

基于社交关系的移动机会网络路由算法

余 翔, 刘志红, 闫冰冰

(重庆邮电大学 宽带移动通信动员中心, 重庆 400065)

摘 要: 在基于节点社交信息移动机会网络路由算法的设计中, 存在不能有效平衡数据的传输成功率与平均传输时延的问题。为此, 提出一种基于社交关系的路由算法。利用改进的桥接中心度重新评价节点的异质中心性, 通过引入社区内的转发判别因子加快社区内消息的转发, 结合带有老化机制的 Simple 社区识别算法选择转发节点。仿真结果表明, 与经典算法 Bubble Rap 及其改进算法 BiBubble、BridgingCom 相比, 该算法能够有效提高消息投递成功率并减小消息平均传输时延。

关键词: 移动机会网络; 社交信息; 中心度; 社区; 路由算法

中文引用格式: 余 翔, 刘志红, 闫冰冰. 基于社交关系的移动机会网络路由算法[J]. 计算机工程, 2017, 43(12): 98-102.

英文引用格式: YU Xiang, LIU Zhihong, YAN Bingbing. Routing Algorithm Based on Social Relationship in Mobile Opportunistic Network[J]. Computer Engineering, 2017, 43(12): 98-102.

Routing Algorithm Based on Social Relationship in Mobile Opportunistic Network

YU Xiang, LIU Zhihong, YAN Bingbing

(Broadband Mobile Communication Mobilization Center,
Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

[Abstract] In the design of routing algorithms in mobile opportunistic networks based on node social information, there is a problem that it is hard to balance transmission success ratio with average transmission delay effectively. In order to solve this problem, the routing algorithm based on social relationships is proposed, which makes use of center of the improved bridging centrality degree to evaluate the node heterogeneity and speeds up the messages forwarding through the introduction of forwarding discrimination factor in the community, and chooses forwarding nodes according to simple community identification algorithm with aging mechanism. Simulation results show that the proposed algorithm can effectively improve the message delivery success rate and reduce the average transmission delay compared with the classic algorithm Bubble Rap and its improved algorithms BiBubble and BridgingCom.

[Key words] mobile opportunistic network; social information; centrality; community; routing algorithm

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.12.019

0 概述

随着便携式智能设备的感知、计算及通信能力不断增强, 利用这些设备组成的移动感知网络, 可以随时随地对人类经常活动的热点区域进行感知, 满足物联网泛在互联与透彻感知的需求^[1]。而这种类型的网络拓扑具有时变性, 节点资源受限, 且节点之间往往不存在完整的连通链路, 传统网络的通信模式难以有效运行。而移动机会网络通过合理利用节点间的接触机会, 以“存储-携带-转发”的方式, 实现数据的转发投递, 作为实现间歇式连通环境下节点通信的网络, 在信息服务、灾难救援、军事领域等很多方面具有良好的应用前景^[2]。

移动机会网络间歇连通的特性, 使得路由算法成为其研究的重中之重, 路由算法的高效与否决定了机会网络能否成功地应用。然而, 节点的频繁移动、网络资源受限、全局信息缺乏以及移动模式的多样性都给移动机会网络的路由算法的设计带来了极大的挑战。在许多实际的应用场景中, 现有的路由算法在设计时, 并没有考虑移动节点相遇特性的差异, 造成了许多消息的无效转发, 在人载移动设备组成的移动机会网络中表现尤为突出。在这类网络中, 节点的移动相遇特性受社交关系的制约表现出个体上差异性与稳定性, 使得其数据转发能力也不尽相同。因此, 在设计路由算法时, 需要考虑人类社交关系对节点数据转发能力的影响, 合理选择消息

