

基于有限状态自动机的新产品市场成长研究^①

王 峰, 黄敏学

(武汉大学经济与管理学院, 武汉 430072)

摘要: 消费者对新产品的持续性动态采用过程可以看作有限状态自动机的状态转移(待购状态、在购状态、休眠状态)。在综合大众传播、口碑效应、首次购买、重复购买、顾客流失、以及季节性扰动等因素的情况下,运用有限状态自动机构建出符合动态采用模式的市场成长模型。此模型更具综合性和精确性,不但可以涵盖经典的 Bass 模型和后续发展的服务增长模型与尝试—重购模型,还可以推断出以往难以估计的重购系数和流失系数。实证检验快消品、耐用品和服务等品类数据,结论表明新模型比现有三种模型具有更好拟合性,对未来销售的预测力也更高。该模型有利于深入了解新产品在社会系统中一般性的扩散和成长规律。

关键词: 口碑效应; 顾客流失; 重复购买; 季节性波动; 有限状态自动机

中图分类号: F224 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2012)07-0026-10

0 引 言

新产品的市场成长^②指新产品上市后,随着时间的推移,在社会系统中逐渐被越来越多的消费者接受和采用的过程。这是众学者和企业关注的核心问题,许多研究将市场成长看作新产品的扩散并构建扩散模型来刻画和解释之,最为经典和广泛应用者首推 Bass 模型^[1-2]。Bass 模型指出大众传播和口碑传播驱动消费者采用新产品,类似于传染病的扩散,未采用者只要与已采用者接触,就会以一定的概率规则采用该产品。后来的学者针对 Bass 模型的缺陷,提出了包含时间空间扩散^[3]、差异化选择^[4]、小世界消费者网络^[5]、个体间异质性连接^[6]、产品升级换代^[7]、互补性产品^[8]等改进模型。这些模型考虑了更加符合现实的因素,提高了模型的解释力和预测力,丰富了该领域的研究。然而,上述模型的基本前提均假定消费者的采用模式是静态的(单一首次采用),

即潜在消费者以一定的概率规则尝试采用新产品,其购后的行为状态将不再发生变化^[9]。

事实上,消费者的采用是一个持续性和动态的过程^[10],即消费者在首次尝试采用后,其购后的行为状态是会发生改变的,之后的时间可能再次重复购买或者流失^[9,11]。在上述动态的消费采用模式下,重复购买和流失因素将是影响新产品快速和长期增长的核心因素,这是因为重购是消费者行为忠诚的体现,高重购率能够给新产品的销售带来稳定的持续性增长^[12-13],而流失率的降低可以维持与顾客的关系并能够带来长期顾客资产和利润^[10,14]。鉴于重购和流失因素的重要性,已有研究对静态采用模型进行了改进,提出了尝试—重购模型^[15-16]来刻画消费者购后的重购行为,以及服务增长模型^[9]来刻画消费者购后的流失行为。但是,为更好地解释消费者对新产品的动态采用模式,还没有发现一个更为综合的和广义的市场成长模型能够完整地囊括消费者的首次

① 收稿日期: 2010-06-28; 修订日期: 2012-04-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70972091; 70672067)。

作者简介: 黄敏学(1973—),男,湖北大冶人,博士,教授,博士生导师。通讯作者。Email: ebusiness@whu.edu.cn

② 新产品的市场成长研究主要有两个层面: 产品品类层面(category-level)和产品品牌层面(brand-level),本文聚焦于品类层面的新产品市场成长模型的构建与实证计量研究,但为了加强模型的概括性,本文的附录对于品牌层面的理论模型也做了拓展性说明。

购买、重复重购、和流失等采用行为的变化^[17]。

另外,已有的市场成长模型仅考虑了社会系统内的影响因素(如:口碑传播),而忽略了来自社会系统外的影响因素(如:气候、节假日、文化风俗等)。事实上,消费者对新产品的采用会受到这些外在因素的影响,几乎所有行业都出现旺季和淡季的季节性波动^[18],典型的例子是空调机和可乐的旺季是在夏天,而火车客运的旺季在春节前后。因此,为了更好的解释消费者同时受社会系统内和外生因素影响的情况,新产品成长模型有必要刻画季节性波动的对新产品采用的作用^[19]。

基于有限状态自动机理论^[20-21],本文将消费者对新产品的动态采用模式刻画成有限状态自动机的状态转移过程(待购状态、在购状态、休眠状态)。在综合考虑大众传播、口碑传播、首次购买、重复购买、顾客流失、以及季节性波动等因素的情况下,运用有限状态自动机来刻画个体消费者的采用模式,并将个体加总来刻画总体市场,进而构建一个更为广义的符合消费者动态采用模式的市场成长模型。

1 有限状态自动机与动态采用模式

1.1 有限状态自动机

有限状态自动机(finite state automata, FSA)是用来描述有限个状态以及在这些状态之间转移的数学语言(所谓有限状态,指有限数目的内部状态将系统识别区分开):在时间序列上的任一时刻,从输入字符串中读入一个字符,根据当前状态和读入的字符,经由转移规则,系统自动进入下一个后续状态^[20]。如果下一个状态是唯一确定的,该自动机是确定性的有限自动机,例如电梯和十字路口的红绿灯;如果下一个状态有多种可能,则是非确定的,例如密码机和股票市场。

