

手机短信传播过程和短信息寿命研究*

李明杰 吴 晔 刘维清 肖井华†

(北京邮电大学理学院, 北京 100876)

(2008 年 10 月 26 日收到, 2008 年 12 月 12 日收到修改稿)

比较了短信息在无标度网络、小世界网络和实际的短信息网络三种网络中的传播过程, 寻找影响短信息传播的因素. 研究发现, 网络拓扑结构和手机用户的转发短信行为均会影响短信息传播过程. 在无标度网络中短信息传播速率快于小世界网络和实际的短信息网络, 而无标度网络的短信息寿命较小世界网络和实际的短信息网络短; 网络中手机用户的转发短信息行为明显影响短信息的传播过程. 同时还发现短信息寿命与网络直径有关.

关键词: 复杂网络, 短信息, 信息传播, 人类行为

PACC: 0590, 0175

1. 引 言

短信息服务具有私密性和直达性的特点, 符合中国人含蓄的性格特点, 在中国大陆很受欢迎. 据统计, 2006 年中国大陆的手机用户共发送了 4290 亿条短信息, 给电信业带来了很大的利润. 随着手机用户数量的飞速增长, 短信息作为一种新兴的传播媒体, 利用它来传播信息变得极为普遍. 短信息既能带来巨大的经济效益, 同时又具有强大的信息传播功能. 随着手机技术的发展, 智能手机系统被引入到手机中. 随之而来的问题是手机病毒的出现和传播, 目前短信息是手机病毒的主要传播途径. 所以研究短信息和手机病毒的传播过程无论在学术上还是应用上都有一定的价值.

传染病病毒和计算机病毒对人类产生重大的影响, 许多科研工作者在研究它们的传播机制. 随着复杂网络理论^[1-6]的研究被应用于信息传播领域, 增进了人们对大规模流行病和计算机病毒的传播机制的认识. 现在已经有很大这方面的研究成果^[7-12], 例如电子邮件病毒的传播模型^[7]、红色代码蠕虫病毒的随机常数传播模型^[8]、谣言传播^[9-11]等. 这些传播模型有如下一个共同的假设: 模型中每个个体的行为是一致的. 文献^[13]基于元胞自动机原理提出了一个短信息的传播模型, 这个模型同样没有考虑到

个体行为之间的差别. 短信息作为一个新兴的传播媒体具有自己的特点, 手机用户在转发短信息时, 自身的某些行为会影响短信息传播, 例如有些用户无论什么短信息都不转发, 而有些用户看到自己喜欢的短信息会转发给亲朋好友等. 本文依据实际生活中人们转发短信息的行为特征提出一个短信息传播模型, 这个模型能够较好地模拟实际生活中短信息的传播行为. 同时本文使用了汕头某集团内部一个月的短信息计费记录, 利用这个记录生成真正的人际关系网络. 为了便于表达, 本文对利用短信息计费记录生成的网络称为短信息网络^[14, 15]. 本文的主要工作是把短信息传播模型构建在无标度网络、小世界网络和短信息网络这些不同的网络模型之上, 利用复杂网络理论研究短信息传播行为. 短信息寿命是本文提出的一个新参数, 作用是记录短信息在网络中的存活时间.

2. 短信息传播模型

依据实际生活中人们转发短信息的习惯, 用用户性格和用户状态两个特性来刻画手机用户的转发短信息行为. 本文区别以往短信息传播模型^[13]的就是引入手机用户性格这个特征, 这比其他模型更加符合实际生活中的短信息传播过程.

根据用户性格把用户分成三类. 第一类用户, 收

* 国家自然科学基金(批准号: 30575016)资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: jhxiao@bupt.edu.cn

到短信息后不转发短信息,这类用户用 A 标识,占用户总数的比例为 P_1 ;第二类用户,收到短信息后群发给与自己有连接的用户,这类用户用 B 标识,占用户总数的比例为 P_2 ;第三类用户,收到短信息后选择性地转发短信息,这类用户用 C 标识,占用户总数的比例为 P_3 . 在模型里表示为用户在单位时间以概率 P_f 转发短信息给他的朋友. 对于第三类用户不管有没有发送短信息,超过一定的时间 T_p 就认为不再转发这条短信息. 这个设置是考虑实际生活中用户不可能永远持有某条短信息,超过一定的时间用户会对此短信息失去兴趣,也就不再转发此短信息. 当两个用户之间成功发送了短信息,就断开他们之间的连接避免重复发送. 短信息从开始传播到停止传播的时间为短信息寿命 T ,短信息停止传播后收到短信息的人数为 N_s .

