

机会社会网络中基于社区的消息传输算法

刘亚翔, 高媛*, 乔晋龙, 谭春花

(中北大学 电子与计算机科学技术学院, 太原 030051)

(*通信作者电子邮箱 893960893@qq.com)

摘要:针对机会网络中的主流转发协议未考虑到节点移动社会性的问题,提出一种基于副本限制和人类社会特性的路由算法。该算法根据节点间的社会关系强度,动态自适应地将节点划分为不同的社区,通过限制消息副本数来减少网络中消息的冗余,并利用活跃性高的节点带动消息的转发和传递。仿真结果表明,该协议能够保证较高的消息传输成功率和相对较低的传输时延,降低网络的资源消耗。

关键词:机会网络; 社会网络; 社区; 消息副本限制; 路由协议

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Community-based message transmission scheme in opportunistic social networks

LIU Yahong, GAO Yuan*, QIAO Jinlong, TAN Chunhua

(College of Electronics and Computer Science and Technology, North University of China, Taiyuan Shanxi 030051, China)

Abstract: Since the mainstream forwarding protocol in opportunistic networks does not consider the sociality of node movement, a layering routing algorithm based on copy restriction and human sociality was proposed. This algorithm could dynamically adapt to divide network nodes into different communities according to the nodes intensity of social relation, in which the message copy redundancy was reduced by restricting the number of message copies, and the nodes of high activity were utilized to drive the forwarding and transferring of messages. The simulation results show that it can ensure higher delivery ratio and relatively lower delivery delay, and also reduce the resource consumption of network.

Key words: Opportunistic NETWORK (OPNET); social network; community; message copy restriction; routing protocol

0 引言

机会网络(Opportunistic NETWORK, OPNET)是移动自组织网络的演化,是一种源节点和目的节点之间可能不存在完整连通路、利用节点移动带来的相遇机会实现网络通信的延迟和容忍网络^[1]。近年来,随着大量低成本、具有短距离无线通信能力的移动设备(如各种配有蓝牙或Wi-Fi接口的智能手机、个人数字助理(Personal Digital Assistant, PDA)、掌上电脑和车载无线工具等)的大量普及,通过以人为载体的移动设备的相遇机会进行数据的交换,使得在不具备基础网络设施的情况下,出现了数据通信的可能,其典型应用如校园网络(Campus Network)和手持交换网络(Pocket Switched Network, PSN)^[2]。

本文所提的社会网络^[3],描述的是由人及其他移动交通工具所携带的无线通信设备所组成的网络,网络之间的通信利用其携带的短距离无线设备进行。所以这种社会网络是由多个社区构成的大型网络,而构成这种网络的每个成员又被看作是网络中的不同节点。假若单纯利用人和交通工具所携带的移动设备进行通信,那么在某些时刻,社会网络内各个节点之间的通信可能具有间断性,所以这种社会网络又表现出机会网络的特点,即机会社会网络^[4]。在这样的网络中,由于通信设备是由人携带的,人具有一定的社会性,所以节点的移动往往要受到人的社会活动的影响。在机会网络环境中,

节点数据的交换需要利用节点间的相遇机会来完成,但真实的社会网络通信中经常体现出“小世界”的现象。因此探索人类活动的社会关系,能够使路由协议更加具有实用性和有效性。

1 相关工作

近几年来,国内外的诸多科研人员已经对机会网络的转发协议进行了大量的研究,并取得了一定的科研成果。在以往的机会网络消息传输中,主要依靠节点的移动性,采用“存储—携带—转发”(Store-Carry-Forward, SCF)的方式来进行数据的传输。目前比较经典的路由传输策略,如Direct Delivery^[5]、Epidemic^[6]、Spray and Wait (SW)和Binary Spray and Wait (BSW)^[7]、Spray and Focus^[8]、PROPHET^[9]等算法。这些算法基本上分为两类:单拷贝和多拷贝方式。多拷贝方式利用泛洪来增加网络中消息的副本数,提高消息的传输成功率,减少数据转发的延时开销,但是过多地耗费了网络的带宽资源和节点自身的能量,整体网络性能很低;单拷贝方式有针对性地选择合适的下一跳来进行数据的转发,能够有效地降低网络负荷,但这样会导致传输延时过大,且在效用预测不准确时还会降低消息的传输成功率。