基本的FSA系统是一个五元组: $FSA = (S, \Lambda, \delta, s_0, F)$,其中 S 表示非空的状态空间,空间中的元素即为有限个的状态, $\forall s \in S, s$ 为FSA的一个状态; Λ 表示输入的字母表; δ 表示状态转移函数, $\delta: S \times \Lambda \rightarrow S$, 对 $\forall (s_i, a) \in S \times \Lambda, \delta(s_i, a) = s_j$ 表示在状态 s_i 输入字符 a 后,状态转移至 s_j ; s_0 为

初始状态; F 为接受或终止状态集,并且 $s_0 \in S, F \subseteq S$ 。

下面将基于有限状态自动机来刻画消费者的持续性和动态多次采用过程。

1.2 动态采用过程中的有限个状态

在持续性的动态采用模式下,消费者的多次消费过程依次表现为:信息刺激(时期0)——首次尝试购买(时期1)——重复购买或流失(时期2)——重复购买或流失或流失者返回再次购买(时期3)……。首先,存在两种信息刺激驱动潜在消费者尝试购买新产品^[1],一是广告等大众传播,它反映了企业对消费者的直接影响,二是消费者间的口碑传播,它反映了已采用者对尚未采用的潜在消费者的人际影响,假设大众传播所驱动的创新因子为 $p(0 \leq p \leq 1)$ 、口碑效应所驱动的模仿因子为 $q(0 \leq q \leq 1)$ 。其次,在首次尝试购买后,满意的顾客可能提高购买频率,产生重复购买行为^[10,12];不满意的或转换成本低的顾客拒绝使用而放弃该新产品,产生顾客流失现象^[14];虽然流失者不再对未采用者产生口碑效应,但他们依然是潜在消费者,只是暂时减少购买,是“伪流失”,可能在接下来的时期再次成为购买者^[9]。假设流失率为 $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$ 、重复购买率为 $\gamma(0 \leq \gamma \leq 1)$ 。

因此,基于上述背景,在任一购买决策时期内,消费者的行为可识别为三种状态:待购状态、在购状态、休眠状态。其中,待购状态指当期无购买行为且对他人无口碑效应;在购状态指当期在购买产品且对他人有口碑效应;休眠状态指当期无购买行为但对他人有口碑效应。在FSA的框架下,动态采用的持续消费过程即是此三种状态之间的转移过程(如图1)。

在一个动态采用的FSA系统中,定义 s_{it} 为消费者 i 在 t 时期步的状态, $s_{it} = 0$ 表示处于待购状态, $s_{it} = 1$ 表示处于在购状态, $s_{it} = 2$ 表示处于休眠状态。字母表 Λ 中的元素表示能产生口碑效应的人群总体 N_t 。初始状态为 $s_{i0} = 0$,终止状态集为空集 \emptyset 。对于状态转移函数 δ ,消费者在 $t+1$ 时期步的状态由转移规则以及 t 时期步的状态决定,即 $s_{i,t+1} = \delta(s_{it}, N_t)$ 。由于消费者对下一个状态有多种随机选择,针对对每个状态转移赋予概

率,构建概率转移规则^[21],定义 $\delta: a \xrightarrow{P_{a \rightarrow b}^{t+1}}$ 表示从时期步 t 的状态 a 以概率 $P_{a \rightarrow b}^{t+1}$ 转移至时期步 $t + 1$ 的状态 b . 并且,假定处于同一状态下的个体无差

异,状态转移规则相同^[6]. 下面将具体分析消费者在这三种状态之间进行转移的过程和概率规则.

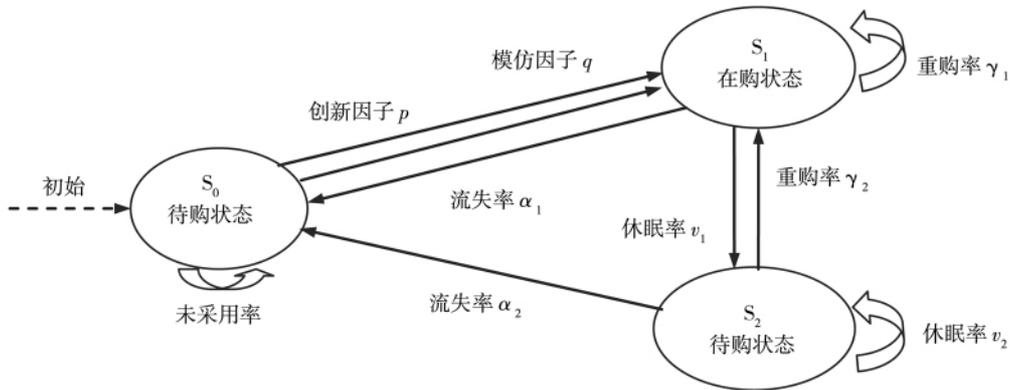


图 1 消费者的动态采用模式下的 FSA 状态转移图

Fig.1 The dynamic state transition for individual consumer in FSA

由状态 S_0 转移至状态 S_1 由于流失的顾客依然是潜在消费者,他们再次尝试购买的决策与首次尝试购买者的决策一样,受创新因子和模仿因子的驱动而购买的概率相等^[9]. 因此,参照 Bass 模型,潜在消费者从待购状态转移至在购状态的概率等于

$$P_{0 \rightarrow 1}^{t+1} = p + q(1 - \alpha)F(t) \quad (1)$$

其中, $F(t)$ 表示时期步 t 能产生口碑效应的人群占总体市场容量的比例,由于流失的顾客不再产生口碑效应,因此能传播口碑者仅占 $(1 - \alpha)F(t)$.

