

一种基于区域朋友关系的机会路由算法

郭东岳^{1,2} 刘林峰^{1,2,3}

(南京邮电大学计算机学院 南京 210023)¹ (江苏省无线传感网高技术研究重点实验室 南京 210003)²
(东南大学计算机网络和信息集成教育部重点实验室 南京 211189)³

摘要 基于社会的机会网络中,节点趋向于和自己关系亲密的节点进行接触,因此可以通过评价节点之间的亲密程度来帮助预测节点之间的接触概率。由于节点亲密性的时间相关性和区域相关性,利用节点的历史接触信息构造节点亲密程度的评价模型时,考虑节点接触区域和节点接触时间对亲密程度的影响,从而得到节点在相应区域的亲密节点——区域朋友(Regional Friends, RF)。最后结合节点当前位置和区域朋友关系提出一种基于区域朋友关系的机会路由算法(Opportunistic Routing algorithm based on Regional Friendship, ORRF)。实验数据表明,在节点分布密度以及数据可容忍时延变化的网络环境下,该算法得到较高的数据送达率和较低的转发能耗。

关键词 机会网络, 亲密程度, 区域朋友, 机会路由

中图分类号 TP393.1 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.03.023

Opportunistic Routing Algorithm Based on Regional Friendship

GUO Dong-yue^{1,2} LIU Lin-feng^{1,2,3}

(School of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)¹

(Jiangsu High Technology Research Key Laboratory for Wireless Sensor Networks, Nanjing 210003, China)²

(Key Laboratory of Computer Network and Information Integration(Southeast University), Ministry of Education, Nanjing 211189, China)³

Abstract In the opportunistic networks, especially the mobile social networks, the nodes tend to maintain contacts with their closer neighbors, which helps to predict the contacting probabilities among nodes through evaluating the node closeness degrees. Due to node closeness relating with both the time and the located regions, when constructing the closeness evaluation model exploiting the node contacting histories, we considered the influence of contact region and contact time on node closeness degrees. And thus close neighbors of the node in the corresponding regions-regional friends can be obtained. Finally, an opportunistic routing algorithm based on regional friendship was presented combining current location of the node and its regional friendship. The experimental results indicate that the proposed algorithm can get a higher delivery ratio and a lower forwarding energy consumption than others, under the different deployment density of nodes and tolerant delay.

Keywords Opportunistic networks, Closeness degree, Regional friends, Opportunistic routing

1 引言

大量具备短距离通信能力的智能设备(智能手机、平板电脑等)的出现推动了无线自组网应用的迅速发展。传统的移动自组织网络一般要求通信源和目标之间至少存在一条较为稳定的路径,然而节点移动、网络稀疏以及信号衰减等多种原因通常导致源节点和目的节点之间无法存在完整路径,因而传统路由协议无法在此环境中适用。为此,移动机会网络作为一种延迟容忍网络的延伸形式,被引入以实现基于间歇性链接的数据转发。移动机会网络包含了大量不断移动而发生间断接触的节点,利用节点的移动,任意两个节点可以在进入

相互的通信范围时完成数据交换^[1]。移动机会网络正是利用节点之间的这种间歇式接触,将数据从源节点逐跳地转发至目的节点。

机会网络节点一般是手持设备,而其载体人的移动规律通常符合某种社会属性。利用机会网络中节点的社会属性可以辅助节点选择转发效用值高(即遇见目的节点概率高)的中继节点作为下一跳节点,以使数据传至目的节点的机率增加。文献[2]的研究结果表明,机会网络中的节点移动具有以下社会特性。

(1)空间规律性:节点会对一个或多个区域保持较高的访问频率;

到稿日期:2016-01-13 返修日期:2016-03-28 本文受国家自然科学基金(61373139, 61373137, 61300239, 71301081),江苏省自然科学基金(BK2012833),中国博士后科学基金(2014M560379, 2015T80484)资助。

郭东岳(1991—),男,硕士生,主要研究方向为机会网络, E-mail: guodongyuesz@163.com; 刘林峰(1981—),男,副教授,硕士生导师,主要研究方向为传感器网络、机会网络。

