

创新扩散中广告投放效果的元胞自动机仿真

张 廷¹,高宝俊²,宣慧玉¹

(1.西安交通大学 管理学院,陕西 西安 710049;2武汉大学 经济与管理学院,湖北 武汉 430072)

摘 要:传统的研究方法忽略了消费者的差异,将其视为完全相同的个体,忽视了个体差异对产品扩散的速度和形态的重要影响,由此得到的结果并不能为厂商制定广告策略提供可靠的依据。元胞自动机作为一种空间、时间、状态完全离散的微观仿真模型,适用于扩散问题的研究。它从模拟个体行为入手,可以深入地刻画不同个体之间的差异,既可以得到扩散的宏观结果,也可以得到扩散的微观特征。通过仿真,论证了产品刚刚投放市场时应适当加大广告强度,而随着市场占有率的增加可以适当降低广告强度,这是一种最佳的广告策略;同时,得到了广告强度与市场占有率以及市场规模之间的量化关系。

关键词:广告;创新扩散;元胞自动机;仿真;市场营销

中图分类号:F713.8

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2009)01-0134-04

0 引言

Rogers 将扩散定义为,创新通过一段时间,经由特定的渠道,在社会系统成员中传播的过程^[1]。一项创新只有经过扩散,才可能被社会接受进而成为一项成功的产品,规模效应也才能体现出来,从而收到更好的社会经济效益。作为最主要的市场营销策略之一,广告对创新的扩散尤其重要,对广告问题的研究成为创新扩散及市场营销领域研究中的热点和难点。

Mansfield^[2]最先对创新扩散进行定量的模型化研究,此后出现了众多的扩散模型,其中,Bass^[3]模型及其他学者对该模型的改进(统称 Bass 模型族)是最有影响力的。这些模型建立数学方程对扩散过程进行描述和预测,可称之为宏观模型。但这类模型的不足之处在于它忽略了消费者的差异,将其视为完全相同的个体。现实中的消费者对广告等大众传播媒体和人际传播的选择偏好不同,个体属性的不同对产品扩散的速度和形态具有重要影响。数学模型的这一缺陷成为其最受非议之处,而以元胞自动机为代表的微观层面(Individual-level)的仿真模型在表达个体属性的差异方面具有相当的优势。

元胞自动机(Cellular Automata,简称 CA)是一种空间、时间、状态完全离散的微观仿真模型,上世纪中叶,由 John Von Neumann^[4]提出,被广泛应用于交通^[5]、金融^[6]、传染病^[7]、舆论传播^[8]等领域,是一种重要的复杂系统建模分

析工具。CA 能非常确切地描述现实中的传播现象,即“个体状态取决于邻居的状态,少数个体的状态逐步影响周围个体,由此引起了该状态的传播及扩散^[9]”,因此,它非常适用于创新扩散^[10,11]问题的研究。

1992年,Bhargava^[12]首次将 CA 应用于技术创新扩散的研究,从此,CA 在创新扩散领域得到越来越广泛的应用;Goldenberg^[13]建立创新扩散的异质 CA 模型,并研究了宏-微观模型参数之间的关系,Moldovan^[14]使用 CA 模型研究了负的内部因素对创新扩散的影响并提出解决措施,但以上二人均没有对广告的投放效果专门进行解释。本文建立一个创新扩散的异质 CA 模型,对其中广告的投放效果进行仿真研究。通过改变模型的参数研究了市场内部影响力、初始市场占有率、市场规模等各因素对广告投放效果的影响。

1 模型

为使研究的问题明确,提出以下假设:①市场中只有一种创新在传播;②市场潜在消费者数量不变,即假设一种创新一旦进入介绍期,则其市场潜量就已经是确定了的,并且在其整个生命周期中保持静态不变;③未接受创新的消费者可以选择该创新,已经接受创新的消费者在一定条件下也可能放弃该创新。

一个 CA 模型由 4 个基本要素组成:元胞、元胞空间、邻域及规则,接下来分别进行定义。

收稿日期:2007-08-16

基金项目:国家自然科学基金(70601023);中国博士后科学基金(20060390827)

