

# MSN 下基于亲缘关系的分族分层机会路由算法



薛冒杰 吴军 金小俊 白光伟

南京工业大学计算机科学与技术学院 南京 211816

(455379513@qq.com)

**摘要** 移动社会网络(Mobile Social Network, MSN)具有社会网络特征,移动智能终端设备由于自身资源限制,往往表现出节点自私性。现有研究主要集中于解决节点个体自私性,而忽视了对节点社会自私性的甄别与利用。因此,文中提出了一种基于亲缘关系的分族分层路由算法。首先,在依据亲缘关系指数分族分层的社区和集群中,自荐的节点通过比较综合举荐值产生族节点和中继节点。然后,以亲缘关系预测的转移概率为转发依据,借助族节点和中继节点优化盲目转发,在有效地控制副本数的同时预测关联可靠路径链路,实现基于节点亲缘关系的相遇投递策略。仿真实验结果表明,该算法可以在保护与利用社会自私性的基础上,有效地提高消息投递率,降低网络时延,提高网络的通信流量等。

**关键词:** MSN; 亲缘关系; 社会自私性; 分族分层; 机会路由

**中图分类号** TP393

## Group Stratification Opportunistic Routing Algorithm Based on Kinship in MSN

XUE Mao-jie, WU Jun, JIN Xiao-jun and BAI Guang-wei

School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Technology, Nanjing 211816, China

**Abstract** Mobile Social Network (MSN) has the characteristics of social network. Mobile intelligent terminal devices often exhibit node selfishness due to their own resource limitations. The existing researches mainly focus on solving the selfishness of node individuals, and thus neglect the discrimination and utilization of node social selfishness. Therefore, this paper proposed a group stratification opportunistic routing algorithm based on kinship. First, in the communities and clusters based on the kinship index, the self-recommended nodes generate family nodes and relay nodes by comparing the recommended values. Then, the transition probability predicted by the kinship relationship is used as the forwarding basis, the family node and the relay node are used to optimize the blind forwarding. The effective reliable path link is predicted while the number of replicas is effectively controlled, and then encounter-based delivery strategy based on the node affinity is realized. Simulation results show that the proposed mechanism can effectively improve the message delivery rate, reduce the network delay, and improve the communication traffic of the network on the basis of protecting and utilizing social selfishness.

**Keywords** MSN, Kinship, Social selfishness, Group stratification, Opportunity routing

## 1 引言

随着移动通信技术的发展以及便携移动通信设备的使用日趋普遍,越来越多的人希望利用功能强大的个人移动通信设备(如笔记本、手机等)与好友分享多媒体信息或寻找与自己具有相同兴趣的其他个人或团体。为实现这个目的,结合社会科学以及移动网络中的无线通信技术,移动社会网络应运而生<sup>[1]</sup>。MSN发展自机会网络<sup>[2]</sup>,其源节点和目的节点之间不需要存在完整的链路,利用节点移动带来的相遇机会来实现“存储-携带-转发”模式的网络通信,存在移动网络下的社会簇聚特征<sup>[3]</sup>。在初期,机会网络被用于许多缺少基础通

信设施的极端环境,如太空通信、灾难救援、战时通信等<sup>[4]</sup>。随着智能 PDA(Personal Digital Assistant)设备的日益普及,移动社会网络逐步形成并呈扩大趋势。为了更有效地进行数据传输及共享,在移动社会网络节点资源受限的情况下,节点间通信越来越多地依赖于节点的社会属性<sup>[5-6]</sup>,例如社会关系、节点的兴趣、自私性以及利他性等。在机会网络中,若节点没有利他性,则数据将无法传递;而当节点处于自私的状态下,则不愿意利他,因此,在节点进行理智考量时,两者相互博弈的结果便是社会自私<sup>[7]</sup>。在本文中,节点的社会自私表征为亲缘关系指数,其本质是存在社会关系的节点间具有较强的转发意愿,若不具有较强的转发意愿,节点间出现联系的可

收稿日期:2019-02-25 返修日期:2019-06-14 本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:国家自然科学基金(60673185,61073197)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (60673185,61073197).

通信作者:吴军(wujun@njtech.edu.cn)

能性较低。有效利用社会自私性将有助于提高网络流量,但其中也存在一些问题,例如正确判断节点间是否具有社会自私性、只传递有社会关系的数据包等。现有研究主要集中于解决节点的个体自私性,这些激励计划无法直接用于处理社会自私性,因为社会自私性的本质是节点的利他性。由于这些激励机制的作用,不管是否存在社会联系,每个节点将不得不为其他节点提供服务,其结果是节点的社会自私性被侵犯。因此,如何在甄别出节点的社会自私性的同时,对其加以保护和利用,并在一定程度上抵御个体自私性,是亟需解决的关键问题之一。