文献[10]提出一种利用社会结构进行消息传输的标签策略(Label),它为每个节点创建标签,代表其所属社区。若两个节点标签相同,说明这两节点同属于一个社区。如果将

收稿日期:2012-11-27;修回日期:2013-01-15。

作者简介:刘亚翔(1988-),女,山西吕梁人,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络、机会网络、社会网络;高媛(1972-),女,山西寿阳人,副教授,硕士,主要研究方向:无线传感器网络、网络安全;乔晋龙(1987-),女,山西朔州人,硕士研究生,主要研究方向:机会网络、网络编码;谭春花(1990-),女,湖北荆州人,硕士研究生,主要研究方向:数字信号处理、自动控制。

节点的概率值,设计格式如下所示:

节点编号 V_i	相遇频次 $M_{(i,j)}$	相遇概率值 P_i	概率哈希值 $H(V_i, P_i)$
------------	------------------	-------------	---------------------

当节点 V_i 与 V_j 相遇时,首先查看节点 V_i 到目标节点 D 的概率值 P_i 和节点 V_j 到目标节点 D 的概率值 P_j ,比较二者的大小:如果 $P_j > P_i$,就把消息 M 转发给 V_j ;否则消息 M 继续保留在 V_i 的缓存空间内,等待合适的转发机会。

同时,每个节点都维护一个消息存储表 SV (Summary Vector),且 SV 为矢量。在该表中存储所有消息的具体信息。当节点 V_i 与 V_j 相遇时,交换彼此的信息,如果 V_j 的存储表中没有消息 M 且概率哈希表中 $P_j > P_i$,才把消息 M 转发给 V_j 。消息存储表包括消息编号、概率哈希值、目标节点编号、消息生存期、消息到达节点经过的跳数,设计格式如下所示:

消息编号 M_{id}	概率哈希值 $H(V_i, P_i)$	目标节点编号 D_{id}	消息生存期 TTL	跳数 Hop
---------------	---------------------	-----------------	-------------	----------

3.1.2 消息分发及副本数的计算

本文社区内的消息传输是以“洪泛+副本控制”为原则,在BSW和PROPHET算法的基础上提出的。BSW算法是基于二叉树的方法生成消息的 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半,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。

为了避免BSW算法中盲目地向任意中继节点转发消息,在本文中,采用节点的相遇预测概率值作为转发的依据,使消息总是沿着概率值大的方向传输。本算法与BSW算法的另一不同之处是,BSW算法中中继节点一直等待直到遇到目标节点,而本文中,若相遇节点到目标节点概率大于携带消息节点到目标节点的概率时,消息将会被转发给相遇节点,使得消息不断地从概率低的节点转发到概率值高的节点,直至遇到目标节点。

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,而且计算出消息的副本数是最优解的 α 倍,计算公式如下:

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

其中: L 是消息副本的数量, $H_n = \sum_{i=1}^n \frac{1}{i^r}$ 是序列为 r 的第 n 个谐波函数, N 表示网络中总的节点数。

3.1.3 计算相遇预测节点的概率值

在本文中,社区内消息传输采用相遇预测的概率来度量节点间消息转发的可达性,其值越大,表明消息在节点间被传递到目标节点的可能性越大。基于相遇预测计算节点间的概率包括概率值的更新、概率值的衰减和概率值的传递三部分。

定义6 $p_{(i,j)}$ 是机会社会网络中任意节点 i 到节点 j 的概率,随着节点 i 与 j 在移动的过程中根据相遇次数等历史信息进行实时的更新,其中, $p_{(i,j)} \in (0,1)$ 。

