

移动社会网络中基于社区的消息转发技术

陈志鸣, 陈安邦

(南京邮电大学 计算机学院、软件学院、网络空间安全学院, 江苏 南京 210023)

摘要:随着各种智能设备的普及和传感器网络技术的应用,使用移动设备的消息传输变得十分普遍。文中重点介绍移动社会网络(mobile social networks, MSN)中的转发。移动社会网络(mobile social networks, MSN)是一种特殊的延迟容忍网络(delay tolerant network, DTN)。在移动社会网络中,节点通过携带的短程无线通信设备彼此交换信息。移动社会网络的移动节点通常更频繁地访问某些特定建筑物区域,例如学校、公司或公寓等,而访问其他区域(例如建筑物之间的道路)的频率较低,节点经常访问的建筑区域定义为社区。为了提高MSN的消息投递率、减少传输时间,提出了一种混合消息转发算法(mixed message forwarding, MMF)。MMF改进了反映网络中节点重要性的中心性度量,MMF还利用节点运动方向差异不同来改善消息传播。为了改善访问频率较低的区域的消息传输,在这些区域中放置了边界投递箱(boundarybox)。边界投递箱是特殊的中继装置,具有大存储空间和固定位置的中继。仿真结果表明,与若干典型的消息转发算法相比,MMF可以显著提高消息投递率并且缩短传输时间。

关键词:移动社会网络;社区;转发;中心性;移动方向

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2019)10-0069-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2019.10.015

Community-based Forwarding in Mobile Social Network

CHEN Zhi-ming, CHEN An-bang

(School of Computer Science, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: With the popularity of various smart devices and the application of sensor network technology, the message transmission through mobile devices is becoming widespread. The forwarding in mobile social network (MSN) which is a special delay tolerant network (DTN) is focused. In MSN, nodes move and share information with each other through carried short-range wireless communication devices. Mobile nodes in the MSN typically access some building areas more frequently, such as schools, companies, or apartments, while visit to other areas, such as roads between buildings, are less frequent. The building areas that nodes frequently visit are called communities. To increase delivery ratio and reduce transmission time in MSN, we propose a mixed message forwarding (MMF) which exploits and improves the metric, namely centrality. Centrality reflects the importance of a node in the network. MMF improves copy diffusion by using different directions of node movement as well. Boundaryboxes are placed in some areas with lower access frequencies to improve message transmission. Boundaryboxes are special relays with large storage space and fixed position. The simulation shows that MMF can significantly improve the message delivery rate and shorten the transmission time compared with several typical message forwarding algorithms.

Key words: mobile social networks; community; forwarding; centrality; movement direction

0 引言

延迟容忍网络(delay tolerant network, DTN)是一种具有挑战性的网络,其中通信设备之间的联系是间歇的。因此,源和目的地之间的端到端路径很少存在。在延迟容忍网络中,节点通常具有高度移动性,并且经常移出节点的范围,导致整个网络中的节点之间只能

暂时处于连接状态^[1]。

移动社会网络(mobile social networks, MSN)由移动用户组成,移动用户可以采用短距离通信模式以低成本交换消息,比如多媒体等较大文件^[2]。这种移动社会网络可以被视为一种特殊的延迟容忍网络。

由于固有的间歇性连接,消息转发是该网络最具

收稿日期:2018-12-04

修回日期:2019-04-10

网络出版时间:2019-06-26

基金项目:国家自然科学基金(61872191, 41571389)

作者简介:陈志鸣(1995-),女,硕士研究生,研究方向为机会网络。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190626.0833.048.html>

挑战性的方面之一。在文中,节点中心性和运动方向的理论被用来解决这个特定问题。提出了一种新颖的转发策略,即混合消息转发(mixed message forwarding, MMF),利用边界投递箱(boundarybox)特殊设施来减少传输延迟。

1 相关工作

早期提出的 Epidemic^[3] 不加选择地向网络直接扩散信息,具有最高的传输率和交付时间,但也付出了最高的传输成本。为了降低传输成本,一些移动机会网络算法利用各种社会性质的度量来选择中继节点,典型的有 SimBet^[4]、Bubble RAP^[5] 和 Friendship^[6]。SimBet 使用相似性和中介中心性度量来确定具有更好传递性的中继节点。类似地,Bubble RAP 使用中心性和社区来做出发转决策,Friendship 通过引入节点之间友谊质量的度量来衡量节点之间的关系强弱。

