

微博中的信息传播：媒体效应与社交影响

陆豪放^{1,2}, 张干明¹, 周莹^{1,2}, 喻星¹, 周涛^{1,2}, 张子柯³

(1. 电子科技大学互联网科学中心 成都 611731; 2. 百分点信息科技有限公司 北京 海淀区 100080;

3. 杭州师范大学信息经济研究所 杭州 310036)

【摘要】该文从媒体性和社交性两方面入手,区分两种效应对于信息传播产生的影响。实证分析了新浪微博中大规模的信息转发行为,发现大规模转发链的信息扩散路径呈现出比较明显的星形结构,尤其是大度节点对于信息传播规模及传播速度的促进作用非常明显;另一方面,发现社交结构中好友的转发行为能提高用户转发的概率,且关系相对较强的双向好友之间的影响更大。

关键词 转发链; 异质性; 信息传播; 媒体效应; 微博社交性

中图分类号 TP391

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2014.02.002

Information Spreading in Microblogging Systems: Media Effect Versus Social Impact

LU Hao-fang^{1,2}, ZHANG Qian-ming¹, ZHOU Ying^{1,2}, YU Xing¹, ZHOU Tao^{1,2}, and ZHANG Zi-ke³

(1. Web Sciences Center, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 611731;

2. Baifendian Corporation, Ltd, Haidian Beijing 100080; 3. Institute of Information Economy, Hangzhou Normal University Hangzhou 310036)

Abstract In this paper, we try to distinguish between the two impacts from media and sociability for information spreading. We analyze the forwarding behavior in Sina Weibo and find that the large-scale microblogs' forwarding chain spread path presents an obvious starlike structure, in which the big degree nodes play a very important role in promoting information spread scale and velocity. In addition, we observe that friend forwarding behavior can improve the user's forwarding probability, and the impact is greater from the reciprocal links.

Key words forwarding chain; heterogeneity; information spreading; media effects; sociability of weibo

科技的迅速发展推动着信息传播媒介的不断变革。电报和电话的出现使得信息的长距离传递所需要的时间缩短到了一瞬间,广播媒体和电视网络的成熟使得信息能快速覆盖大量人群。互联网诞生以后,相继出现了很多能够促进信息传播的产品,如电子邮件、即时通讯软件等交流工具,博客、论坛等内容平台,以及近几年兴起的在线社交网站。即时通讯工具帮助人们方便快捷地传递信息;博客则以产生信息并吸引关注为目的,常被媒体、名人等用作一种宣传渠道;而在线社交网站则激发了人们产生并分享信息的积极性,从而促成了一种以社交网络为依托、人人参与的信息传播方式。有研究指出,社会网络中的弱关系对于信息的获取也有非常重要的作用^[1],而来自朋友推荐的信息往往更具可

信性^[2-3]。微博中信息传播量非常巨大(Twitter和新浪微博的日发微博量早已超过1亿),理解微博信息传播有重大的社会经济价值。如Twitter中的信息被用于预测电影的票房^[4]和股市走势^[5],微博信息传播可用于精确广告营销并取代低成本低效率的泛众广告^[6],微博中疾病信息对于疾病的真实传播可能产生影响^[7]等。文献[8]较早地讨论了Twitter的媒体性和社交性,分析了Twitter的热门话题并发现这些信息的传播具有非常明显的爆发性,即在非常短的时间内就达到非常大的转发规模。对于造成这种爆发的原因,比较容易能想到大度节点(及明星节点)的媒体性所起的重要作用。但文献[9]却发现现在社交网络中存在一些关键节点,他们并不具有很多邻居,但却缩短了一些大度节点的距离,这些用户对于信息

收稿日期: 2013-08-03; 修回日期: 2013-11-20

基金项目: 国家自然科学基金(11222543,11105024); 教育部新世纪优秀人才计划NCET-11-0070; 中央高校基本科研业务费(A03008023401042)

作者简介: 陆豪放(1986-),男,硕士生,主要从事复杂网络与数据挖掘方面的研究。

的爆发非常重要。文献[7]则通过建立微博“双向”关注网络,发现微博的关注结构具有中心性特征,并根据SIR模型进行了仿真实验,验证了不同中心性特征的初始传播节点,对微博传播产生的影响具有差异性。文献[10]通过对不同类型的社交网站Digg和Twitter中的信息传播进行对比,指出网络结构对于信息传播的影响非常大。从用户行为的层面上,文献[11]发现考虑同质性或相似性的传播模型更加贴近真实的传播情况。文献[12]则指出恶意的谣言往往更容易吸引眼球,且传播更远。文献[13]指出从微观层面上看,信息的流向依赖于社交网络结构、个体的专业领域和层级化的组织;从宏观层面来讲,可以通过随机分支模型^[14]预测信息传播树的结构属性(如信息覆盖的规模)。此外还有不少文献通过用户、信息的属性特性、网络结构等信息进行建模,预测用户的转发行为或信息的传播^[11, 13, 15-19]。