(2)空间局部性:节点通常会在局部的某个区域移动;

(3)空间异质性:不同节点符合不同的移动规律。

通过对上述特性的分析已知,尽管每个节点的移动规律可能各不相同,但是其社会关系、自身习惯等因素会造成节点趋向于在若干区域内频繁活动,并且在每个区域内节点都有可能频繁地接触其他节点。因此将节点频繁活动的区域称为热点区域(Hot Spot, HS),在热点区域内频繁接触的一个或多个节点称为区域朋友,一个节点在不同热点区域会维持不同的区域朋友关系,而区域朋友关系也会随着时间的推移而改变。节点的热点区域以及相应区域的朋友关系随时间的变化情况如图1所示,由于节点亲密性的时间和区域相关性,节点在不同时刻保持不同的热点区域,相应的区域朋友关系也不同。

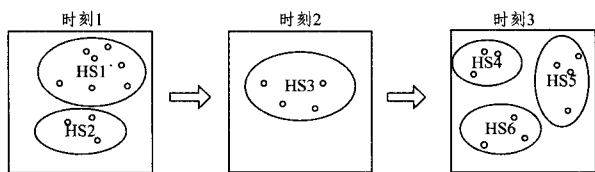


图1 热点区域及相应区域朋友关系随时间的变化情况

本文利用区域朋友关系来预测节点间的接触概率,首先统计节点的历史接触信息,然后基于节点历史接触信息挖掘节点的热点区域以及相应区域的朋友关系,最后结合节点的当前位置和其区域朋友关系提出一种基于区域朋友关系的机会路由算法——ORRF。

2 相关研究

目前的机会路由算法可以分为零信息型和信息辅助型两类。零信息型机会路由策略^[3-6]无需借助任何信息即可选择转发节点,最终将待发数据转发至目的节点。该策略的代表性算法为 Epidemic^[3],此算法是一种洪泛算法,当两个节点相遇时,首先交换对方缓存队列中的消息ID,进一步交换未携带数据。信息辅助型机会路由策略则是借助某些信息,计算节点的转发效用,并将数据转发给效用值较高的节点,最终将数据转发至目的节点^[7-9]。

基于节点社会关系的机会路由算法也取得了很多成果。文献[10]利用节点的接触次数提出了一种基于节点接触概率的路由算法(Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity, PROPHET)。当两个节点接触后,它们的接触概率增加,否则认为其随时间衰退。PROPHET还根据节点接触概率的传递性修改节点之间的接触概率,从而提高节点接触概率的预测准确性。Zhao等人^[11]基于社会学理论,认为属于同一群体的个体的相遇机会要比其他个体的相遇机会大,由此利用历史相遇记录来建立社会群体。设置一个相遇次数的临界值 t ,若两个节点的相遇次数超过该临界值 t ,则认为两个节点属于同一个社团。以此类推,提出了一种基于多级社团的机会路由机制,即可以设置若干临界值 $t_1 > t_2 > \dots > t_m$,当携带数据的节点选择转发节点时,首先设置临界值为 t_1 ,若存在与目的节点属于同一社区的节点,则选择其作为转发节点;否则设置临界值为 t_2 。循环上述步骤,直至达到最大临界值 t_m 。文献[12]提出了兴趣社团路由算

法(Interest Community Routing, ICR),利用拥有相同兴趣的人群有更大的意愿分享信息的原理,分别定义了兴趣量度和消息头两个数据结构来表示节点兴趣和消息兴趣,通过计算消息头与节点的兴趣量度的相似度,将节点归至相应的兴趣社团,最后根据转发节点和目的节点是否属于同一兴趣社团而采取不同的策略进行数据转发。文献[13]提出了SMART算法,Chen等人发现在机会网络中节点和最亲密朋友节点之间的接触非常稳定,因此根据节点的接触频次保存最亲密的 L 个朋友节点,并通过节点之间的报文交互获得其他节点的朋友信息,从而构造出节点的社会图。社会图中每条边被赋予权值,边的权值和节点亲密程度相关,最后利用Dijkstra算法得到节点转发效用值,SMART算法不断将数据传向效用值较高节点,直至数据送达。文献[14]通过对社会网络的分析,提取出影响朋友关系的关键因素包括接触频率、接触时间和接触规律性,朋友关系又包括直接朋友关系和间接朋友关系,从而构造了评价朋友关系亲密程度的分析模型,该模型中每个节点都维护了一张独立的朋友关系表;此外,还考虑到了朋友关系的时间相关性,即朋友关系表会随时间变化而进行及时更新。

