

## 移动社会网络中基于社区的消息机会传输策略\*

张胜<sup>1</sup>, 刘小冬<sup>1</sup>, 包晓玲<sup>2</sup>, 郭水英<sup>1</sup>, 汪昕<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(南昌航空大学 信息工程学院, 江西 南昌 330063)

<sup>2</sup>(南昌航空大学 外国语学院, 江西 南昌 330063)

通讯作者: 张胜, E-mail: zwxzs168@126.com, http://www.nchu.edu.cn

**摘要:** 移动社会网络是一种由大量具有社会特征的节点组成的机会网络. 已有的基于社区的路由算法大多选用社会性最优的节点参与转发, 而没有考虑到社区分布对节点移动的影响, 将这些算法直接用于移动社会网络中会导致网络资源消耗高、传输成功率低等问题. 针对这些问题, 提出一种基于社区的消息机会传输算法, 在社区间根据节点到目标社区的传输概率选择社区间的最优传输路径, 在社区内选择与目标节点相遇概率较高的节点完成社区内传输. 仿真实验结果表明, 在移动社会网络中, 该算法与 Prophet, Spray and Wait 等经典算法相比, 提高了消息传输成功率, 降低了网络开销.

**关键词:** 移动社会网络; 社区特性; 消息转发; 传输概率; 相遇概率

中文引用格式: 张胜, 刘小冬, 包晓玲, 郭水英, 汪昕. 移动社会网络中基于社区的消息机会传输策略. 软件学报, 2015, 26(Suppl. (1)): 29-38. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/15004.htm>

英文引用格式: Zhang S, Liu XD, Bao XL, Guo SY, Wang X. Community-Based message opportunistic transmission scheme in mobile social networks. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2015, 26(Suppl. (1)): 29-38 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/15004.htm>

### Community-Based Message Opportunistic Transmission Scheme in Mobile Social Networks

ZHANG Sheng<sup>1</sup>, LIU Xiao-Dong<sup>1</sup>, BAO Xiao-Ling<sup>2</sup>, GUO Shui-Ying<sup>1</sup>, WANG Xin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(School of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

<sup>2</sup>(School of Foreign Language, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

**Abstract:** Mobile social network is a kind of opportunistic networks composed of a large number of nodes with social characteristic. However the prevalent community-based routing mostly chooses nodes that have optimal social characteristic to transmit messages, without considering the distribution of communities. Hence these algorithms usually result in high consumption of cyber resource and low transmission success when deployed directly in mobile social networks. To tackle these problems, this study proposes a community-based message opportunistic transmission algorithm (CMOT). For intra-community communication, CMOT chooses an optimal path for message transmission from local community to target community by comparing the transmission probability between the nodes. For inter-community messages transmission, CMOT chooses an optimal community path by comparing the community transmission probability. For intra-community in local community, messages are forwarded according to the encounter probability between nodes. The simulation results show that, compared with classical routing algorithms, such as PRoPHET, MaxProp, Spray and Wait, and CMTS, CMOT improves the successful message delivery ratio and evidently reduces network overhead.

**Key words:** mobile social network; community characteristic; message forwarding; transmission probability; encounter probability

移动社会网络(mobile social networks, 简称 MSNs)是一种特殊的机会网络, 采用了延迟容忍网络(delay-tolerant network, 简称 DTN)和移动自组网(mobile ad-hoc network, 简称 MANET)的很多概念<sup>[1]</sup>. 随着大量具有短

\* 基金项目: 国家自然科学基金(61162002, 61364023); 江西省自然科学基金(20151BAB207038)

收稿时间: 2015-04-15; 定稿时间: 2015-07-20

距离通信能力的移动设备<sup>[2]</sup>(如智能手机、智能手环、Apple Watch、PDA等)被人们广泛应用,为人们之间的直接通信和数据交换提供了便利,出现了一些移动社会网络的典型应用,如手持交换网络(pocket switched network,简称PSN)<sup>[3]</sup>、车联网(vehicular network)<sup>[4]</sup>、灾难响应(disaster response)<sup>[5]</sup>。

在移动社会网络中受到节点移动的影响,节点之间的通信可能会发生间歇性中断,因此节点间的通信需要利用节点移动带来的相遇机会来完成数据传递,通常采用“存储-携带-转发”的机会传输策略。此外,在移动社会网络中,节点往往根据社会关系聚集在一起而形成社区,这些社区通过具有真实或逻辑的边界来确定社区范围,整个网络被这些社区分割成相互独立的区域,比如真实世界中的酒吧、商场,虚拟世界中的网站论坛、聊天群等。通常,节点在社区内部活动相对频繁,联系紧密,而移动到社区外部的概率相对较低。同时,节点根据各自不同的兴趣和行为习惯选择访问临近的社区,这些游走于各个社区之间的节点提供了社区间的通信机会。因此,利用节点移动特性和社区特性来设计移动社会网络中的消息传输策略,能够更加真实地反映移动社会网络的内在规律,设计的相应消息转发算法更加实用和有效。