当前对于新浪微博中信息传播的研究主要集中在热点话题的内容和用户的行为特征分析。文献[16]将新浪微博的热点话题与Twitter进行对比,发现新浪微博的热点话题主要集中于幽默笑话、图片和视频等休闲娱乐话题,而Twitter则更多地与全球实时事件和新闻相关。文献[20]进一步指出新浪微博中的转发行为更加显著,且存在不少“僵尸账号”。文献[21]也发现新浪微博和Twitter中有近一半的热点都是人为造势,其中大部分都是从其他网站上推送过来的,甚至真正流行微博的不少关注也都是来于这种推送服务。文献[22]则对比了新浪微博与Twitter中用户写作风格和转发行为的巨大差异,并发现用户的兴趣是随时间而变化的。文献[23]研究了玉树大地震之后人们所关注的话题,发现这些话题主要集中于4点:灾情状况更新、观点表达、精神支持和呼吁行动。此外,文献[24]利用时间序列分析微博中的信息流,发现用户会由于某种目的迅速地聚合,并且在通过微博最大化个人信息价值的前提下,用户会更加熟于应对自己所处的环境。这些研究一方面从宏观的层面上针对新浪微博的信息类型和传播方式做了简单的分析,另一方面研究了用户在微博平台上的关注、转发行为特征,但社交网络对信息传播的影响却没有细致的研究。为此,本文侧重于社交网络的结构属性,分别从媒体性(大度节点)和社交性(朋友关系)两方面分析它们对于微博中信息传播的影响。本文发现:1) 规模大的转发链呈现出明显

的星型结构;2) 媒体性促进微博的转发,表现为转发量和转发速度与异质性之间的正相关关系;3) 微博用户的转发行为会受到关注对象的影响,而且双向好友的影响更加明显。

1 数据

新浪微博是一款为大众提供信息分享和交流的平台,其信息能够迅速传播得益于其庞大的社交关系网络。新浪微博自2009年8月内测以来,到2013年注册用户数目已超过5亿,每日产生微博数目也早已超过1亿,其中有65%的微博都是由转发行为产生的^[20]。为分析微博的社交网络结构对信息传播的影响,本文抓取了新浪微博中部分微博转发的数据,并找到了相应用户的社交关系数据,包含用户的一级关注邻居及用户的粉丝数(用户被关注的个数)、关注数(该用户关注其他用户的个数)。微博的转发数据由一系列微博文章(以下简称微博)组成,包括原创和转发的微博:原创类微博有作者id、产生时间、被转发次数、微博内容;而转发类微博则包含有作者id、产生时间、被转发次数、微博内容和源微博的信息。从微博内容中,可以通过文本内容中的“//@”符号来判断转发自哪个用户。

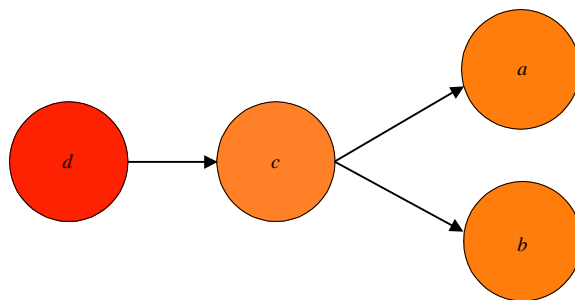
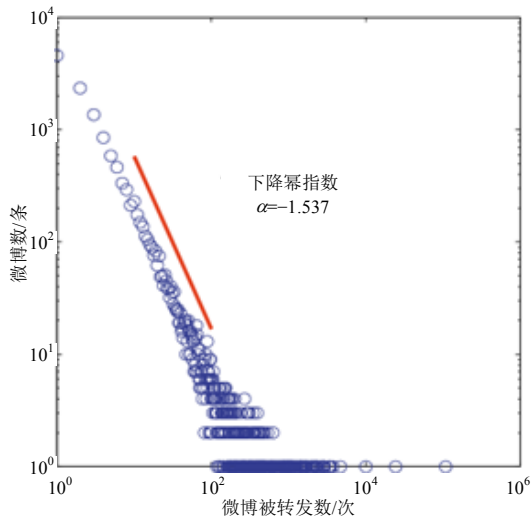
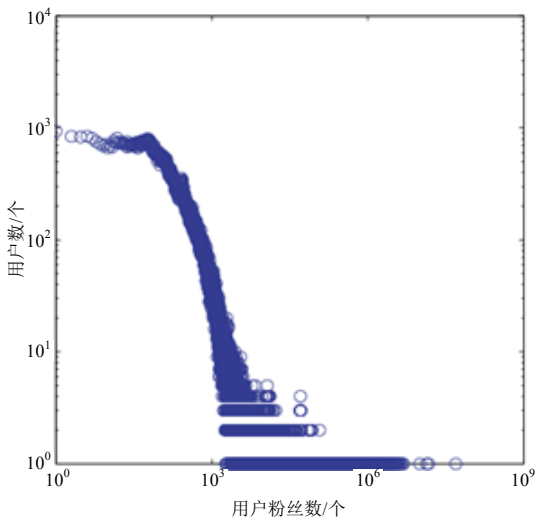