上述研究在评价节点的转发效用时并未考虑节点位置的影响。一般地,距离越近的节点,其接触概率越大。因此,本文在确定节点朋友关系时考虑了时间和区域相关性,即区分在不同时段和区域内的节点朋友关系,提出区域朋友的概念,并采用 K -聚类方法来确立区域朋友关系,以更准确地反映节点间的朋友关系,最终提出一个高效的ORRF机会路由算法。

3 基于区域朋友关系的机会路由算法

将机会网络所处的场景划分为面积为 S 的正方形,每个正方形区域的位置由其中心坐标表示,并假设节点一跳移动的最大距离为 dis_{max} 。基于区域朋友关系的机会路由算法主要包括两部分:区域朋友关系的确立和机会转发机制。

3.1 区域朋友关系的确立

利用节点的历史接触信息建立节点的区域朋友关系,在该过程中每个节点需要保存的信息包括:热点区域、节点在相应热点区域的活动次数、节点在相应热点区域的朋友关系以及与区域朋友的接触次数。区域朋友关系的确立由历史接触信息的统计、热点区域的确定、热点区域朋友关系的挖掘以及区域朋友关系表的构造4个阶段组成。

Phase 1 历史接触信息的统计

当节点相遇时,记录节点接触位置所属的区域(即接触区域)、接触节点、接触发生时间等信息。为了保持接触信息的实时性,仅保留最近 t 时刻内的历史接触信息。

Phase 2 热点区域的确定

热点区域为节点频繁活动的区域,通过判断在某一区域接触发生次数是否超过某指定阈值来确定热点区域。设定区域接触发生次数阈值为 N_0 ,若在一个区域接触发生次数不低于 N_0 ,那么该区域就被认为是热点区域。如果节点不存在热点区域,则认定节点的活动与热点区域无关,该节点称为活跃节点。 N_0 的设置和节点分布密度、节点平均停留时长等因素有关。

Phase 3 热点区域朋友关系的挖掘

朋友关系的确定需要考虑时间相关性和区域相关性两方面。区域朋友的概念即考虑分区域的节点之间的朋友关系,并且在利用与节点的接触次数确定朋友关系时,需考虑不同时刻接触对朋友关系的影响。2 个关键指标即加权接触次数和朋友关系的定义如下:

1) 加权接触次数

假定对于某一个热点区域, t 时长内节点在 t_1, t_2, \dots, t_d 时刻与另一节点接触,则两节点的加权接触次数为:

$$c = \sum_{i=1}^d w_i \quad (1)$$

其中, w_i 表示第 t_i 时刻的接触对朋友关系影响所占的权重。一般地,时间越近的接触对朋友关系的影响程度越大,则 w_i 表示为 $w_i = \frac{t_i}{t} (1 \leq i \leq d)$ 。

特别地,对于活跃节点,需要计算节点在所有区域与相应节点的加权接触次数。

2) 朋友关系

运用 K-聚类方法来划分节点的朋友节点和非朋友节点。假如 t 时长内节点在某一热点区域与 n 个节点接触,对应的加权接触次数为 c_1, c_2, \dots, c_n ¹⁾,分类步骤如下。