由状态 S_0 转移至状态 S_0 维持在待购状态(保持潜在消费者的身份)的概率

$$P_{0 \rightarrow 0}^{t+1} = 1 - [p + q(1 - \alpha)F(t)] \quad (2)$$

由状态 S_1 转移至状态 S_0 从在购状态转移至待购状态(拒绝继续使用该产品并且也不再产生口碑效应)的概率即等于消费者的流失概率 α , 即

$$P_{1 \rightarrow 0}^{t+1} = \alpha \quad (3)$$

由状态 S_1 转移至状态 S_1 维持在在购状态的概率即表示消费者再重复购买一单位的产品,其重复购买概率

$$P_{1 \rightarrow 1}^{t+1} = \gamma \quad (4)$$

由状态 S_1 转移至状态 S_2 从在购状态转移至休眠状态表示暂时降低购买频率,是一种“伪流失”,其转移概率

$$P_{1 \rightarrow 2}^{t+1} = v = 1 - \alpha - \gamma \quad (5)$$

由状态 S_2 转移至状态 S_0 假定新顾客(当期购买者)和老顾客(先前购买者)的流失概率一样^[9],则从休眠状态转移至待购状态而发生顾客流失的概率

$$P_{2 \rightarrow 0}^{t+1} = \alpha \quad (6)$$

由状态 S_2 转移至状态 S_1 假设新顾客和老顾客的发生重复购买的可能性一样^[12],则从休眠状态迁移至在购状态(伪流失者返回)的概率即等于重购的概率,即

$$P_{2 \rightarrow 1}^{t+1} = \gamma \quad (7)$$

由状态 S_2 转移至状态 S_2 维持在休眠状态继续暂时不购买的概率

$$P_{2 \rightarrow 2}^{t+1} = v = 1 - \alpha - \gamma \quad (8)$$

下面将基于上述个体消费者在动态采用模式下的各种状态之间的转移规则来综合考虑大众传播、口碑传播、首次购买、重复购买、顾客流失、以及季节性波动等因素并构建一个更加广义的新产品的市场成长模型.

2 基于有限状态自动机的市场成长模型

对于新产品扩散和市场成长来说,就是在各个时期有多少消费者采用和使用新产品,或者说新产品的销售量是多少. 基于上述消费者的状态转移图,反映到总体宏观层面上的市场成长,即

表现为处于同一状态的所有消费者的加总。下面将分两步来构建新产品的市场成长模型,首先是仅考虑社会系统内因素的作用,然后再综合考虑季节性扰动的影响。

2.1 模型构建 I: 社会系统内因素的驱动

在任一时期 t , 定义处于在购状态的总体为 $n(t)$ (包括所有当期的首次购买者和重复购买者), 每个消费者购买一单位的产品, 它们构成了产品的当期消费市场; 处于在购状态和休眠状态的总体为 $N(t)$ (包括所有当期首次购买者和重复购买者、休眠者), 它们构成了产品的现有消费市场; 处于待购状态的总体为 $m - N(t)$ (包括所有流失者和尚未采用的潜在消费者), 它们构成了产品的潜在消费市场, 其中 m 表示潜在消费者总体。

对于现有消费市场, 由状态转移矩阵知, 从时期步 t 至时期步 $t + 1$, 其市场规模的变化来自三方面: $0 \xrightarrow{P_{0 \rightarrow 1}^{t+1}} 1, 1 \xrightarrow{P_{1 \rightarrow 0}^{t+1}} 0, 2 \xrightarrow{P_{2 \rightarrow 0}^{t+1}} 0$, 则 $t + 1$ 时现有市场的期望值

$$\begin{aligned} E[N(t+1)] &= E[N(t)] + P_{0 \rightarrow 1}^{t+1} \times \{m - E[N(t)]\} - \\ &P_{1 \rightarrow 0}^{t+1} \times E[n(t)] - P_{2 \rightarrow 0}^{t+1} \times \\ &\{E[N(t)] - E[n(t)]\} \\ &= E[N(t)] + \{p + q(1 - \alpha) F(t)\} \\ &\{m - E[N(t)]\} - \alpha E[N(t)] \quad (9) \end{aligned}$$

将公式(9) 表达为连续型, 每一购买时期跨步缩小为 dt , 去掉期望值符号后为

$$N(t + dt) = N(t) + \{ [p + q(1 - \alpha) F(t)] [m - N(t)] - \alpha N(t) \} dt \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{dN(t)}{dt} &= [p + q(1 - \alpha) F(t)] [m - N(t)] - \alpha N(t) \\ &= [p + q(1 - \alpha) N(t) / m] [m - N(t)] - \alpha N(t) \quad (11) \end{aligned}$$