图1 转发链示意图

若用户a和b从c转发了一条微博,而c是从d处转出的,且d为信息来源,那么此信息流向可由图1表示,提取出转发自一条微博的全部微博,便可以获得该微博的转发结构,称之为一条转发链。在本文所采集的数据中,一共包括14 252条独立微博以及每条微博相应的转发链。这些微博被转发的次数分布如图2a所示。基于这些微博数据,本文抓取了相关的用户信息,包括这些用户的属性信息(如粉丝数,关注数、发出微博数等)和这些用户之间的相互关注关系。最后得到了210 869个用户和他们之间26 866 417条关注关系。这些用户的粉丝数目分布情况如图2b所示。



a. 微博转发次数分布图, 其中幂指数为-1.537



b. 用户粉丝数目分布图

图2 微博转发及用户粉丝分布图

2 实验和分析

2.1 媒体性对信息传播的影响

与病毒的传播需要有直接或者间接的接触方式类似, 信息传播也需要有媒介, 微博背后的社交网络就是信息得以迅速传播的载体。首先, 本文统计了这些信息的传播在多大程度上依赖于关注关系的存在。在285 897次转发行为中, 一共有123 910次转发行为的转发者与被转发者存在着从转发者到被转发者的关注关系——超过一半的转发行为并没有依赖于微博网络的关注关系。选择了3条规模较大的微博转发链, 其拓扑结构如图3所示, 它们都存在非常明显的大度节点, 呈现出明显的星形结构。文献[9]曾在多个模型网络中进行信息传播的实验, 发现BA模型^[25]中的信息传播速度要高于随机网络和完全图, 但其传播能力却远远低于Twitter真实网络, 其根本原因在于大度节点以及大度节点之间的桥节点的强大信息广播能力。基于此, 首先观察这些转发链的转发深度, 如图4a所示, 随着转发链规模的增加, 转发链的最大深度呈明显的上升趋势, 但却一直保持着较浅的平均深度: 即使当传播最大深度达到了9层, 平均传播深度也不超过2层。这一结果再次暗示了大规模转发链的星型结构特征。然后, 本文对比了转发链中被转发次数最多的节点与其粉丝数之间的关系, 如图4b所示, 节点被转发次数与其粉丝数之间呈明显的正相关关系。因此, 本文推断, 微博的转发依赖于大度节点的星型扩散模式。