步骤 1.1 任意选取两个接触的节点作为初始聚类中心。

步骤 1.2 计算每个节点与各个聚类中心之间的距离,把每个节点分配给距离它最近的聚类中心。聚类中心以及分配给它的节点就代表 1 个聚类。若聚类中心是第 m 个节点,则第 j 个节点与该聚类中心之间的距离表示为:

$$d(i, j) = |c_j - c_m| \quad (2)$$

步骤 1.3 当接触节点全被分配后,根据分配的节点重新计算两个聚类的聚类中心。若聚类中心没有发生变化,则终止;否则返回步骤 1.2。

根据上述步骤划分出来的 2 个簇群中,聚类中心加权接触次数较多的簇群内的节点是朋友节点,否则为非朋友节点。

Phase 4 区域朋友关系表的构造

通过对节点接触区域的确定和相应热点区域朋友关系的挖掘,每个节点维护一个区域朋友关系表,用来计算节点的转发效用值。节点的朋友关系表样如表 1 所列,其中 $a1, a2, a3$ 表示该节点的 3 个热点区域, $N1, N2, N3$ 表示在相应热点区域接触产生的次数, c_2^1 表示节点在 $a1$ 区域与 n_2 节点的加权接触次数。此外,若节点为活跃节点,则热点区域为空,朋友关系表中存储的是其与区域无关的朋友关系以及相应朋友的加权接触次数。

表 1 朋友关系表

热点区域	接触产生次数	相应区域的朋友	相应朋友的加权接触次数
$a1(x_1, y_1)$	$N1$	$n_2 n_3$	$c_2^1 c_3^1$
$a2(x_2, y_2)$	$N2$	$n_2 n_4 n_5 n_7$	$c_2^2 c_4^2 c_5^2 c_7^2$
$a2(x_3, y_3)$	$N3$	$n_1 n_3 n_8$	$c_1^3 c_3^3 c_8^3$

3.2 机会转发机制

(1) 节点转发效用值的计算

由于节点的转发效用值与节点间的亲密程度相关,即节点关系越亲密,节点接触的可能性越大。而节点间的亲密程度取决于节点位置以及历史接触次数,因此利用基于区域的朋友关系表来计算节点转发效用值。若当前目的节点为 n_d ,那么节点 n_0 的转发效用值的计算步骤如下。

步骤 2.1 判断节点 n_0 是否为活跃节点,若是,则转发效用值 $V = f \cdot c, f \in (0, 1)$,其中 f 是指定的常数, c 是朋友关系表中该节点与目的节点 n_d 的加权接触次数;否则,执行步骤 2.2。

步骤 2.2 判断节点 n_0 的朋友关系表中是否存在以目的节点 n_d 为朋友节点的热点区域,若不存在,则节点 n_0 的转发效用值设置为 0;否则,执行步骤 2.3。

步骤 2.3 计算节点 n_0 与朋友关系表中符合条件的热点区域之间的距离,将距离当前位置大于 dis_{max} 的热点区域排除。假设存在 k 个热点区域与节点当前位置的距离小于或等于 dis_{max} 。

步骤 2.4 计算 k 个热点区域权重。设第 i 个热点区域所占的权重为 U_i, N_i 是节点 n_0 在第 i 个热点区域的历史活动次数, dis_i 是节点与第 i 个热点区域之间的距离,则计算 U_i :

$$U_i = \frac{N_i^\alpha}{dis_i^\beta}, i=1, 2, \dots, k \quad (3)$$

其中, α 和 β 是对应因素的影响指数。

步骤 2.5 $U = \sum_{i=1}^k U_i$,表示 k 个热点区域权重的总和。那么,节点 n_0 在第 i 个热点区域接触目的节点的概率为 $P_i = \frac{U_i}{U} (i=1, 2, \dots, k)$ 。

步骤 2.6 节点 n_0 的转发效用值为 $V = \sum_{i=1}^k P_i \cdot c_i$,其中 c_i 是节点 n_0 在第 i 个热点区域与目的节点 n_d 的加权接触次数。

(2) 转发策略

得到节点转发效用值后,搜索通信范围内的中继节点是否存在目的节点,若存在,则直接转发;否则,依据中继节点保存的朋友关系表计算出中继节点的转发效用值,选择转发效用值大于当前节点的中继节点作为下一跳节点,若没有大于当前节点的中继节点,则不转发。每个节点循环执行上述步骤,直至数据转发至目的节点。