基金项目: 国家科技重大专项“新一代宽带无线移动通信网”(2015ZX03004004)。

作者简介: 余 翔(1969—), 男, 副教授、硕士, 主研方向为网络及信息安全、下一代网络协议; 刘志红(通信作者)、闫冰冰, 硕士研究生。

收稿日期: 2016-11-14 **修回日期:** 2016-12-19 **E-mail:** liuzhihongcqpt@163.com

转发节点,从而可以提升算法性能。

近年来,基于社交信息的移动机会路由算法的研究受到了广泛关注,表现出小世界^[3]、异质化的中心度、周期活动的规律性等特点。利用节点间的社交信息,设计解决信息传输效率和准确性较低问题的解决方案。PeopleRank 算法^[4]利用 PageRank 算法分布式地估算节点中心度,有效降低了算法复杂度,但消息平均传输时延较大。Bubble Rap 算法^[5]将节点的异质中心度和社区作为转发节点选择的依据。但由于在转发过程中消息会涌向中心度高的节点,致使这些节点的缓存被迅速消耗,算法的缓存资源利用率较低。BiBubble 算法^[6]基于 Bubble 算法,通过引入社交联系水平值来增加有转发潜力的节点数量,改善了 Bubble Rap 算法缓存资源利用低的问题。ICR 算法^[7]将节点兴趣爱好量化,并根据节点间兴趣爱好的相似性划分社区,综合考虑节点的社区属性及节点间历史接触信息来设计路由策略。CPMRA 算法^[8]根据节点与目的社区的相遇历史设置本地社区与目标社区的活跃度,以此作为社区间转发节点选择的依据,使得消息在节点移动具有异构和相关性的社区中以较小的资源消耗完成消息的投递。ONCS 算法^[9]在依据节点间稳定连接次数划分网络社区的基础上,根据介中心性和相似性定义节点社会性,以此作为选择下一跳转发节点的依据,加快了消息向目的节点方向的扩散。BridgingCom 算法^[10]将社交网络理论中的节点重要性及与移动机会网络的特征相联系,并结合节点社区关系和活跃度,来选择转发节点,取得了较高的消息投递成功率并降低了传输时延。

针对上述算法存在的问题,本文提出一种基于社交信息的移动机会网络的路由算法——RASR 算法。

1 基于社交关系的 RASR 路由算法

1.1 局部介数中心度

传统的介数中心度^[11]的计算过程需要计算整个网络中节点对间的距离,在间歇连通的网络环境中,这种计算方法存在一些问题:首先,计算复杂度较高,为 $O(n^3)$, n 为网络中节点总数,计算过程收敛慢,不适合规模较大、时效性较强、对运算效率要求较高的网络;其次,由于时效性问题,距离较远的节点对的距离的计算会干扰节点介数中心度的计算。

考虑到以上问题,本文引入路径约束系数 K 及每跳最大传输时延 T 。在计算最短路径时,只将 K 步范围内及每跳最长传输时延 T s 范围内的节点对加入介数中心度计算过程,降低了计算最短路径的次数,从而降低了局部介数中心度的计算复杂度,其复杂度小于 $O(mK)$,其中, m 表示网络中节点的最大连接数,提高计算了效率,避免过多长路径节点对间的距离计算带来的误差。这样的介数

中心度称为局部介数中心度,下面给出局部介数中心度的定义。

$$C_{LB}(v_i) = \sum_{s,t \in V} \frac{g_{s,t}(v_i)}{g_{s,t}} \quad (1)$$

且满足以下约束条件:

$$\begin{cases} |p_{s,t}(v_i)| \leq K \\ \frac{|TS_{gen}(M,s) - TS_{del}(M,t)|}{|p_{s,t}(v_i)|} \leq T \end{cases} \quad (2)$$

其中, $g_{s,t}(v_i)$ 和 $p_{s,t}(v_i)$ 分别表示点对 s,t 满足式(2)下的经过节点 v_i 的最短路径总数和最短路径, $TS_{gen}(M,s)$ 和 $TS_{del}(M,t)$ 分别代表消息 M 在源节点 s 产生时的时间标签和在目标节点 t 成功投递时的时间标签, V 表示节点集合。

1.2 改进的桥接中心度

为了使消息能够尽快进入目标节点所在社区,识别出在社区间充当桥梁作用的节点成为一个关键因素。所以,本文采用改进的桥接中心度来识别这些起到“桥梁作用”的节点。桥接中心度定义如下:

$$C_{BC}(v_0) = C_{LB} \cdot \mu(v_0) \quad (3)$$

其中, $C_{LB}(v_0)$ 表示节点 v_0 的局部介数中心度, $\mu(v_0)$ 表示加权因子(桥接系数),其定义如下:

$$\mu(v_0) = \frac{C_{out}(v_0)}{C_{out}(v_0) + C_{out}(v_{enc})} \quad (4)$$

其中, $C_{out}(v_0)$ 和 $C_{out}(v_{enc})$ 表示节点 v_0 及其相遇节点 v_{enc} 的出度中心度。区别于文献[13]中桥接系数定义中采用度中心度,本文采用出度中心度,因为出度中心度更能反映一个节点的消息转发意愿的强烈程度,出度中心度越高,节点越有可能将消息转发出去,当节点的出度中心度较低时,即便其 Ego 中心度较高,也只有遇到目的社区内节点时,才将消息进行转发,不利于加快消息向目标节点的交付。

