

双层网络效应下众筹平台上新产品扩散

周冬梅^{1†}, 陈婷², 赵闻文¹, 鲁若愚¹

(1. 电子科技大学 经济与管理学院, 成都 610054; 2. 电子科技大学 计算机科学与工程学院, 成都 610054)

摘要: 基于创新扩散理论分析在由线下网络与线上网络构成的双层网络效应下, 众筹支持者中充当“创新代理人”的群体如何利用集群形成帮助众筹发起者实现新产品从早期少数采纳者到早期多数者的跨越扩散过程. 同时基于传染病模型, 建立众筹平台的双层网络 O-SCI₂R 模型, 并运用 Matlab 对“创新代理人”的数量和影响力对线上/线下创新扩散的影响、“创新代理人”对簇内创新扩散的影响以及簇对线上/线下创新扩散的影响进行模拟仿真. 研究结论显示:“创新代理人”数量越多, 线上/线下创新扩散越快;“创新代理人”影响力越大, 线上/线下创新扩散越快;“创新代理人”不仅促进了簇内的创新扩散, 也扩大了簇群间的创新扩散; 围绕“创新代理人”形成的簇在最初短时间内促进了线上/线下创新扩散, 但并不能决定后期的创新扩散.

关键词: 众筹平台; 创新扩散; 双层耦合网络; 创新代理人; 簇群; O-SCI₂R 模型

中图分类号: C939

文献标志码: A

Research on new product diffusion on 2-layer networks of crowdfunding platform

ZHOU Dong-mei^{1†}, CHEN Ting², ZHAO Wen-wen¹, LU Ruo-yu¹

(1. School of Economics and Management, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 2. School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Based on the innovation diffusion theory, the paper analyzes how the “innovation agents” groups in crowdfunding backers can use the cluster formation to help entrepreneurs to achieve the new products diffusion process from early adopters to early majority in crowdfunding platform, which is the 2-layer coupling network composed of online network and offline network. A 2-layer network O-SCI₂R model is established based on epidemic models, and simulations are conducted using Matlab to study the impact of the number and the influence power of “innovation agents” on innovation diffusion across online and offline, the impact of “innovation agents” on innovation diffusion within clusters, and the impact of clusters on innovation diffusion across online and offline. The research results include: (1) the more “innovation agents” participate in crowdfunding, the faster the innovation diffusion is, (2) the greater influence power the innovation agent processes, the faster the innovation diffusion spreads online and offline, (3) the “innovation agents” not only promote the innovation diffusion within the clusters, but also expand the innovation diffusion between clusters, and (4) clusters formed around the “innovation agents” can promote the innovation diffusion in the early stage and for a short term, but are not determinants for innovation diffusion over the long term.

Keywords: crowdfunding platform; innovation diffusion; 2-layer coupled networks; innovation agent; cluster; O-SCI₂R model

0 引言

埃弗雷特·罗杰斯认为, 创新扩散总是借助一定的社会网络进行的. 在创新向社会推广和扩散的过程中, 信息技术能够有效地提供相关的知识和信息; 但在说服人们接受和使用创新成果时, 人际交流则

显得更为直接有效^[1]. 作为汇集了先进的信息技术与传统的人际关系的新平台, 众筹平台跨越了线下和线上的双层网络, 使创新扩散处于一种更加复杂的网络环境中^[2-3]. 它突破了传统创新中的组织壁垒, 使创新的扩散从单一传统途径拓展到更广阔的网络环

收稿日期: 2017-06-16; 修回日期: 2017-11-10.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71602018); 四川省软科学项目(2016ZR0121).

责任编委: 王光臣.

作者简介: 周冬梅(1980—), 女, 讲师, 博士, 从事创业管理的研究; 鲁若愚(1959—), 男, 教授, 博士, 从事技术创新、科技创新与创业管理、服务管理等研究.