本文第2节介绍所提算法的相关工作;第3节详细阐述基于亲缘关系的相遇投递策略;第4节给出实验仿真,并分析实验结果;最后对所提算法进行总结。

## 2 相关研究

### 2.1 社会自私性

社会自私性的概念最早是由美国宾州州立团队提出的<sup>[8]</sup>,他们以终端节点是否存在社区关系为依据,将自私行为分为个体自私性和社会自私性,其中社会自私性指当机会网络中存在社会关系时,同一社区内的节点传递消息副本的概率较大。而社区的形成也正是因为社会自私性。通过网络学理论对用户的移动行为特征进行分析发现,人们的社会关系存在一定的依赖性,其运动方式表现出“小世界化”现象。人们由于某些共同的兴趣爱好以及社会关系聚集在一起,形成一个个运动的群体,这便是社区。如果一个节点与其他节点没有任何社会关系,节点的社会自私性则变成个体自私性。因此,甄别节点社会自私性的依据是其是否具有社区属性。

现有的社会自私性大体分为3种:1)将追求最高的转发利益定为最根本的原则;2)在一定程度上更愿意为关系密切的人(如家人、朋友、同事等)转发消息;3)表现出的自私性与其消息的重要程度呈反比,即消息越重要,用户表现出的自私性反而降低<sup>[9]</sup>。部分文献<sup>[10-11]</sup>只考虑了前两种情况。文献<sup>[12]</sup>通过对社会自私性节点进行基于社会关系的消息转发意愿评估,来提高多媒体信息传输时节点的协作性,但该算法只对上述的3种情况单独进行讨论。文献<sup>[13]</sup>针对跨社区消息传输时社会自私性对网络性能以及节点间协作能力的影响,利用博弈理论建立节点消息转发的博弈模型,进一步研究社会自私性激励与消息转发机制,使节点更多地抵御社会自私性,而忽视其利用价值。文献<sup>[9]</sup>提出了一种基于社会自私性的路由算法,在该算法中,节点优先转发收益最大的消息,选择与目的节点的社会关系更强、投递率更大且具有较强转发意愿的节点作为转发节点,然而该算法没有考虑转发节点自身的社会自私性,且在相遇节点均与目的节点没有关系的情况下性能大大降低。

### 2.2 亲缘关系

在1964年,Williams提出亲缘选择理论,又被称为汉密尔顿法则(Hamilton's Rule)<sup>[14]</sup>,其主要内容是:亲缘关系越近,彼此之间的合作倾向和利他行为表现越强烈;亲缘关系越远,彼此间的合作倾向和利他行为表现越弱。同时,其利用亲

缘关系指数表示两个亲属之间具有共同基因的概率,当这个概率大于博弈模型中自利行为的成本收益比率时,两者自然选择会产生合作行为。从理论上讲,不同的亲缘关系,其亲缘关系指数有一定程度的差异,如父母与子女之间恒定为1/2、祖父母与孙子孙女之间为1/4等。亲缘关系越远,个体具有相同基因的概率就越小,亲缘关系指数也就越小。

文献<sup>[15]</sup>根据上述理念在复杂网络上提出了基于博弈论的亲缘选择合作理论,分别讨论了小世界网络上的博弈和社区网络上的博弈,其结论是合作行为更有可能出现在有亲缘关系的个体之间,这是由基因决定的本性。由基因所决定的个体之间的亲缘关系越近,越有可能产生合作。文献<sup>[16]</sup>利用移动社会网络系统 Dodgeball 来进行定性实地研究,发现通过 Dodgeball 交换信息可以导致社会分子化,即活跃的 Dodgeball 成员以集体方式在城市中生存或者移动。然而上述文献中的亲缘关系指数并没有从实际的 MSN 的历史交易记录中得到,因此不适用于所有的情况。

本文算法所采用的亲缘关系指数是以 PLP-FGM 模型为基础得到的<sup>[17]</sup>,该模型是 Tang 等根据以下的直观知识提出的一种部分标记的成对因子图模型,属于监督学习的关系类型预测<sup>[18]</sup>。首先,在特定的时间内联系的用户可能具有关系,例如在工作时间经常联系的可能是同事,在周末联系的可能是朋友,而在晚上联系的更有可能是家人。其次,没有直接联系的用户可能有关系,例如 A 打电话给 B,结束后 B 立刻打电话给 C,那么 A 可能与 B 和 C 有相同的社会关系。最后,还有一些需要考虑的全局因素,比如常识或对特定用户的约束。本文算法在此基础上增加了一条约束,即在特定的地点经常出现的两个人可能有一定的关系,例如在宿舍经常出现的更有可能是同学。

## 3 基于亲缘关系的相遇投递策略

### 3.1 网络模型

为了更好地对本文算法进行研究,首先给出网络模型的一些必要假设。

(1)本文算法的研究工作是在根据亲缘关系指数分族分层的 MSN 中进行的,且为 2D 无 AP 架构,节点在周期内相对稳定,其社会关系模型包括:家人(Home)、朋友(Friend)和同事(Colleague)。具有相同社会关系的节点处于同一族内,不同的族之间均有交叉部分,如图1所示。

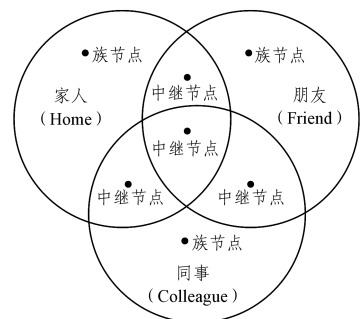


图1 社会关系模型及节点分布图

Fig. 1 Social relationship model and node distribution map

(2) 每个族内均有一个族节点,以二元组的形式存储本族内每个节点的邻居节点集。族交集处有中继节点,同样以二元组的形式来存储所在族的所有节点的邻居节点集。族节点和中继节点的分布如图1所示。