1.3 节点所在社区的社交联系强度

节点所在社区的社交平均联系强度(Average Social Relationship Level, ASRL)^[9]定义为节点所属社区内所有节点的中心度熵值,能够社区内节点转发能力的平均水平。区别于文献[9]中的定义方法,本文采用 K-Shell 中心度来定义。ASRL 的定义如下:

$$ASRL(v_0) = \frac{1}{|Com(v_0)|} \sum_{v_i \in Com(v_0)} C_{KS}(v_i) \quad (5)$$

其中, $Com(v_0)$ 和 $|Com(v_0)|$ 分别表示节点 v_0 所属的社区及社区内节点的数目, $C_{KS}(v_i)$ 表示节点 v_i 的 K-Shell 中心度^[12],与其他中心度相比, K-Shell 中心度在计算过程中避免了中心度重复叠加的影响,从而避免了社区内节点中心度的叠加给不同社区社交联系强度比较带来的误差。

1.4 社区内节点转发判别因子

文献[9-11]算法对于消息在本地社区内转发时,节点转发能力的排名依据都采用了 Ego 中心度,

这样的做法存在一个问题,对于在社区内转发的消息,若相遇的两节点的共同邻居较多时,如图1(a)所示,不利于消息在社区内的传播;当相遇的两节点的非共同邻居较多时,如图1(b)所示,能够加速消息在社区内传播。

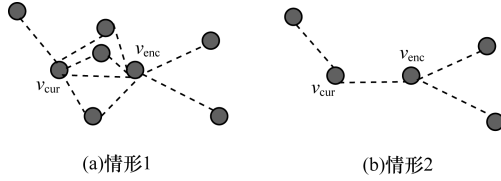


图1 相遇节点的邻居节点

针对这个问题,本文提出社区内节点转发判别因子的概念,定义如下:

$$\alpha(v_{cur}) = \frac{|N(v_{cur}) - N(v_{cur}) \cap N(v_{enc})|}{|N(v_{cur}) \cap N(v_{enc})|} \quad (6)$$

其中, v_{cur} 和 v_{enc} 分别表示当前节点与相遇节点, $N(v_{cur})$ 和 $N(v_{enc})$ 分别表示 v_{cur} 和 v_{enc} 的邻居节点集合。社区内当前节点 v_{cur} 的转发判别因子实际表示当前节点 v_{cur} 与相遇节点 v_{enc} 的非共同邻居节点与其共同邻居节点的比值,显而易见,当这个比值大于1时,有利于加快消息向目标节点方向传播。因此,本文采用Ego中心度和节点转发判别因子决定社区内节点是否需要转发。

1.5 RASR 路由算法

由社交网络分析理论可知,人们大多在某些固定区域或社区间活动,跨社区传输的消息在转发过程中可能会经过其他社区。如果转发范围被限制在局部区域,那么不仅会造成较低的消息投递成功率,而且会占用转发节点的有限缓存资源。所以,综合考虑节点的接触信息和社交关系可使消息的传输更具方向性和目的性,从而可增加消息投递成功率,减小消息传输平均延迟。但网络拓扑的时变性使得节点难以获取全局网络拓扑。所以,采用文献[10]中提出的带有老化机制的Simple局部社区识别算法来识别节点的社区。在此基础上,考虑节点的接触信息和社交关系,提出一种基于社交关系的RASR算法,根据节点的不同社交关系选择不同的转发节点,防止本地社区消息向外扩散及减少跨社区传输消息在社区内部的转发,使得消息转发更具方向性和目的性。当消息未达目标社区时,选择桥接中心度高或ASRL值较高的节点作为转发节点,可以使得具有转发潜力的中心度较低的节点参与社区间消息的转发,缓解高中心度节点在转发过程中的缓存压力,提高遇到目的节点的机率;当消息已达目的社区时,将Ego中心度较高且节点转发判别因子大于1的节点作为转发节点,可以防止消息副本的过度扩散。

图2描述了RASR路由算法的一个实例。网络分为A、B和C3个社区,当节点S要给本社区内节

点 D_1 发送消息时,尽管S与 D_1 无法直接通信,但,S可选取Ego中心度高且转发判别因子大于1的节点作为转发节点,进而可尽快将消息传递到 D_1 。当S有消息要传递给C中的节点 D_2 时,假设最佳路径经过B中的节点才能到达C中的 D_2 。此时可根据改进的桥接中心度或ASRL值选取社区间的转发节点 B_1 ,尽快将消息推从A扩散到B,进而获得到达C中 D_2 的传输路径。