Zhang Huijuan 等在文献[7]中提出的协议扩展了 Kim 等的工作^[8],这个协议另外添加了端点偏向扩展的自我中介中心性的使用。基于接触频率的方法(CFBA)和基于接触持续时间的方法(CDBA)^[9]都使用基于联系持续时间的 k-clique 方法将节点分成社区,并使用中心性(表示网络连接性的度量)来选择中继节点。基于社交的单一副本路由 SBSCR^[9]是一种基于社区的路由机制,其中路由决策是基于社交的效用(SBU)来考虑相似性和友谊值。Chen 和 Lou^[10]提出的两种路由,预期相遇路由(EER)和社区感知路由(CAR),是使用了基于节点之间的交互历史确定的度量。IRS^[11]是一种基于激励的路由策略。在这种方法中,节点可以参与并获得奖励以牺牲它们的自私。Choksatid 等提出协议 SEd^[12]对 Epidemic 路由方案进行了改进。由 Igarashi 等^[13]提出的使用名为社区和中心性的参数控制每个节点的消息转发。ICMPF^[14]利用多跳 MSN 中的网络节点的各种自私行为,是一种激励型的多拷贝分组转发协议。FCNS^[15]是一种模糊路由转发算法,利用了移动机会网络中的综合节点相似性(移动和社会相似性)来决定节点的传输。

通过分析以上方法,笔者认为移动社会网络中的转发算法主要存在消息投递率低、传输延迟高的问题。还有就是中心性度量如何改进,以及在某个社区内(小范围)和各个社区间(大范围)资源消耗权衡的问题。基于此,文中改进了中心性度量,并且在某个社区内和各个社区间采用不同的转发方法。

2 MMF 概述

为了解决这些问题,文中提出了一种基于社区的机会网络算法 MMF。MMF 算法分为四个部分:内转

发,外转发,漫游和获取,如图 1 所示。

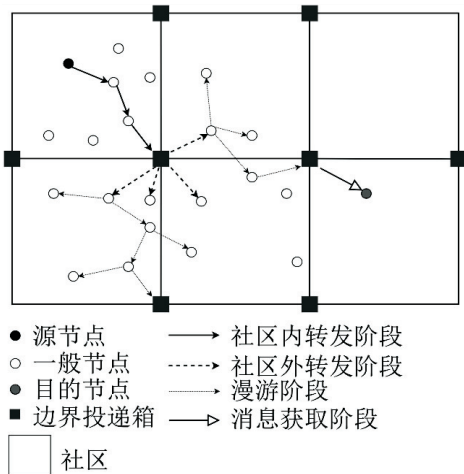


图 1 算法模型

(1)社区内转发阶段,节点在源节点所属的社区中传输消息,直到节点遇到边界投递箱。节点更倾向于将消息发送到边界投递箱。

(2)社区外转发阶段,当边界投递箱接收到消息拷贝时,它将消息传播到其传输区域内邻近社区的节点。

(3)在漫游阶段,节点优先将消息转发给边界投递箱。使用基于节点移动方向的多拷贝方法将信息扩散到其他社区。

(4)在消息获取阶段,目的节点将从任何首次遇到的携带消息的设备提取消息。携带消息的设备可以是节点或边界投递箱。

在上述方案中,四个阶段不一定遵循顺序,该顺序由源节点和目的节点位置确定。源节点和目的节点在一个社区中,因此可以直接进入第四部分。或者,如果目标位于源节点的社区附近,则不会执行第三阶段。

3 MMF 算法

本节将详细介绍 MMF 算法。文中仅关注消息传输,只要每个携带消息的设备有足够的缓存空间且链路具有足够的带宽,它就可以发送消息。此外,任何两个节点之间以及节点和边界投递箱之间的通信时间是独立的。

3.1 内转发阶段

中心效用值可用于衡量节点在消息传输中的重要性。文中定义的中心效用值由两个参数组成,即节点转发消息的数量和邻居节点更新数。中心效用值计算如下:

节点 j 在某一个时隙 t 的转发消息数量为 u_j^t , u_j^t 体现了节点在某一时隙被其他节点当作中继的情况。在某一时隙的节点转发消息的数量越高,就意味着节点在该时隙的消息传送中的重要性越高。