作者简介:张廷(1982-),男,山东高唐人,西安交通大学管理学院博士研究生,研究方向为创新扩散的微观仿真;高宝俊(1976-),男,山西阳泉人,博士后,武汉大学经济与管理学院副教授,研究方向为金融市场的微观仿真;宣慧玉(1942-),女,浙江宁波人,西安交通大学管理学院教授、博士生导师,研究方向为系统仿真。

(1)元胞及元胞空间。使用 $L \times L$ 的二维均匀网格表示两种产品竞争扩散的市场,其中每个格子为一个元胞,代表扩散区域内的一个消费者,是 CA 模型最基本的元素。元胞 (i, j) 在 t 时刻的状态用一个有序数组 $S_{ij}^t = \{1, 0\}$ 表示, $S_{ij}^t = 1$ 表示消费者 (i, j) 在 t 时刻接受创新, $S_{ij}^t = 0$ 则表示未接受创新。

(2)邻域。与某一元胞(消费者)相邻的元胞组成的区域称为该元胞的邻域。二维 CA 模型最常见的邻域定义如图 1 所示,本模型采用摩尔邻域。

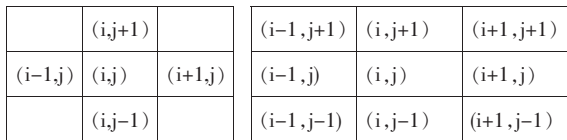


图 1 CA 模型的邻域类型

(3)规则。元胞根据邻域状态决定下一时刻状态。本模型中规定:当中心元胞的邻居中接受创新的元胞数量,多于未接受创新的元胞数量时,该中心元胞接受创新,反之则放弃创新,如果邻居中二者数量相等则保持原状态。得到规则 1 如下:

$$N_{(i,j)}^t(S=1) - N_{(i,j)}^t(S=0) \geq 2, \text{ 则 } S_{i,j}^{t+1} = 1;$$

$$N_{(i,j)}^t(S=0) - N_{(i,j)}^t(S=1) \geq 2, \text{ 则 } S_{i,j}^{t+1} = 0;$$

$$N_{(i,j)}^t(S=0) - N_{(i,j)}^t(S=1) = 0, \text{ 则各自状态保持不变。}$$

其中 $N_{(i,j)}^t(\cdot)$ 为 t 时刻元胞 (i, j) 的邻域中满足条件 (\cdot) 的邻居个数。且有 $N_{(i,j)}^t(S=1) + N_{(i,j)}^t(S=0) = 8$, 容易看出 $N_{(i,j)}^t(S=1) - N_{(i,j)}^t(S=0) \geq 2$ 等价于 $N_{(i,j)}^t(S=1) > N_{(i,j)}^t(S=0)$, 此时的规则即为不包含广告的多数规则,也是一种确定型规则。

在模型中加入广告效应,引入参数 $h \in [0, 1]$, 实际意义为厂商采取的广告强度。规定:若一个消费者的邻居中未选择创新者多于选择创新者,则该消费者以概率 h 接受创新,以概率 $1-h$ 不接受创新;若其邻居中二者数量相等,则未接受创新的消费者以概率 h 接受创新,已接受创新的消费者保持状态不变。显然,参数 h 越大,说明厂商的广告力度越大,反之亦然。由此将以上规则修改,得到规则 2:

$$N_{(i,j)}^t(S=1) - N_{(i,j)}^t(S=0) \geq 2, \text{ 则 } S_{i,j}^{t+1} = 1;$$

$$N_{(i,j)}^t(S=0) - N_{(i,j)}^t(S=1) \geq 2, \text{ 则以概率 } h \text{ 有 } S_{i,j}^{t+1} = 1, \text{ 以概率 } 1-h \text{ 有 } S_{i,j}^{t+1} = 0;$$

$N_{(i,j)}^t(S=1) - N_{(i,j)}^t(S=0) = 0$, 当 $S_{i,j}^t = 0$ 时,以概率 h 有 $S_{i,j}^{t+1} = 1$, 当 $S_{i,j}^t = 1$ 时,有 $S_{i,j}^{t+1} = 1$ 。