(3) 为了便于描述,将MSN抽象为一个包含  $n$  个节点的图  $G=(V,L)$ 。其中  $V=\{V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_n\}$  ( $n \geq i \geq 1$ ) 表示网络中节点(或个体)的集合;  $\forall V_i \in V, V_i$  表示机会社会网络中第  $i$  个节点;  $L=\{L_1, L_2, \dots, L_k\}$  为定义在  $G$  上的链路集合,  $k \in \left(0, \frac{n(n-1)}{2}\right)$  (当  $k=0$  时表示某个时刻网络中的节点彼此都不在对方的通信范围内),  $\forall L_i \in L, L_k$  为网络中  $L_i \rightarrow L_j$  的通信链路 ( $i \neq j$ , 且  $i$  和  $j$  均小于  $n$ )。

(4) 每个节点均存有一个一维数组,用来储存自身邻居节点的单一的亲缘关系指数:

$$kssi_{m,i}^x = (kssi_{i,m}^x) \quad (1)$$

其中,  $x$  表示亲缘类型(家人或者朋友或者同事),  $i$  和  $m$  分别表示两个节点。而单一亲缘关系指数:

$$kssi_m^H = \sum_{a=1}^r kssi_{m,a}^H \quad (2)$$

即节点  $m$  的家人亲缘关系总和。综合亲缘关系指数  $KSI_m^H$  则通过  $kssi_m^H, kssi_m^F$  和  $kssi_m^C$  加权求和得到。在同一族内,族对应的  $kssi_m^x$  大于阈值  $Y$ 。

(5) 自私节点均是社会自私性节点,即节点在自身状态允许时,优先转发与自身有社会关系的节点,而对于没有关系的陌生节点,会在追求自身利益最大化的情况下酌情转发。

(6) 节点以混杂工作模式进行工作,以便监听邻居节点转发数据报文的情况。

### 3.2 族节点、中继节点的产生

在社区内,族节点依靠综合举荐值通过举荐机制产生(虚拟投掷盒),其一方面可以用于社区内的信息存储,另一方面可以监控和奖惩其他节点;而中继节点则是依靠节点的高活跃度、高可信度和高社区度(交叉社区)举荐产生,其作用是关联社区间的信息,因为其活跃度高,其移动方向容易被预测,如图2所示。

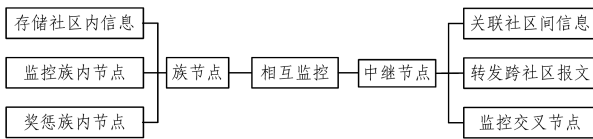


图2 族节点和中继节点作用图

Fig. 2 Action diagram of family node and relay node

举荐机制包括自荐和选取两个部分,本文算法以族节点的举荐为例,其流程如图3所示。

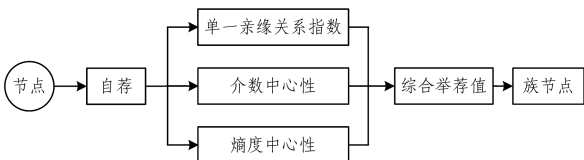


图3 族节点的举荐机制图

Fig. 3 Recommendation mechanism diagram of family node

社区内各个节点通过向其余节点发送报文来表达自荐的愿望。报文中包括单一亲缘关系指数  $kssi_m^x$ 、介数中心性和熵度中心性<sup>[19-20]</sup>。其中,介数中心性表示该节点作为两个节点之间最短路径的桥梁的次数,次数越多,说明该节点作为桥梁的重要程度越高。其函数表达式为:

$$B(m) = \sum_{i \neq j \neq m} \frac{g_{i,j}(m)}{g_{i,j}} \quad (3)$$

其中,  $g_{i,j}(m)$  表示  $m$  作为中继节点的次数,  $g_{i,j}$  表示最短路径的个数。

熵度中心性表示该节点与相邻节点的相遇次数,其值为:

$$E^T(m) = \frac{H^T(m) \sum_{j \in \Gamma^T(m)} \omega^T(m,j)}{F^T} \quad (4)$$

其中,  $H^T(m) = - \sum_{j \in \Gamma^T(m)} P_m(j) \log_2(P_m(j))$  表示在持续时间  $T$  内节点  $m$  的连接分布熵,而  $P_m(j) = \frac{\omega_f^T(m,j)}{\sum_{k \in \Gamma^T(m)} \omega_f^T(m,k)}$  表示节点  $m$  和节点  $j$  的相遇概率;  $\Gamma^T(m)$  为节点  $m$  在持续时间  $T$  内的邻居集合,  $\omega_f^T(m,j)$  代表节点  $m$  和节点  $j$  在持续时间  $T$  内的相遇次数;  $F^T$  表示持续时间  $T$  内的单元数量。