根据用户持有短信息的状态定义用户存在以下

4 种状态:没有收到短信息状态为 0;收到短信息但是没有进行转发行为的状态为 1;收到短信息并且转发成功的状态为 2;收到短信息进行转发但是没有转发成功的状态为 3. 其中状态 0 为初始态,状态 1 为中间态,状态 2 和状态 3 为最终态. 任意两个用户之间短信息的转发是单向的,用户的状态按照转发和接收两个规则进行改变. 转发规则如下:每个时间步长,状态为 1 的用户转发短信息,第一类用户在下一时间步长状态变为 3;第二类用户在下一时间步长状态变为 2;第三类用户在判定时间内转发成功状态变为 2,超过判定时间没有转发短信息状态变为 3. 接收规则如下:用户状态为 0 时,如果收到短信息状态变为 1,无论收到多少短信息状态仍然为 1;状态不为 0 时,收到短信息状态保持不变.

把两种特性结合在一起得出短信息传播模型的状态转移图,如图 1 所示.

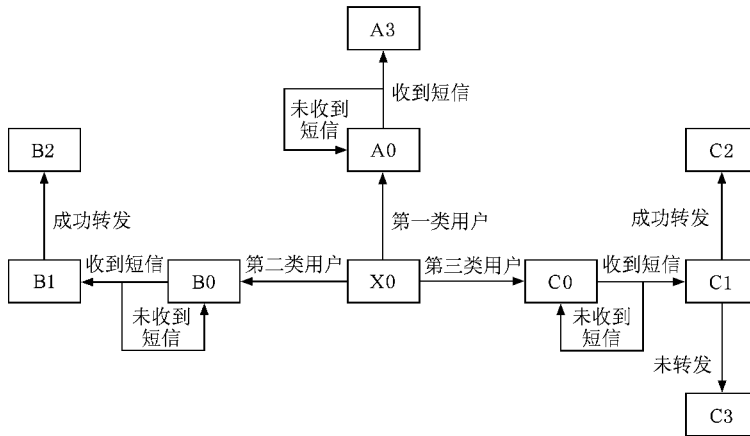


图 1 短信息模型的状态转移图

3. 计算机仿真过程及结果分析

3.1. 网络拓扑结构对短信息传播的影响

仿真过程中假定每个用户之间的行为相互独立,并且所有网络均为静态网络. 仿真时随机分配手机用户的性格类型,从第二类用户或者第三类用户中随机选取一个用户 R 拥有短信息. 为了减少用户的性格分配和 R 的随机选择对传播结果产生的影响,所有结果都是多次仿真的平均结果. 其中对无标度网络和小世界网络采用生成多个网络进行短信息传播,然后对传播结果取平均. 对于短信息网络由于

数据的原因无法采用前两种网络的平均方式,所以只能增加短信息的传播次数. 为了确定短信息传播模型中用户的性格分配及第三类用户转发概率的取值,作者在一定范围内进行了统计调查,由统计结果得出在短信息模型中把 P_1, P_2, P_3 和 P_f 设定为 0.4, 0.08, 0.52 和 0.5 比较贴近现实生活.

本文首先把短信息传播模型放在 Watts 和 Strogatz^[2] 提出的 WS 小世界网络、Newman 和 Watts^[3,4] 提出的 NW 小世界网络以及 Barabási 和 Albert^[5] 提出的无标度网络上,研究影响短信息传播行为的因素. 文中使用的 WS 小世界网络的断开重连概率 $p = 0.3$. NW 小世界网络构造方法如下:生成一个 $\bar{k} = 2$ 的环,根据所需要的平均度 \bar{k} 随机添

加所需的 l 条长程连接. 添加公式为

$$l = N(\bar{k} - 2)2. \quad (1)$$

式中 N 为节点数. 三种网络模型的具体参数详见表 1, 平均最短路径和平均聚集系数是 10 个网络的平均值. 仿真过程如下: 对于三种网络均生成 10 次网络, 每一次生成的网络中进行 200 次的短信传播, 然后对结果取平均.

