

移动社会网络中社会性路由算法研究^{*}

张力生^a, 董利亭^b, 张学旺^{a†}

(重庆邮电大学 a. 软件学院; b. 通信与信息工程学院, 重庆 400065)

摘要: 结合社会网络的“小世界”特性, 利用社会网络指标中心度, 提出一种基于中心度的副本控制路由 (CRCR) 算法。算法中, 路由分为社区内和社区间两种情况, 消息在社区内传输时, 将消息限制在社区内; 消息在社区间传输时, 利用中心度效用值衡量节点的活跃度, 增加消息到达目的节点的速度。仿真结果表明, CRCR 算法与经典机会路由算法相比, 具有较高的消息投递率、较小的网络开销和平均传输时延。

关键词: 移动社会网络; 延迟容忍网络 (DTN); 社会性路由; 社区; 中心度

中图分类号: TP393; TP301.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2014)02-0488-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.02.039

Research on sociality routing algorithms in mobile social networks

ZHANG Li-sheng^a, DONG Li-ting^b, ZHANG Xue-wang^{a†}

(a. School of Software Engineering, b. School of Communication & Information Engineering, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Taking advantage of the social network centrality index and considering the social network “small world” characteristic, This paper proposed a CRCR (centrality-based replica control routing) algorithm. In the CRCR algorithm, routing was partitioned by intra-community and inter-community routing, thus messages were limited in the community during message transmission in the community; while the inter-community message transmission took the centrality utility to measure the node activity, increased the speed of messages to the destination node. The simulation results illustrate that the CRCR algorithm, compared with classic opportunistic routing algorithm, has a higher message delivery rate, the smaller network overhead and the lower average delivery delay.

Key words: mobile social networks; delay tolerant networks; sociality routing; community; centrality

随着互联网的飞速发展, 出现了一类用户能自由创建、分享内容, 而且在线社会网络 (online social network, OSN) [1] 系统取得了巨大成功。近年来移动终端技术、宽带无线接入技术的飞速发展, 提供随时随地以及在移动的过程中享受社会网络服务的移动社会网络 (mobile social networks, MSNs) [2,3], 受到了学术界和工业界的广泛关注。大多数 OSN 已经将移动性方案作为关键举措和关键增长点, 其他主要的 IT 公司如 Google 和 Microsoft 也将制定 MSNs 技术策略 [3]。由于 MSNs 部署成本低, 将用户的物理位置与社会交互联系起来等优势, 在社会网络服务、医疗服务、可穿戴式服务等多个方面存在广泛的应用价值, MSNs 无疑具有广阔的发展前景。路由是任何组网技术和信息传输的基础, MSNs 中信息传输采用存储—携带—转发 (store carry and forward, SCF) 的路由方式, 对 MSNs 的社会性路由算法进行研究, 将对 MSNs 的应用和发展具有重要现实指导意义。

目前移动社会网络路由的研究很少, 针对 MSNs 提出的路由算法有 time critical content delivery 算法 [4]、message duplication reduction 算法 [5]、friendship based routing 算法 [6,7] 和 WSW 算法 [8]。本文根据 MSNs 中用户移动的社会性和采用社会网络分析角度中的节点中心度, 借鉴副本控制机会路由算法, 提

出一种基于中心度的副本控制路由算法 (centrality-based replica control routing algorithm, CRCR)。

1 移动社会网络的定义和分类

MSNs [2] 是由多个具有相似兴趣或共同点的用户通过移动电话或平板电脑等移动终端互连的社会网络。MSNs 结合了社会网络和移动通信网络, 兼有社会网络的社会性和移动通信网络的移动性, 是一个涉及用户社会关系的移动通信系统, 其结构如图 1 所示。

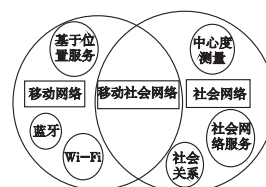


图1 移动社会网络

MSNs 分为两类 [3,9]: 基于 Web 移动社会网络 (Web-based MSNs, WMSNs) 和分散式移动社会网络 (decentralized MSNs, DMSNs)。WMSNs 是互联网上的社会网络向着移动化转变, 将用户的数据存储在中心服务器上。其优点是可以通过当前可用基础设施能够获得高质量的服务, 缺点是网络中的流量都要经过