另外, 对于从时期步 t 至时期步 $t + 1$ 净增的市场规模主要有两部分人群: 首次尝试购买者和重复购买者。记发生首次尝试购买的总体为 $T(t + 1)$, 其规模的变化主要来自 $0 \xrightarrow{P_{0 \rightarrow 1}^{t+1}} 1$, 则期望值

$$\begin{aligned} E[T(t+1)] &= E[T(t)] + P_{0 \rightarrow 1}^{t+1} \times \{m - E[N(t)]\} \\ &= E[T(t)] + \{p + q(1 - \alpha) F(t)\} \times \end{aligned}$$

$$\{m - E[N(t)]\} \quad (12)$$

记发生重复购买的总体为 $R(t + 1)$, 其规模的变化主要来自: $1 \xrightarrow{P_{1 \rightarrow 1}^{t+1}} 1$ 和 $2 \xrightarrow{P_{2 \rightarrow 1}^{t+1}} 1$, 则其期望值

$$\begin{aligned} E[R(t+1)] &= E[R(t)] + P_{1 \rightarrow 1}^{t+1} \times (1 - \alpha) E[n(t)] + \\ &P_{2 \rightarrow 1}^{t+1} \times (1 - \alpha) \{E[N(t)] - E[n(t)]\} \\ &= E[R(t)] + \gamma(1 - \alpha) E[N(t)] \quad (13) \end{aligned}$$

那么, 在时期步 $t + 1$ 增加的市场规模 $S(t + 1)$ 的期望值

$$\begin{aligned} E[S(t+1)] &= E[T(t + 1)] + E[R(t + 1)] \\ &= E[S(t)] + \{p + q(1 - \alpha) F(t)\} \times \\ &\{m - E[N(t)]\} + \gamma(1 - \alpha) E[N(t)] \quad (14) \end{aligned}$$

将上式转换为连续型, 变形公式为

$$S(t + dt) = S(t) + \left\{ \left(p + \frac{q(1 - \alpha)}{m} N(t) \right) \times (m - N(t)) + r(1 - \alpha) N(t) \right\} dt \quad (15)$$

因此可得, 时刻 t 的市场成长模型(首次尝试购买和重复购买者之和)

$$s(t) = \frac{dS(t)}{dt} = \left(p + \frac{q(1 - \alpha)}{m} N(t) \right) \times (m - N(t)) + r(1 - \alpha) N(t) \quad (16)$$

下面将进一步推导模型(16) 的表示为时间函数的显性解析式。首先, 将上式(11) 写成一元二次方程的形式, 并变形为

$$\begin{aligned} \frac{dN(t)}{dt} &= \frac{q(1 - \alpha)}{m} N(t)^2 + (q(1 - \alpha) - \\ &p - \alpha) N(t) + pm \\ &= \bar{a} \left(N(t) - \frac{\bar{b} + \bar{\Delta}}{2\bar{a}} \right) \left(N(t) - \frac{\bar{b} - \bar{\Delta}}{2\bar{a}} \right) \quad (17) \end{aligned}$$

其中, $\bar{a} = -\frac{q(1 - \alpha)}{m}, \bar{b} = q(1 - \alpha) - p - \alpha, \bar{c} =$

$$pm, \bar{\Delta} = \sqrt{\bar{b}^2 - 4\bar{a}\bar{c}}$$

变形公式(17) 可得

$$\begin{aligned} dt &= \frac{dN(t)}{\bar{a} \left(N(t) - \frac{\bar{b} + \bar{\Delta}}{2\bar{a}} \right) \left(N(t) - \frac{\bar{b} - \bar{\Delta}}{2\bar{a}} \right)} \\ &= \frac{dN(t)}{\bar{\Delta} \left(N(t) - \frac{\bar{b} + \bar{\Delta}}{2\bar{a}} \right)} - \frac{dN(t)}{\bar{\Delta} \left(N(t) - \frac{\bar{b} - \bar{\Delta}}{2\bar{a}} \right)} \quad (18) \end{aligned}$$

由此, t 时刻的现有消费市场的规模的解析式表达为

$$N(t) = \frac{-\frac{\bar{\Delta} + \bar{b}}{2\bar{a}}(1 - e^{-\bar{\Delta}t})}{1 + \frac{\bar{\Delta} + \bar{b}}{\bar{\Delta} - \bar{b}}e^{-\bar{\Delta}t}} = m \frac{1 - e^{-(\bar{p} + \bar{q})t}}{1 + (\bar{q}/\bar{p})e^{-(\bar{p} + \bar{q})t}} \quad (19)$$

其中, $\bar{m} = -\frac{\bar{\Delta} + \bar{b}}{2\bar{a}} = m \frac{\bar{\Delta} + \bar{b}}{2q(1 - \alpha)}$, $\bar{p} = \frac{\bar{\Delta} - \bar{b}}{2}$, $\bar{q} = \frac{\bar{\Delta} + \bar{b}}{2}$

因此, 时刻 t 的市场成长模型(16) 的显性解析式为

$$s(t) = \left(p + \frac{q(1 - \alpha)}{m} N(t) \right) (m - N(t)) + r(1 - \alpha) N(t) = \bar{m} \left\{ \frac{e^{-(\bar{p} + \bar{q})t} (\bar{p} + \bar{q})^2 / \bar{p}}{(1 + (\bar{q}/\bar{p})e^{-(\bar{p} + \bar{q})t})^2} + [\alpha + \gamma(1 - \alpha)] \times \frac{1 - e^{-(\bar{p} + \bar{q})t}}{1 + (\bar{q}/\bar{p})e^{-(\bar{p} + \bar{q})t}} \right\} \quad (20)$$

其中, p, q, m, α, γ 为未知的待估计参数.