## 1 相关工作

国内外研究人员已经对机会网络中消息转发协议进行了大量的研究,其中路由和转发是机会网络研究的核心问题之一。比较典型的机会网络消息转发算法有:Epidemic<sup>[6]</sup>,Spray and Wait(SAW)<sup>[7]</sup>,Spray and Focus<sup>[8]</sup>,PRoPHET<sup>[9]</sup>,MaxProp<sup>[10]</sup>,CMTS<sup>[11]</sup>。这些算法通过在网络中注入大量的副本,提高消息的传输成功率,减少传输延迟。但副本数量过多会消耗很多网络资源。此外,这些算法没有考虑节点移动的社会特性。针对移动节点的社会特性,也有不少学者提出了基于社区感知的消息转发算法。

Chen 等人提出了一种基于社会地图的转发算法 SMART<sup>[12]</sup>,每个节点根据历史相遇记录构建自己的社会地图,节点相遇越频繁,社会关系越紧密。通过社会地图节点可以为长转发路径寻找合适的中继节点,数据包只转发给与目的节点具有更高转发概率的节点。Hui 等人提出了一种基于社区的延迟容忍网消息传输算法——Bubble Rap<sup>[13]</sup>。该算法对节点进行全局排名和局部排名,利用全局排名选择全局排名更高的中间节点进行社区间转发,直到遇到与目标节点处于同一社区的节点,然后利用本地排名选择局部排名更高的中间节点进行社区内转发,直到遇到目标节点为止。但是,该算法在单副本的消息传输方式下,消息传输成功率较低,网络传输延迟较大。

Xiao 等人提出了一种具有社区意识的单副本路由算法 CAOR<sup>[14]</sup>。该算法中具有相同兴趣的一群节点组成社区,节点经常访问的重合位置称为社区之家,由中心度高的节点守护社区之家。整个网络拓扑变成了由若干相互重叠的社区组成的星型拓扑,多个节点之间的路由转化成若干社区之家之间的路由,然后利用 Dijkstra 反向算法得到最优中继节点集合,消息传递过程中每个社区之家只选择该集合中的节点作为转发节点。但是,该算法的时间复杂度对社区数量较为敏感,当网络规模变大、社区数量增多时,不仅网络开销增加,消息的传输成功率也会下降。

此外,Zhu<sup>[15]</sup>等人提出了一种基于节点位置的路由算法,以节点历史移动位置的相似度衡量节点的社会关系,节点访问位置重合越多,则节点相遇概率越大,节点的社会联系越密切,消息只转发给联系密切的节点。Li<sup>[16]</sup>等人提出了一种面向社会网络基于持续时间效用值的路由算法 SEDUM,该算法在判断节点社会关系紧密程度时既考虑了节点之间联系的频繁程度,又考虑了节点联系的持续时间,采用多副本转发机制降低网络延迟。

这些消息传输策略都考虑了节点的社区特性,通常选取社会性最优的节点参与转发,但是获取这些社会性的度量值需要预先获得足够的信息,在现实社会中由于种种原因(比如保护隐私)很难获得这些信息,因此这些算法实施起来较为复杂,而且它们没有考虑到节点兴趣和行为习惯对节点移动的影响,节点总是趋向访问关系密切的社区,对关系疏远的社区访问次数较小或不访问。本文提出一种基于社区的消息机会传输算法(community-based message opportunistic transmission,简称CMOT)。该算法根据节点的历史访问信息进行社区划分,并给节点分配标签表明节点所属社区。消息传输分为社区间传输与社区内传输两部分。社区间传输是指根据节点到目标社区的传输概率大小选择消息在社区间的传输路径;社区内传输是指根据节点与目标节点的相遇

概率大小选择消息转发的中继节点.这种消息传输方式既增加了消息的投递机会,提高了消息传输成功率,同时也降低了无效投递造成的资源浪费.

## 2 网络模型定义与社区划分

### 2.1 网络模型定义

依据社区机会网络中节点的移动特性,节点总是趋向访问关系密切的社区,对关系疏远的社区访问次数较小或不访问.本文建立的基于社区的移动网络模型如下:

**定义 1(网络模型).** 假设网络中包含  $m$  个社区, $n$  个节点,则该机会网络移动模型表示为  $G = \{C, P\}$ , 其中,  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$  表示网络中社区的集合,  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  表示节点访问各个社区的概率集合,其中,  $P_i$  是一个  $m$  维的概率向量.