表 1 网络模型的网络参数

	节点数	平均度	平均最短路径	平均聚集系数
WS 小世界网络	1000	4	5.51	0.25
NW 小世界网络	1000	4	5.33	0.002
无标度网络	1000	4	4.15	0.03

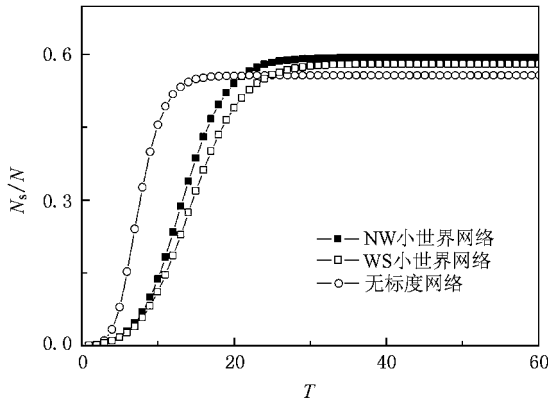


图 2 WS 小世界网络、NW 小世界网络及无标度网络短信息传播行为的比较 $N = 1000, \bar{k} = 4, P_1 = 0.4, P_2 = 0.08, P_3 = 0.52, P_f = 0.5, T_p = 2.$

图 2 是 WS 小世界网络、NW 小世界网络和无标度网络中短信息的传播行为比较. 由于 NW 小世界网络和 WS 小世界网络具有不同的聚类系数(见表 1), 为了考查聚类系数是否对短信息传播有很大的影响, 所以对两种网络中短信息传播过程进行了比较. 结果表明, NW 小世界网络和 WS 小世界网络中短信息的传播曲线十分相似, 聚类系数不是影响短信息传播的主要因素. 影响短信息传播速率的主要因素是平均最短路径而非聚类系数. 无标度网络与两种小世界网络相比, 无标度网络短信息传播速率更快, 但是网络中收到短信息的人数比例较小. 无标度网络的度分布的极端非均匀性导致无标度网络的平均路径较短并使得短信息的传播速率提高. 无标度网络中小于平均度的点多于两种小世界网络, 而这些节点能够收到短信息的概率较小, 所以导致无

标度网络中最终收到短信息的人少于两种小世界网络. 图 2 中三种网络拓扑结构下的短信息传播曲线同文献 [7] 中的不同网络拓扑结构下电子邮件病毒的传播曲线非常相似.

3.2. 实际网络中的短信息传播过程

现实生活中的人际关系网络是最近复杂网络研究中的一个热点 [16-19]. 本文采用汕头某集团用一个月的手机计费数据构建短信息网络. 短信息网络中利用发送短信息手机用户、接收短信息手机用户和接收短信息时间来生成网络. 把手机用户看成网络中的节点, 当用户 A 和用户 B 之间在某一时间存在短信息往来时, 就认为用户 A 和用户 B 之间存在一条边. 这里为了简化研究, 同时也考虑了人际关系的性质, 但我们没有考虑网络的方向性以及边的权重, 因此本文中构造的短信息网络为无向无权网络 [14, 15]. 许多研究表明人际关系网络由大量的社团构成, 社团内部的联系紧密但是社团间的联系很弱 [18, 19]. 本文中用到的短信息网络度分布呈现幂次分布 [14], 短信息网络的度分布比小世界网络更接近无标度网络, 其他参数详见表 2, 其中小世界网络和无标度网络的平均最短路径和平均聚集系数是生成 5 个网络的平均值. 所研究的短信息网络节点数 $N = 7808$, 平均度 $\bar{k} = 2.79$. 为了保证网络平均度和网络连通性, 以下提到的小世界网络均指 NW 小世界网络.

本文主要关注的是短信息在实际生活中的传播过程受哪些因素影响、短信息的影响范围多大和短信息寿命等问题. 显然, 图 2 中几种网络的参数并不能起到很好的比较作用, 所以需要生成与短信息网络规模相近、平均度相近的网络并且在这些网络上进行仿真, 仿真结果见图 3. 对于无标度网络和小世界网络生成 5 次网络, 每一次生成的网络中进行 400 次的短信传播, 然后对结果取平均. 短信息网络中是进行了 2000 次的短信传播然后对结果取平均.