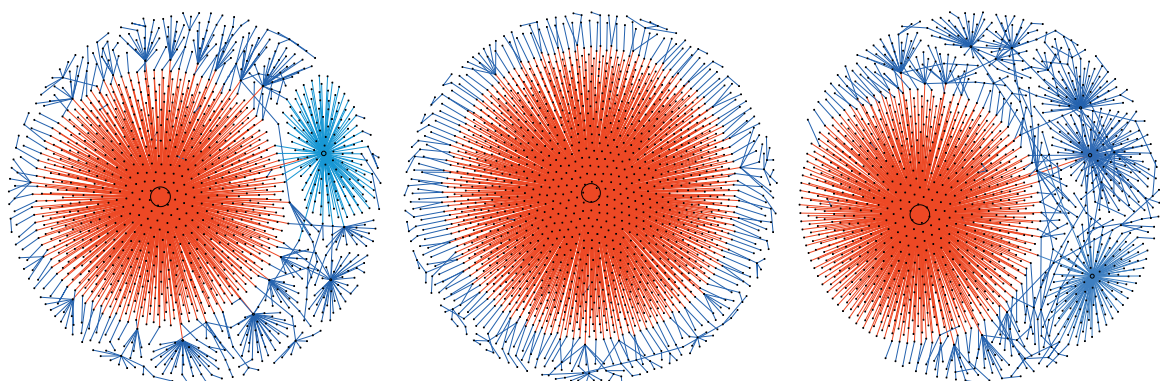
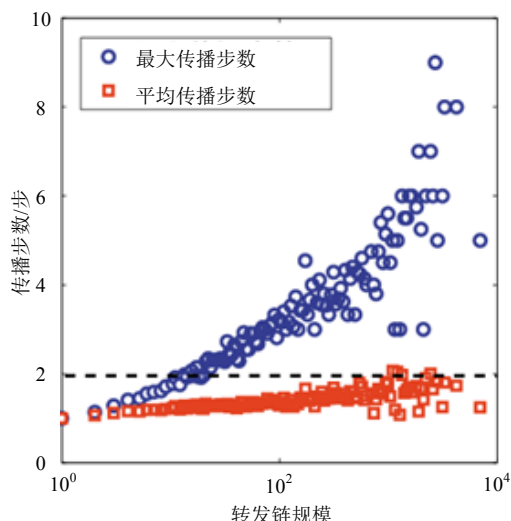


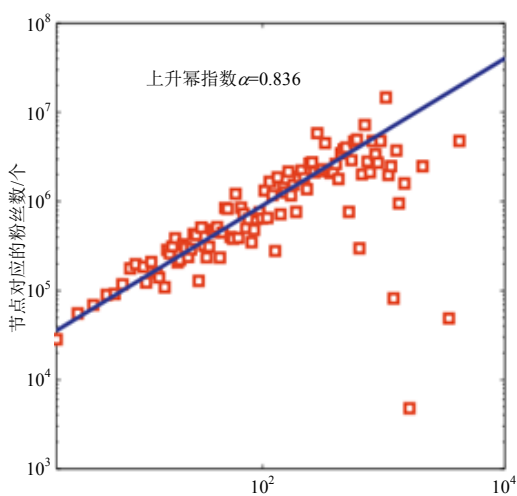
图3 三条微博转发链的拓扑结构

为考察真实转发链中的星型结构对信息传播产生的影响, 本文通过转发链的度异质性来刻画转发链所具有的媒体性强弱。对于任意一个度序列 $\{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, 其异质性可量化为^[26]:

$$H = \frac{\langle k^2 \rangle}{\langle k \rangle^2} = \frac{n \sum_{i=1}^n k_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n k_i \right)^2} \quad (1)$$



a. 微博转发深度与其规模之间的关系(log-bin)



b. 大度节点被转发次数与其粉丝数之间的关系(log-bin)

图4 微博转发深度和广度统计图

可以证明,在给定节点和连边规模的情况下,星型结构具有最大的度异质性。假定一网络由 n 个节点和 $(n-1)$ 条边构成,节点的度之和为 $2(n-1)$,且每个节点的度都至少为1,则平均度就恒为 $2(n-1)/n = 2 - 1/n$ 。

证明的过程就可以转换为:已知 $\sum_{i=1}^n x_i = m$,其中 $m =$

$2(n-1)$, x_i 为正整数,求使得 $\sum_{i=1}^n (x_i)^2$ 最大的解:

假设 $y_i = x_i - 1$,于是有:

$$\begin{aligned} \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 &= \left(\sum_{i=1}^n (y_i + 1)\right)^2 = \\ &= \sum_{i=1}^n (y_i + 1)^2 + 2\sum_{i < j} (y_i + 1)(y_j + 1) = \\ &= \sum_{i=1}^n (y_i + 1)^2 + 2\sum_{i < j} (y_i y_j + y_i + y_j + 1) \\ &\because \forall y_i \geq 0, \therefore y_i y_j \geq 0 \end{aligned}$$

$$\therefore \left(\sum_{i=1}^n (y_i + 1)\right)^2 \geq \sum_{i=1}^n (y_i + 1)^2 + n(n-1)$$

于是有 $\sum_{i=1}^n (y_i + 1)^2 = m^2 - n(n-1)$,当且仅当 $\sum_{i < j} y_i y_j = 0$ 。

因此,任意两个 y 中至少有一个为0,故所有 y 有且仅有一个不为0,于是所有 x 中有且仅有一个不为1,即 $(n-1)$ 个节点的度为1,剩下一个的节点度为 $(n-1)$,从而构成标准的星型结构。