**定义 2(社区).** 社区是网络中由于节点聚集而形成的有限区域.节点所属的社区称为节点的本地社区.节点能够访问的社区称为可达社区,显然,节点的本地社区属于可达社区.节点不能访问的社区称为不可达社区.

**定义 3(节点兴趣).** 节点的偏好和行为习惯统称为节点兴趣.节点兴趣决定了哪些社区是节点的可达社区,并且根据节点兴趣,节点对个别社区访问频繁,而对其他社区很少访问甚至不访问.

**定义 4(社区活跃度).** 社区活跃度表征了社区节点离开本地社区访问其他社区的概率,同时也表征了社区的聚集程度,社区活跃度越大,节点离开本地社区的概率越大,社区节点越分散,反之,社区节点越聚集.

为了便于描述和分析,对节点的移动模型进行如下设置:

(1) 每个节点仅属于一个社区,节点大部分时间在本地社区内移动,节点在社区内的移动遵循 Random-Waypoint 移动模型规则.

(2) 节点离开本地社区时,随机选择一个可达社区作为目的地,节点到达目的地后随机停留一段时间,然后选择下一个目的地.节点离开本地社区的概率由社区活跃度决定.

### 2.2 社区划分

根据节点的社区特性,每个社区由真实或者逻辑的社区边界确定社区范围,节点总是以较高的概率在本地社区内移动,而以较低的概率离开本地社区进入其他社区.利用节点对社区的访问概率,可以将节点划分到不同社区.

根据网络模型定义,从初始状态开始周期性统计节点  $i$  访问各个社区的次数,从而得到节点  $i$  访问各社区的概率向量  $P_i = \langle p_i(C_1), p_i(C_2), p_i(C_3), \dots, p_i(C_m) \rangle$ , 则节点  $i$  当前访问概率最高的社区为节点  $i$  的本地社区,并给节点  $i$  创建一个标签,表明它所属的社区.同一个社区的节点有相同的社区标签.按此方法将网络中的  $n$  个节点划分到  $m$  个社区.该社区划分方法允许划分的社区为空社区,社区个数  $m$  是可变的,由社区划分的精细程度和具体网络环境来确定.

随着节点的移动,网络中原有的社区机构可能会随时间发生变化,因此对节点访问各个社区的次数周期性地更新,根据获得的社区访问概率向量重新对节点的社区归属进行划分,这样不仅适应了时变的移动社会网络,而且降低了算法的时间复杂度.

## 3 CMOT 消息传输策略

在移动社会网络中,利用节点的社区属性把节点划分到不同的社区有利于提高数据传输性能.若源节点和目标节点位于同一社区,只需要将消息的转发控制在社区内部,避免消息扩散到社区外部而增加网络资源消耗.若源节点和目标节点不在同一社区,先把消息传递到目标社区,再通过社区内转发送至目标节点.因此,CMOT 消息传输策略分为社区内消息传输策略和社区间消息传输策略.

### 3.1 社区内消息传输策略

#### 3.1.1 节点相遇预测概率

经典的概率预测算法 PROPHET 采用传输预测值来度量节点间成功传输的概率,只要相遇节点的传输概率值比携带消息的节点大就可以得到一个副本.由于社区内的节点移动频繁,节点相遇概率较高,这种转发会使社区内存在大量的消息副本,浪费了网络资源.本文对社区内消息传输采用了一种改进的 PROPHET 算法,在转发的过程中只选择目标节点的一跳节点作为转发节点,既保证了传输成功率,又可以减少转发造成的副本冗余.

每个节点保存一个相遇概率向量表,用来存储节点之间的相遇概率.节点间相遇概率的计算分为相遇更新和时间老化两部分.

当节点  $i, j$  相遇时,根据式(1)计算  $i, j$  间的传输预测概率,其中,  $p_{init}$  是一个初始化常数,式(1)保证了经常相遇的两个节点的相遇概率会随着相遇次数的增加而增加.

$$p(i, j) = p(i, j)_{old} + (1 - p(i, j)_{old}) \times p_{init} \quad (1)$$

节点  $i, j$  在一个时间单元内没有相遇,则其传输预测概率逐渐老化,计算如式(2)所示.

$$p(i, j) = p(i, j)_{old} \times \gamma^k \quad (2)$$

其中,  $\gamma \in [0, 1]$  是一个初始化常数,  $k$  是经过的时间单元个数.该时间单元的大小可变,由社区内节点平均相遇间隔确定.经实验仿真可知,  $p_{init} = 0.75, \gamma = 0.98$  是最合适的常数值.