表 2 网络模型中的网络参数

	节点数	平均度	平均最短路径	平均聚集系数
短信息网络	7808	2.79	9.64	0.09220
小世界网络	8000	2.80	10.83	0.00033
无标度网络	8000	2.80	5.84	0.00110

图 3 是小世界网络、无标度网络和短信息网络中短信息的传播行为. 与图 2 中的短信息传播曲线

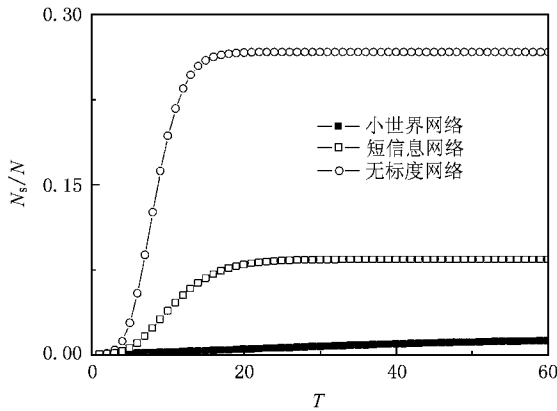


图 3 小世界网络、无标度网络和短信息网络短信息传播行为的比较 $P_1 = 0.4, P_2 = 0.08, P_3 = 0.52, P_f = 0.5, T_p = 2$. 对于无标度网络和小世界网络, $N = 8000, \bar{k} = 2.8$; 对于短信息网络, $N = 7808, \bar{k} = 2.79$.

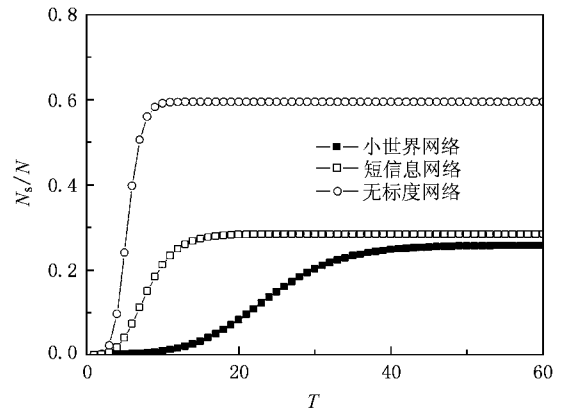


图 4 第二类用户的节点度对小世界网络、无标度网络和短信息网络短信息传播的影响 $P_1 = 0.4, P_2 = 0.08, P_3 = 0.52, P_f = 0.5, T_p = 2$. 对于无标度网络和小世界网络, $N = 8000, \bar{k} = 2.8$; 对于短信息网络, $N = 7808, \bar{k} = 2.79$.

相比,图 3 中的短信息传播过程与之非常相似但是三种网络中收到短信息的人数和短信息传播速率都有明显下降.在图 2 中小世界网络中收到短信息的人数将近 60%,而在图 3 中小世界网络中的收到短信息的人数很少,相比图 2 下降非常明显.同样情况也出现在无标度网络中,图 2 中无标度网络中收到短信息的人数在 55%左右,而在图 3 中下降为 28%左右.说明网络规模的增加以及平均度的下降对短信息的传播产生很大的影响.对于短信息网络而言,网络中收到短信息的人数为 10%,在三种网络中处于中间位置,传播速率快于小世界网络慢于无标度网络.说明在此参数下,短信息网络的传播能力优于小世界网络但是逊于无标度网络.

3.3. 用户行为对短信息传播的影响

3.3.1. 拥有群发功能的用户行为对短信息传播的影响

图 4 给出了拥有群发功能用户的节点度对短信息传播过程的影响.对于无标度网络和小世界网络生成 5 次网络,每一次生成的网络中进行 400 次的短信传播,然后对结果取平均.短信息网络中进行了 2000 次的短信传播,然后对结果取平均.

群发现象在实际生活中非常普遍,通过这种方式来传播消息,影响人数和信息传播速度非常可观.