2.2 模型构建 II: 外部季节性因素的扰动

在构建市场成长模型时, 应将企业和社会系统之外的季节性扰动因素考虑进来. 它也决定了创新产品的市场成长速度和深度, 例如空调机在夏季的销售增长更迅速. 对于外部季节性扰动, 它是外生的, 假定季节性函数 $g(t)$ 是周期性的分

段函数, 相当于倍乘系数, 它通过调节潜在市场需求的高低以及个体状态转移的整体效率来影响市场的成长^[19]. 也就是说, 在同样的社会系统条件下, 旺季比淡季的市场潜在需求要高, 状态转移的速度更快. 参照文献[18] 假定一年内仅存在一个销售波峰和一个销售波谷, 并根据产品特征将一年分为 ρ 个决策时期步^[19]. 通过周期性模函数来刻画从波谷至波峰的演变, 则 t 时期的季节性倍乘系数为

$$g(t) = \beta \text{mod}(t, \rho) + \phi \quad (21)$$

其中, β 和 ϕ 为未知待估计参数.

由此, 综合大众传播、口碑效应、首次购买、重复购买、顾客流失、以及季节性扰动后, 本文构建如下基于有限状态自动机的新产品的市场成长模型

$$s(t) = s(t)_{21} \times g(t) = \bar{m} \left\{ \frac{e^{-(\bar{p} + \bar{q})t} (\bar{p} + \bar{q})^2 / \bar{p}}{(1 + (\bar{q}/\bar{p})e^{-(\bar{p} + \bar{q})t})^2} + [\alpha + \gamma(1 - \alpha)] \times \frac{1 - e^{-(\bar{p} + \bar{q})t}}{1 + (\bar{q}/\bar{p})e^{-(\bar{p} + \bar{q})t}} \right\} [\beta \text{mod}(t, \rho) + \phi] \quad (22)$$

其中, $\bar{p}, \bar{q}, \bar{m}$ 见公式(19), $p, q, m, \alpha, \gamma, \beta, \phi$ 为 7 个未知的待估计参数. 利用真实的市场数据可以确定周期 ρ 并对未知参数进行估计, 从而刻画出新产品的成长曲线. 该模型更具包容和概括性, 通过固定参数可以简化为现有几种应用广泛的市场成长模型(如表 1).

表 1 相关市场成长模型的特性对比

Table 1 The features of market growth models

参数 模型	创新 因子 p	模仿 因子 q	潜在 容量 m	重购率 γ	流失 率 α	季节性 扰动	模型 特点	适用 品类	主要 文献
Bass 模型	√ ^a	√	√	$\gamma \equiv 0$	$\alpha \equiv 0$	$g(t) \equiv 1$	静态 单一首购	耐用品	文献[1-2]
服务增 长模型	√	√	√	$\gamma \equiv 0$	√	$g(t) \equiv 1$	半动态 单一持续消费	服务	文献[9]
尝试购 买模型	√	√	√	√	$\alpha \equiv 0$	$g(t) \equiv 1$	半动态 重复多次购买	快消品	文献[16]
FSA 成 长模型	√	√	√	√	√	√	动态 持续多次消费	持续性消费 产品或服务	本文

注: ^a该模型考虑了此因素, 并作为未知待估计参数.

3 实证分析和模型效果检验

为对比本文构建的基于 FSA 的市场成长模型与现有的 Bass 模型、服务增长模型、尝试—重购模型是否具有优越性,下面将通过来自快速消费品、耐用品、服务、高科技产品和工业品等不同行业的数据进行实证分析。

3.1 数据来源和参数估计

为了控制成熟行业所带来的品类间替代、价

格等因素的影响,选择一些在我国相对新兴和近年来发展稳定的行业作为实证样本。快速消费品、耐用品、服务、高科技产品和工业品分别以保健酒、汽车、入境旅游、计算机、平板玻璃作为研究对象,取整个品类的销售量。为确定消费者购买时的季节性波动,依照 Radas 和 Shugan 探究季节性的方法^[18-19],通过月度销售曲线及产业特征将一年内汽车和入境游的决策时期步确定为 2、保健酒为 3、计算机和平板玻璃为 4。表 2 列出了各行业的数据来源及样本数据范围。

表 2 样本信息

Table 2 The features of data sample

品类	数据来源	数据范围	单位	样本内累计销量
快消品: 保健酒	保健酒协会	2000-07—2010-06	箱	1.1 亿
耐用品: 汽车	中宏产业数据库	2000-01—2010-06	辆	3.9 亿
服务: 入境旅游	中宏产业数据库	1994-06—2010-06	人	2.3 亿
高科技产品: 计算机	中宏产业数据库	1999-01—2010-03	台	17 亿
工业品: 平板玻璃	中宏产业数据库	1999-01—2010-03	箱	89 亿