#### 3.1.2 社区内消息转发过程

消息在社区内转发使用节点的相遇预测概率衡量消息成功投递到目标节点的概率,只选择比携带消息的节点概率值大的相遇节点作为转发节点,转发完成后携带消息的节点不删除消息,而是按照“先入先出”的原则对消息进行存储管理,直到消息 TTL 值过期或者消息传递给目标节点.同时,在算法中增加 ACK 机制,若消息到达目标节点,则向网络中发送一个 ACK 数据包,收到数据包包的节点根据 ACK 信息消除网络中该消息的冗余副本.从节约能量的角度来看,这种投递方式选择相遇概率最高的节点作为转发节点,保证了投递的可靠性.同时只选择一跳节点作为转发节点有选择性地降低转发次数,减少了网络中的副本冗余.此外,采用 ACK 机制及时消除已传输成功的数据包副本,减少了资源浪费.

### 3.2 社区间消息传输策略

#### 3.2.1 社区间传输的最佳路径

社区间消息传输的关键是把消息传输到目标节点所在的社区,社区间消息传输本质上就是寻找社区间的最佳路径.节点根据各自的兴趣游走于各个社区之间,提供了社区间的连通途径.但是对于单个节点而言,节点只能访问可达社区,因此节点只提供本地社区与可达社区间的连通路程,本地社区到不可达社区的连通路程往往需要其他社区的节点协助.大量节点的移动使社区之间可能存在多条连通路程,找出这些路径中的最佳路径就可以解决社区间的消息传输问题.

#### 3.2.2 社区传输概率

本文定义了一个社区传输概率值来衡量社区间路径的连通强度.每个节点保存一张由社区传输概率组成的传输概率表,用来存储节点到各个社区的传输概率.每个社区传输概率代表了一条连接节点本地社区到其他社区的连通路程,传输概率值越大,则路径越好.在传输概率表中,社区传输概率分为两类:可达社区的传输概率和不可达社区的传输概率.

##### (1) 可达社区的传输概率

节点可以直接访问可达社区,从而创建本地社区到可达社区的连通路程,因此,节点访问可达社区的概率代表了节点到可达社区的传输概率.利用表达式(3)计算节点  $i$  到可达社区的传输概率.

$$p_i(C_y) = \frac{E_i(C_y)}{\sum_{x \in X} E_i(C_x)}, y \in X \quad (3)$$

其中,  $X$  为节点  $i$  的可达社区集合,  $E_i(C_y)$  为节点  $i$  访问社区  $C_y$  的次数,访问次数每个移动周期更新 1 次.

## (2) 不可达社区的传输概率

对于不可达社区的传输概率,这里定义了节点到不可达社区传输概率的可传递属性.

如图 1 所示,假设节点  $i$  与节点  $j$  的本地社区分别是社区  $C_x$  和社区  $C_y$ ,社区  $C_y$  是节点  $i$  的可达社区,社区  $C_z$  是节点  $i$  的不可达社区.若节点  $i$  与  $j$  相遇,通过交换社区传输概率表,节点  $i$  发现节点  $j$  有一条到社区  $C_z$  的连通路,则节点  $i$  通过节点  $j$  可以建立一条连接本地社区  $C_x$  到不可达社区  $C_z$  的连通路.该路径分成两段;一段是  $C_x \rightarrow C_y$ ,由节点  $i$  移动到社区  $C_y$  开辟,另一段是  $C_y \rightarrow C_z$ ,节点  $j$  到社区  $C_z$  的传输概率指明了这条路径的存在.节点  $i, j$  的相遇把两段路径连接起来组成  $C_x \rightarrow C_y \rightarrow C_z$ ,延长连通路,使节点  $i$  获得往不可达社区  $C_z$  传输消息的机会.

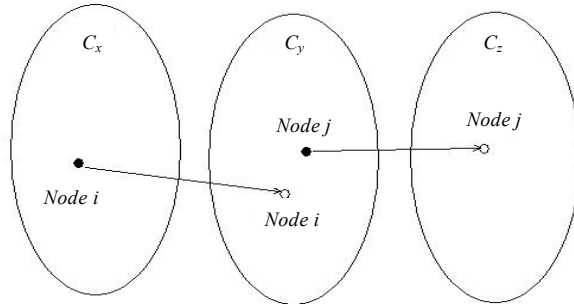


Fig.1 The node  $i$  build a community path through node  $j$

图 1 节点  $i$  通过节点  $j$  建立的社区路径

式(4)定义了节点  $i$  到不可达社区  $C_z$  的传输预测概率.

$$p_i(C_z) = p_i(C_y) \times p(i, j) \times p_j(C_z) \quad (4)$$

其中,  $P_i(C_y)$  表示节点  $i$  到节点  $j$  的本地社区  $C_y$  的传输概率,代表了路径中  $C_x \rightarrow C_y$  段.  $P_j(C_z)$  表示节点  $j$  到社区  $C_z$  的传输概率,代表了路径中  $C_y \rightarrow C_z$  段.  $p(i, j)$  是节点  $i, j$  的相遇概率,它连接两个社区概率,增长了社区路径.由式(4)可知,在移动受限的社区移动社会网络中,节点向不可达社区投递消息,往往要跨越其他社区,跨越的社区越多,社区路径就越长,得到的社区传输概率越小,意味着投递机会越小.