图 4 和图 3 的参数相同,图 4 中改变第二类用户的分配规则.图 3 中所有用户性格为随机分配,而图 4 中拥有群发功能的用户不采用随机分配的方式,而依照度的大小排序,最靠前的 NP_2 个节点为

第二类用户,另外两种性格的用户依然随机分配.图 4 中三种网络中收到短信息的人数均大大增加,同时短信息的传播速率明显高于随机分配方式.拥有群发功能的用户在整个网络中比例很小,可是这类人对短信息的传播产生巨大的影响,使得整个网络中收到短信息人数明显增加.

3.3.2. 第三类用户转发短信息行为对短信息传播的影响

本文提出的短信息传播模型中, P_f 会对短信息传播产生影响. P_f 对短信息传播过程的影响如图 5 所示.对于无标度网络和小世界网络均生成 5 次网络,在每一个网络中 P_f 在 $[0, 1]$ 每隔 0.02 进行 2000 次短信息传播,记录每个网络对应 P_f 下短信息传播终态的寿命 T 和收到短信息的人数 N_s .然后对寿命 T 和收到短信息的人数 N_s 取平均值.对于短信息网络不能多次生成网络,所以在每个 P_f 下进行 10000 次的短信息传播.

从图 5(a) 可以看到,随着 P_f 的增加,三种网络中收到短信息人数出现了有趣的现象.在 $P_f = 0.5$ 时,短信息网络中的人数大于小世界网络,这与图 3 相符;可是当 P_f 增大到一定程度时,短信息网络中收到短信息的人数反而少于小世界网络.短信息网络同小世界网络相比,两者的平均最短路径相差不多,但是短信息网络的聚集系数明显大于小世界网络,这在某种程度上说明小世界网络比短信息网络更接近随机网络.如果把 P_f 看作传播临界值,小世界网络存在一个正的传播阈值,与均匀网络存在一

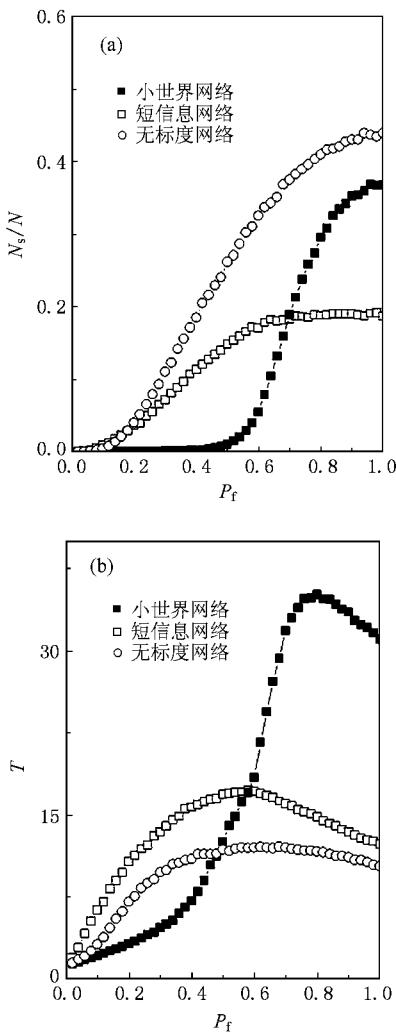


图5 P_f 对小世界网络、无标度网络和短信息网络短信息传播行为的影响 $P_1 = 0.4, P_2 = 0.08, P_3 = 0.52, T_p = 2$. 对于无标度网络和小世界网络, $N = 8000, \bar{k} = 2.8$; 对于短信息网络, $N = 7808, \bar{k} = 2.79$. (a) P_f 对 N_s 的影响 (b) P_f 对 T 的影响.

个有限的正的传播阈值理论^[20-21]相符. 短信息网络和无标度网络人数随着 P_f 的减少都是连续而且平滑地过度到零, 两个网络中传播临界值均趋于零, 验证了短信息网络拥有无标度网络的特征, 同时也支持了无限增长的无标度网络中临界值消失这一结论^[20-21].