在对模型(22)的未知参数进行估计时,由于模型的函数形式较为复杂,未知参数多达 7 个,本文使用非线性最小二乘法(NLS)来进行未知参数估计,此方法对市场成长模型的参数估计具有较好优越性,能够降低时间点的选择造成的估计参数偏差^[22]。为检验模型(22)对数据的敏感性,分别以全部样本数据(截止至 2010 年)、去掉 1 年(截止至 2009 年)、去掉 2 年(截止至 2008 年)、去掉 3 年(截止至 2007 年)的数据作为样本,来分析 4 种情况下,模型估计的参数情况。结果表明所估计的参数均在各自约束范围之内,参数值和模型显著性较为稳定(见表 3)。

3.2 模型预测未来销售的效果检验

下面将检验与 Bass 模型、服务增长模型、尝试—重购模型相比,FSA 模型是否更具提前预测未来销售的能力。在未知参数的估计方法上,均采用非线性最小二乘。在检验预测效果的方法上^[1],分别在全部样本跨度基础上,数据末端分别去掉 1 年、2 年、3 年的数据作为模型校准集(calibration set)来估计未知参数,未来的一年作为输出集(output set),以预测的该年的 ρ 个时期步销量的均值绝对误差来衡量预测效果。均值绝

对误差(mean absolute percentage error, MAPE)的公式为

$$\text{MAPE} = \text{mean}(|\hat{y}_j - y_j| / y_j) \times 100\% \quad (23)$$

其中, y_j 是实际值, \hat{y}_j 是预测值。表 4 对比了 4 种模型提前预测未来市场成长的能力。从中可以得出,本文所构建的基于 FSA 的模型显著的优于其它 3 种模型。

为进一步检验模型对数据和预测效果的敏感性,分别将各样本的数据从起始点去掉一年,而后再从数据的末端分别去掉 1 年、2 年、3 年的数据作为校准集来估计模型未知参数,未来的一年作为输出集,以预测的该年 ρ 个时期步销量的均方根差衡量预测效果。均方根差(root mean squared error, RMSE)的公式为

$$\text{RMSE} = \sqrt{\text{mean}[(\hat{y}_j - y_j)^2]} \quad (24)$$

表 5 对比了在变换数据后 4 种模型提前预测未来市场成长的能力。本文所构建的基于 FSA 的模型的 RMSE 指标小于其它 3 种模型。因此,从表 3、表 4 和表 5 可知,与现有模型相比,本文模型随数据的自适应能力以及预测未来销售的效果均较好。

表 3 不同样本范围情况下的参数估计结果

Table 3 The results of parameter estimation for varies data setting

品类	样本数据 (起点至)	创新 因子 p	模仿 因子 q	潜在 容量 m	流失 系数 a	重购 系数 r	季节性 β	季节性 ϕ	F -值及模 型显著性
快消品: 保健酒	至 2010-06	0.003 0	0.082 7	1.6 亿	0.006 7	0.351 1	0.259 9	0.203 4	125.102 6**
	至 2009-06	0.002 1	0.135 0	1.6 亿	0.059 4	0.317 1	0.420 9	0.327 4	30.576 4**
	至 2008-06	0.001 7	0.174 7	1.6 亿	0.093 0	0.292 9	0.527 5	0.410 3	20.246 1**
	至 2007-06	0.002 0	0.134 2	1.6 亿	0.055 3	0.318 6	0.413 3	0.322 0	35.449 3**
耐用品: 汽车	至 2010-06	0.003 5	0.112 5	17.7 亿	0.032 0	0.221 3	-0.498 8	0.704 3	12.571 4**
	至 2009-06	0.001 8	0.239 6	17.7 亿	0.136 3	0.130 7	-0.972 7	1.371 8	27.142 9**
	至 2008-06	0.004 4	0.088 8	17.7 亿	0.020 2	0.234 3	-0.416 2	0.598 0	21.714 3**
	至 2007-06	0.004 2	0.090 4	17.7 亿	0.019 6	0.233 8	-0.424 0	0.605 2	16.285 7*
服务: 入境游	至 2010-06	0.002 5	0.116 9	4.5 亿	0.084 6	0.476 1	0.157 9	0.465 7	65.142 9**
	至 2009-06	0.001 7	0.186 6	4.5 亿	0.137 1	0.443 9	0.222 2	0.662 4	59.714 3**
	至 2008-06	0.006 4	0.051 1	4.5 亿	0.058 3	0.500 3	0.098 6	0.265 4	9.088 3**
	至 2007-06	0.006 5	0.052 4	4.5 亿	0.046 5	0.503 1	0.073 2	0.227 0	44.553 6**
高科技 产品: 计算机	至 2010-03	0.000 4	0.119 9	32.6 亿	0.051 3	0.100 5	0.995 2	0.995 2	50.552 4**
	至 2009-03	0.000 3	0.123 0	32.2 亿	0.050 8	0.099 2	1.019 5	1.019 5	32.074 5**
	至 2008-03	0.000 4	0.120 9	32.8 亿	0.048 6	0.101 1	0.981 5	0.981 5	16.599 1**
	至 2007-03	0.000 3	0.144 6	33.5 亿	0.063 0	0.084 4	1.107 6	1.107 6	14.553 3**
工业品: 平板玻 璃	至 2010-03	0.000 5	0.064 5	281 亿	0.047 0	0.096 3	1.021 4	1.018 3	37.714 3**
	至 2009-03	0.000 5	0.043 2	285 亿	0.016 2	0.125 3	0.885 8	0.883 2	41.142 9**
	至 2008-03	0.000 3	0.065 0	275 亿	0.029 7	0.110 5	1.257 9	1.254 2	52.571 4**
	至 2007-03	0.000 6	0.035 8	186 亿	0.002 5	0.134 8	1.041 4	1.038 3	65.142 9**

注: * 表示 $p < 0.01$; ** 表示 $p < 0.001$.