节点在移动过程中不断更新社区传输概率表中不可达社区的传输概率,更新方式分为两种:替换更新和老化更新.替换更新如下:若节点  $i$  与节点  $l$  相遇获得了一条到社区  $C_z$  的新连通路,通过式(3)、式(4)计算得到该社区传输概率值  $P_i(C_z)_{new}$ ,将该值与社区传输概率表中的旧值  $P_i(C_z)_{old}$  作比较,若  $P_i(C_z)_{new} > P_i(C_z)_{old}$ ,则用新值更新社区传输概率表中的旧值.

老化更新方式采用老化算法,由于节点建立的到不可达社区的连通路通常由多条社区连通路连接构成,是一种随时间变化的动态路径,若节点  $i$  到社区  $C_z$  的传输概率在一段时间内没有更新,则其传输预测概率将逐渐老化,计算如式(5)所示.

$$p_i(C_z) = p_i(C_z) \times \eta^T \quad (5)$$

其中,  $\eta \in [0, 1]$  是一个初始化常数,经实验仿真,  $\eta = 0.98$  是较为理想的常数值.  $T$  是经过的时间单元个数,该时间单元的大小是可变的,由节点在社区间移动造成的传输延迟期望来确定.

### 3.2.3 社区间消息转发过程

消息在社区间转发时,利用节点到目标社区的传输概率选择最优的社区连通路.携带消息的节点与相遇节点比较到目标社区的传输概率,若相遇节点的社区传输概率值更高,表明该节点创建了一条到目标社区的更优路径,则选择该相遇节点作为转发节点.据此过程,在社区间转发总是选择概率值最高的节点作为转发节点,直到把消息投递到目标社区为止.显然,节点到本地社区的传输概率是最大的,路径也是最优的,因此在社区间转发中总是把消息转发给与目标节点在同一社区的节点.

## 4 仿真实验和结果分析

### 4.1 仿真环境设置

CMOT 算法使用 ONE(opportunistic network environment)进行仿真,并与机会网络的典型算法 PRoPHET, Spray and Wait,MaxProp,CMTS 进行比较.社区按照 4×4 的方式布局,每个社区的边界设置为一个圆心固定、半径可变的圆.其中,节点兴趣设置为优先访问距离最近的社区.社区分布情况如图 2 的仿真界面所示.

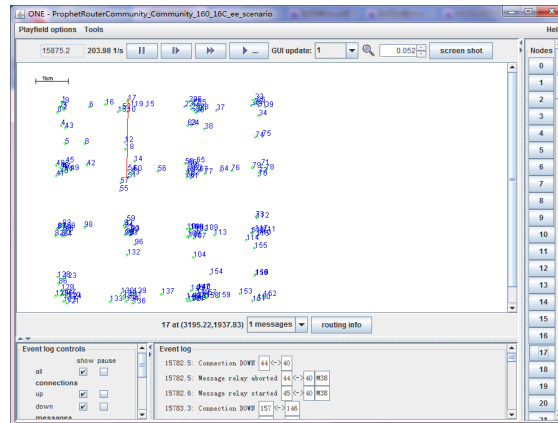


Fig.2 The community distribution of simulation interface

图 2 仿真实验中社区分布

仿真开始前,先进行 10 000s 的预处理过程以完成社区划分.具体仿真参数设置见表 1.

Table 1 The parameters of simulation scenario

表 1 仿真场景参数

Category	Parameter (unit)	Values
Scenario features	Simulation time (s)	60 000
	Simulation region (m <sup>2</sup> )	7500×7500
Community characteristics	Community quantity	16
	Community distribution	4×4
	The radius of community (m)	100/300/500/700/900
	The number of nodes in a community	10
Node characteristics	Mobility model	Random Waypoint
	Movement speed (m/s)	0~7
	Community activity	0.03/0.06/0.09/0.12/0.15/0.18/0.21
	Transmission rate (KB/s)	250
	The maximum transmission range (m)	30
	Cache size (MB)	10
Data packet characteristics	Wait time (s)	5~10
	Event generator	External events
	Data packet size (MB)	0.5~1.5
	TTL (s)	1000/2000/4000/6000/8000/12000
	The total number of data packets	1 000

### 4.2 实验结果及分析

基于上述场景,对 PRoPHET,MaxProp,Spray and Wait,CMTS 和本文提出的算法在社区大小、社区活跃度、节点平均移动速度、消息生存周期等参数变化的情况下进行对比分析.