节点 j 在某一时隙的转发消息的数量标准化计算方法如下:

$$u = \frac{u_j^t - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

其中, $\mu = \frac{\sum_{i=1}^t u_j^i}{t}$ 是从开始到某一时隙 t 交互总次

数的平均值; $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^t (u_j^i - \mu)^2}$ 是离差。

节点 j 在某一时隙的更新数由 v_j^t 表示。 v_j^t 是反映节点在某一时隙与其他节点相遇情况和邻居节点的变化数量情况的变量。在某一时隙的邻居更新数越高,意味着节点在该时隙与较多的新节点相遇。节点在某一时隙 t 的邻居更新数定义为:

$$v_j^t = |v_j(t) \cup v_j(t_{\text{old}})| - |v_j(t) \cap v_j(t_{\text{old}})| \quad (2)$$

其中, $v_j(t)$ 是当前时隙的邻居节点集合; $v_j(t_{\text{old}})$ 是前一个时隙的邻居节点集合。

节点 j 在某一时隙的邻居节点更新数标准化计算方法如下:

$$v = \frac{v_j^t - \eta}{\varepsilon} \quad (3)$$

其中, $\eta = \frac{\sum_{i=1}^t v_j^i}{t}$ 是从开始到某一时隙 t 邻居节点

变化数的平均值; $\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^t (v_j^i - \eta)^2}$ 是离差。

节点具有更高的 u 和 v 值,更有可能遇到目的地节点。所以通过以下公式组合这两个参数来定义节点 j 的中心效用值:

$$U_j = \alpha v + \beta u \quad (4)$$

其中, α, β 是设置的权重。

当节点接收到邻居节点的中心效用值 U_j 时,该节点将它的值与最大值进行比较。如果此节点的值较低,则它会将消息转发到具有中心效用值的节点。

3.2 扩散阶段

在传播阶段,当边界投递箱接收到某个节点发送的消息副本时,边界投递箱将消息副本扩散给其他没有消息的节点,而这些节点在发送该副本节点所属的社区之外。

3.3 漫游阶段

在漫游部分,为了加快传输速度,使用多拷贝转发方法。节点 j 携带所属社区的号码,当前位置坐标 (x_j, y_j) 和前一个时隙位置坐标 (x_j', y_j') 。这两个位置坐标可用于计算节点 j 的当前时隙移动方向。

假设在场景中,有一个带有副本的节点 a ,并且在 a 的传输范围内有一个没有副本的节点 b 。如果两个节点的当前时隙移动方向的余弦满足特定阈值范围,

则 a 向 b 发送副本。余弦值的范围表示 a 和 b 的两个移动方向之间的角度 θ 的弧度约为 $\frac{\pi}{2}$ 。也就是说,在携带消息的节点 a 的传输范围中,存在没有消息的节点 b ,并且如果 a 和 b 的移动方向的角度是 $\frac{\pi}{2} + \Delta\theta$, $\Delta\theta \in (0, \theta - \frac{\pi}{2})$,节点 a 将副本发送给 b ,如图 2 所示。余弦值计算如下:

$$|\cos\theta| = \frac{|(x_a - x_a', y_a - y_a') \times (x_b - x_b', y_b - y_b')|}{\sqrt{(x_a - x_a')^2 + (y_a - y_a')^2} \times \sqrt{(x_b - x_b')^2 + (y_b - y_b')^2}} \quad (5)$$

其中, $k \leq 1$ 。

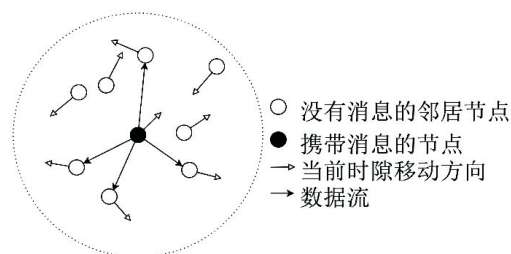


图 2 漫游阶段

3.4 获取阶段

在提取阶段,目的节点只是在遇到携带消息者时获取消息。这个消息携带者可能处于源节点社区内转发阶段,外转发阶段或者漫游阶段。最糟糕的情况是,数据包被扩散到每个社区,目的节点才获取到消息。