1) 当2个节点相遇时,其概率值按式(2)更新:

$$P_{(i,j)_{new}} = P_{(i,j)_{old}} + (1 - P_{(i,j)_{old}}) \times P_{init} \quad (2)$$

其中 P_{init} 表示节点 i 与 j 首次相遇时的概率值。

2) 在节点上记录相遇概率表上次更新的时间 t_0 ,如果两个节点一段时间还没相遇,它们之间相遇的概率就下降,这时按式(3)更新:

$$P_{(i,j)_{new}} = P_{(i,j)_{old}} \times e^{t-t_0} \quad (3)$$

其中: e ($e \in (0,1)$)为衰减常数,表示 i 与 j 间概率值老化的速度; t 为实验模拟时间。

3) 概率预测具有传递性,传递公式如(4)所示:

$$P_{(i,k)} = P_{(i,k)_{old}} + (1 - P_{(i,k)_{old}}) \times P_{(i,j)} \times P_{(j,k)} \times \beta \quad (4)$$

其中: $P_{(i,k)}$ 和 $P_{(j,k)}$ 分别为节点 i,j 到节点 k 的概率值; β ($\beta \in (0,1)$)为缩放常数,反映了传递性对预测概率值所能影响的范围。

3.2 社区内的消息传输

当消息要在社区内进行转发时,首先在源节点 S 产生消息 M 的同时,也生成消息 M 的 L 份副本。当两个节点相遇时,交换彼此的消息存储表,核对哪些消息是共同拥有的,哪些消息是对方没有的。社区内消息的传输分为两个阶段:散发阶段和转发阶段。散发阶段综合了基于二叉树方法的传染转发和基于相遇预测计算节点到目的节点的概率,实现消息在网络中的多路径并行传输;转发阶段基于相遇预测计算节点到目的节点的概率,使节点将消息从概率值低的节点转发到概率值高的节点,直到遇到目标节点或者消息的存活时间(Time to Live, TTL)过期。

设源节点为 S ,目的节点为 D ,要发送的消息为 M , L_i 为 i 节点携带的消息副本数, F_i 和 F_j 分别为节点 i,j 对消息的转发任务, P_i 和 P_j 分别表示节点 i,j 到目标节点的概率, P_{max} 和 P_{min} 表示概率阈值的上限和下限。当两个节点 i 和 j 互相进入到对方的通信范围时,携带有转发数据的节点假定为 i ,另一个要接收数据的节点假定为 j ,且在 i 的信号覆盖范围内。社区内消息传输的伪代码如下:

算法1 社区内消息传输算法。

```

For each node  $i$ , each  $T$ : Update  $H(V_i, P_i)$ ;
while each meeting node  $j$  if ( $V_j == V_D$ ) {
    Forwarding  $M$  to node  $j$ ;
    Delete message  $M$  from  $i_{buffer}$ ; }  $SV_i \xleftrightarrow{\text{交换}} SV_j$ ;
For ( $M \in i_{buffer}$ )  $\cup$  ( $M \notin j_{buffer}$ ) if ( $L_i > 1$ ) {
    Forwarding the copy of  $M$  to node  $j$ ;  $F_j = \lfloor L/2 \rfloor$ ;
     $F_i = \lfloor L/2 \rfloor = L - \lfloor L/2 \rfloor$ ; }
else if ( $L_i == 1$ ) { if ( $(P_j > P_i) \cup (P_j > P_{max})$ ) {
    Forwarding  $M$  to node  $j$ ; Delete message  $M$  from  $i_{buffer}$ ; }
else if ( $P_j > P_{min}$ ) Use PROPHET forward  $M$ ; }
else node  $i$  carry  $M$ , waiting  $D$ ;