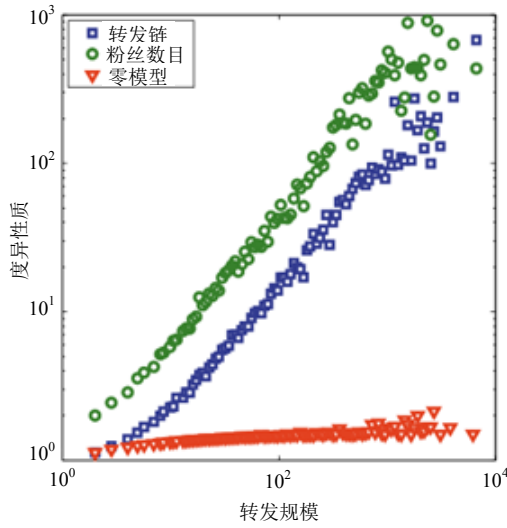
通过定义转发链零模型^[27],对比了转发链与随机网络之间的度异质性随转发规模变化的差异。若给定参与转发的节点个数 N 和转发次数 M ,零模型的构建过程为:

- 1) 初始化一节点 n_0 ,作为转发链的源节点。
- 2) 增加一个新节点,随机连向一个已存在节点(视为参与转发)。
- 3) 若节点规模达到 N ,转步骤4);否则转步骤2)。
- 4) 若连边规模达到 M ,则结束;否则转步骤5)。
- 5) 随机挑选两个节点建立一条连边(视为交互或者多次转发),并转步骤4)。

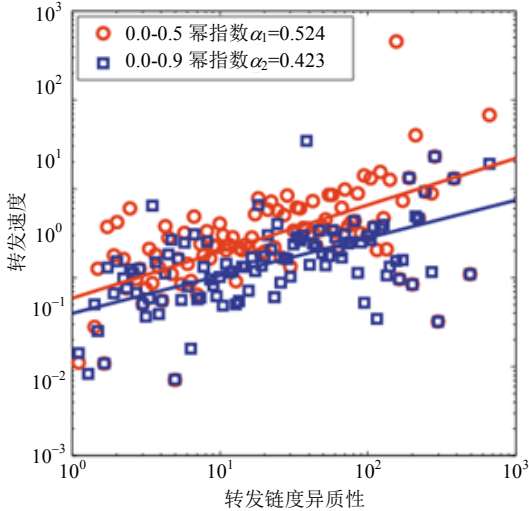
同时对比了每条转发链中所有用户的粉丝数目的异质性程度。定义转发链的度异质性为 H_r ,粉丝数量的异质性为 H_f ,零模型的度异质性为 H_n ,发现随着转发链规模的增加,三者的异质性都随之增大,但相比零模型 H_n , H_r 和 H_f 增长更加明显(如图5a所示),可见微博转发次数和转发链网络及关注网络的度异质性强弱呈强正相关。从转发链网络和关注网络度异质性增长的趋势上看,明显表现出随着转发规模的增大而增长,且 H_r 和 H_f 上升趋势一致。在微博传播过程中,汇集着大量粉丝的大度节点被引入到转发网络中,他们对信息的广播,引入了大量的转发节点,使得转发链度异质性加强。由此可见大度节点对于微博转发规模有很大影响。

从数据集中筛选出了761条转发次数超过100的微博,将转发链 R 形成的整个时间段记做 T_R ,那么每条微博的平均转发速度 $V_R = |R|/T_R$,其中 $|R|$ 表示转发链 R 的转发次数。很明显, V_R 越大,说明转发链 R 的转发速度越快、爆发性越强。由于每条微博没有特定的爆发时间,于是按照微博转发的覆盖率将其分为多个不同的转发阶段,如0.0-0.9表示选中了微博转发过程中覆盖从0%~90%节点的时间段。图5b比较了微博的转发速度与其度异质性之间的关系,转发结构异质性较强的微博,其信息传播的平均速度

也就越快。



a. 微博转发链规模与其度异性之间的关系(log-bin)



b. 微博转发链的度异性与其转发速度之间的关系(log-bin)