4 仿真实验

4.1 算法的比较

文中只关注移动社会网络中的转发算法。为了进行公平的性能比较,将文中算法与现有的零知识多拷贝路由算法进行比较: Epidemic、Prophet 和 HS。

算法 Epidemic、Prophet 和 HS 都是通过复制传递消息的。Prophet 算法是一种基于效用的多拷贝路由算法。HS 算法中数据包携带者采用二分法将副本分割给遇到的节点或投递箱。

4.2 参数设置

文中模拟的场景相对较大,节点随机移动,节点的初始位置也是随机生成的。边界投递箱在初始化时生成并具有固定位置。另外,可以根据需要改变参数值,以便观察每个参数值对结果的影响,得出最优结果,有利于与其他算法进行比较,评估算法的优缺点。

文中模型的场景是一个矩形。为了简化模拟,将场景的长度和宽度设置为相同。节点的传输半径设置为 15,社区数量固定为 9。实验大致分为三个:平均投递率的比较,平均传输时间的比较和 MMF 算法中余

弦值对平均传输时间的影响。在第一个实验中,四种算法的社区长度和宽度 D 被设置为 50, 60 和 70, 然后进行比较。在第二个实验中,四种算法中的节点数 N 被设置为 1 000, 2 000 和 3 000, 然后进行比较。评估参数如表 1 所示。

表 1 参数设置

参数名称	范围
实验区域 $L * W$	150 * 150/180 * 180/210 * 210
节点数量 N	1 000/2 000/3 000
节点传输半径	15
社区数量 D_{\max}	9
社区长宽 D	50/60/70
持续时间 (t/s)	240/600/6 000
夹角余弦 K	0.1/0.5/0.8/1

在此模拟中评估的指标是平均投递率和平均传输时间。平均投递率是成功交付数量与消息总数之比,平均传输时间是第一个副本到达目的地的传递时间。

4.3 仿真结果和分析

通过四组仿真实验来评估算法的各项参数对性能的影响。在第一组模拟中,将四种算法的社区长宽 D 依次设置为 50, 60 和 70, 同时设置 $N = 2\,000$, $\theta = 0.5$ 。在第二组模拟中,将四种算法的节点数量 N 依次设置为 1 000, 2 000 和 3 000, 同时设置 $D = 50$, $\theta = 0.5$ 。为了更加具体地观察各个算法之间的差别,在这两组实验中将依次在 $t = 240$, $t = 600$, $t = 6\,000$ 的条件下观察各个算法的走向,如图 3 和 4 所示。

图 3 显示,随着社区长度和宽度的增加,四种算法的平均投递率随之降低。相反,HS 算法在 $D = 70$ 时具有最差的整体投递率。Prophet 的概率选择机制导

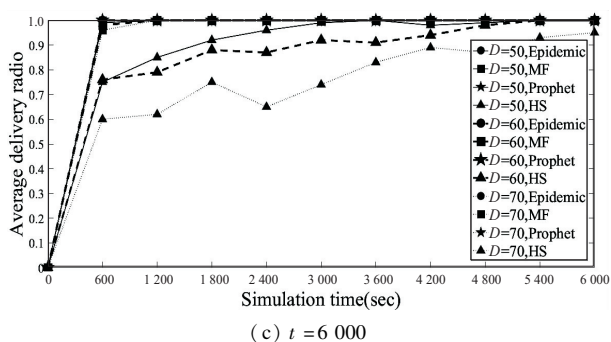
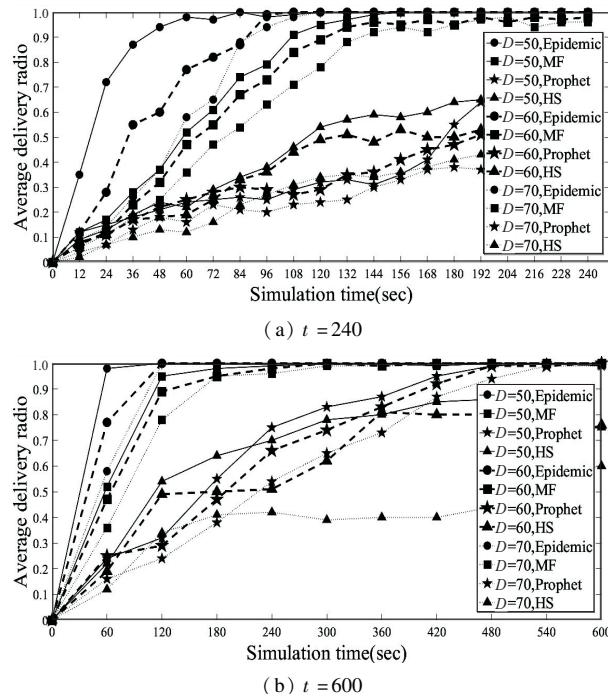