图 5(a) 的结果与短信息网络中存在组间连接这个特有的拓扑结构有很大的关系. 短信息网络的网络参数说明短信息网络存在高聚类性. 根据经验, 实际生活中人际关系建立的一个重要的方式就是认识朋友的朋友^[14,15], 形成一种三角形模体^[22-24]. 其实, 人际关系网络具有子团内部连接紧密但子团之间连接稀松这个特征. 这是短信息网络与无标度网

络和小世界网络最大的不同. 正是这种拓扑结构上的差异, 当存在 40% 的第一类用户且 P_f 足够大时, 无标度网络和小世界网络中短信息仍然可以转发出去; 而对于短信息网络, 第一类用户的存在很可能破坏脆弱的组间连接, 短信息的传播路线被阻断, 导致短信息无法传播, 使得网络中收到短信息的人数最少. 所以, 正是短信息网络特有的网络拓扑结构导致短信息网络中收到短信息的人数少于其他两种网络.

图 5(b) 是随 P_f 的增加短信息寿命的变化趋势. 图 5(b) 表明, 短信息网络中短信息寿命变化趋势与无标度网络更为接近. 三种网络中短信息寿命均先增加后减小, 短信息网络中短信息寿命的波动明显小于小世界网络, 但比无标度网络的波动明显. 由于在短信息传播模型中存在判定时间 T_p, T_p 和 P_f 导致节点转发短信息的时间会在 T_p 内变化, 这给分析和解释短信息寿命造成一定困难, 但研究短信息在网络中的短信息寿命也是非常有意义的, 研究短信息寿命也就是研究短信息传播的持续时间.

3.3.3. 第一类用户的比例对短信息传播的影响及短信息寿命分析

为了研究短信息寿命的本质与 P_1 对传播的影响, 本文采用固定 P_f , 观测 P_1 对短信息传播过程的影响. 对于无标度网络和小世界网络均生成 5 次网络, 在每一个网络中 P_1 在 $[0, 1]$ 每隔 0.02 进行 2000 次短信息传播, 记录每个网络对应 P_1 下短信息传播终态的 T 和 N_s , 然后对 T 和 N_s 取平均值. 对于短信息网络不能多次生成网络, 所以在每个 P_1 下进行 10000 次的短信息传播.

从图 6(a) 可以看出, P_1 的存在阻断了短信息传播的路径, 相当于在短信息传播过程中随机除去此类节点, 所以从 P_1 对网络的影响中可以看出网络承受随机攻击的能力. 三种网络中无标度网络承受随机攻击的能力最强, 短信息网络居中, 小世界网络最差. 这里的承受攻击的能力是指短信息在网络中不能传播时对应的 P_1 值. 无标度网络对随机故障存在极高的鲁棒性^[6], 这源于网络度分布的极端非均匀性. 图 6(a) 中无标度网络的曲线与文献 [6] 中无标度网络承受随机攻击后最大连通子图曲线完全一致. 对比图 6(a) 的曲线和文献 [6] 中的对应曲线, 说明采用这样方法解释 P_1 对短信息传播的影响是有理可依的.

网络直径是网络中任意两点间的最大距离^[1].

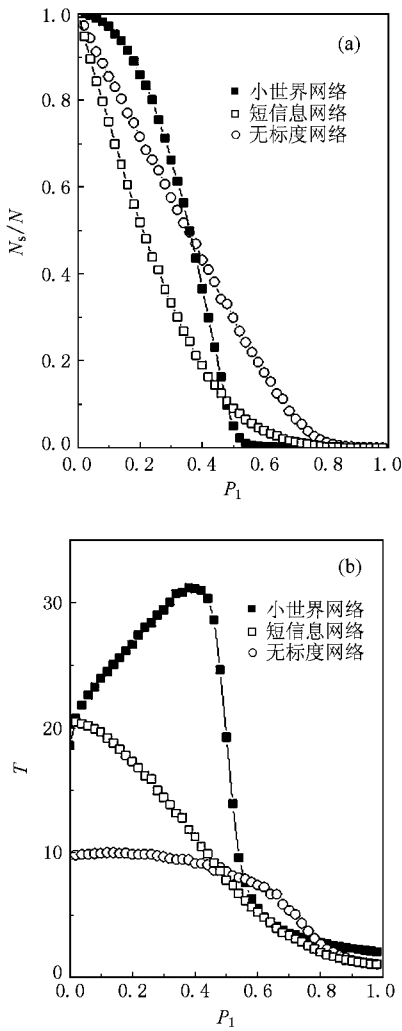


图 6 P_1 对小世界网络、无标度网络和短信息网络短信息传播行为的影响 $P_2 = 0, P_3 = 1 - P_1, P_f = 1, T_p = 2$. 对于无标度网络和小世界网络, $N = 8000, \bar{k} = 2.8$; 对于短信息网络, $N = 7808, \bar{k} = 2.79$. (a) P_1 对 N_s 的影响 (b) P_1 对 T 的影响.