[†]通讯作者. E-mail: zhoum@uestc.edu.cn

境^[4]. 众筹平台所跨越的双层网络可以理解为“实体组织关系的虚拟化”和“网上虚拟关系的落地化”, 具体含义如下:线上网络代表以众筹平台为核心、以互联网为载体所形成的社会网络关系,包括众筹平台、微博、微信、QQ空间等社交媒体;线下网络指的是在现实世界中,物理接触的个体以及之间连接的集合,其中每个个体可以用结点来表示,而这些结点之间的连边代表的是社会网络中个体与个体之间的面对面交流. 本文基于创新扩散理论分析在双层网络效应下,新产品信息是如何在众筹平台中进行流动的,“创新代理人”又是如何利用簇群帮助众筹发起者的新产品从只有少数的早期支持者到获得多数、广泛的早期多数者的支持. 本文基于传染病模型建立众筹平台的双层网络O_SCI₂R模型,并运用Matlab进行仿真的环境模拟,以探索创新扩散的内在影响因素.

1 研究假设

埃弗雷特·罗杰斯在《创新的扩散》中指出创新采纳者分为5类:创新者、早期采纳者、早期多数者、晚期多数者和迟钝者. 当新想法在这些不同的人群中进行扩散时,他提出了两种创新扩散模型:第1种是皮下注射型扩散模型;第2种是两步流程扩散模型^[1]. 本文更倾向于第2种扩散模型,即信息是从信息源通过媒体渠道传播到观念领导者,然后再由观念领导者将这些信息传递给他们的追随者. 在众筹平台上,众筹支持者中的一部分有影响力的支持者充当了“创新代理人”(即观念领导者)的角色,发挥“桥梁”作用并连接线上网络与线下网络,及时帮助众筹发起者进行初期的创新扩散. 整个过程中,众筹平台作为创新扩散的主要媒体渠道,容纳尽可能多的“观念领导者”,帮助新产品在扩散中跨越断层,及时让新产品信息从早期采纳者阶段向早期多数者阶段扩散. 本文基于众筹平台本身所包含的双层网络效应作如下假设:

1) 众筹平台上参与人群主要包括创新者、早期采纳者和早期采纳人群. “众筹支持者”是众筹平台上项目的早期采纳者,根据他们对项目的兴趣和自身的影响力,本文将这部分人群分为“创新代理人”(S)和“普通众筹支持者”(C)两类. “早期采纳人群”(I)是继众筹支持者后的主要扩散人群,这一群体基数较大,包括线上和线下的人群.

2) 众筹支持者在众筹中发挥着积极作用,其中以部分充当“创新代理人”的支持者尤其突出^[5]. 但是并非所有的众筹支持者都可以充当“创新代理人”的

角色,与其他普通众筹支持者相比,“创新代理人”具有如下几个特点^[3]:他们会更积极、广泛地参与到众筹活动中;他们掌握更多与创新有关的知识;他们有广泛的人际关系和一定的社会影响力,可以扮演“连接者”的角色.

3) 众筹平台的新产品扩散是在多种网络应用共存的开放性环境中. 在众筹平台同层网络中或两层耦合网络间,会形成不同网络簇群,同一簇内创新扩散迅速,不同簇之间扩散缓慢,簇结构的形成实际是创新扩散的过程.

2 模型构建

2.1 相关定义

在建立模型之前,首先说明模型中数学符号的含义,如表1所示.

表1 O_SCI₂R创新扩散模型中符号及含义

符号	符号的含义
δ_{on}	普通支持者(C)线上扩散创新的概率
δ_{off}	普通支持者(C)线下扩散创新的概率
β_{on}	早期采纳人群(I)线上扩散创新的概率
β_{off}	早期采纳人群(I)线下扩散创新的概率
tr_{i-on}	借助众筹平台进行社交的用户在线上网络的信任度
tr_{i-off}	现实世界中,物理接触的个体在线下网络的信任度

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\xi(t)S, \\ \frac{dC(t)}{dt} = \xi(t)S - (\delta_{on} + \delta_{off})C, \\ \frac{dC(t)}{dt} = \delta_{on}C - \beta_{on}I_{on}, \\ \frac{dC(t)}{dt} = \delta_{off}C - \beta_{off}I_{off}, \\ \frac{dC(t)}{dt} = I_{on}(t) + I_{off}(t). \end{cases} \quad (1)$$