表4 去掉末端数据后对比4种模型的提前预测效果: MAPE^a

Table 4 Forecasting evaluation for four models after cut end data: MAPE

品类	估计未知参数的数据集范围 ^b	本文模型	Bass模型 ^[1-2]	尝试-重购模型 ^[15-16]	服务增长模型 ^[9]
快消品: 保健酒	2000-07—2009-06	21%	25%	25%	70%
	2000-07—2008-06	25%	43%	22%	27%
	2000-07—2007-06	23%	53%	32%	32%
耐用品: 汽车	2000-01—2009-06	17%	63%	64%	63%
	2000-01—2008-06	15%	54%	53%	56%
	2000-01—2007-06	13%	56%	55%	58%
服务: 入境游	1994-06—2009-06	9%	5%	10%	5%
	1994-06—2008-06	7%	28%	10%	43%
	1994-06—2007-06	12%	9%	15%	9%
高科技产品: 计算机	1999-01—2009-03	12%	38%	37%	58%
	1999-01—2008-03	21%	55%	43%	77%
	1999-01—2007-03	9%	44%	37%	59%
工业品: 平板玻璃	1999-01—2009-03	12%	59%	49%	54%
	1999-01—2008-03	13%	56%	49%	50%
	1999-01—2007-03	9%	52%	47%	47%

注:^a MAPE 值越小,表明预测未来销售的效果越好。^b 预测方法:以数据集校准模型来估计未知参数,再预测未来一年各个时期步的销售。

表5 去掉前后端数据后对比4种模型提前预测效果: RMSE^aTable 5 Forecasting evaluation for four models after cut start and end data: RMSE^a

品类	估计未知参数的数据集范围 ^b	本文模型 ^c	Bass模型 ^[1-2]	尝试-重购模型 ^[15-16]	服务增长模型 ^[9]
快消品: 保健酒	1999-07—2009-06	0.029	1.615	2.350	3.994
	1999-07—2008-06	0.221	0.563	2.214	2.222
	1999-07—2007-06	0.029	0.393	2.672	1.216
耐用品: 汽车	1999-01—2009-06	3.655	0.536	3.295	5.598
	1999-01—2008-06	0.333	4.538	6.869	5.686
	1999-01—2007-06	1.585	2.223	4.275	5.049
服务: 入境游	1993-06—2009-06	0.292	0.026	2.902	0.001
	1993-06—2008-06	1.405	3.098	2.773	4.614
	1993-06—2007-06	2.204	1.155	2.119	0.694
高科技产品: 计算机	1998-01—2009-03	1.479	3.376	4.220	0.877
	1998-01—2008-03	2.046	1.110	4.613	1.467
	1998-01—2007-03	0.671	2.662	5.036	1.261
工业品: 平板玻璃	1998-01—2009-03	1.045	1.423	3.650	2.169
	1998-01—2008-03	4.072	1.932	5.751	3.992
	1998-01—2007-03	1.493	3.762	7.337	5.221

注:^a RMSE 值越小,表明预测未来销售的效果越好。^b 预测方法:以数据集校准模型来估计未知参数,再预测未来一年各个时期步的销售。^c 各数值 $\times 10^6$ 。

4 结束语

本文基于有限状态自动机描述了个体消费者的动态采用模式,并综合考察影响新产品采用的大众传播、口碑效应、首次购买、重复购买、顾客流失,以及季节性扰动等因素,构建了一个符合持续性动态消费特征的创新产品的市场增长模型.此模型更具包容性的以 Bass 模型、服务增长模型、及尝试—重购模型为其特例.对我国快消品、耐用品、服务、高科技产品和工业品的实证分析表明,新模型比现有 3 种模型更较好的拟合数据,并且对未来销售的预测效果更强.该模型有利于更深入地了解新产品的市场扩散和增长规律,为企业的市场预测、资源分配等管理决策提供了有效的

分析工具.

上述理论模型推导和实证分析针对的是品类层面,而没有考虑到品类内部还存在竞争情况.为此本文的附录在品类模型的基础上,考虑了品类内部存在竞争品牌的扩散模式,以及放宽状态转移参数后的理论模型.鉴于本文模型的局限性,未来研究可在此基础上进行进一步的实证计量分析,如: 1) 通过品牌层面的数据检验附录的竞争性模型的预测效果; 2) 区分返回的流失者和首次购买者受大众传播和人际传播驱动而尝试购买的概率,以及企业市场行为(如价格、促销)对购买概率的影响; 3) 考虑个体消费者的差异性,分析产品在我国各省域市场增长的差异,进一步探讨时间和空间扩散模式; 4) 探讨经济增长和个人收入水平增长带来的影响.