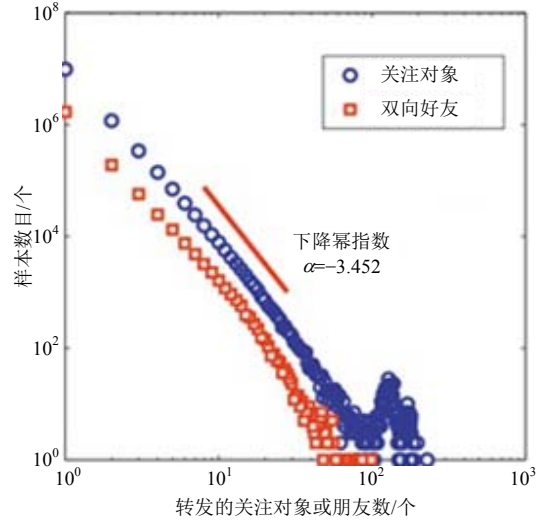
图5 微博转发速度和规模与转发链度异性之间的关联

综上所述, 强异质性往往是由少量具有重要影响力的大度节点产生的, 因此图5中所体现的转发链度异质性与转发规模、转发速度之间的正相关性, 说明了微博中的媒体性既能增加传播的范围, 也能提高传播的速度。

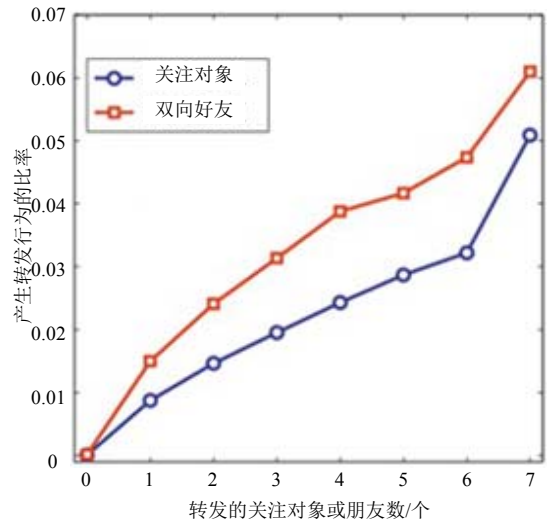
2.2 社交性对信息传播的影响

微博的名人账号增加了信息的曝光率, 极大地增进了信息传播的广度和速度。不过仍有不少转发行为并非是由这些中心节点直接促发, 而是产生于普通大众用户之间。区别于中心节点的媒体性, 称之为社交性。微博中的社交关系有单双向之分: 称用户 v_i 单向关注用户 v_j 为单向-弱连边, 这种边既可能体现社交性, 也可能体现媒体性; 相对来讲相互关注的好友, 即 v_i 关注 v_j 同时 v_j 也关注 v_i , 则具有更强的社交性。接下来对这两种关系对微博转发行为的

潜在影响进行分析。



a. 用户转发前, 其关注的用户与双向好友中已参与该微博转发的人数分布



b. 随着已参与转发的好友数目的增加, 用户转发概率的变化趋势

图6 社交性对信息传播的影响

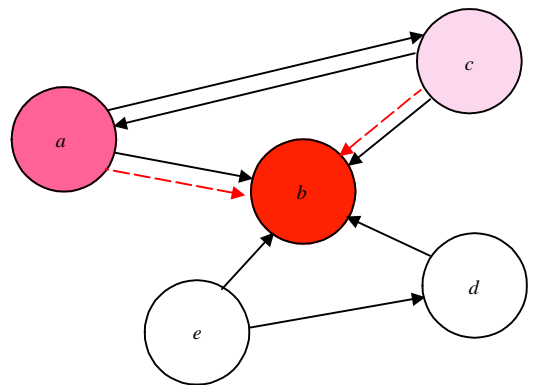


图7 统计转发行为示意图

统计了在每一条转发链中, 每一个用户在产生转发行为之前, 有多少他关注的用户已转发了此微博, 又有多少他的双向好友已转发了此微博。如图6a所示, 这两个指标均近似服从幂律分布, 幂指数