收稿日期: 2013-05-05; **修回日期:** 2013-06-26 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (61003256); 重庆市自然科学基金重点资助项目 (cstc2012jjB40008); 重庆市教委科学研究资助项目 (KJ120522); 国家社会科学基金资助项目 (11XFX025)

作者简介: 张力生 (1965-), 男, 四川宜宾人, 教授, 硕导, 硕士, 主要研究方向为通信协议及软件、移动增值业务; 董利亭 (1988-), 女, 河南开封人, 硕士研究生, 主要研究方向为移动社会网络、机会路由; 张学旺 (1974-), 男 (通信作者), 湖南祁东人, 副教授, 硕导, 硕士, 主要研究方向为信息安全、未来互联网与电信增值业务、大型软件架构与软件建模、网络通信软件 (csxwzhang@foxmail.com)。

息流,通常称做社区间的“桥”节点,具有较高 BC 的节点能促进网络中各社区节点之间的通信,适用于数据包的转发。节点 P_i 的 BC 是网络中节点对之间最短路径中经过节点 P_i 的个数占有最短路径数的比例,用式(1)表示。

$$C_B(P_i) = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{j-1} g_{jk}(P_i)}{g_{jk}} \quad (1)$$

计算社会网络的节点介数中心度较复杂,文献[17]指出个体网络中节点 BC 和实际节点在整个网络中 BC 有很强的关联,可作为节点 BC 的参考,降低分析的复杂度。个体节点 BC 的计算方法是:定义一个 n 阶对称邻接矩阵 A ,表示与给定节点直接接触的节点之间的关系; n 是给定节点和与其直接相遇的节点数之和,当节点 i 和节点 j 之间有接触时,其值为 1,否则为 0。个体节点 BC 定义为 $A^2 [1 - A]$ 的主对角线以上非零元素倒数之和,其中 1 表示所有元素均为 1。节点介数中心度越大表明该节点越能有效促进各个群组间消息传输。为了表示两个节点介数中心度的相对大小,定义节点 n 相对节点 m 的介数中心度效用值为 $BCUtil_n$,用式(2)表示。

$$BCUtil_n = \frac{BC_n}{(BC_n + BC_m)} \quad (2)$$

其中: BC_n 、 BC_m 分别是节点 n 和 m 的介数中心度; $BCUtil_n$ 的取值范围是 $[0,1]$ 。同理,节点 m 相对节点 n 的介数中心度效用值是 $BCUtil_m = \frac{BC_m}{(BC_n + BC_m)}$ 。

3.3 CRCR 路由算法

CRCR 算法分为社区内路由算法和社区间路由算法,其流程图分别如图 3、4 所示。

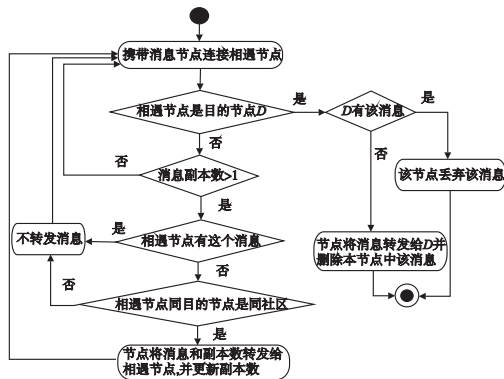


图3 社区内路由算法流程图

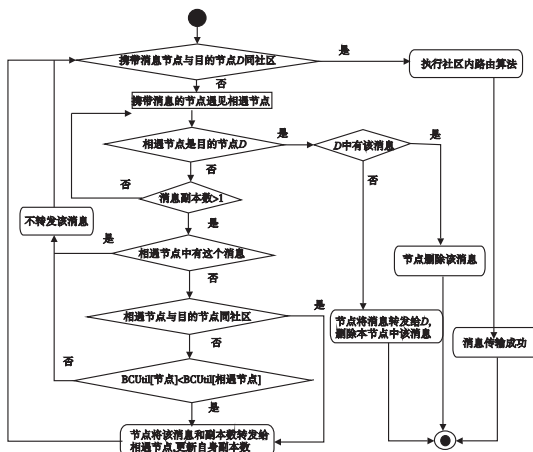


图4 社区间路由算法流程图

代码如下:

```

if (m.getTo().getID() == (m.getFrom().getID()))
{ //社区内消息传输
    if (m.getTo().getID() == other.getID())
    { //相遇节点和目的节点是同社区
        messageSendTo(other); //发送消息
    }
    else return; //不发送消息
}
else { //社区间消息传输
    if (m.getTo().getID() == other.getID())
    { //相遇节点和目的节点是同社区
        messageSendTo(other); //发送消息
    }
    else {
        if (otherUtil >= util)
        { // BCUtil[相遇节点] > BCUtil[当前节点]
            messageSendTo(other); //发送消息
        }
        else return; //不发送消息
    }
}
}