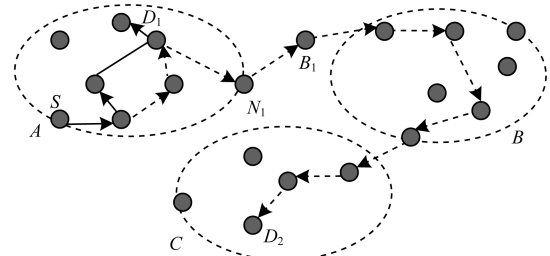


图2 消息转发实例

RASR 算法伪代码如下:

1. v_{cur} : current node
2. v_{des} : destination node
3. v_{enc} : encountering node
4. M: message carried by v_{cur}
5. When v_{cur} encounters v_{enc} then
6. If $v_{cur} \in \text{Com}(v_{des})$
7. If $v_{enc} \in \text{Com}(v_{des})$ then
8. If $(C_{ego}(v_{cur}) < C_{ego}(v_{enc}) \ \&\& \ \alpha(v_{enc}) > 1)$ then
9. Forwarding M to v_{enc}
10. End if
11. End if
12. Else
13. If $v_{enc} \in \text{Com}(v_{des})$ then
14. Forwarding M to v_{enc}
15. Else
16. If $(C_{BC}(v_{cur}) < C_{BC}(v_{enc}) \ \parallel \ \text{ASRL}(v_{cur}) < \text{ASRL}(v_{enc}))$ then
17. Forwarding M to v_{enc}
18. End if
19. End if

2 实验结果与分析

为验证RASR算法的性能,在the ONE仿真平台上比较了本文提出的路由算法与Bubble Rap算法^[5]、BiBubble算法^[6]及BridgingCom算法^[10]在不同TTL(Time to Live)情况下的传输性能。

2.1 实验数据及主要性能指标

为了验证算法在真实场景中的性能,本文使用了以下2个著名的数据集:

1) Reality^[13](全称为MIT Reality Mining Project数据集):该数据集收集了Reality Mining项目中来自MIT Media实验室及其附近实验的100个学生的接触和移动数据的日常数据。由于时间跨度较长,本文选用了该数据集中4段比较稳定的连接数据。

2) Infocom06^[14] (全称为 Hagggle Project 数据集):该数据集记录了 98 个 Infocom06 与会者携带的 iMotes 终端的接触及移动数据,鉴于持续时间较短,所以,对整个数据集进行仿真验证。

表 1 列出了上述 2 个数据集的基本信息^[10]。

表 1 Reality 和 Infocom06 数据集基本参数信息

参数	Reality	Infocom
设备	Phone	iMote
网络类型	Bluetooth	Bluetooth
持续周期/d	246	3
连接间隔/s	300	120
实验设备数目	97	98
连接事件	54 667	191 336
平均每天节点间连接事件数目	0.024	6.7

算法的主要性能指标采用文献[15]中的 3 种性能指标:

1) 消息传输成功率

$$\text{消息投递成功率} = \frac{\text{成功交付的消息数}}{\text{源节点产生的原始消息数}}$$

2) 平均传输时延

$$\text{平均传输时延} = \frac{\text{所有成功交付的消息的延迟之和}}{\text{成功交付的消息总数}}$$

3) 开销比

$$\text{开销比} = \frac{\text{转发的消息总数} - \text{成功交付的消息数}}{\text{成功交付的消息数}}$$

2.2 实验方法及仿真流程

本文实验通过 the ONE 提供的导入移动模式,将 2 个数据集导入仿真平台。为了更好地评估算法性能,节点缓存设置为 10 MB,消息大小为 5 KB ~ 10 KB。Simple 社区识别算法基本参数如表 2 所示。

表 2 Simple 社区识别算法基本参数

参数	Reality	Infocom06
连接时间阈值	21 500	10 700
并入阈值	0.625	0.625
合并阈值	0.625	0.625
连接老化阈值	21 500	10 700

本文实验除 the ONE 外,还用到了 perl、Origin7.0 等软件,仿真流程如图 3 所示。

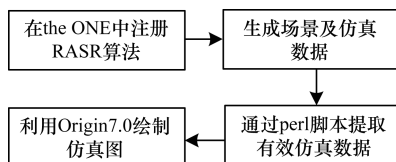


图 3 仿真流程

2.3 结果及分析

经多次实验,参数 K 和 T 分别取 4 和 3 h、12 h 和 14 h 时,Infocom06 和 Reality 数据集下的 RASR 算法得到最优性能。