```

3.3 社区间的消息转发

节点在社区内移动频繁,消息传输率较高;但如果通信发生在不同社区间,按照社区内的转发算法传送消息,传输效率会较低。社团划分稳定后,只有少数的节点会频繁地在社区间移动,在本文中,将这些社会权值大的活跃节点称为网桥节点(Bridge Node)。首先选择网桥节点作为传递社区间消息的中介,将消息先转发给网桥节点,通过网桥节点把信息转发到目标社区,再通过社区内消息传输机制把消息转发给目标节点,传输伪代码如下:

算法2 社区间的消息传输算法。

```

if ( $C_j == C_D$ ) { use 社区内消息传输算法; }

```

```

if (Vj == CD. BridgeNode) {
    Forwarding M to node j; repeat research CD. BridgeNode until
    meeting D; }
else if (CD. BridgeNode == null) {
    research C任意. BridgeNode; use 社区内消息传输算法
    until meeting D; }
else if (Li == 1) { if ((Pj > Pi) ∪ (Pj > Pmax)) {
    Forwarding M to node j; Delete message M from ibuffer; }
    else if (Pj > Pmin) Use PROPHET forward M; }
else node i carry M, waiting D;
    
```

社区间进行消息传输时,要对节点运动到其他社区的信息进行记录,因此,需要维护一张社区间路由表,它包括节点编号、社区号、社交权值、网桥节点编号。社区间路由表的格式如下所示:

节点编号 V _i	社区号 C _{id}	社交权值 W _(i,j)	网桥节点编号 BridgeNode _{id}
---------------------	---------------------	-------------------------	---------------------------------

3.4 消息的缓存管理策略

节点在移动的过程中需要缓存多个消息,但由于节点的缓存能力和网络带宽都是有限的,所以设计一个好的缓存管理机制对提高消息的传输性能至关重要。缓存管理的基本原

则就是尽早、尽快删除多余的消息,该算法的节点缓存管理机制如下所述:

- 1)源节点要把消息传输到目标节点,在消息刚产生时,源节点为该消息增加 TTL (Time To Live) 值,为消息设置生存期限,当消息的有效期限过期时,节点将自动删除该消息;
- 2)当把消息传输给转发节点时,删除节点缓存中已传输消息的副本;
- 3)节点缓存大小有限,当缓存区满时,删除在缓存中存留时间最久的消息;
- 4)在网络中扩散确认消息来删除已经成功发送的消息在其他节点中的副本。

4 仿真实验和结果分析

4.1 模拟环境设置

本文使用仿真工具 ONE (Opportunistic Network Environment) 实现算法 OSNCMTS,并与 SW、PROPHET 进行性能比较。仿真采用 ONE 中默认场景,该场景模拟的是 Helsinki 城市部分街道的交通情况,仿真范围设为 4 500 m × 3 500 m,节点基于地图最短路径的移动模型 (SPMBM) 移动,具体仿真参数设置如表 1 和表 2 所示。

表 1 网络仿真参数设置

对象	移动节点数	节点移动速度/(km · h ⁻¹)	节点通信半径/m	节点缓存大小/MB	默认消息大小/kb	消息副本数	消息生存周期/s	信道带宽/(kb · s ⁻¹)	仿真时间/h
普通行人	100	[1.8, 5.4]	10	10	200	25	1 200	250	12
小汽车	40	[10, 50]	20	10	200	25	1 200	250	12
公共汽车	20	[25, 38]	20	10	200	25	1 200	250	12

表 2 算法缺省参数

参数名	缺省值	描述
P _{init}	0.75	式(2)中的概率初始值
e	0.98	式(3)中的衰减常数
β	0.25	式(4)中的缩放常数
P _{max}	0.85	概率阈值上限
P _{min}	0.40	概率阈值下限