约为-3.452。接下考察算“已有 x 个好友转发了指定微博的用户也产生转发行为的概率”，称“产生转发行为的样本”为正样本。如图7所示，在5个微博用户 a 、 b 、 c 、 d 、 e 中，对于一条微博，有着色的用户 a 、 b 、 c 为产生了转发行为的用户，其中转发时间越早其颜色越深，无着色的用户 d 、 e 为没有转发行为的用户，虚线表示转发关系，实线表示关注关系。则 a 、 b 、 c 分别统计为有1个、0个和2个关注对象转发，并自己产生了转发行为的正例用户； d 、 e 则被统计为有1个关注对象转发，但自己没有产生转发行为的全样本用户。用户 a 、 b 、 c ，相对而言，全样本(如图7用户 d 、 e)的计算方法如下：对于每一条微博转发链，统计关注网络中的每一个用户在此转发链中分别有多少个关注对象或双向好友已经对此微博有过转发行为。从图6a中可以看出，当已参与转发的关注用户和双向好友的数目越多，样本的数目就越少。为了排除样本数目稀少对统计结果有效性的影响，本文将好友数目在7以上的所有样本放在一起(因为在好友数目为7的时候，样本数目就已经降低到1 000以下，甚至双向好友对应的正样本数目降低到了314，全样本的数目降低到了4 807)。计算给定好友数目对应的转发概率，即：正样本数目/总样本数目。图6b中显著的上升趋势体现了社交关系对于提高转发概率的促进作用，并且在相同数目下，双向好友对应的转发概率明显高于普通的关注对象。首先，从显著的上升趋势来看，它暗示了用户的转发行为可能会受到自己关注对象的影响，或者是用户更倾向于转发那些更多他的关注对象感兴趣的话题，在一定程度上体现了兴趣的驱动作用；另一方面，较大的优势体现了双向好友比单向的关注对象有更强的影响力。微博同时具有社交性和媒体性，社交关系的层级性是微博关系网络的显著特征。双向关系在一定程度上反映对等的社交关系，所以本文结果很好地说明了社交性对于微博中的信息传播是至关重要的。

3 讨论与展望

新浪微博集媒体性和社交性为一身，其信息传播的便利性，已得到普遍认可。本文从新浪微博的用户属性和关注关系网络入手，分别从其媒体性和社交性来分析它们对用户转发行为的影响，发现微博转发行为并不完全依赖于关注关系，且大规模转发链的信息扩散路径呈现出比较明显的星形结构。其中起关键作用的是中心节点，即粉丝数目较多的

用户，它们对于微博传播的广度和速度都有极大的促进作用。从这点来看，新浪微博的媒体性极大地促进了信息的传播。另一方面，本文关注新浪微博的社交性对用户转发行为的影响，好友的转发行为明显能提高用户转发的概率，而且相同数目的双向好友要比普通关注对象能产生更大的影响。

新浪微博社交网络对于信息传播的影响可能是多方面的，本文仅针对媒体性和社交性两个角度进行了研究。媒体性加快并扩展了信息的传播，而社交性的存在则是加深了信息的传播。本文猜测，社交性带来的影响可能是由于好友的行为具有传播性，即好友的转发行为可能引起用户自身的参与；也可能是由于用户与其好友之间的兴趣同质性，众多好友关注此微博能在一定程度上说明这条微博与用户自身的兴趣比较吻合。研究这些问题，对于进一步深入理解社交网络中的信息传播有非常大的帮助，在下一步的工作中，正要对信息传播过程进行预测，节点的性质和网络的结构特征将作为重要的因素被引入到预测模型中。

感谢杨紫陌、王文强以及刘金虎对本文的启发和在思路上的有益讨论。感谢电子科技大学优秀硕士生学术支持计划(YBXSZC20131034)的支持，感谢杭州师范大学科研启动基金及“攀登工程”计划的支持。

参 考 文 献

- [1] GRANOVETTER M S. The strength of weak ties[J]. *American Journal of Sociology*, 1973, 78(6): 1360-1380.
- [2] MASSA P, AVESANI P. Trust-aware recommender systems[C]//Proceedings of the 2007 ACM Conference on Recommender Systems. [S. l.]: ACM, 2007: 17-24.
- [3] LÜ L, MEDO M, YEUNG C H, et al. Recommender systems[J]. *Physics Reports*, 2012, 519(1): 1-49.
- [4] ASUR S, HUBERMAN B A. Predicting the future with social media[C]//Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2010 IEEE/WIC/ACM International Conference on. [S. l.]: IEEE, 2010, 1: 492-499.
- [5] BOLLEN J, MAO H, ZENG X. Twitter mood predicts the stock market[J]. *Journal of Computational Science*, 2011, 2(1): 1-8.
- [6] 苏萌, 柏林森, 周涛. 个性化: 商业的未来[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
SU Meng, BO Lin-sen, ZHOU Tao. The future of personalized business[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2011.
- [7] 张海峰, 张文耀, 孙桂全, 等. 信息的滞后性诱导传染病的周期爆发[J]. *中国科学: 物理 力学 天文学*, 2012, 42(6): 631-638.
ZHANG Hai-feng, ZHANG Wen-yao, SUN Gui-quan, et al. Information lag induced periodic outbreaks of infectious