显然,规则 1 是规则 2 在 $h=0$ 时的特例。

2 仿真结果

模型在 $L \times L$ 的网格中运行,采用循环边界条件,初始接受者所占的比例,用 n_0 表示,显然 $n_0 \in [0, 1]$, 初始采用者均匀分布于网格上。 $P(t)$ 为 t 时刻创新采用者所占的比例,称为创新采用率。模型有 3 个主要参数:

L : 模型网格的规模,表示潜在市场的大小;

n_0 : 在 $t=0$ 时刻系统中值为 1 的元胞所占的比例,也就是系统中产品的初始市场占有率, $n_0 \in [0, 1]$;

h : 广告的投放强度。

对 3 个参数的一组取值进行仿真,为消除随机干扰对实验的影响,每组组合仿真 100 次,每次仿真运行至稳态,直到创新采用率 $p(t)$ 趋于稳定,其中一种极端情况为创新全占市场,即 $P(\infty) = 1$ 。定义 M 为 100 次仿真中 $P(\infty) = 1$ 的比例,则 M 为 L, h 和 n_0 的函数,记为 $M(L, h, n_0)$ 。

2.1 没有广告的情形

取 $L=50, h=0$, 此时模型的规则是确定型的规则 1, 仿真结果只与初始市场占有率有关。创新完全占领市场以及完全被排挤出市场的概率如图 2 所示,完全占领市场的概率即为 $M(50, 0, n_0)$, 完全被排挤出市场的概率为 $M'(50, 0, n_0)$, 即 100 次仿真中 $P(\infty) = 0$ 的比例。

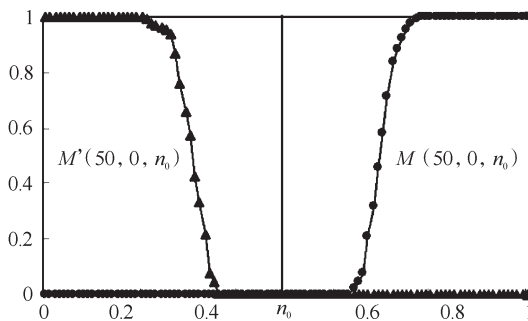
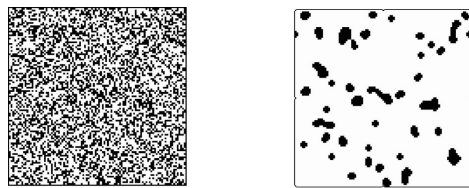


图 2 $L=50, h=0, M(50, 0, n_0)$ 与 $M'(50, 0, n_0)$ 的曲线

此种情况下,选择创新与放弃创新两种观点势均力敌,从图 2 中显然可见, $M(50, 0, n_0)$ 与 $M'(50, 0, n_0)$ 以 $n_0 = 0.5$ 为轴对称。即使初始选择者超过一半,仍然有 $M(50, 0, n_0) = 0$, 当 $n_0 = 0.65$ 时,创新才以一定的概率全占市场,该概率随 n_0 变大而变大,当 $n_0 \geq 0.79$ 时有 $M(50, 0, n_0) = 1$ 。同样,当 $n_0 \leq 0.21$ 时,创新以概率 1 被完全排挤出市场,当 $n_0 \geq 0.37$ 时, $M'(50, 0, n_0) = 0$, 说明完全不可能被排挤出市场了。结合两曲线可见,当 $0.37 \leq n_0 \leq 0.65$ 时,有: $M(50, 0, n_0) = M'(50, 0, n_0) = 0$ 。

说明在此区域内,创新独占市场以及从市场中消失的概率均为 0,也就是说在此取值范围内,创新部分占领市场,取 $n_0 = 0.5$ 进行仿真,演化结果如图 3 所示:



a 仿真初始时均匀分布于网格上 b 仿真终止时产生聚集

图 3 $L=50, h=0, n_0=0.4$ 的程序演化

注:黑色代表创新采用者,白色代表未采用者。

初始状态有 40% 的创新采用者,当仿真进入稳态时,只有 10% 的消费者选择采用创新,而且这些采用者不再是均匀分布于网格上,而是产生了明显的聚集。在 $0.37 \leq n_0 \leq 0.65$ 的范围内,改变初始采用者的比例,总有可能产生这种聚集行为。结合现实说明这样一种现象:不同产品针对的目标市场不同,例如低价甚至过时的产品可能针对