4 数学分析

本节利用数学方法对 ORRF 的平均送达率进行理论分析。假设源节点要向目的节点发送数据,源节点可以将数据转发给通信范围内的 i 个节点, TP 是节点接触到目的节点的概率,其最大值为 TP_{max} ,则 i 个节点中每个节点遇到目的节点的概率都在 $[0, TP_{max}]$ 的范围内,且出现的概率近似相等,因此续型随机变量 TP 在区间 $(0, TP_{max})$ 上服从均匀分布,即 $TP \sim U(0, TP_{max})$ 。

为了便于分析, TP 取离散值 $\frac{TP_{max}}{n}, \frac{2TP_{max}}{n}, \dots,$

¹⁾ 活跃节点的加权接触次数与区域无关,统计的是对应节点在所有区域中的加权接触次数。

$\frac{(n-1) \cdot TP_{\max}}{n}, TP_{\max}$, 那么 $TP = \frac{i \cdot TP_{\max}}{n} (i=1, 2, \dots, n)$ 对应的概率 $\frac{1}{n}$ 。ORRF 总是选择转发效用值高的节点进行转发, 所以转发后送达率等于 $\frac{j \cdot TP_{\max}}{n}$ 的概率为:

$$P_j = P(TP = \frac{j \cdot TP_{\max}}{n}) = 1 - (\frac{j-1}{n})^i - P_{j+1} = (\frac{j}{n})^i - (\frac{j-1}{n})^i, j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

其中, j 取 $1, 2, \dots, n$, 表示仅仅考虑送达率为 $\frac{TP_{\max}}{n}, \frac{2TP_{\max}}{n}, \dots, \frac{(n-1) \cdot TP_{\max}}{n}, TP_{\max}$ 的情况。因此, 选择的中继节点遇到目的节点的期望概率表示为:

$$\begin{aligned} \overline{TP} &= \sum_{k=1}^n P_k \cdot \frac{k \cdot TP_{\max}}{n} \\ &= \sum_{k=1}^n [(\frac{k}{n})^i - (\frac{k-1}{n})^i] \cdot \frac{k \cdot TP_{\max}}{n} \\ &= TP_{\max} \cdot [1 - \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{n} \cdot (\frac{k}{n})^i] \\ &\approx TP_{\max} \cdot [\frac{n+1}{n} - \int_0^1 x^i dx] \\ &= \frac{n+2}{2n} \cdot TP_{\max} \end{aligned} \quad (5)$$

当 n 充分大时, 有 $\lim_{n \rightarrow \infty} \overline{TP} = \frac{1}{2} TP_{\max}$ 。

由式(5)可以得到, \overline{TP} 的大小与 i 无直接关系。 i 的值与节点的数量相关, 当节点数量增多时, i 的值随之增加, \overline{TP} 会保持稳定, 该结论反映了本算法具有较好的扩展性。

此外, 由上述分析可以发现, 每次转发后中继节点遇到目的节点的期望概率是 \overline{TP} 。假设经过转发没有成功送达的概率是 SP_0 , 经过 q 次转发后数据成功送达的概率为:

$$SP = \prod_{i=0}^q SP_i \quad (6)$$

其中, SP_i 是第 i 次转发的数据成功送达的概率, 当 $i > 0$ 时 $SP_i = (1 - SP_0) \cdot (1 - \overline{TP})^{i-1} \cdot \overline{TP} (i=1, 2, \dots, q)$ 。式(6)表明, 经过转发, 数据成功送达的概率是不断增加的, 而 SP_i 的值随着 i 值的增大不断减小, 这表明随着转发次数的增多, 每次增幅在不断减小。

5 实验分析

通过实验观察节点分布密度和数据可容忍时延对 ORRF 的影响, 并将 PROPHET 和 Epidemic 两种路由算法与 ORRF 进行对比实验, 分析算法在不同网络环境下的送达率、平均时延和平均包开销比例 3 个性能指标。

5.1 模拟环境设置

模拟实验环境是基于 ONE(the Opportunistic Networking Environment)^[15] 机会网络模拟平台自带的城市地图, 节点类型分为移动模型为 Working Day Movement^[16] 的行人节点、移动模型为 Shortest Path Map Based Movement^[17] 的汽车节点以及移动模型为 Map Route Movement^[18] 的轨道列车节点, 以达到较真实地反映社会节点移动规律的目的。主要参数值如表 2 所列。