- diseases[J]. *Science China: Physics, Mechanics & Astronomy*, 2012, 42(6): 631-638.
- [8] KWAK H, LEE C, PARK H, et al. What is Twitter, a social network or a news media?[C]//Proceedings of the 19th International Conference on World Wide Web. [S.l.]: ACM, 2010: 591-600.
- [9] DOERR B, FOUZ M, FRIEDRICH T. Why rumors spread so quickly in social networks[J]. *Communications of the ACM*, 2012, 55(6): 70-75.
- [10] LERMAN K, GHOSH R. Information contagion: an empirical study of the spread of news on digg and twitter social networks[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Weblogs and Social Media. Menlo Park, California: AAAI Press, 2010: 90-97.
- [11] MACSKASSY S A, MICHELSON M. Why do people retweet? anti-homophily wins the day![C]//Proceedings of the 5th International Conference on Weblogs and Social Media. Menlo Park, California: AAAI Press, 2011: 209-216.
- [12] 苑卫国, 刘云, 程军军, 等. 微博双向“关注”网络节点中心性及传播影响力的分析[J]. *物理学报*, 2013, 62(3): 494-503.
YUAN Wei-guo, LIU Yun, CHENG Jun-jun, et al. Empirical analysis of microblog centrality and spread influence based on Bi-directional connection[J]. *Acta Phys Sin*, 2013, 62(3): 494-503.
- [13] WANG D, WEN Z, TONG H, et al. Information spreading in context[C]//Proceedings of the 20th International Conference on World Wide Web. [S.l.]: ACM, 2011: 735-744.
- [14] SIMKIN M V, ROYCHOWDHURY V P. Re-inventing willis[J]. *Physics Reports*, 2011, 502(1): 1-35.
- [15] YANG Z, GUO J, CAI K, et al. Understanding retweeting behaviors in social networks[C]//Proceedings of the 19th ACM International Conference on Information and Knowledge Management.[S.l.]: ACM, 2010: 1633-1636.
- [16] YU L, ASUR S, HUBERMAN B A. What trends in Chinese social media[EB/OL]. [2013-09-21]. ArXiv: 1107.3522, 2011.
- [17] ZAMAN T R, HERBRICH R, VAN GAEL J, et al. Predicting information spreading in twitter[C]//Workshop on Computational Social Science and the Wisdom of Crowds. [S. l.]: NIPS, 2010, 104(45): 17599-17601.
- [18] 张彦超, 刘云, 张海峰, 等. 基于在线社交网络的信息传播模型[J]. *物理学报*, 2011, 60(5): 050501.
ZHANG Yan-chao, LIU Yun, ZHANG Hai-feng, et al. The research of information dissemination model on online social network[J]. *Chinese Journal of Physics*, 2011, 60(5): 050501.
- [19] LIU C, ZHANG Z K. Information spreading on dynamic social networks[EB/OL].[2013-01-21]. arXiv:1207.5272, 2012.
- [20] YU L, ASUR S, HUBERMAN B A. Artificial inflation: the true story of trends in sina weibo[EB/OL].[2013-01-21]. arXiv: 1202.0327, 2012.
- [21] CUI A, ZHANG M, LIU Y, et al. Are the URLs really popular in microblog messages[C]//IEEE International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems (CCIS). Beijing: [s. n.], 2011: 1-5.
- [22] GAO Q, ABEL F, HOUBEN G J, et al. A comparative study of users' microblogging behavior on sina weibo and twitter[C]//User Modeling, Adaptation, and Personalization. Berlin Heidelberg: Springer, 2012: 88-101.
- [23] QU Y, HUANG C, ZHANG P, et al. Microblogging after a major disaster in China: a case study of the 2010 Yushu earthquake[C]//Proceedings of the ACM 2011 Conference on Computer Supported Cooperative Work. [S.l.]: ACM, 2011: 25-34.
- [24] YUAN H U, XIAO LI L I A, ANDONG W U. A time sequence analysis on the informal information flow mechanism of microblogging[J]. *Chinese Journal of Library and Information Science*, 2012,4(3/4): 68-81.
- [25] BARABÁSI A L, ALBERT R. Emergence of scaling in random networks[J]. *Science*, 1999, 286(5439): 509-512.
- [26] PASTOR-SATORRAS R, VESPIGNANI A. Epidemic spreading in scale-free networks[J]. *Physical Review Letters*, 2001, 86(14): 3200.
- [27] 尚可可, 许小可. 基于置乱算法的复杂网络零模型构造及其应用[J]. *电子科技大学学报*, 2014, 43(1):7-20.
SHANG Ke-ke, XU Xiao-ke. Construction and application for null models of complex networks based on randomized algorithms[J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2014, 43(1): 7-20.

编辑 蒋晓