从图 4 可以看出,各算法的消息传输成功率随着 TTL 的增大而增大,并且呈现出增长率先增大后减少并逐渐平稳的趋势,这是因为当 TTL 较小时,消息很容易因为生命周期短而被节点抛弃,当 TTL 逐渐增大时,消息能够在节点缓存中停留更多时间,增大了其遇到合适转发节点的可能,但随着 TTL 的继续增大,节点需要缓存更多的消息,一部分消息由于节点缓存饱和而被抛弃,因而传输成功率的增长变缓。与对比算法相比,RASR 算法的传输成功率方面的性能较优。这是因为 RASR 算法通过改进的桥接中心度来评价社区间节点的异质中心性,一定程度上减小了以往中心度求解过程中中心度重复叠加效应对评价节点中心性时造成的误差,使得消息真正沿着中心度高的方向传播,增大了消息接触到目的社区的可能,从而提高了消息投递成功率。

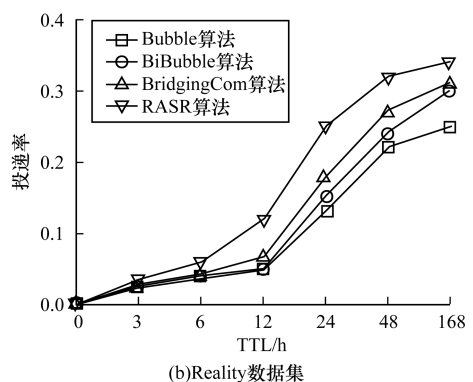
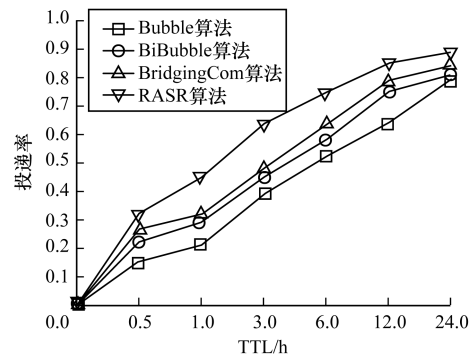


图 4 不同数据集下消息 TTL 对投递成功率的影响

从图 5 可以看出,RASR 算法的消息平均传输时延较对比算法更低,这是由于 ASRL 值及桥接中心度的引入,使得网络中有转发潜力中心度较低的节点能够参与社区间消息的转发,这部分节点的中心度虽然较低,但其所在社区的整体中心度水平较高,即这类节点频繁地与中心度较高的节点接触,因而非常适合作为转发节点,通过这样的转发节点使得消息能够更快接触到目的社区内的节点,进而将消息投递给目标节点,从而降低了消息的平均传输时延。

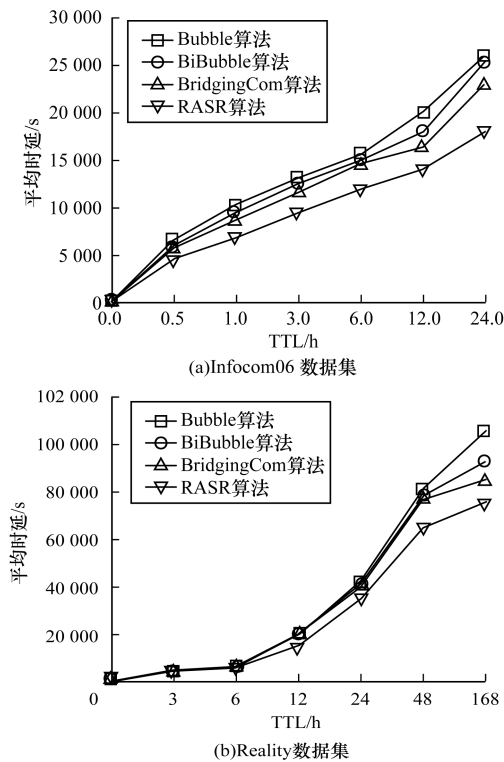


图5 不同数据集下消息 TTL 对平均传输时延的影响

从图6可以看出,RASR算法增加了网络的开销,但随着TTL的增加,产生的冗余消息数目稳定,开销比的增长缓慢,主要原因是RASR算法只选择转发能力较强的节点充当转发节点,这部分节点的数目相对稳定,因而产生的冗余消息数目也就相对稳定,从而减缓了网络开销比的变化。