综合举荐值为:

$$r_m^x = \omega_k kssi_m^x + \omega_B B(m) + \omega_E E^T(m) \quad (5)$$

其中,  $\omega_k, \omega_B$  和  $\omega_E$  是加权值。为避免主观分配权重的局限性,增强自适应性,本算法使用信息熵来进行权值分配。信息熵反映了多个评价指标对于待评价事务的影响程度,即各指标在评价过程中提供有效信息的多寡程度,因此可以使用信息熵来度量各指标信息的有效程度并据此分别确定其相应的权重。  $\omega_k, \omega_B$  和  $\omega_E$  的计算公式如下:

$$H(kssi_m^x) = -kssi_m^x \log_2 kssi_m^x - (1 - kssi_m^x) \log_2 (1 - kssi_m^x) \quad (6)$$

$$H(B(m)) = -B(m) \log_2 B(m) - (1 - B(m)) \log_2 (1 - B(m)) \quad (7)$$

$$H(E^T(m)) = -E^T(m) \log_2 E^T(m) - (1 - E^T(m)) \log_2 (1 - E^T(m)) \quad (8)$$

$$\omega_k =$$

$$\frac{1 - \frac{H(kssi_m^x)}{\log_2 kssi_m^x}}{\left[1 - \frac{H(kssi_m^x)}{\log_2 kssi_m^x}\right] + \left[1 - \frac{H(B(m))}{\log_2 B(m)}\right] + \left[1 - \frac{H(E^T(m))}{\log_2 E^T(m)}\right]} \quad (9)$$

$$\omega_B =$$

$$\frac{1 - \frac{H(B(m))}{\log_2 B(m)}}{\left[1 - \frac{H(kssi_m^x)}{\log_2 kssi_m^x}\right] + \left[1 - \frac{H(B(m))}{\log_2 B(m)}\right] + \left[1 - \frac{H(E^T(m))}{\log_2 E^T(m)}\right]} \quad (10)$$

$$\omega_E =$$

$$\frac{1 - \frac{H(E^T(m))}{\log_2 E^T(m)}}{\left[1 - \frac{H(kssi_m^x)}{\log_2 kssi_m^x}\right] + \left[1 - \frac{H(B(m))}{\log_2 B(m)}\right] + \left[1 - \frac{H(E^T(m))}{\log_2 E^T(m)}\right]} \quad (11)$$

在选举族节点的同时也会进行中继节点的选举,以使两个节点相互监控,选举中继节点的报文中包括自身的  $KSI_m^x$ 、

介数中心性、熵度中心性以及综合举荐值,其中综合举荐值的公式如下:

$$R_m^* = \omega_k KSI_m^* + \omega_B B(m) + \omega_E E^T(m) \quad (12)$$

其中,  $KSI_m^*$  表示节点  $m$  的综合亲缘关系,  $B(m)$  表示介数中心性,  $E^T(m)$  表示熵度中心性,  $\omega_k$ 、 $\omega_B$  和  $\omega_E$  是加权值,其计算参考式(6)一式(11),此处不再赘述。

由于综合举荐值的构成部分会随着历史交易记录的变化而变化,节点的综合举荐值也需要及时更新。当前周期内亲缘关系指数变化明显或者族节点和中继节点存储的内容相异时,节点会重新计算综合举荐值,以此选出新的族节点和中继节点。举荐完成后,各节点会将自身的邻居节点集以报文的形式分别发送给族节点和中继节点。

### 3.3 基于亲缘关系的相遇投递策略

基于亲缘关系的相遇投递策略 (Kinship Meeting Delivery strategy, KMDS) 是以亲缘关系引导的副本控制下的有向转发及其转移概率预测为原则,以二元喷雾等待路由协议 (Binary Spray and Wait, BSW)<sup>[21]</sup> 中的二叉树法和 PROPH-ET<sup>[22]</sup> 算法思想中的相遇频率估算为基础提出的。其在有效控制副本数的同时,将亲缘关系预测的转移概率作为转发依据,依靠族节点和中继节点优化盲目转发,从而提高传输的可靠率。社会自私性的具体量化通过节点亲缘关系指数表征。

BSW 算法基于二叉树方法生成消息的  $L$  份副本,转发过程分为 Spray 和 Wait 两个阶段。Spray 阶段,在遇到没有缓存该消息的中继节点时,将消息拷贝给它,并将剩下的拷贝任务分成两部分,由中继节点完成  $(L-1)/2$  份,自身完成剩余的部分,当节点余下 1 份副本任务时,节点转入 Wait 阶段,等待转发给目标节点。本算法的流程与 BSW 类似,当副本数大于 1 时,节点会根据基于亲缘关系的相遇投递策略选取中继节点进行报文的拷贝,中继节点和自身均会保留一半数量的副本;而当副本数为 1 时,节点直接将报文发送给下一跳节点,自身不再保存。消息副本数  $L$  的值过大容易造成网络拥塞,过小则会增加消息端到端的传输延迟,降低消息的传输成功率。副本数的计算已经在 Spray and Wait 路由算法中得到,且消息的副本数是最优解的  $\alpha$  倍,副本数的计算公式如下:

$$\left(H_N^3 - \frac{6}{5}\right)L^3 + \left(H_N^2 - \frac{\pi^2}{6}\right)L^2 + \left(\alpha + \frac{2N-1}{N(N-1)}\right)L = \frac{N}{N-1} \quad (13)$$