```

4 实验环境设置和结果分析

本文利用机会网络环境(opportunistic network environment, ONE)^[18]仿真平台,根据 MSNs 的异构性和社区性,选择与文献[19]类似的社区移动模型,对所提出的 CRCR 算法的有效性进行验证。网络中共设置 220 个节点,其中 200 个行人节点,16 个 bus 节点,4 个 car 节点,社区移动模型中配置了 5 个兴趣点,不同的群组对不同的兴趣点设置不同的吸引概率。配置文件中的重要参数如表 1 所示。

表 1 场景仿真参数设置

参数	值
网络区域/m ²	4500 × 3400
网络仿真时间/h	12
无线传输范围/m	10/100
传输速度	250 kbps / 10Mbps
数据间隔时间/s	[15, 25]
单个消息/kB	[100, 200]
停留时间/s	[0, 120]
普通行人节点/速度	200 个(0.8 ~ 1.4 m/s, 0.5 ~ 2 m/s)
汽车节点/速度	20 个(7 ~ 10 m/s, 2.7 ~ 13.9 m/s)
消息生存时间/min	300

分析不同节点缓存空间下 CRCR 算法与 Epidemic^[20]、PRoPHET、SnW^[21]算法的性能对比。Epidemic 是采用泛洪将消息传递给任何一个相遇节点的多副本算法,SnW 是将有限的副本传递给有限相遇节点的副本控制算法,PRoPHET 是把消息传递给与目标节点相遇概率较大的节点的多副本算法。假设节点之间建立连接时能够完成信息的传输,主要从传输成功投递率、网络开销、路由效率、平均跳数和平均传输时延方面进行对比实验,其中 CRCR 算法和 SnW 算法中的副本数均取为 10。节点缓存分别设置为 1、2、3、4、5、10、15、20、25、30 MB。

图 5 表明投递率随着缓存空间增加不断增加,并且缓存达到 25 MB 时,路由算法的投递率均处于稳定状态。结果表明当缓存较小时,多副本 Epidemic 和 PRoPHET 路由使得网络出现拥塞,造成较高的丢包率,投递率分别是 24.3% 和 53.5%,

CRCR 算法的投递率最大,达到了 90%,SnW 算法投递率只有 65%。当缓存空间从 1 MB 增加到 5 MB 时,各个路由算法的投递率迅速增加,CRCR 和 SnW 算法趋于稳定的状态,其投递率分别是 94% 和 89.9%。结果表明多副本路由算法对节点的缓存依赖性较大,CRCR 算法对节点缓存依赖性较小,在设备缓存空间受限的场景中能达到较好的性能。

图 6 显示在缓存较小时,多副本路由中大量消息被转发,所以 Epidemic 的开销很大,随着缓存空间的增大被成功投递的消息增多,在缓存为 20 MB 时,Epidemic 开销迅速减小到 80 左右。PRoPHET 路由在缓存较小时,被转发的消息较少,其开销是 79 左右,当缓存由 1 MB 逐渐增大到 4 MB 时,被转发的消息增加,但是网络可能出现拥塞,致使成功投递的消息数较少,造成网络开销逐渐增加到 100,之后随着缓存空间的增加逐渐减小,并稳定在 78 左右。CRCR 算法和 SnW 控制了网络中存在的副本数,网络开销比较稳定,分别是 6.4 和 10。结果表明这两个算法对节点缓存依赖性较弱,CRCR 算法提高了消息投递成功概率,所以一定程度上减小了消息在网络中平均中转次数,网络开销最小。