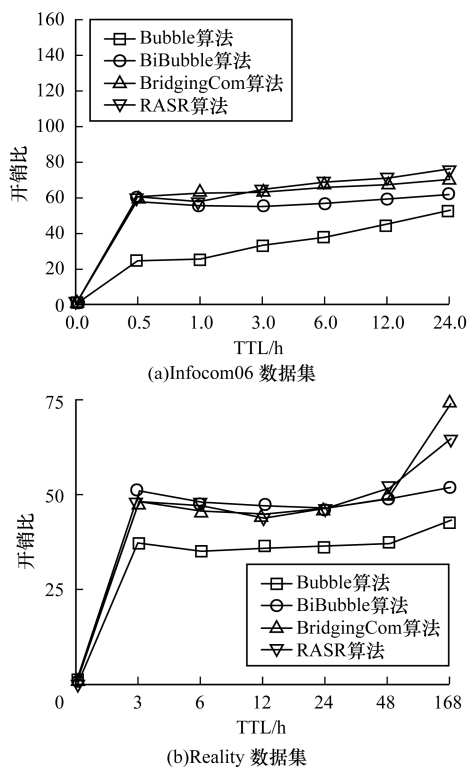


图6 不同数据集下消息 TTL 对开销比的影响

3 结束语

本文提出一种基于社交关系的移动机会网络路由算法。利用改进的桥接中心度发现具有转发潜力的低中心度节点,引入转发判别因子来加快社区内消息的转发,通过在Simple社区识别算法中加入老化机制,控制消息向目标社区方向传播。实验结果表明,在略微增加开销比的条件下,该算法有效平衡了消息投递成功率与平均传输时延,获得了较好的网络性能。

参考文献

- [1] 马华东,袁培燕,赵东. 移动机会网络路由问题研究进展[J]. 软件学报,2015,26(3):600-616.
- [2] 熊永平,孙利民,牛建伟,等. 机会网络[J]. 软件学报,2009,20(1):124-137.
- [3] MILGRAM S. The Small World Problem [J]. Psychology Today,2010,2:60-67.
- [4] MTIBAA A, MAY M, DIOT C, et al. PeopleRank: Social Opportunistic Forwarding [J]. Proceedings-IEEE INFOCOM,2010,54(1):111-115.
- [5] HUI P, CROWCROFT J, YONEKI E. BUBBLE Rap: Social-based Forwarding in Delay-tolerant Networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing,2011,10(11):1576-1589.
- [6] HU Tong, HONG Fei, ZHANG Xiao, et al. BiBUBBLE: Social-based Forwarding in Pocket Switched Networks[C]// Proceedings of International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing and International Conference on Autonomic & Trusted Computing. Washington D. C., USA: IEEE Press,2010:195-199.
- [7] 刘期烈,胡春风,朱德利,等. 机会网络节点兴趣社区检测及路由策略[J]. 北京邮电大学学报,2014(3):62-66.
- [8] 周军海,林亚平,周四望,等. 一种低功耗的社区机会网络消息路由算法[J]. 计算机科学,2014,41(1):178-182.
- [9] 李豪,陈志刚,吴嘉. 基于社区与社会性的机会网络路由算法[J]. 计算机工程,2015,41(12):64-68.
- [10] 曹玖新,陈高君,杨婧,等. 基于社会属性的PSN消息路由算法[J]. 通信学报,2015,36(5):13-22.
- [11] KAWAMOTO K, MATSUKUBO J, HAYASHI Y. Analysis for Betweenness Centrality in Social Network Models [C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Industrial Application Engineering. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2014:27-31.
- [12] KITSACK M, GALLOS L K, HAVLIN S, et al. Identifying Influential Spreaders in Complex Networks [J]. Nature Physics,2010,6(11):888-893.
- [13] EAGLE N, PENTLAND A. Reality Mining: Sensing Complex Social Systems [J]. Personal and Ubiquitous Computing,2006,10(4):255-268.
- [14] DIOT C. Huggle Project [EB/OL]. (2010-11-21). <http://www.huggleproject.org>.
- [15] MOTA V F S, CUNHA F D, MACEDO D F, et al. Protocols, Mobility Models and Tools in Opportunistic Networks: A Survey [J]. Computer Communications, 2014,48(8):5-19.