其中,  $L$  为消息副本的数量,  $H_n = \sum_{i=1}^n \frac{1}{i^2}$  是序列  $r$  的第  $n$  个谐波函数,  $N$  为网络中的总节点数。计算出的副本数是最优解的  $\alpha$  倍,因此本文算法中的副本最优解  $C$  为:

$$C = \frac{L}{\alpha} \quad (14)$$

在源节点编写需要传递的报文时,会在报文中加入最大副本数  $C$ ,每次传递都会将自身的报文复制给下一跳节点,自身也会保留一份,但是同时两者的副本数均会减半。若副本数为 1,则直接将报文转发给下一跳节点,自身不再保留。

为了避免像 BSW 算法那样盲目地向任意中继节点转发消息,本算法利用族节点和中继节点来优化盲目转发,并以亲缘关系预测的转移概率作为转发依据,使消息总是沿着概率值大的方向传输,从而使其更加可靠地传到目的节点。该策略部分流程如图 4 所示。

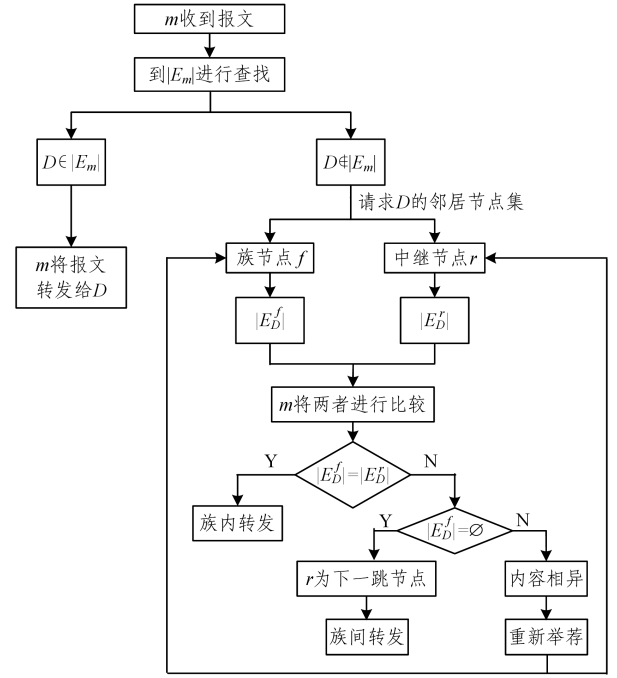


图 4 基于亲缘关系的相遇投递策略的部分流程图

Fig. 4 Partial flow chart of KMDS

一个节点  $m$  在接收到报文时,首先会在自身的邻居节点集  $|E_m|$  中进行查找,查看目的节点是否在其中:1)若  $D \in |E_m|$ ,节点  $m$  直接将报文转发给  $D$ ;2)若  $D \notin |E_m|$ ,则进行下一跳节点的筛选工作。节点  $m$  先分别向族节点  $f$  和中继节点  $r$  发送报文,请求关于目的节点的邻居节点集  $|E_D^f|$  和  $|E_D^r|$ 。如果族节点没有目的节点的邻居节点集,即  $|E_D^f| = \emptyset$ ,说明目的节点不在该族内,节点  $m$  会将中继节点  $r$  定为下一跳节点,以此来进行族间转发(由于本算法着重于族内的相遇投递策略,族间转发在此不进行详细介绍);如果族节点和中继节点存储的目的节点的邻居节点集的内容相异,则需要重新举荐族节点和中继节点;如果两个邻居节点集相同,则进行下一步的族内转发。

如图 5 所示,在族内转发中,节点  $m$  先将自身的邻居节点集  $|E_m|$  和目的节点的邻居节点集  $|E_D|$  进行匹配,得到其交集  $|E_{m,D}|$ ,接着查看其交集中是否有公共节点。1)如果没有公共节点,那么节点  $m$  会查找与目的节点地理位置接近且在自身覆盖范围内的可能性节点  $p$  并发送请求报文。当  $p$  点不存在时,节点  $m$  会将  $|E_m|$  中的节点按照单一亲缘关系指数从大到小排序,并将报文依次转发给单一亲缘关系指数大于自身的节点。2)如果只有一个公共节点  $b \in |E_{m,D}|$ ,那么该节点便作为下一跳节点。3)如果有多个公共节点  $c, d, e, \dots \in |E_{m,D}|$ ,则按照与目的节点的单一亲缘关系指数由大到小的顺序依次进行转发。KMDS 算法的伪代码如算法 1 所示。