其中: $S(t)$, $C(t)$, $I(t)$ 分别表示t时刻创新代理人、普通支持者、早期采纳人群的数量; $I_{on}(t)$, $I_{off}(t)$ 分别表示线上、线下的早期采纳人群的数量,共同组成早期采纳人群 $I(t)$; $\xi(t)$ 表示“创新代理人”接受创新的概率. 本文将众筹用户抽象为网络中的结点,通过 $P(K)$ 表示各结点度的散布情况. 假设扩散系统具有明显的小世界网络特性,认为 $P(K)$ 服从指数分布,其中 $\langle k \rangle$ 为网络中结点的平均度.

$$\xi(t) = \frac{\sum_k kP(k)I(k,t)}{\langle k \rangle}. \quad (2)$$

2.2 创新的簇内扩散过程

Raghavan等在2007年提出了标签传播算法(Label propagation algorithm, LPA)^[6],其基本思想类

似传染病模型, 结点标签将按照指定的规则进行扩散, 并进行迭代更新. 在该算法中, 结点的标签更新取决于其邻居中出现最频繁的标签. 为突出扩散过程中“创新代理人”影响力的作用, 本文以网络中结点拓扑结构和结点影响力为依据, 计算扩散概率, 选择最大概率更新标签.

2.2.1 改进的LPA主要思想

众筹平台中, 创新扩散者的影响力取决于其线上线下的好友关系网. 本文采用指标KSCC(*K*-shell and community centrality in coupled networks)^[7]衡量结点在整个扩散系统的影响力, 某结点*i*的KSCC值计算如下:

$$\text{KSCC}(i) = \alpha[\text{tr}_{i-\text{on}}] + \beta\rho^{|\text{AB}|}[\text{tr}_{i-\text{off}}]. \quad (3)$$

其中: α, β 分别表示结点*i*在线上、线下网络信任度的影响因子, 且满足 $\alpha > 0, \beta > 0, \alpha + \beta = 1$; $\rho^{|\text{AB}|}$ 表示创新扩散模式, $-1 \leq \rho^{|\text{AB}|} \leq 1$, 本文默认设定为1. 在双层网络中, “创新代理人”在创新扩散方面具有更强的主动性, 这主要体现在其具有较强的标签扩散能力以及较弱的接受能力, 故作如下定义.

定义1 扩散特性 τ : 度量标签从结点*j*到结点*i*的扩散特性

$$\tau_{i \leftarrow j} = \frac{\log(1 + \text{KSCC}(j))}{\log((1 + \text{KSCC}(i)) \times (1 + \text{KSCC}(j)))}. \quad (4)$$

为保证社团划分的合理性, 需满足某个节点与其大多数邻居节点在同一类, 表示为结点*i*和*j*的结构属性, 即结点*i, j*的关系程度

$$\text{Sim}_{i,j} = \frac{|\Gamma(i) \cap \Gamma(j)|}{\sqrt{\Gamma(i) \times \Gamma(j)}}, \quad (5)$$

其中 $\Gamma(i), \Gamma(j)$ 分别表示结点*i, j*的邻居结点集.

定义2 标签扩散概率: 结点*j*的标签以概率 $P(i \leftarrow j)$ 扩散到结点*i*, 即众筹用户*i*通过其与*j*的关系程度 $\text{Sim}_{i,j}$ 以及扩散特性 $\tau_{i \leftarrow j}$ 来评估是否采纳由*j*扩散的创新, 即

$$P(i \leftarrow j) = \text{Sim}_{i,j} \times \tau_{i \leftarrow j}. \quad (6)$$

2.2.2 双层网络的簇内扩散过程

利用上节改进的LPA算法可快速检测分析单层网络存在的簇结构, 且各簇内部结点连接紧密, 代表一组经常交流来往的个体(因篇幅所限, 基于LPA的社团划分算法步骤在此不详细描述). 而在众筹平台双层网络下的扩散中, 围绕“创新代理人”将形成不同网络簇群. 相比单层网络簇结构更为复杂, 且难以直接使用现有聚类算法进行簇划分. 为解决