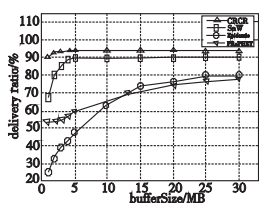


图5 投递率随缓存空间变化情况 图6 网络开销随缓存空间变化情况

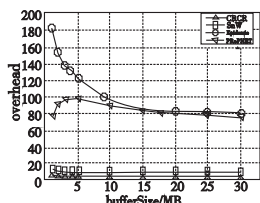


图 7 表明所有路由效率随缓存的增加而增加,CRCR 算法的路由效率最高,Epidemic 和 PRoPHET 的网络开销很大,所以路由效率很低,缓存从 1 MB 增加到 5 MB 的过程中,Epidemic、PRoPHET、CRCR 和 SnW 的网络开销均在增加,在 10 MB 时稳定,路由效率分别是 1、14.6 和 9.2。

图 8 显示了缓存较小时,大量数据包被丢弃,到达目的节点的平均跳数较大,当缓存空间增大时,缓存中可以存放更多的消息,这样消息就有更多的机会传递到目的节点,平均跳数降低。缓存为 1 MB 时,PRoPHET、SnW 和 CRCR 算法的平均跳数分别是 2.8、2.81 和 2.56,Epidemic 的平均跳数是 3.87;缓存为 2 MB 时,SnW、CRCR 算法的平均跳数分别达到 2.8 和 2.56 的稳定状态,而 Epidemic 达到最大 4.1,之后随着缓存增加,Epidemic 和 PRoPHET 平均跳数逐渐减小,并小于 CRCR。结果表明 CRCR 算法的平均跳数较小,并且随节点缓存变化较为稳定。

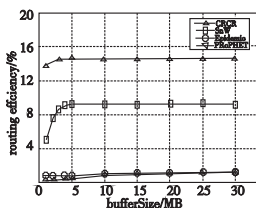


图7 路由效率随缓存空间变化情况 图8 平均跳数随缓存空间变化情况

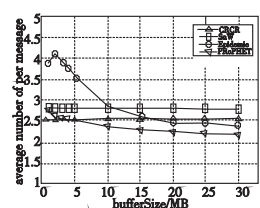


图 9 表明当缓存空间较小时,大量消息副本被丢弃,使得成功投递的消息平均传输时延较小,缓存空间不断增大,消息在节点中存储时间增加,使得消息平均传输时延也增加。Epidemic 和 PRoPHET 算法随缓存空间的增大而逐渐增大,在 20 MB 时分别为 5870 和 5520,SnW 算法则稳定在 3600 左右。CRCR 算法的平均传输时延对节点的缓存不敏感,一直处于 2600 左右的稳定状态,相比 SnW 算法减小了 1000。结果表明副本控制路由算法的平均传输时延较小,CRCR 算法利用了节

点移动的社区性,增加了消息投递率,相应减小了平均传输时延。

结果表明利用用户活动的社区性 CRCR 算法相比多副本路由和副本控制路由,具有较高的投递率和路由效率,并且平均传输时延和网络开销较小,对节点缓存空间资源受限的环境具有较强的适应性。

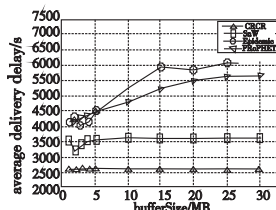


图9 平均传输时延随缓存空间变化情况

下面讨论生存时间 (time-to-live, TTL) 和消息产生间隔对路由性能的影响,由于篇幅限制这里仅分析路由效率。TTL 分别为 1、2、3、4、5、6、7、8 h;消息产生间隔为 2、4、8、12、16、20、24、28 s。图 10 和 11 分别是各个路由算法的路由效率随 TTL 和消息产生间隔变化的情况。

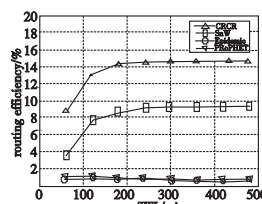


图10 路由效率随TTL变化情况

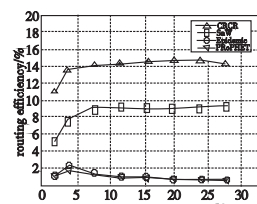


图11 路由效率随消息产生间隔变化情况

图 10 表明随着 TTL 的增加,CRCR 和 SnW 的路由效率逐渐增加。CRCR 算法的路由效率最高,多副本 Epidemic 和 PRoPHET 的路由效率较低,SnW 的路由效率在 PRoPHET 和 CRCR 算法之间。在 TTL 为 4 h 时,CRCR 算法相比 SnW 算法的路由效率增加了 5.4 左右。