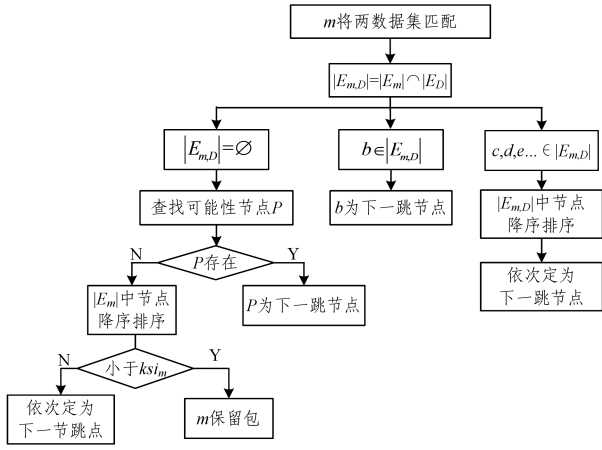


图5 基于亲缘关系的相遇投递策略族内转发流程图  
Fig. 5 Family-based forwarding flow chart of KMDS

算法1 KMDS算法

输入:网络中的所有节点

输出:下一跳节点

Begin

节点 m(属于 H)收到报文

节点 m 到邻居节点集  $|E_m|$  进行查找

If( $D \in |E_m|$ ) m 将报文转给 D

Else m 分别请求 D 的邻居节点集  $|E_D^f|$  和  $|E_D^r|$

If( $|E_D^f| \neq |E_D^r|$ )

//族节点和中继节点中储存的目的节点的消息不同

If( $|E_D^f| = \emptyset$ )//m 和 D 不属于同一社区

中继节点 r 为下一跳节点

Else

m 揭发族节点 f 和中继节点 r 中存在变节节点

Else //m 和 D 属于同一社区,且  $|E_D| = |E_D^f| = |E_D^r|$

$|E_m| \cap |E_D| = |E_{m,D}|$

If( $|E_{m,D}| = \emptyset$ )//节点 m 和目的节点 D 无公共节点

查找可能性节点 P

If(P 存在)

节点 P 为下一跳节点

Else

节点 m 将  $|E_m|$  中节点按单一亲缘关系指数从大到小排序

For(节点 m 依次与  $|E_m|$  中的节点进行比较)

If( $k s_i^m \leq k s_a^H, \exists a \in |E_m|$ ) a 为下一跳节点

Else( $k s_i^m > k s_a^H, \exists a \in |E_m|$ ) m 保留包

Else if( $b \in |E_{m,D}|$ )//只有一个公共节点 b

节点 b 为下一跳节点

Else if( $c, d, e... \in |E_{m,D}|$ )//有多个公共节点

节点 m 将  $|E_{m,D}|$  中节点按照与目的节点的单一亲缘关系指数从大到小排序

m 依次将报文转发给  $|E_{m,D}|$  中的节点

End

4 实验仿真与结果分析

4.1 仿真实验环境

本文算法使用 ONE (Opportunistic Network Environment) 仿真器进行实验仿真<sup>[23]</sup>,该仿真器是由诺基亚(芬兰)

研究中心在 sindtn 和 catdtn 两个项目中开发的开源软件,通过 Java 实现,相比于其他仿真器(如 NS2, OPNET, Glomosim 等),ONE 仿真器具有使用多种移动模型生成节点运动,采用多种 DTN 路由算法,根据真实世界产生的数据进行节点运动规律模拟等优点。在 MSN 中常用的数据集为 Cambridge, Infocom05, Infocom06 和 MIT Reality Trace<sup>[7]</sup>,前三者均使用名为 iMote 的设备采集数据,而 MIT Reality Trace 则采用手机采集数据,这与本算法的实验需求更加贴近;同时 Reality 实验的持续时间最长(246 天),因此 MIT 的数据集也更加准确;文献[7]反映 MIT 的数据集的数据分发成功率受节点自私性的影响最大,因此本文算法的仿真实验使用 MIT Reality Trace 数据集<sup>[24]</sup>。该数据集是通过 97 名 MIT 的学生和教职工携带的诺基亚 6600 智能手机记录的,共记录了 110 多次彼此间的相遇机会。本文算法使用其移动轨迹作为实验中节点的移动轨迹。为了缩小实验规模,本实验只选用该数据集中 300 min 的实验数据。

由于 MIT Reality Trace 没有提供节点间的准确社会关系,因此在实验中给出各节点的初始亲缘关系指数。仿真参数设置如表 2 所列。

表 2 ONE 仿真参数设置

Table 2 Simulation parameter of ONE

参数名称	取值
场景大小/m <sup>2</sup>	500 * 500
社区节点数目/个	97
节点缓存/MB	5
接口范围/m	10
仿真时间/min	300
移动模型	MIT Reality Trace

4.2 对比的路由算法及参考指数

本节将提出的基于亲缘关系的相遇投递策略与另外两种路由算法 SimBet<sup>[25]</sup>和 BSW 进行比较。SimBet 常被用来作为经典的路由算法与其他路由协议进行比较,该算法提出了一种基于相似度和介数中心度的评价指标 Simbet,在转发过程中消息被发送给具有更高 Simbet 的节点。

为验证并分析基于亲缘关系的相遇投递策略(KMDS)的可行性与有效性,参考指数主要有以下 3 个方面:1)投递成功率,指成功到达目的节点的消息数目在总共产生的消息数目中的占比;2)消息传输延迟,指成功投递的消息从源节点到目的节点所花费时间的平均值;3)亲缘关系满意度,指亲缘关系指数在一个周期内更新后与前一周期的比值,该数值反映了各节点对社会自私性保护的满意程度。