本文提出的短信息寿命这个参数受网络直径的直接影响. 这里的网络直径指的是按照手机用户性格分配后的短信息传播网络的网络直径. 第一类用户的存在相当于屏蔽了此类节点, 这类节点所能提供的道路也被阻断, 第一类用户的存在改变了原有网络的网络直径. 图 6 (b) 中, 由于 $P_1 = 0, P_f = 1$, 短信息在网络中传播会没有任何障碍地传遍整个网络. 所以, 在此情况下无论初始短信息落在哪个节点, 短信息在网络中的传播时间即为网络的平均直径. 作者分别计算三种网络的原始平均网络直径, 结果同 $P_1 = 0$ 和 $P_f = 1$ 时短信息寿命相符. 图 6 (b) 中短信息寿命的变化趋势可以理解为三种网络的网络直径随着 P_1 增加的变化趋势.

小世界网络存在大量的长程连接. 随着 P_1 的增大, 网络中的“近路”被 P_1 阻断, 使得短信息传播须要通过存在的长程连接“绕道而行”, 所以短信息寿命逐渐增大并且达到一个极大值. 但是随着 P_1 的进一步增大, 网络被破坏到一定程度后, 整个网络被分割成一些缺乏连接、相互独立的子团, 传播被限制在单个子团内部, 单个子团的网络直径远小于原来整个网络的网络直径. 对于无标度网络, 网络直径在某种程度上取决于度大的集线器节点, 当 P_1 较小时这些集线器节点被占据的概率较小, 导致网络直径下降不大. 当 P_1 增大到一定程度, 这些集线器节点逐渐被占据后, 无标度网络被分割成一些更小的子团, 这些子团的网络直径趋于零, 所以短信息寿命趋于零.

对于本文最关注的短信息网络, 其网络直径在三种网络中最大, 所以在 $P_1 = 0$ 时短信息寿命也是三种网络中最大. 当 P_1 开始增大时, 网络中绝大部分的用户均可以转发短信息, 此时短信息网络中度分布的不均匀性占主导地位. 但是短信息网络中最大的节点度为 70, 网络度分布的不均匀性明显逊于无标度网络. 而且以上提到由于短信息网络拓扑结构的特殊性存在大量的组间连接, 所以短信息网络没有能力维持网络直径保持在一个相对恒定的值, 导致短信息寿命呈现线性下降的趋势. 当 P_1 增大到一定程度时短信息网络被分割成很多的孤立的子团, 这种情况同小世界网络非常类似, 而且此阶段的曲线与小世界网络非常接近.

4. 结 论

人类的行为模型是最近的研究热点之一^[25-28]. 在许多的传播模型中, 它们的传播媒介虽然各不相同, 但是它们的载体大多是人类, 人的行为会对整个传播过程产生影响. 所以在研究以人为载体的传播模型时, 如果能够引入人的行为对更好地认知传播行为非常有帮助. 本文基于实际生活中手机用户的性格和转发短信息的习惯, 结合复杂网络理论和传染病模型提出一种模拟实际生活的短信息传播模型, 并利用此模型研究短信息传播过程. 比较了短信息在无标度网络、小世界网络和短信息网络三种网络中的传播过程, 发现网络拓扑结构和手机用户的行为均会影响短信息传播过程. 无标度网络中, 短信息传播速率快于小世界网络和短信息网络, 但是短信息寿命较其他两种网络短. 网络中手机用户的行

为也影响短信息的传播过程,例如增加拥有群发功能用户的连接度就会使得网络中收到短信息的人数大大增加.同时还发现短信息寿命与网络直径有关.

感谢北京邮电大学杨俊忠教授、北京师范大学狄增如教授对本文工作的指导和建议.