以上问题, 本文假设线上网络A中每个结点与线下网络B的结点一一对应, 即它们属于同一个个体, 分别处于不同的网络层中, 如图1(a)所示. 基于这一假设条件, 本文利用抽象映射方法将双层网络拓扑结构转化为单层扩展拓扑图, 具体方法如下: 1) 构建O_SCI₂R的抽象映射图G, 利用标签传播算法对线下网络进行簇划分, 借鉴基于贪婪算法思想(CNM)的凝聚算法^[8], 将簇结构凝聚成一个虚拟结点, 如图1(b)所示, 其虚拟结点 c_1, c_2, c_3, c_4 分别对应于图1(a)的簇 c_1, c_2, c_3, c_4 ; 2) 图G中每条边对应O_SCI₂R中两个簇的一条链路, 根据O_SCI₂R原始连接关系, 在两个虚拟结点之间分配Type-1和Type-2类型的连接, Type-1表示簇之间存在线上交流, Type-2表示簇之间存在线下接触.

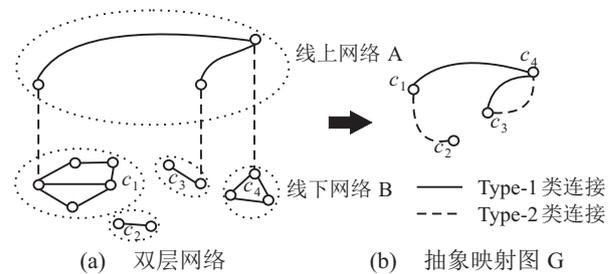


图1 双层网络的抽象映射图G

创新的簇内扩散通常以“创新代理人”为核心, 沿着边并发性地扩散到线上线下的用户. 而“普通支持者”(C)位于“创新代理人”(S)和“早期采纳人群”(I)之间, 具有承上启下的独特作用. 因此, 其是否扩散创新以及是通过线上还是线下扩散取决于所处的簇群, 即簇中成员数量*D*, 以及簇中“创新代理人”数量*DI*, 则“普通支持者”(C)的线上/线下扩散概率计算如下:

$$\delta_{\text{on}}(t) = \sigma_1 \times \left(\frac{DI}{D}\right)^2, \quad (7)$$

$$\delta_{\text{off}}(t) = \sigma_2 \times \left(\frac{DI}{D}\right)^2. \quad (8)$$

其中 σ_1, σ_2 分别表示抽象映射图G中Type-1、Type-2连线所占比重.

3 仿真与讨论

创新扩散伴随着簇的形成, 为研究分析该过程中影响创新扩散的因素, 本文使用Matlab对O_SCI₂R模型在结点平均度(*k*)均为5的线上线下网络进行仿真实验. 以“新增创新扩散采纳者数量”为纵轴, “创新扩散时间步长*t*”为横轴, 通过改变参数取值, 在平面二维坐标系中可以看到“创新代理人”数量、“创新代理人”影响力、簇对创新扩散的影响. 首先对模型中各项参数进行设定: 随机选择一个结点作为创

新源,线上线下信任度影响因子分别为 $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$,平均簇规模 $D = 45$,Type-1、Type-2连线比重分别为 $\sigma_1 = 0.6, \sigma_2 = 0.4$,各扩散率 $KSCC \approx 0.2, 0.5, 0.8$.

3.1 创新代理人数量对线上/线下创新扩散的影响

为分析“创新代理人”数量对双层网络创新扩散的影响,图2展示了随着时间的变化,不同数量“创新代理人”($S = 150, S = 300, S = 450$)对新增创新扩散采纳者数量的影响。