图 3 平均投递率的比较

致消息不断接近目的节点,但由于 Prophet 仅依靠节点转发消息,因此它的性能相对较低。MMF 主要是由于边界投递箱的外部转发功能,使得消息能够快速传播到其他社区,因此它的性能优于上述两种算法。Epidemic 的消息数量和转发节点数量不受限制,因此在小情况下扩散速度非常快,但随着整个场景变大,扩频消息需要更多的传输时间。

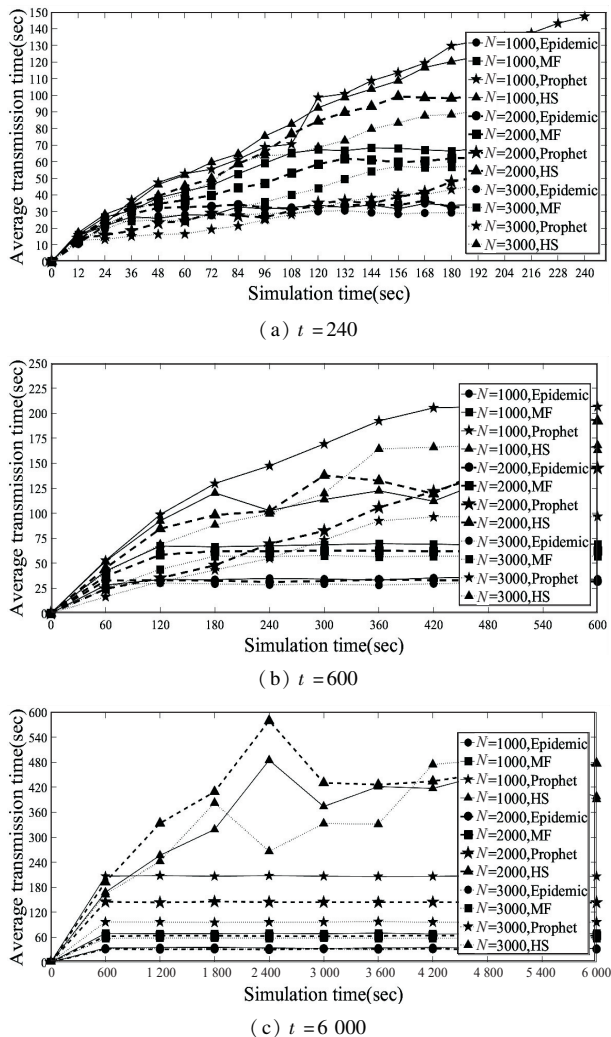


图 4 平均传输时间的比较

接下来还进行了三组模拟,以便根据平均传输时间来评估上述算法的性能。图 4 中的结果表明,随着节点数量的增加,平均传输时间都有减少。在 $t = 240$

和 $t=600$ 时,Prophet 在 $n=1\,000$ 时具有最长的传输时间。当 $t=6\,000$ 时,HS 的传输时间大于其他三种算法。总的来说, t 越长,HS 越不稳定。因为边界投递箱在 HS 中的作用只是在社区中传播消息,所以社区之间的消息传播仅依赖于进出社区的节点,因此节点的数量对它有很大的影响。而在 MMF 中,因为边界投递箱的外转发和漫游功能,消息可以快速传播到其他社区,因此除了 Epidemic 之外,它在三种算法中的平均传输时间更短。