表 2 参数设置

参数名	参数说明	值
S	正方形区域面积	24m×24m
dis _{max}	节点一跳移动的最大距离	1000m
t	历史接触信息的时间跨度	5000s
α	节点在热点区域的历史活动次数对热点区域权重的影响指数	0.01
β	节点与热点区域之间的距离对热点区域权重的影响指数	0.01

5.2 实验性能指标及结果分析

如图 2 所示, 当数据可容忍时延增加时, 送达率首先快速上升, 当增至某个值后, 送达率逐渐降低, 这是因为初始阶段数据可容忍时延过小, 导致大量即将到达目的节点的数据被丢弃, 而数据可容忍时延增大可以有效提高送达率, 但是数据可容忍时延过长会造成已经送达目的节点的数据长期占据有限的缓冲区, 限制其他数据的存储和转发, 从而降低了送达率。此外, 图 3 表明平均包开销比例一直处于较低的水平, 说明 ORRF 获得的效用值能够有效地预测节点间的接触概率, 所以减小了系统开销。在图 4 中, 由于数据可容忍时延增加, 数据在网络中的存在时间也会变长, 从而使数据的平均时延增加。此外, 在数据可容忍时延变化的过程中, 由于受到节点缓冲区、通信速度等因素的制约, 与 ORRF 相比, Epidemic 算法的送达率反而较低。

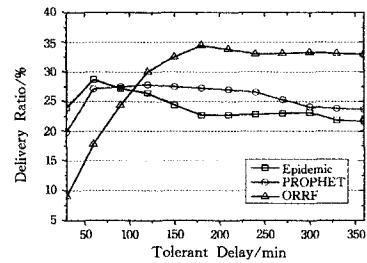


图 2 数据可容忍时延对送达率的影响

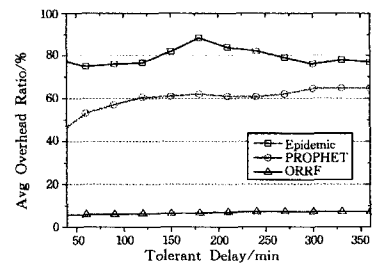


图 3 数据可容忍时延对平均包开销比例的影响

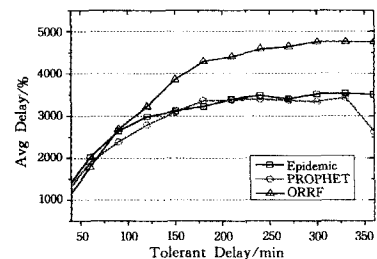


图 4 数据可容忍时延对平均时延的影响

结合图 5 和图 6 可以发现, 当网络节点逐渐增多时, 平均包开销比例始终较低, 而送达率则不断升高, 这说明 ORRF

具有较好的扩展性。送达率不断升高的原因在于:1)随着节点数量的增多,数据接触节点的数量也会增多,成功转发至目的节点的概率也会随之升高;2)节点数量增多造成节点之间的接触更为频繁,在固定时间内采集到的历史接触信息也在同时增加,最终使得计算出的接触概率更加准确。图7中平均时延较高的原因在于 ORRF 维持较低的平均包开销比例,数据的副本数量较少,导致成功转发至目的节点的时间也会变长。