#### 4.2.1 社区大小对路由算法的影响

实验设置节点的平均移动速度为 5m/s,节点缓存为 10M,社区活跃度为 0.21,消息 TTL 为 100min.其中,消息平均跳数是指消息到达目标节点的过程中转发的平均次数.

图 3 表明社区半径较大时,各路由算法的传输成功率没有显著差异;当社区半径小于 500m 时,CMOT 的传

输成功率明显高于其他路由算法,与其他4种算法相比较,CMOT的传输成功率提高了5%~30%,表明CMOT更适合社区范围较小的网络。

图3与图4表明,传输成功率和消息平均跳数都随着社区半径的增大而减小,变化趋势相同.在移动受限的社区环境中,当目标节点在不可达社区内时,消息的投递往往要跨越多个社区,消息需要多次转发完成投递过程.因此,成功投递到不可达社区的消息越多,则整个网络的消息传输成功率越高,而所有消息的平均跳数也随之增大.CMOT算法的传输成功率和消息平均跳数均高于其他4种算法,表明CMOT算法通过社区传输概率传递的方法使更多的消息成功投递到不可达社区.5种算法中,CMTS算法的性能表现最差,说明CMTS不适用于这种移动范围受限的移动社会网络。

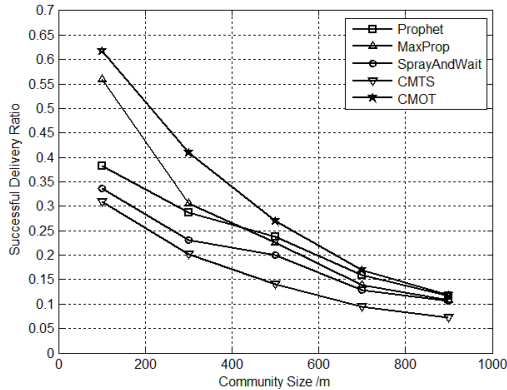


Fig.3 The delivery ratio in different community sizes

图3 不同社区大小传输成功率比较

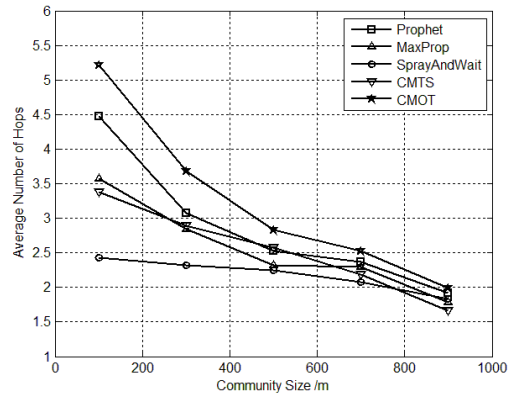


Fig.4 The average hops in different community sizes

图4 不同社区大小消息平均跳数比较

#### 4.2.2 社区活跃度对路由算法的影响

本实验设置社区半径为300m,消息TTL为100min,节点平均移动速度为4m/s,节点缓存为10M。

图5、图6表明社区活跃度增加,提高了各算法的传输成功率,促进了网络负载的降低.CMOT的传输成功率最高,CMTS的传输成功率最低.PRoPHET和MaxPro算法的网络负载率对节点活跃度最为敏感,CMOT算法的网络负载率对节点活跃度最不敏感且保持在较低水平。

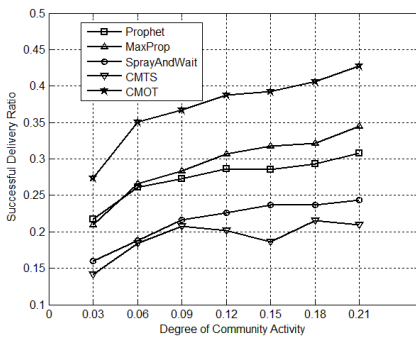


Fig.5 The delivery ratio in different community activity

图5 不同社区活跃度下传输成功率比较

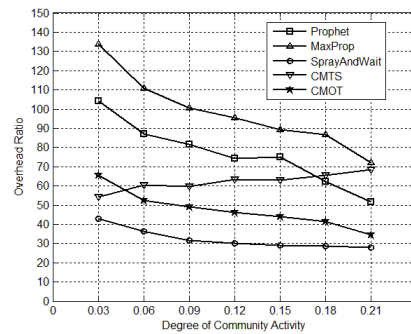


Fig.6 The overhead ratio in different community activity

图6 不同社区活跃度下网络负载率比较

PRoPHET,MaxProp,Spray and Wait 算法没有利用节点的社区特性,因此消息的投递范围有限,传输成功率较低.CMTS算法虽然利用了节点的社区特性,选择活跃性高的节点进行扩散转发,但是节点移动范围有限,影响了扩散的效果,活跃节点只能把副本携带到可达社区,而无法投递到不可达社区,节点活跃性变强,消息的扩散速度加快,但是这种扩散不仅不能改善传输成功率,反而加重了网络负载.而CMOT算法采用传输概率预测的方



法,为消息投递到目标社区寻找可靠路径,提高了消息传输成功率.

