pose primitive based human action recognition in videos or still images [C] //Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2008: 1-8.
- [10] XU Wei, LIU Xin, GONG Yi-hong. Document clustering based on non-negative matrix factorization [C] //Proc of the 26th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. New York: ACM Press, 2003: 267-273.
- [11] DING C H Q, LI Tao, JORDAN M I. Convex and semi-nonnegative matrix factorizations [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, 32(1): 45-55.
- [12] KUMAR B G V, KOTSIA I, PATRAS I. Max-margin semi-NMF [C] //Proc of the British Machine Vision Conference. [S. l.]: BMVA Press, 2011: 1-11.
- [13] ZAFEIRIOU S, TEFAS A, BUCIU I, *et al.* Exploiting discriminant information in nonnegative matrix factorization with application to frontal face verification [J]. *IEEE Trans on Neural Networks*, 2006, 17(3): 683-695.
- [14] CAI Deng, HE Xiao-fei, HAN Jia-wei, *et al.* Graph regularized non-negative matrix factorization for data representation [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2011, 33(8): 1548-1560.
- [15] TRAN Q. CCERT data sets of Chinese e-mails (CDSCE) [EB/OL]. <http://www.ccert.edu.cn/spam/sa/datasets.htm>.
- [16] CORMACK G. TREC 2006 spam track overview [C] //Proc of the 15th Text Retrieval Conference. 2006: 1-11.
- [17] LIU Zun-xiong, ZHANG Xian-long, ZHENG Shu-juan. Lasso-based spam filtering with Chinese e-mails [J]. *Journal of Computational Information Systems*, 2012, 8(8): 3315-3322.
- [18] GOLUB G H, Van LOAN C F. Matrix computations [M]. 3rd ed. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1996: 54-57.
- [19] LEE D D, SEUNG H S. Algorithms for non-negative matrix factorization [C] //Proc of Neural Information Processing Systems Conference. Cambridge: MIT Press, 2001: 556-562.
- [20] LIU Hai-feng, WU Zhao-hui, LI Xue-long, *et al.* Constrained nonnegative matrix factorization for image representation [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2012, 34(7): 1299-1311.
- [21] MATLAB optimization toolbox, user's guide, version 6.2 [K]. Natick, MA: The MathWorks, Inc., 2012.
- [22] GUNN S R. Support vector machines for classification and regression, ISIS Technical Report [R]. UK: University of Southampton, School of Electronics and Computer Science, 1998.
- [23] ZHANG Le, ZHU Jing-bo, YAO Tian-shun. An evaluation of statistical spam filtering techniques [J]. *ACM Trans on Asian Language Information Processing*, 2004, 3(4): 243-269.
- [24] CHANG C, LIN C. LIBSVM: a library for support vector machines [J]. *ACM Trans on Intelligent Systems and Technology*, 2011, 2(3): 1-27.
- [25] The FastICA package for MATLAB [EB/OL]. (2011-02-10). <http://research.ics.aalto.fi/ica/fastica/>.
- [26] FRANC V, HLAVAC V. Statistical pattern recognition toolbox for MATLAB [R]. Prague, Czech Republic: Center for Machine Perception, Czech Technical University, 2004.
- (上接第2621页)
- [3] TERRY L E, THOMAS D J, FERNANDA L T, *et al.* The last mile: an examination of effects of online retail delivery strategies on consumers [J]. *Journal of Business Logistics*, 2003, 24(2): 177-203.
- [4] LEWIS M, VISHAL S, SCOTT F, *et al.* Forecasting the effects of non-linear shipping and handling fees [J]. *Journal of Marketing Research*, 2003, 18(3): 221-270.
- [5] LENG Ming-ming, RAFAEL B A. Joint pricing and contingent free-shipment decisions in B2C transactions [J]. *Production and Operations Management*, 2010, 19(4): 390-405.
- [6] LEWIS M. The influence of loyalty programs and short-term promotions on customer retention [J]. *Journal of Marketing Research*, 2004, 41(3): 281-292.
- [7] GÜMÜS M, LI Shan-ling, OH W, *et al.* Shipping fees or shipping free? A tale of two price partitioning strategies in online retailing [J]. *Production and Operations Management*, 2010, 21(5): 56-89.
- [8] BRADEN D J, OREN S S. Nonlinear pricing to produce information [J]. *Market Science*, 1994, 13(3): 310-326.
- [9] SARVARY M, PARKER P M. Marketing information: a competitive analysis [J]. *Market Science*, 1997, 16(1): 24-38.
- [10] GAJANAN S, BASUROY S, BELDONA S, *et al.* Category management, product assortment, and consumer welfare [J]. *Market Letter*, 2007, 18(3): 135-148.
- [11] TIROLE J. The theory of industrial organization [M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 1992.
- [12] CHUNG J W. Utility and production functions [M]. Cambridge: Blackwell, 1994.
- [13] COTO-MILLÁN P. Utility and production: theory and applications [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1999.
- [14] BASU A K, LAL R, SRINIVASAN V, *et al.* Salesforce compensation plans: an agency theoretic perspective [J]. *Market Science*, 1985, 4(4): 267-291.