4.3 实验结果与分析

在 4.1 节建立的实验场景中,分别采用不同的路由算法进行仿真,实验结果如图 6—图 10 所示。

图 6—图 7 显示了随着消息 TTL 逐渐变大,3 种路由算法的投递成功率和消息传输延迟的变化。在图 6 中,随着 TTL 的变大,3 种路由算法的投递成功率都随之增加,且增加的幅度逐渐变小,最后趋于稳定,这是因为该网络的转发能力有一定的限制。其中,KMDS 路由算法取得了最高的投递成功率,因为该算法利用节点的亲缘关系进行相遇投递策略预测,借助族节点和中继节点提高了节点间的投递成功率。在

一开始,BSW 路由算法优于 SimBet 路由算法,因为在消息 TTL 较短的情况下,优先消息传输的 BSW 路由算法在规定时间内更有可能将消息传到目的节点,其丢包率也更低;但随着 TTL 的变大,节点有更多的时间来选择更好的中继节点,此时 SimBet 路由算法显然更优。但是这两种算法均没有考虑节点间的亲缘关系,其相关的可能链路就会少很多,因此投递成功率也会比 KMDS 路由算法低。

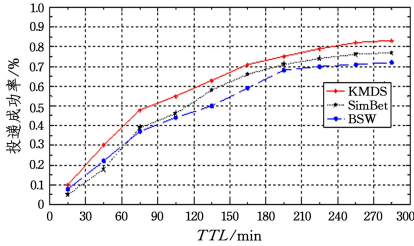


图 6 投递成功率随 TTL 的变化

Fig. 6 Change of delivery success rate with TTL

在图 7 中,随着消息 TTL 逐渐变大,3 种路由算法的消息传输延迟均处于下降趋势,且下降幅度逐渐变小,最后趋于稳定。其中,KMDS 路由算法的消息传输延迟一直低于其他两种路由算法,这是因为该路由算法在消息传输时利用了节点间的社会自私性,使具有亲缘关系的两个节点的接触次数更多,接触时间也更长,其消息的传输延迟也会更低。SimBet 路由算法中节点将信息传递给相似度和介数中心度高的点,但忽视了其本身与目的节点的相关性,因此传输延迟高于 KMDS 路由算法。而 BSW 路由算法则完全没有利用节点的社会属性,其传输延迟是最高的。

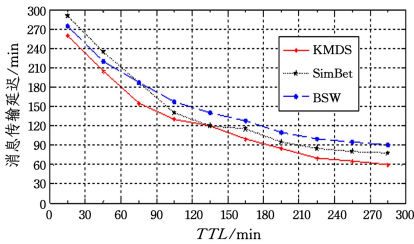


图 7 消息传输延迟随 TTL 的变化

Fig. 7 Change of message transmission delay with TTL graph

图 8—图 9 显示了随着消息产生速率逐渐加快,3 种路由算法的投递成功率和消息传输延迟的变化。在图 8 中,随着消息产生速率的加快,3 种路由算法的投递成功率都随之降低,但是其下降的速率不同,其中 KMDS 的下降速率比 BSW 和 SimBet 路由算法都慢。

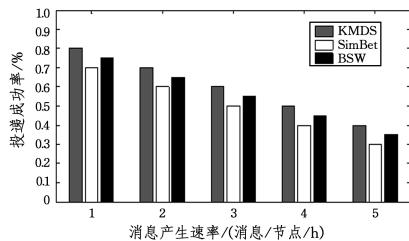


图 8 投递成功率随消息产生速率的变化

Fig. 8 Change of delivery success rate with message generation rate

在图 9 中,随着消息产生速率的加快,3 种路由算法的消

息传输延迟都随之增加,其中 KMDS 的增加幅度最小,而 BSW 路由算法的延迟增加得最快,且消息传输延迟也最高。

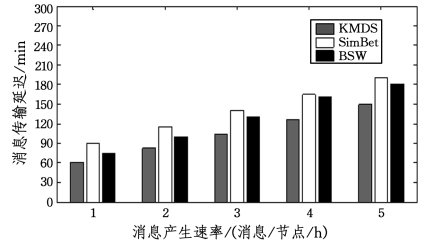


图 9 消息传输延迟随消息产生速率的变化

Fig. 9 Change of message transmission delay with message generation rate

在图 10 中,随着周期的变化,3 种路由协议下的亲缘关系满意度也随之变化。其中只有 KMDS 路由算法的亲缘关系满意度在增加,因为该算法利用目的节点的亲缘关系和节点自身的亲缘关系来选取下一跳节点,在保护社会自私性的同时,也加强了节点间的联系,从而亲缘关系也更加紧密。SimBet 路由算法中,介数中心度高的节点与本文算法中的簇节点和中继节点类似,在一定程度上遏制了亲缘关系满意度的降低。而 BSW 路由算法则完全忽视了社会自私性,因此其亲缘关系满意度下降得最快。