的是农村市场,仍然有一定的生存空间。这种结果也说明本模型可以很好地再现创新扩散的“微观上的扩散,宏观上的聚集”的具体特征,适用于研究此类扩散问题。

2.2 有广告的情形

取 $L=50, h$ 和 n_0 的取值范围均为 $[0,1]$, 步长设定为 $0.01, h$ 和 n_0 取其取值范围内任意一组组合分别进行仿真。两参数均有 101 个不同取值, 这样便有 101×101 种不同组合, 得到 101×101 个 M 值。图 4 为函数 $M(50, 0, n_0)$ ($h \in [0, 0.14], n_0 \in [0, 1]$) 的曲面图。观察结果发现, 当参数 $h > 0.14$ 时, 无论 n_0 取值如何, P 均等于 1, 也就是说, 厂商的广告强度达到 0.14 时, 肯定可以独占市场。但并非必须达到 0.14 才可以独占市场, 为了节约广告成本, 需要尽量降低广告强度。因为市场占有率 n_0 容易获得, 针对不同的 n_0 , 如何以最低的广告强度达到独占市场的目的才是厂商关心的问题, 因此 $h \in [0, 0.14]$ 才是厂商关心的区域。

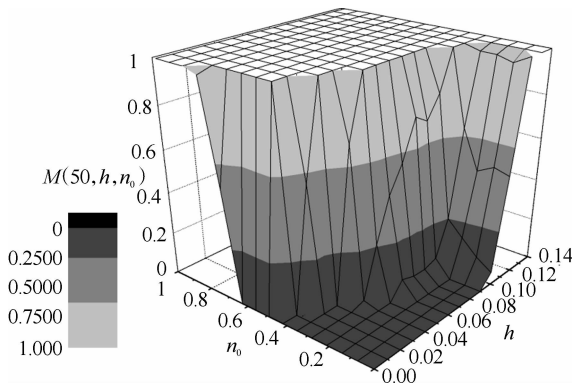


图 4 函数 $M(50, 0, n_0)$ ($h \in [0, 0.14], n_0 \in [0, 1]$) 的曲面图

分别对图 4 的 h 轴和 n_0 轴做数据剖面:
(1) 对 h 轴做剖面, 对于一定的广告强度 h , 可以找到 n_0^* 使:

$$M(50, h, n_0) = 1 \text{ (当 } n_0 \geq n_0^* \text{)}$$

$$M(50, h, n_0) < 1 \text{ (当 } n_0 < n_0^* \text{)}$$

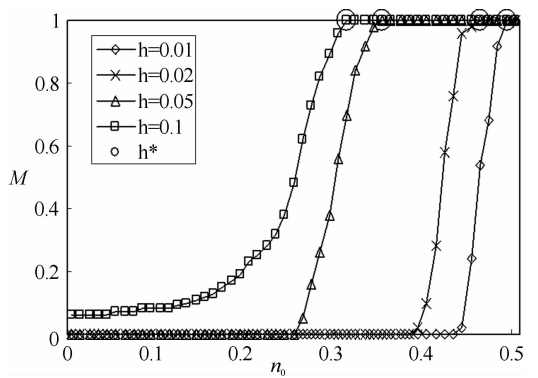
(2) 对 n_0 轴做剖面, 对于一定的初始占有率 n_0 , 可以找到 h^* 使:

$$M(50, h, n_0) = 1 \text{ (当 } h \geq h^* \text{)}$$

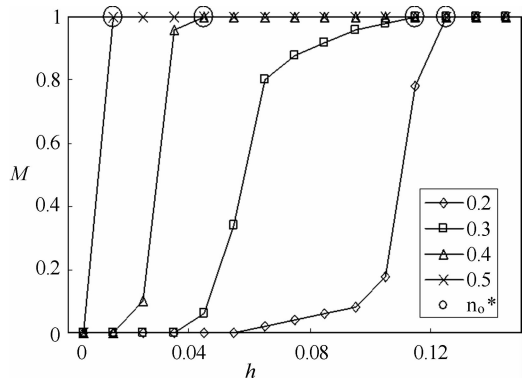
$$M(50, h, n_0) < 1 \text{ (当 } h < h^* \text{)}$$