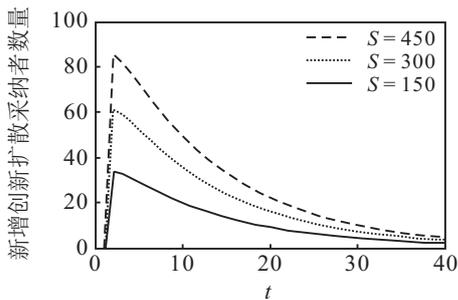


图2 “创新代理人”数量对创新扩散的影响

由图2可以发现,各方案曲线拐点几乎一致,说明无论“创新代理人”数量多少,创新都将在一定时间范围($1 < t < 3$)内急剧爆发式地扩散,且可明显发现,这期间“创新代理人” S 数量越多,初期新增的创新扩散采纳者数量越多,创新扩散成员数量增加的速度越快;在 $t \approx 3$ 时刻,增加的采纳成员数量达到峰值,且初始值 $S = 450$ 下新增的创新采纳成员数量约为 $S = 150$ 的3倍,可见初期新增创新扩散成员数量与早期“创新代理人”存在正相关;在 $t > 3$ 时,新增采纳创新的人数逐渐减少,创新扩散速度开始变得缓慢,直至停止增加,保持最终采纳者数量稳定不变,但后期新增采纳者数量依旧保持与早期“创新代理人” S 的正相关关系.早期“创新代理人”数量的增加,不仅加快了初期扩散速度,还使得采纳者数量成倍增加,一定程度上扩大了创新扩散的影响力。

3.2 创新代理人影响力对线上/线下创新扩散的影响

为分析“创新代理人”影响力对众筹平台下创新扩散的影响,在双层扩散网络 $S = 150$ 下,设定“创新代理人”平均影响力 $S = 150, 300, 450$,为消除其他影响,其余参数保持初始设定值,观察新增创新扩散采纳者数量与扩散时间的关系。

从图3可看出,新增创新扩散采纳者数量在任何扩散阶段均随着 $KSCC$ 增大而增加,符合实际扩散规律,由于创新扩散者影响力将成为潜在采纳者是否接

收该创新的判断条件之一,影响力越大的“创新代理人”越受到线上线下网络用户的认可,越能吸引或劝说系统内成员采纳创新.因此,结合仿真结果可以发现“创新代理人”影响力越大,越能促进创新在线上线下网络的扩散.同时对比图2可以发现, $KSCC$ 值和“创新代理人” S 值均不会影响曲线拐点,进一步验证了无论外界条件如何,创新将在一定时间范围内急剧爆发式扩散,因而需要合理掌控这段时间,确保创新成功扩散。

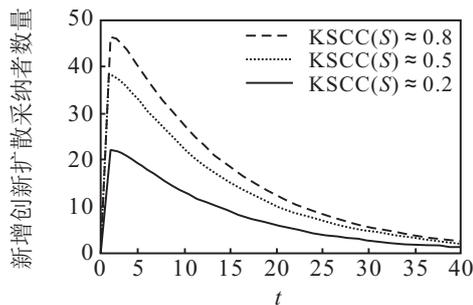


图3 “创新代理人”的影响力对创新扩散的影响

3.3 创新代理人对簇内创新扩散的影响

“普通支持者”(C)往往是“创新代理人”发展起来的较早支持者,因而C类成员是系统内与“创新代理人”关系最紧密最直接的一类,且直接围绕“创新代理人”形成不同的簇群,因此通过新增C类成员数量随扩散时间 t 的变化情况分析“创新代理人”对簇内创新扩散的影响.分别设置早期“创新代理人” $S = 150, 300, 450$,为消除其他影响,其余参数保持初始的设定值。

从图4可以发现,相比于图2和图3,新增C类成员达到饱和点的时间周期较短,基本控制在扩散前期,符合之前对其的定义——“较早的支持者”.同时,可以发现C类采纳者与扩散时间呈“钟型曲线”关系,在簇形成初始阶段,C类成员数量急剧增加,并且 S 越大,新增C类成员越多,扩散速度越快.均在相同时间点达到峰值,过后曲线开始下滑,新增支持创新的C类成员开始减少,但该阶段的 S 成员数量与簇内新增C类成员数量依旧保持相关关系.相同条件

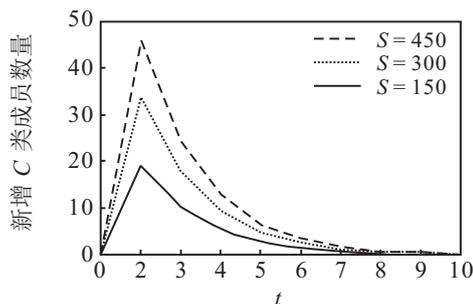


图4 “创新代理人”对簇内创新扩散的影响

下,“创新代理人”的数量越多,簇内的创新扩散效果越好,这表明簇内包含的“创新代理人”越多,越能在早期吸引更多的潜在C类采纳者接受创新,以扩大创新扩散范围.由图4的时间节点可以发现,“创新代理人”在簇内快速扩散创新的时间段与创新扩散爆发式增长时间段高度吻合,意味着“创新代理人”早期扩散效果在整个扩散过程中起着极其重要的作用.