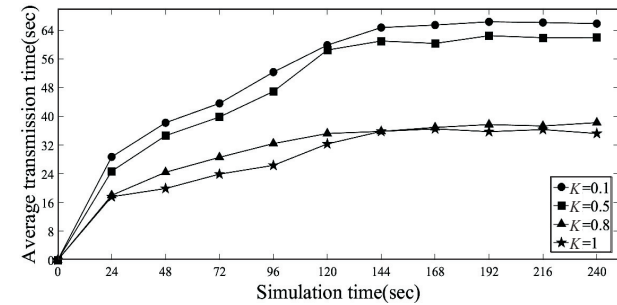


图 5 MMF 角度余弦值对平均传输时间的影响

接下来研究 MMF 在漫游阶段使用的角度余弦值 K 的变化对平均传输时间的影响。设置 $N=2\,000$, $D=50$, $t=240$ 。如图 5 所示,比较了在 $K=0.1$, $K=0.5$, $K=0.8$ 和 $K=1$ 时的平均传输时间。结果表明, K 越接近 1,平均传输时间越小,但这将导致大量拷贝,不必要的能量消耗和无用的带宽占用。

5 结束语

研究了一个特殊的移动社交网络,其中运行场景包括一些节点,社区和边界投递箱,并提出一种零知识多拷贝路由算法 MMF。MMF 为边界投递箱设置了更高的优先级,以帮助快速传播信息。理论分析和仿真结果表明,边界投递箱在信息传播过程中起着重要作用。通过使用边界投递箱,MMF 取得了比现有的几种零知识 MSN 路由算法更好的性能。

参考文献:

- [1] HOM J,GOOD L,YANG Shuhui. A survey of social-based routing protocols in delay tolerant networks[C]//2017 international conference on computing, networking and communications. Santa Clara,CA,USA;IEEE,2017:788-792.
- [2] WU Jie,XIAO Mingjun,HUANG Liusheng. Homing spread: community-home-based multi-copy routing in mobile social networks[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM. Turin,Italy;IEEE,2013:2319-2327.
- [3] VAHDATE A,BECKER D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks[R]. Durham,NC;Duke University,2000.
- [4] DALY E,HAAHR M. Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs[C]//Proceedings of the 8th ACM international symposium on mobile ad hoc networking and computing. Montreal, Quebec, Canada; ACM, 2007:32-40.
- [5] PAN Hui,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] BULUT E,SZYMANSKI B. Exploiting friendship relations for efficient routing in mobile social networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2012, 23 (12):2254-2265.
- [7] ZHANG Huijuan,LIU Kai. A routing mechanism based on social networks and betweenness centrality in delay tolerant networks[J]. International Journal of Computer Science & Information Technology,2015,7(6):107-116.
- [8] KIM C M,HAN Y H,YOUN J S,et al. A socially aware routing based on local contact information in delay-tolerant networks[J]. Scientific World Journal,2014,2014:408676.
- [9] GONDALIYA N,KATHIRIYA D. Community detection using inter contact time and social characteristics based single copy routing in delay tolerant networks[J]. International Journal of Ad hoc,Sensor & Ubiquitous Computing,2016,7 (1):21-35.
- [10] CHEN Honglong,LOU Wei. Contact expectation based routing for delay tolerant networks[J]. Ad Hoc Networks, 2015,36(1):244-257.
- [11] SINGH A K,PAMULA R. IRS:incentive based routing strategy for socially aware delay tolerant networks[C]//5th international conference on signal processing and integrated networks. Noida,India;IEEE,2018:343-347.
- [12] CHOKSATID T,NARONGKHACHAVANA W,PRABHAVAT S. An efficient spreading epidemic routing for delay-tolerant network[C]//13th IEEE annual consumer communications & networking conference. Las Vegas,NV,USA: IEEE,2016:473-476.
- [13] IGARASHI Y,MIYAZAKI T. A DTN routing algorithm adopting the "Community" and "Centrality" parameters used in social networks[C]//2018 international conference on information networking. Chiang Mai, Thailand; IEEE, 2018: 211-216.
- [14] FENG Li,YANG Qinghai,KWAK K. Incentive-compatible packet forwarding in mobile social networks via evolutionary game theory [C]//IEEE access. Australia; IEEE, 2017: 13557-13569.
- [15] LIU Kanghuai,CHEN Zhigang,WU Jia,et al. FCNS:a fuzzy routing-forwarding algorithm exploiting comprehensive node similarity in opportunistic social networks[J]. Symmetry, 2018,10(8):338-360.