图 5(a) 为 $h=0.01, 0.02, 0.05, 0.1$ 时 h 轴的剖面, 有圆圈的数据点对应的即为 n_0^* , 显然, 随 h 不断增大, n_0^* 不断减小。当 h 增大到 0.14 时, 即使是进入一个全新市场 ($n_0=0$), 产品也可以最终达到独占。当没有广告时, 至少需要 $n_0=0.79$ 创新才可能独占市场, 说明广告在一个创新的扩散过程中起到非常重要的作用, 广告强度越大越有利于创新的扩散。但广告强度的增加也会增加成本, 需要寻找合适的广告强度。图 5(b) 为 $n_0=0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ 时 n_0 轴的剖面, 有圆圈的数据点对应的即为 h^* , 同样, 随着 n_0 的增大, h^* 也不断减小, 说明当产品逐步提高市场占有率之后, 独占市场所需要的广告强度也不断降低。Horsky 和 Leonard 曾经在论文中指出, 在产品初入市场时可以增加广告力度, 随着产品使用者的增加, 可以适当降低广告力度^[15], 本模型得到的结果验证了这一结论。根据这些数据, 厂商可以根据创新当前

的市场占有率调整广告投入力度。



(a) 对 h 轴



(b) 对 n_0 轴

图 5 对图 4 的数据剖面

除了广告的影响, 市场规模对扩散的影响也是非常显著的。从图 6 可以看出: 当 $h=0$ 时, 随市场规模的变大, 对应的 n_0^* 不断增加, 说明在没有广告的情形下, 越在规模大的市场下, 创新独占市场需要的初始占有率越高; 当 $h > 0$ 时, 情况恰恰相反, 随市场规模的变大, 相同的广告强度对应的 n_0^* 却在不断减少。 $L=30, 50, 70, 100, 300$ 的 5 条曲线相交于 $h=0$ 及 $h=0.002$ 之间, 将这区间的情况放大后如图 6 中的小图所示, 可见 5 条曲线的交点处于 $h=0$ 及 $h=0.002$ 之间, 说明在有无广告的情况下, 市场规模对创新扩散的影响孑然不同。

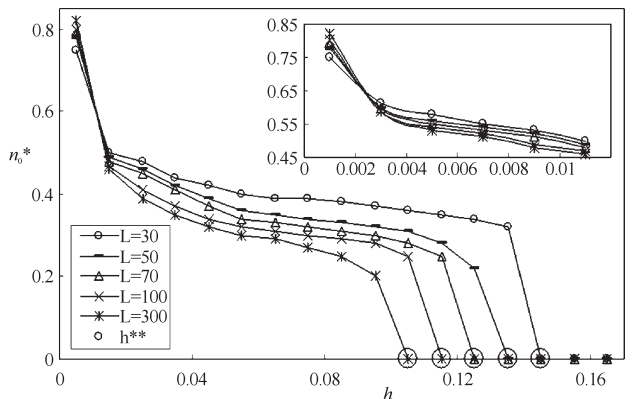


图 6 $L=30, 50, 70, 100, 300$ 时, h 对 n_0^* 的数据折线图

图 6 中圆圈的数据为当 $n_0^*=0$ 时对应的广告强度, 记为 h^* , 将不同的市场规模对应的 h^* 描绘在一个坐标系中, 横坐标使用市场规模对数的倒数, 如图 7 所示。经过线性回归得到, 当市场规模趋于无穷时, 即横坐标趋于零时,