4.2 实验结果及性能分析

4.2.1 社区划分周期对消息传输成功率的影响

设置不同的社区划分周期,对消息的传输成功率有不同的影响,结果如图 3 所示。

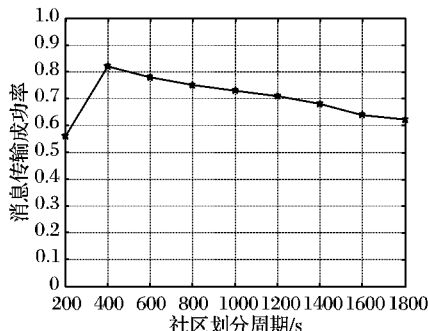


图 3 社区划分周期对消息传输成功率的影响

本文中设定接触次数小于 3 的节点对之间不可以用边连接,这样解决了网络中许多弱连接的问题。在划分社区周期时,考虑节点对之间的连接关系强弱(即节点的社会活跃度),把不符合条件的节点对不列入到社区的划分中,重新选择连接强的节点对,从而将节点划分为不同的社区,这样划分

的社区才有更高的消息传输成功率。从图中可以看出,划分周期设置较小时,由于社区结构还未稳定,导致社区的划分对消息传输没有实际意义;当周期设为 200 s 时,消息传输成功率为 0.56;随着时间的推移,当周期设为 400 s 时,传输成功率达到最大值 0.82;当周期设为 1 600 s 时,传输成功率为 0.64,明显低于 300 s 时的传输成功率。这是因为划分周期过大,社区结构已经发生了改变,原先划分的社区不能反映当前的社区结构。

4.2.2 缓存空间对网络性能的影响

1) 消息传输成功率。

缓存空间不同时,三种算法的消息的传输成功率如图 4 所示。

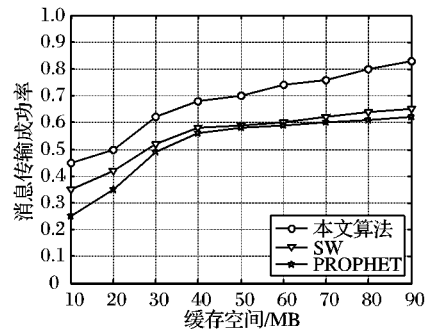


图 4 不同缓存消息传输成功率比较

当缓存较小时,三种算法的传输概率都比较低,大约为 0.24 ~ 0.45,这是因为节点缓存资源比较紧张,被迫丢弃其他很多消息。随着缓存空间的增加,三种算法的传输成功率都在相应增加。值得注意的是,OSNCMTS 算法的传输概率明显

高于 SW 算法和 PROPHET 算法,它在缓存空间为 85 MB 左右时,传输概率达到了 0.83,而其他两种算法为 0.6 左右。总体来看,OSNCTMS 算法的传输成功率比 SW 高 0.11,比 PROPHET 高 0.23。这主要是因为 OSNCTMS 算法和 SW 路由算法都是多拷贝并行传输的,且 OSNCTMS 算法减少了弱连接的形成,传输率自然会比 PROPHET 高;而且 OSNCTMS 算法在转发阶段利用节点相遇概率预测来进行消息的转发,这比 SW 被动等待相遇目标节点更加具有转发消息的可能性,因此传输概率会高于 SW 算法。

2) 消息传输平均传输延迟。

消息的平均传输延迟如图 5 所示,总的来说,三种路由算法的总体平均传输延迟都比较大,为 2 000 ~ 4 000 s。这是因为在机会网络中没有端到端的路径,消息不能及时转发出去,只能依靠节点移动带来通信机会,这就会使得平均传输延迟较大。从图 5 可以看出,随着节点缓存空间的增加,各种算法的平均延时大体上都在平缓增加。PROPHET 算法相遇目标节点概率较小,平均延迟最大;OSNCTMS 算法平均延迟最小,因为它利用社区中的活跃节点,将消息不断转发给更靠近目标节点的中继节点,在限制消息副本的同时,减少消息的传输范围,从而降低了消息的平均延迟;而 SW 算法等待与目标节点相遇耗费时间更长,故其平均延迟也较大。