参 考 文 献:

- [1] Bass F M. A new product growth model for consumer durables [J]. *Management Science*, 1969, 15 (5): 215 - 227.
- [2] Bass F M. Comments on “a new product growth for model consumer durables” [J]. *Marketing Science*, 2004, 50(12): 1833 - 1840.
- [3] Garber T, Goldenberg J, Libai B, et al. From density to destiny: Using spatial analysis for early prediction of new product success [J]. *Marketing Science*, 2004, 23 (3): 419 - 429.
- [4] 赵正龙, 陈 忠, 孙武军, 等. 具有差异化选择特征的复杂社会网络扩散研究 [J]. *管理科学学报*, 2010, 13(3): 38 - 49.
Zhao Zhenglong, Chen Zhong, Sun Wujun, et al. Diffusion with property of differential choice in complex social network [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2010, 13(3): 38 - 49. (in Chinese)
- [5] 庄新田, 黄玮强. 基于消费者网络的金融创新扩散研究 [J]. *管理科学学报*, 2009, 12(3): 132 - 141.
Zhuang Xintian, Huang Weiqiang. Study on financial innovation diffusion based on consumer network [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2009, 12(3): 132 - 141. (in Chinese)
- [6] Goldenberg J, Libai B, Muller E. Riding the saddle: How cross-market communications can create a major slump in sales [J]. *Journal of Marketing*, 2002, 66(2): 1 - 16.
- [7] 何 佳, 曾 勇. 技术创新速度对新技术购买行为的影响: 两代未来创新的情况 [J]. *管理科学学报*, 2003, 6(1): 13 - 19.
He Jia, Zeng Yong. Impact of speed of innovation arrival on innovation adoption timing: Case of two generations of future innovations [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2003, 6(1): 13 - 19. (in Chinese)
- [8] Gupta S, Jain D C, Sawhney M S. Modeling the evolution of markets with indirect network externalities: An application to digital television [J]. *Marketing Science*, 1999, 18(3): 396 - 416.
- [9] Libai B, Muller E, Peres R. The diffusion of services [J]. *Journal of Marketing Research*, 2009, 46(2): 163 - 175.
- [10] Bolton R N. A dynamic model of the duration of the customers' relationship with a continuous service provider: The role of satisfaction [J]. *Marketing Science*, 1998, 17(Winter): 45 - 65.
- [11] Inam J, Zeelenberg M. Regret in repeat purchase versus switching decisions: The attenuating role of decision justifiability [J]. *Journal of Consumer Research*, 2002, 29(June): 116 - 128.

- [12] Ataman M B, Mela C F, van Heerde H J. Building brands [J]. *Marketing Science*, 2008, 27(6): 1036 – 1054.
- [13] Liang C, Wang W. Attributes, benefits, customer satisfaction and behavioral loyalty: An Integrative research of financial services industry in Taiwan [J]. *Journal of Services Research*, 2004, 4(1): 57 – 91.
- [14] Gustafsson A, Johnson M, Roos I. The effects of customer satisfaction, relationship commitment dimensions, and triggers on customer retention [J]. *Journal of Marketing*, 2005, 69(4): 210 – 218.
- [15] Hahn M, Park S, Krishnamurthi L, et al. Analysis of new product diffusion using a four-segment trial-repeat model [J]. *Marketing Science*, 1994, 13(3): 224 – 247.
- [16] 常 莹, 李 季, 王汉生, 等. 具备重复购买机制的新产品扩散模型: 理论模型与非线性最小一乘估计 [J]. *营销科学学报*, 2006, 2(4): 22 – 31.
Chang Ying, Li Ji, Wang Hansheng. Diffusion of new product with repeat purchase potential: Theoretical model and non-linear LAD estimation [J]. *Journal of Marketing Science*, 2006, 2(4): 22 – 31. (in Chinese)
- [17] Luo X, Homburg C. Neglected outcomes of customer satisfaction [J]. *Journal of Marketing*, 2007, 71 (April): 133 – 149.
- [18] Radas S, Shugan S M. Seasonal marketing and timing new product introductions [J]. *Journal of Marketing Research*, 1998, 35(3): 296 – 315.
- [19] Shugan S M, Radas S. *Services and Seasonal Demand* [R]. Working Paper, Gainesville, Florida: University of Florida, 2006.
- [20] Kilani M. Evolution and the complexity of finite automata [J]. *International Game Theory Review*, 2007, 9(4): 731 – 743.
- [21] Vidal E, Thollard F, Higuera C, et al. Probabilistic finite-state machines: Part I [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(7): 1013 – 1025.
- [22] Srinivasan V, Mason C H. Nonlinear least squares estimation of new product diffusion models [J]. *Marketing Science*, 1986, 5(2): 169 – 178.

A study on market growth for new product based on finite state automata

WANG Feng, HUANG Min-xue

Economics & Management School, Wuhan University, Wuhan 430072, China

Abstract: The dynamic consumption process could be considered as state transition of finite state automata. Trial purchasing, word-of-mouth effect, repeat purchasing, customer attrition, and seasonality can influence the market growth for new product simultaneously. Combing all these factors, we develop a generalized market growth model based on finite state automata. This model is more relaxed and rich than the Bass model, service growth model, or trial-repeat model. Findings from five categories in China show that the forecasting effectiveness is greater than those of other three models. Our research could help firms to understand deeply the diffusion and growth patterns for new products and guide decision makings on marketing strategies.

Key words: word-of-mouth; customer attrition; re-purchase; seasonality; finite state automata