h^{**} 为 0.0557。由此可知,当市场规模足够大时,广告影响程度只要达到 5.57%即可使一种创新在进入一个全新市场后逐步完全占领该市场。

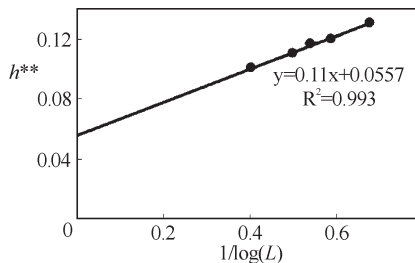


图 7 h^{**} 与 $1/\log(L)$ 的线性回归

3 结论

本文用 CA 这样一个时间、空间、状态均离散的仿真模型,研究了广告对创新扩散结果的影响。模型不仅再现了“微观上的扩散,宏观上的聚集”这一扩散的具体特征,而且通过调整参数,揭示了广告强度与扩散结果之间的关系。得到的结果为厂商在目标市场选择合适的广告强度提供参考,使得厂商既可以使产品尽量提高占有率,又不必盲目地增加广告投入,节约成本。本文还研究了市场规模的变化对广告效果的影响,发现无广告的情形下,市场规模越大,创新越难以独占市场;而有广告的情形下恰恰相反,当市场规模无限大时,广告强度只要达到 0.0557,创新即可以独占市场。

参考文献:

- [1] ROGERS E M. Diffusion of Innovations [M].New York: The Free Press, 1995:1-5.
- [2] MANSFIELD,E.Technological Change and the Rate of Imitation[J]. Econometrica, 1961, 29(10): 741-766.
- [3] BASS F M. A New Product Growth for Model Consumer Durables[J]. Management Sciences, 1969, 15 (5):215-227.

- [4] NEUMANN J V. Edited by Burks A. W. Theory of Self-Reproducing Automata [M].Urbana: University of Illinois Press, 1966.
- [5] WOLF D E. Cellular Automata for Traffic Simulations [J]. Physica A, 1999(263)(1-4): 438-451.
- [6] HAKMAN A W, ANDREW H, PETER D. Autonomous Agent Models of Stock Markets [J]. The Artificial Intelligence Review, 2002, 17(2): 87.
- [7] FUENTES M A, KUPERMAN M N. Cellular Automata and Epidemiological Models with Spatial Dependence [J]. Physica A, 1999(267)(3-4): 471-486.
- [8] 肖海林,邓敏艺,孔令江,等.元胞自动机舆论模型中人员移动对传播的影响[J].系统工程学报,2005,20(3): 225-231.
- [9] 宣慧玉,高宝俊,著.管理与社会经济系统仿真[M].武汉:武汉大学出版社,2002:98-113.
- [10] 龚晓光,黎志成.基于多智能体仿真的创新市场扩散研究[J].系统工程理论与实践,2003(12):59-62.
- [11] 廖志高,徐玖平.技术创新横向扩散的元胞自动机模型及实证分析[J].科技管理研究,2004(2):35-39.
- [12] BHARGAVA,S. C.KUMAR,ARUN,et al. A Stochastic Cellular Automata Model of Innovation Diffusion[J]. Technological Forecasting and Social Change, 1992(44):87-97.
- [13] GOLDENBERG J, BARAK L,EITAN M.Using Complex Systems Analysis to Advance Marketing Theory Development: Modeling Heterogeneity Effects on New Product Growth through Stochastic Cellular Automata[J].Academy of Marketing Science Review, 2001(9):1-18.
- [14] MOLDOVAN S,GOLDENBERG J.Cellular Automata Modeling of Resistance to Innovations: Effects and Solutions [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2004 (71):425-442.
- [15] HORSKY D,LEONARD S S. Advertising and the Diffusion of New Product[J]. Marketing Science, 1983, 2 (1): 1-17.

(责任编辑:万贤贤)

Simulate the Effects of Advertising on the Diffusion of Innovation with Cellular Automata

Zhang Ting¹, Guo Baojun², Xuan Huiyu¹

(1.School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2.School of Economics and Management Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Classical research methods ignored all the difference between the consumers, but it's quite the contrary that the difference between the consumers has an important influence of the diffusion speed and pattern. The paper examines the effects of advertising on the diffusion process of the innovation by Cellular Automata model. CA model could simulate the individuals' behavior, and describe the difference between the individuals. By simulations, it received the relationship between the advertising strength and the sales, market size. It also demonstrates that the optimal advertising policy is to advertise heavily when the innovation is introduced and reduce the level of advertising as sales increasing.

Key Words: Advertising; Diffusion of Innovation; Cellular Automata; System Simulation; Marketing