3.4 簇对线上/线下创新扩散的影响

创新扩散过程中所形成的网络簇群主要体现在簇内成员数量与簇内“创新代理人”数量的不同,考虑本文着重分析“创新代理人”的作用,这里的簇群由其包含“创新代理人”数量加以区分,且这样的簇结构将作用于早期采纳人群数量的变化,因此将分析簇对线上线下创新扩散的影响转换为分析早期采纳人群与扩散时间的关系.首先,假定双层网络映射的簇规模 $D = 45$,设置簇内“创新代理人”数量DI分别为5, 15, 25,为消除其他影响,其余参数保持初始设定值.

从图5可看出,DI = 15, 25对应曲线趋势基本一致,类似“钟型”曲线,而DI = 5对应曲线与DI = 15, 25截然不同,一直保持缓慢增长趋势.在 $1 < t < 15$ 时间段内,均保持DI越大,形成新增的早期采纳人群数量越多的态势;而 $15 < t < 50$ 时间段内,这种正相关关系被打破,DI最小的反而扩散效果更好,采纳者数量一直保持增长趋势.研究表明,围绕“创新代理人”形成的簇在某种程度上促进了线上/线下创新扩散,但是这种积极影响力只是停留在最初较短的时间内,并不能决定后期的创新扩散.

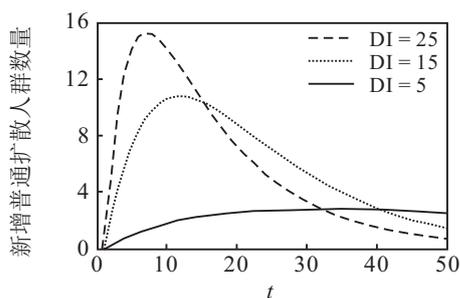


图5 簇对线上/线下创新扩散的影响

4 结论

本文基于标签传播聚类算法模拟了众筹平台上创新扩散的内在分簇现象,诠释了在开放的众筹平台下新产品信息扩散的过程,并挖掘了众筹平台下创新扩散的影响因素.本研究不但为此类问题提供了一种新的视角、方法和途径,同时也向众筹发起者用客观真实的量化结果展示了众筹过程中新产品信息扩散的内在路径及影响因素,帮助他们制定更加有效的众筹策略和激励政策.但本研究中的相关数据只是简单模拟的结果,与真实的网络创新扩散存在一定差异,这也为后续的研究提出了新的要求.

参考文献(References)

- [1] Rogers E M. Diffusion of innovations[M]. Beijing: Central Compilation and Translation Press, 2002: 14-16.
- [2] Stanko M A, Henard D H. Toward a better understanding of crowdfunding, openness and the consequences for innovation[J]. Research Policy, 2017, 46(4): 784-798.
- [3] Claudia S, Brock S, Eleanor S. Embracing digital networks: Entrepreneurs' social capital online[J]. J of Business Venturing, 2017, 32(1): 18-34.
- [4] Blakley C D, Keith M H, Justin W. Funders' positive affective reactions to entrepreneurs' crowdfunding pitches: The influence of perceived product creativity and entrepreneurial passion[J]. J of Business Venturing, 2017, 32(1): 90-106.
- [5] Diallo A. Crowdfunding secrets: 7 tips for kickstarter success[C]. New York: Forbes, 2014.
- [6] Raghavan U N, Albert R, Kumara S. Near linear time algorithm to detect community structures in large-scale networks[J]. Physical Review E, 2007, 76(3): 1-11.
- [7] 于凯. 双层耦合网络上的信息传播模型研究[D]. 大连: 大连理工大学管理科学与工程系, 2015: 99-100. (Yu K. Research on information spreading model on bilayer coupled networks[D]. Dalian: Department of Management Science and Engineering, Dalian University of Technology, 2015: 99-100.)
- [8] Clauset A, Newman M E J, Moore C. Finding community structure in very large networks[J]. Physical Review E, 2004, 70(6): 1-6.

(责任编辑: 闫妍)