#### 4.2.3 节点移动速度对路由算法的影响

本实验设置社区半径为 300m,消息 TTL 为 100min,节点缓存为 10M,社区活跃度为 0.21.

图 7 表明,节点平均速度小于 1m/s 时,节点移动性差影响了跨社区间的消息传输,各路由算法的传输成功率都比较低;随着节点平均速度增加到 4m/s,各路由算法的传输成功率都呈现出线型增长的状态,其中,CMOT 算法的传输成功率远远高于其他 4 种算法,说明节点移动性好的社区网络更有利于 CMOT 算法发挥作用.

图 8 表明,4 种算法的网络负载随着节点平均速度的增加而增大,节点平均速度较低时,各算法的网络负载都较高,随着节点平均速度的增加,各路由算法的网络负载随之降低,只有 CMOTS 算法随着节点平均速度的增加,负载率增大.由于 CMOTS 利用节点的活跃度进行转发,在节点移动受限的环境下活跃度高的节点只能在部分区域内移动,不能移动到任意位置,因而这种转发具有盲目性,节点移动性变好反而会加重网络负载.

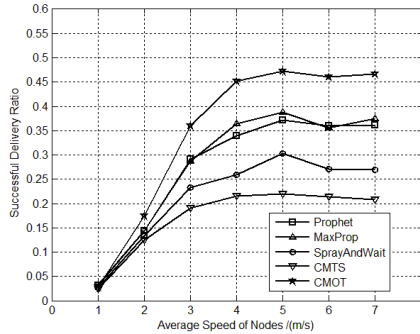


Fig.7 The delivery ratio in different nodes' average speed

图 7 不同节点平均移动速度传输成功率比较

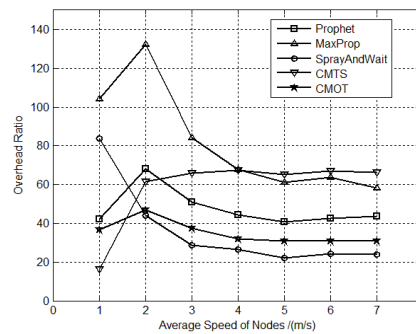


Fig.8 The overhead ratio in different nodes' average speed

图 8 不同节点平均移动速度网络负载比较

#### 4.2.4 消息 TTL 对路由算法的影响

本实验设置社区半径为 300m,节点平均速度为 4m/s,节点缓存为 10M,社区活跃度为 0.21.

图 9 表明,当消息的 TTL 较小时,消息还未被充分转发就已经到期,所以各算法的传输成功率都比较低.当消息的 TTL 增大到 6 000s 时,CMOT 算法的传输投递率明显高于其他路由算法,由结果可以发现,相比其他 4 种路由算法,CMOT 的总体消息传输成功率提高了 5%~25%.如图 10 所示,与其他 4 种路由算法相比,CMOT 的网络负载基本保持在较低水平,仅在某些区间略高于 Spray and Wait 算法的网络负载,大大低于其他 3 种路由算法的网络负载,而且从整个时段来看,CMOT 的网络负载对消息 TTL 的变化不敏感.