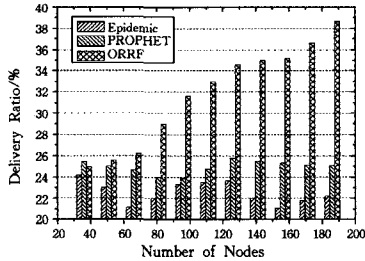


图5 节点分布密度对送达率的影响

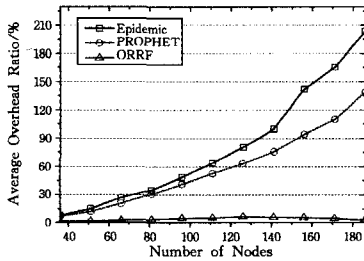


图6 节点分布密度对平均包开销比例的影响

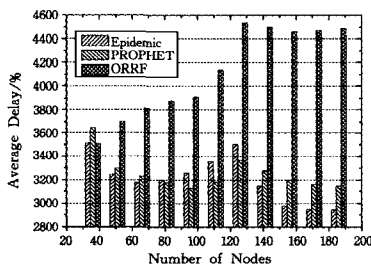


图7 节点分布密度对平均时延的影响

结束语 本文利用节点社会属性,提出基于区域的朋友关系的概念,并给出区域朋友关系的挖掘方法;然后结合节点位置和区域朋友关系预测节点的接触概率,设计出一种 ORRF 机会路由算法。数学分析和仿真结果表明,该路由算法在保证较高送达率的前提下具有较低的转发能耗优势。

参考文献

[1] XIONG Y P, SUN L M, NIU J W, et al. Opportunistic networks [J]. *Journal of Software*, 2009, 20(1): 124-137. (in Chinese)
熊永平, 孙利民, 牛建伟, 等. 机会网络[J]. *软件学报*, 2009, 20(1): 124-137.

[2] WANG S L, LIU M, LI Z C. Opportunistic Routing in Intermittently Connected Mobile P2P Networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2013, 31(9): 369-378.

[3] VAHDATA, BECKER D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks; CS2200006[R]. Durham North Carolina; Duke University, 2000.

[4] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C. Efficient routing in intermittently connected mobile networks; The multiple-copy case [J]. *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 2008, 16(1): 77-90.

[5] YUAN P Y, MA H D. Hug; Human gathering point based routing for opportunistic networks[C]//*Proc. of the IEEE WCNC 2012*. 2012; 3024-3029.

[6] WU J, XIAO M, HUANG L. Homing spread; Community home-based multi-copy routing in mobile social networks[C]//*Proc. of the IEEE INFOCOM 2013*. 2013; 2319-2327.

[7] BALASUBRAMANIAN A, LEVINE B, VENKATARAMANI A. DTN routing as a resource allocation problem[C]//*Proc. of the ACM SIGCOMM 2007*. 2007; 373-384.

[8] MUSOLESI M, HAILES S, MASCOLO C. Adaptive routing for intermittently connected mobile ad hoc networks[C]//*Proc. of the IEEE WoWMoM 2005*. 2005; 183-189.

[9] GAO W, CAO G. On exploiting transient contact patterns for data forwarding in delay tolerant networks[C]//*Proc. of the IEEE ICNP 2010*. 2010; 193-202.

[10] LINDGREN A, DORIA A, SCHELEN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks [M] // *Service Assurance with Partial and Intermittent Resources*. 2004; 3126; 239-254.

[11] ZHAO L N, LI F, ZHANG C, et al. Routing with multi-level social groups in Mobile Opportunistic Networks [C] // *Global Communications Conference (GLOBECOM), 2012 IEEE*. 2012; 5290-5295.

[12] LIU Q L, HU C F, LI Y, et al. Global Communications Conference (GLOBECOM)[C]//2013 IEEE. 2013; 4366-4371.

[13] CHEN K, SHEN H Y. SMART; Lightweight distributed social map based routing in delay tolerant networks[C]//*Proc. of the IEEE ICNP 2012*. 2012; 1-10.

[14] BULUT E, SZYMANSKI B. Exploiting friendship relations for efficient routing in mobile social networks[J]. *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, 2012, 23(12): 2254-2265.

[15] KERANEN A, OOT J, KARKKAINEN T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation[C]//*The 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*. Rome, Italy, 2009; 1-10.

[16] OH S. An advanced taxi movement model in the working day movement for delay-tolerate networks[J]. *Cluster Computing*, 2014, 17; 751-756.

[17] GEWAALI L, ROMAN V. Generalization of Shortest Path Map [C]//2010 Seventh International Conference on IEEE Information Technology; New Generation (ITNG). 2010; 296-300.

[18] ROSVALL M, BERGSTORM C T. Maps of random walks on complex networks reveal community structure[C]//*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008; 1119-1123.