- [1] Watt D J 2004 *Ann. Rev. Soci.* **30** 243
- [2] Watts D J, Strogatz S H 1998 *Nature* **393** 440
- [3] Newman M E J 2002 *Comput. Phys. Commun.* **147** 40
- [4] Newman M E J, Watts D 1999 *Phys. Lett. A* **263** 341
- [5] Barabási A L, Albert R 1999 *Science* **286** 509
- [6] Albert R, Jeong H, Barabási A L 2000 *Nature* **406** 387
- [7] Zou C C, Towsley D, Gong W B 2003 *Email Virus Propagation Modeling and Analysis* (Amherst: University of Massachusetts)
- [8] Wang X F, Li X, Chen G R 2006 *Theory and Applied of Complex Networks* (Beijing: Tsinghua University Press) (in Chinese) [汪小帆、李翔、陈关荣 2006 复杂网络理论及其应用(北京:清华大学出版社)]
- [9] Zanette D H 2002 *Phys. Rev. E* **65** 041908
- [10] Moreno Y, Nekovee M, Pacheco A F 2004 *Phys. Rev. E* **69** 066130
- [11] Dodds P S, Watts D J 2004 *Phys. Rev. Lett.* **92** 218701
- [12] Piccardi C, Casafrandi R 2008 *Phys. Rev. E* **77** 026113
- [13] Wang J, Kong L J, Liu M R 2006 *J. Guangxi Norm. Univ. (Nat. Sci. Ed.)* **24** 3 (in Chinese) [王静、孔令江、刘慕仁 2006 广西师范大学学报(自然科学版) **24** 3]
- [14] Wu Y, Xiao J H, Wu Z Y, Ma B J, Yang J Z 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2037 (in Chinese) [吴晔、肖井华、吴智远、马宝军、杨俊忠 2007 物理学报 **56** 2037]
- [15] Ma B J, Xiao J H, Yang J Z 2006 *Dynam. Cont. Dis. B* **13** 371
- [16] Girvan M, Newman M E J 2002 *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **99** 7821
- [17] Gleiser P, Danon L 2003 *Adv. Compl. Syst.* **6** 565
- [18] Liu Z H, Hu B 2005 *Europhys. Lett.* **72** 315
- [19] Li C G, Maini P K 2005 *J. Phys. A* **38** 9741
- [20] Pastor-Satorras R, Vázquez A, Vespignani A 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 3200
- [21] Pastor-Satorras R, Vespignani A 2001 *Phys. Rev. E* **63** 066117
- [22] Milo R, Shen-Orr S, Itzkovitz S, Kashtan N, Chklovskii D, Alon U 2002 *Science* **298** 824
- [23] Shen-Orr S, Milo R, Mangan S, Alon U 2003 *Nature Genet* **31** 64
- [24] Yeager-Lotem E, Sattath S, Kashtan N, Itzkovitz S, Milo R, Pinter R Y, Alon U, Margalit H 2004 *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **101** 5934
- [25] Vázquez A 2005 *Phys. Rev. Lett.* **95** 248701
- [26] Gonçalves B, Ramasco J J 2008 *Phys. Rev. E* **78** 026123
- [27] Vázquez A, Oliveira J G, Dezső Z, Goh K, Kondor I, Barabási A L 2006 *Phys. Rev. E* **73** 036127
- [28] Vázquez A, Rúcz B, Lukács A, Barabási A L 2007 *Phys. Rev. Lett.* **98** 158702

Short message spreading in complex networks and longevity of short message^{*}

Li Ming-Jie Wu Ye Liu Wei-Qing Xiao Jing-Hua[†]

(*School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunication, Beijing 100876, China*)

(Received 26 October 2008; revised manuscript received 12 December 2008)

Abstract

In order to find factors which influences on short message spreading, we compare short message propagation on three networks: scale-free, small-world and true-life short messages networks. The topology of short message network and the behaviors of mobile phone users play important roles in determining the behavior of a short message spreading. The impact of the scale-free network on the spread of short messages is twofold: messages spread more quickly than on small-world or true-life short messages networks, but longevity of short message is less than the other networks. Some behaviors of mobile phone users obviously influence the process of short message spreading. Meanwhile, we found that the longevity of short message relate to network diameter.

Keywords: complex networks, short message, epidemics, human activity

PACC: 0590, 0175

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10575016).

[†] Corresponding author. E-mail: jhxiao@bupt.edu.cn