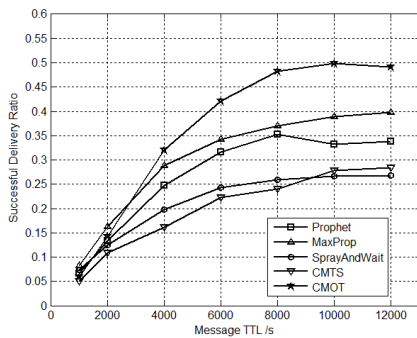


Fig.9 The delivery ratio in different TTL

图 9 不同 TTL 传输成功率比较

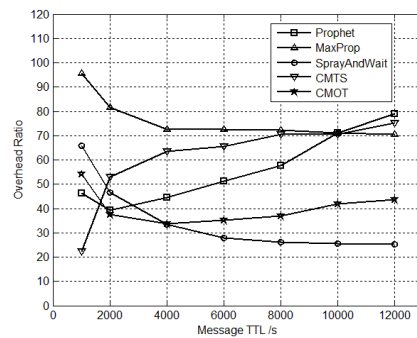


Fig.10 The overhead ratio in different TTL

图 10 不同 TTL 网络负载率比较



## 5 结束语

本文根据移动社会网络中节点的社区性和移动特点提出了一种基于社区的消息机会传输算法,目的是提高网络中消息传输成功率,降低网络负载率.首先对移动社会网络中的技术背景和应用场景加以介绍,对已有的移动社会网络社区算法及存在的问题进行了分析,然后根据节点访问不同社区的频度建立基于社区的网络模型,提出了基于社区的消息机会传输算法(CMOT).该算法的主要思想是将节点消息转发分为社区内转发和社区间转发两种情况,并采用不同的消息转发策略.仿真实验结果表明,该算法能有效地提高消息传输成功率,降低网络负载.特别地,本文采用的移动社会网络社区模型比较简单,下一步将考虑到社区非规则分布、社区形状大小不同、社区内节点兴趣不同等实际情况,将对CMOT算法作进一步优化.

### References:

- [1] Cerf V, Burleigh S, Hooke A, Torgerson L, Durst R, Scoot K, Fall K, Weiss H. Delay-Tolerant networking architecture. RFC4838, 2007.
- [2] Xiong YP, Sun LM, Niu JW, Liu Y. Opportunistic networks. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2009,20(1):124–137 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3467.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2009.03467]
- [3] Ma C, Yang YJ, Du ZW. Overview of routing algorithm in pocket switched networks. In: Proc. of the 9th Int'l Conf. on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications. 2014.
- [4] Soares VNGJ, Rodrigues JJPC, Farahmand F. GeoSpray: A geographic routing protocol for vehicular delay-tolerant networks. Information Fusion, 2014,15:102–113.
- [5] Yu YC. A mobile social networking service for urban community disaster response. In: Proc. of the 2015 IEEE 9th Int'l Conf. on Semantic Computing. 2015.
- [6] Vahdat A, Beker D. Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks [Ph.D. Thesis]. Durham: Duke University, 2000.
- [7] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra CS. Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. Sigcomm, 2005.
- [8] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra CS. Spray and focus: Efficient mobility-assisted routing for heterogeneous and correlated mobility. In: Proc. of the 5th Annual IEEE Conf. on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerComW 2007). IEEE, 2007.
- [9] Lindgren A, Doria A, Schelen O. Probabilistic routing in intermittently connected networks. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003,7(3).
- [10] Burgess J, Gallagher B, Jensen D, Levine BN. MaxProp: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. In: Proc. of the IEEE Infocom 2006, the 25th IEEE Int'l Conf. on Computer Communications. 2006,4(7):23–29.
- [11] Niu JW, Zhou X, Liu Y, Sun LM, Ma J. A message transmission scheme for community-based opportunistic network. Journal of Computer Research and Development, 2009,46(12):2068–2075 (in Chinese with English abstract).
- [12] Chen K, Shen HY. SMART: Lightweight distributed social map based routing in delay tolerant networks. In: Proc. of the IEEE ICNP. 2012. 1–10.
- [13] Hui P, Crowcroft J, Yoneki E. BUBBLE Rap: Social-Based forwarding in delay tolerant networks. In: Proc. of the 9th ACM Int'l Symp. on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. ACM, 2008. 1576–1589.
- [14] Xiao MG, Wu J, Huang LS. Community-Aware opportunistic routing in mobile social networks. IEEE Transactions on Computers, 2014,63(7):1682–1695.
- [15] Zhu Y. Social and location based routing in delay tolerant networks [Ph.D. Thesis]. The University of North Carolina at Charlotte, 2014.
- [16] Li Z, Shen HY. SEDUM: Exploiting social networks in utility-based distributed routing for DTNs. IEEE Trans. on Computers, 2013,62(1):83–97.

## 附中文参考文献:

- [2] 熊永平,孙利民,牛建伟,刘燕.机会网络.软件学报,2009,20(1):124-137. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3467.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2009.03467]
- [11] 牛建伟,周兴,刘燕,孙利民,马建.一种基于社区机会网络的消息传输算法.计算机研究与发展,2009,46(12):2068-2075.



张胜(1968—),男,湖北罗田人,博士,副教授,CCF 高级会员,主要研究领域为无线传感器网络,人工智能,数据挖掘,GPS/GIS.



郭水英(1990—),女,硕士生,主要研究领域为无线传感器网络.



刘小冬(1989—),男,硕士生,主要研究领域为机会网络.



汪昕(1991—),男,硕士生,主要研究领域为机会网络.



包晓玲(1973—),女,助理工程师,主要研究领域为无线传感器网络,数据挖掘.