图 11 显示 Epidemic 和 PRoPHET 网络开销较大,所以路由效率很低。间隔时间为 2 s 时,CRCR 算法的路由效率比 SnW 的路由效率大 6;间隔时间为 8 s 时,CRCR 和 SnW 的路由效率均达到了稳定状态。结果表明 CRCR 算法在不同 TTL 和不同网络负载下都能提供较高的路由效率,即不增加网络开销的前提下能成功投递更多的消息。

5 结束语

本文通过分析传统的 DTN 路由算法和针对移动社会网络提出的路由算法,根据社会网络的社区性特点和用户在网络中的重要性,提出了一种基于中心度的副本控制路由算法 (CRCR)。仿真结果表明,CRCR 算法具有较高的消息投递率和路由效率,并且平均传输时延和平均跳数较小,更适合应用在节点间断性连接、终端能量有限的移动社会网络场景中,在确保消息传输有效性和不断提供服务的同时,能有效使用移动终端有限的资源,节约终端资源。

参考文献

- [1] Online social network [EB/OL]. (2013-04-11). http://en.wikipedia.org/wiki/Social_network_service.
- [2] Mobile social networks [EB/OL]. (2013-04-11). http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_social_network.
- [3] VASTARDIS N, YANG Kun. Mobile social networks: architectures, social properties and key research challenges [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012, 15(3): 1355-1371.

(下转第 495 页)

图7根据 $U_i = (q_i - c_i)r$ 可以得出相同条件下各阶逢低买入下资源格的成交数量。可以看出,采用逢低买入的拍卖方式,主用户能够在保证自己通信需求的前提下租赁出更多数量的空闲频谱给次级用户,所以提高了频谱资源利用率,减少了空闲频谱的闲置。由表1可以看出由于采用逢低买入的资源共享方式,能够使得处于网络劣势地位的次用户得到普通拍卖情况下无法竞争到的频谱资源,并且阶梯数越高,次用户能够以更低的价格获取频谱资源。所以这种分配机制在公平性上也带来了提升。并且从图7中可以发现,采用阶梯越多的逢低买入主用户不仅能获得更多的频谱收益,而且能够出租更多数量的频谱。所以在主次用户都能获益的情况下,逢低买入的频谱分配机制提高了通信系统的容量及公平性。

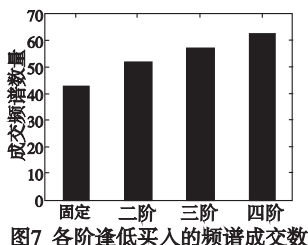


图7 各阶逢低买入的频谱成交数量

表1 各逢低买入频谱成交价格及数量

拍卖方式	平均成交价格	最低成交价格	平均成交数量
二阶逢低买入	0.555 1	0.555 1	52.611 6
三阶逢低买入	0.529 1	0.529 1	56.952 4
四阶逢低买入	0.508 6	0.386 9	62.372 2
固定价格拍卖	0.644 4	0.644 4	42.673 4

4 结束语

本文提出了一种适用于认知无线网络的逢低买入资源分配机制。该分配机制在传统拍卖的基础上加入了次用户间的

合谋策略,然后使用蜂群算法求解多价格阶梯数的逢低买入机制,以较低的迭代次数得到了最优解。仿真结果表明,基于逢低买入的无线资源分配方式能够在提高主用户的频谱收益的同时降低次用户的支出,使得次用户能够以较低价获得频谱资源使用权,从而提高了频谱利用率以及次用户接入频谱的公平性。

参考文献:

- [1] WU Guan-gen, REN Pin-yi, ZHANG Chao. A waiting-time auction based dynamic spectrum allocation algorithm in cognitive radio networks [C] // Proc of IEEE Global Telecommunications Conference. 2011:1-5.
- [2] 滕志军,韩雪,杨旭. 认知无线电中基于博弈论的频谱分配算法 [J]. 计算机应用研究, 2011, 28(7): 2661-2663.
- [3] 胡林,唐伦,陈前斌,等. 认知无线网络中基于博弈的频谱共享 [J]. 计算机应用研究, 2009, 26(12): 4704-4706.
- [4] 张文柱,王凌云. 基于单频段多赢家拍卖的动态频谱分配 [J]. 通信学报, 2012, 33(2): 1-6.
- [5] 周惟凤,朱琦. 基于拍卖理论和补偿激励的频谱共享新算法 [J]. 通信学报, 2011, 32(10): 86-91.
- [6] WANG Xin-bing, LI Zheng, XU Peng-chao, et al. Spectrum sharing in cognitive radio networks: an auction-based approach [J]. IEEE Trans on Systems, 2010, 40(3): 587-596.
- [7] DONG Mo, SUN Gao-fei, WANG Xin-bing, et al. Combinatorial auction with time-frequency flexibility in cognitive radio networks [C] // Proc of INFOCOM. 2012: 2282-2290.
- [8] NIYATO D, HOSSAIN E. Competitive pricing for spectrum sharing in cognitive radio networks: dynamic game, inefficiency of Nash Equilibrium, and collusion [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(1): 192-202.
- [9] 陈剑,宋西平,陈熙龙. 规模经济下的逢低买入 [J]. 系统工程理论方法应用, 2003, 12(3): 193-198.
- [10] BOGA D K, BASTURK B. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm [J]. Journal of Global Optimization, 2007, 39(3): 459-471.

(上接第491页)

- [4] NAZIR F, MA Jian-hua, SENEMIRATNE A. Time critical content delivery using predictable patterns in mobile social networks [C] // Proc of International Conference on Computational Science and Engineering. 2009:1066-1073.
- [5] KAWARABAYASHI K, NAZIR F, PRENDINGER H. Message duplication reduction in dense mobile social networks [C] // Proc of the 19th International Conference on Computer Communications and Networks. 2010:1-6.
- [6] BULUT E, SZYMANSKI B K. Friendship based routing in delay tolerant mobile social networks [C] // Proc of IEEE Conference on Communications Society. 2010:1-5.
- [7] BULUT E, SZYMANSKI B K. Exploiting friendship relations for efficient routing in mobile social networks [J]. IEEE Trans on Parallel and Distributed Systems, 2012, 23(12): 2254-2265.
- [8] KHOSRAVI A, PAN Jian-ping. Exploring personal interest in intermittently connected wireless mobile social networks [C] // Proc of IEEE Consumer Communications and Networking Conference. 2011: 503-508.
- [9] KAYASTHA N, NIYATO D, WANG P, et al. Applications, Architectures, and protocol design issues for mobile social networks: a survey [J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(12): 2130-2158.
- [10] DALY E M, HAAHR M. Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs [C] // Proc of the 8th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing. 2007:32-40.
- [11] DAIY E M, HAAHR M. Social network analysis for information flow in disconnected delay-tolerant MANETs [J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2009, 8(5): 606-621.
- [12] HUI Pan, CROWCRLFT J, YONEKI E. Bubble rap: social-based forwarding in delay tolerant networks [C] // Proc of the 9th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2008: 241-250.
- [13] LINDGREN A, DORIA A, SCHEIEN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks [J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 19-20.
- [14] IOANNIDIS S, CHIANTREAU A. On the strength of weak ties in mobile social networks [C] // Proc of the 2nd ACM EuroSys Workshop on Social Network Systems. New York: ACM Press, 2009: 19-25.
- [15] GRANOVETTER S. The strength of weak ties [J]. American Journal of Sociology, 1973, 78(6): 1360-1380.
- [16] ZHANG Yang, ZHAO Jing, CAO Guo-hong, et al. On interest locality in content-based routing for large-scale MANETs [C] // Proc of the 6th IEEE International Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems. 2009: 178-187.
- [17] EVERETT M, BORGATTI S P. Ego network betweenness [J]. Social Networks, 2005, 27(1): 31-38.
- [18] The ONE [EB/OL]. (2012-07-25). <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>.
- [19] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C. Performance analysis of mobility-assisted routing [C] // Proc of the 7th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing. New York: ACM Press 2006: 49-60.
- [20] VAHDAT A, BECKETT D. Epidemic routing for partially connected Ad hoc networks, CS-2000-06 [R]. North Carolina: Duke University, 2000.
- [21] SPYROPOULOS T, PSOVINS K, CAULIGI S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks [C] // Proc of ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking. New York: ACM Press, 2005: 252-259.