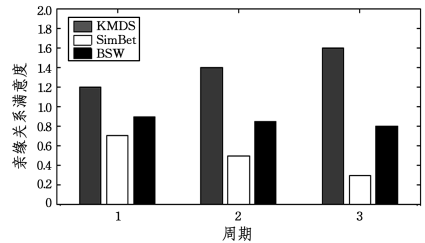


图 10 亲缘关系满意度随周期的变化

Fig. 10 Change of relationship of kinship satisfaction with periodicity

**结束语** 本文提出了一种基于亲缘关系的分簇分层机会路由算法,首先通过举荐机制选出簇节点和中继节点,然后在有效地控制副本数的同时,以节点的亲缘关系预测的转移概率为转发依据,借助簇节点和中继节点优化盲目转发,提高传输的可靠率,最终实现基于亲缘关系的相遇投递策略 KMDS。实验表明,该路由算法还能降低网络时延,提高网络的通信流量等。然而,在社区中的节点间也存在“假亲缘”现象,即具有亲缘关系指数的节点不一定有联系,或有联系的节点不一定会为其传输消息。同时,对于关键节点(簇节点和中继节点),如何对其不可信行为进行监测也需要进一步的研究。

### 参考文献

[1] CONTI M,GIORDANO S. Mobile ad hoc networking: Milestones, challenges, and new research directions[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(1): 85-96.

[2] XIONG Y P, SUN L M, NIU J W, et al. Opportunistic networks [J]. Journal of Software, 2009, 20(1): 124-137.

[3] YUE L. Research on Node Behavior of Mobile Social Networks

- [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2014.
- [4] HUANG C M, LAN K C, TSAI C Z. A survey of opportunistic networks[C]//Proceedings of the 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. 2018:1672-1677.
- [5] XU F, DENG M, XIONG Z G, et al. Data Forwarding Algorithm Based on Multidimensional Context Matching in Mobile Social Networks[J]. Computer Science, 2019, 46(2): 81-87.
- [6] HUANG J L, LI J B, LI Y. A Utility-Based Probabilistic Routing Algorithm in Mobile Social Networks[J]. Journal of Qingdao University(Natural Science), 2018, 31(4): 21-28.
- [7] PAN H, KUANG X, LI V O K, et al. Selfishness, Altruism and Message Spreading in Mobile Social Networks[C]//IEEE International Conference on Computer Communications Workshops. 2009.
- [8] LI Q, ZHU S, CAO G. Routing in Socially Selfish Delay Tolerant Networks[C]//Proc. IEEE Infocom. 2010:1-9.
- [9] LIU X X. Social Selfishness-based Routing Algorithm on Opportunistic Networks[J]. Computer and Modernization, 2016, 252(8): 91-96.
- [10] SERMPEZIS P, SPYROPOULOS T. Understanding the effects of social selfishness on the performance of heterogeneous opportunistic networks [J]. Computer Communications, 2014, 48: 71-83.
- [11] CIOBANU R I, DOBRE C, DASCĂL M, et al. SENSE: A collaborative selfish node detection and incentive mechanism for opportunistic networks[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2014, 41: 240-249.
- [12] PAN D, ZHANG H, CHEN W J, et al. Transmission of multimedia contents in opportunistic networks with social selfish nodes[J]. Multimedia Systems, 2015, 21(3): 277-288.
- [13] HUANG H C. Research on Message Forwarding and Collaboration Mechanism of Social Opportunity Network[D]. Chongqing: Chongqing University, 2017.
- [14] HAMILTON P W. The genetical evolution of social behaviour. I [J]. Journal of Theoretical Biology, 1964, 7(1): 1-16.
- [15] WU Z X, RONG Z H, WANG W X. The Game on Complex Networks[J]. Advances in Mechanics, 2008, 38(6): 794-804.
- [16] HUMPHREYS L. Mobile Social Networks and Social Practice: A Case Study of Dodgeball[J]. Journal of Computer-Mediated Communication, 2017, 13(1): 341-360.
- [17] ZHANG C L. Relational awareness and resource allocation of fog wireless access networks [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2018.
- [18] ZHAO W, LIU X M, DUAN Z, et al. A Review of Social Relationship Mining Research [J]. Chinese Journal of Computers, 2017, 40(3): 535-555.
- [19] FREEMAN L C. Centrality in social networks conceptual clarification[J]. Social Networks, 1978, 1(3): 215-239.
- [20] GAO Z X. Research on Key Technologies of Opportunity Network Data Transmission [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2015.
- [21] MA H, LI T. Application of Prophet Routing Based on Throughput Rate in DTN[J]. Computer Technology and Development, 2018, 28(255): 193-197.
- [22] LINDGREN A, DORIA A, SCHELÉN O. Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks[J]. Acm Sigmobile Mobile Computing & Communications Review, 2003, 7(3): 19-20.
- [23] KERANEN A. Opportunistic Network Environment Simulator [D]. Helsinki: Helsinki University of Technology, 2008.
- [24] EAGLE N, PENTLAND A. Reality mining: sensing complex social systems [J]. Personal & Ubiquitous Computing, 2006, 10(4): 255-268.
- [25] DALY E, HAAHR M. Social Network Analysis for Routing in Disconnected Delay-Tolerant MANETs[C]//Acm International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing. 2007.



**XUE Mao-jie**, born in 1995, master. His main research interests include mobile social networks, network security and opportunity routing.



**WU Jun**, born in 1962, master, senior engineer, master tutor, is a member of China Computer Federation (CCF). His main research interests include network security, trusted computing and information system security.