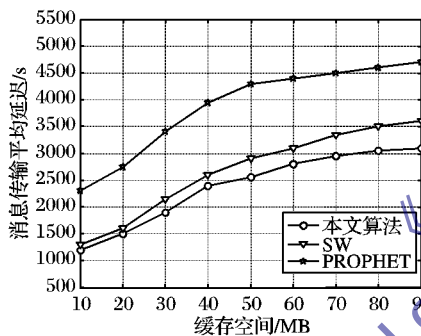


图 5 不同缓存消息平均延迟比较

3) 路由开销比率。

$$\text{路由开销比率} = \frac{\text{网络中消息总数} - \text{成功送达的消息数}}{\text{成功送达的消息数}}$$

三种算法的路由开销比率如图 6 所示,总体上来看,PROPHET 的开销比率明显大于 SW 和本文算法 OSNCTMS, OSNCTMS 算法的开销比率最小,SW 算法较之稍大。这是因为 OSNCTMS 算法选择转发概率大的节点作为下一跳,使消息始终沿着目标节点前进,减少了过多的消息中转,有效地降低了路由开销。随着缓存空间的增大,三种算法的开销比率都有所下降,这主要是由于网络中增加了冗余消息,能迅速提高消息传输成功率,而不至于导致大量丢包重传现象的发生。

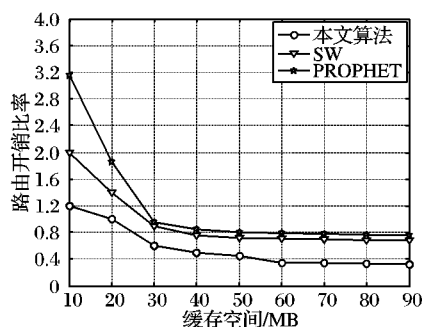


图 6 不同缓存路由开销比率比较

5 结语

本文围绕机会社会网络中存在社区结构特性这一主题,提出了一种基于社区的机会社会网络的消息传输算法,目标是在机会社会网络中以较高的传输成功率和较低的资源消耗完成可靠的消息传输。本文首先对机会社会网络的技术背景和应用场景进行叙述,对已有的机会网络主流的路由算法及社会网络中的问题进行了分析,针对社区内节点联系紧密、社区间联系稀疏的特点,提出了 OSNCTMS 算法。实验结果表明,OSNCTMS 算法有效地降低了平均传输延迟和网络开销,同时还达到了较高的消息传输成功率。本文使用的社区划分策略需要依赖服务器对相遇数据的统一收集和控制,并且网络中拥塞和流量控制的问题还需要今后进一步的研究。

参考文献:

- [1] 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] 牛建伟, 周兴, 刘燕, 等. 一种基于社区机会网络的消息传输算法[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(12): 2068-2075.
- [3] DALY E M, 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. New York: ACM, 2007: 32-40.
- [4] KAUASTHA N, NIYATO D, WANG P, et al. Applications, architectures, and protocol design issues for social networks: A survey[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(12): 2130-2158.
- [5] PELUSI L, PASSARELLA A, CONTI M. Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile Ad Hoc networks[J]. Communications Magazine, 2006, 44(11): 134-141.
- [6] VAHDAT A, BECKER V D. Epidemic routing for partially connected Ad Hoc networks[R]. Durham, North Carolina: Duke University, 2000.
- [7] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C S. Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks[C]// WDTN '05: Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking. New York: ACM, 2005: 252-259.
- [8] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C S, et al. Spray and focus: Efficient mobility-assisted routing for heterogeneous and correlated mobility[C]// Proceedings of the 5th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops. New York: IEEE, 2007: 79-85.
- [9] LINDGREN A, DORIA A, SCHELEN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications, 2003, 7(3): 19-20.
- [10] PAN H, CROWCROFT J. How small labels create big improvements[C]// Fifth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops. New York: IEEE, 2007: 65-70.
- [11] PAN H, CROWCROFT J, YONEKI E. BUBBLE Rap: social-based forwarding in delay tolerant networks[J]// IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(11): 1576-1589.
- [12] SANTO F. Community detection in graphs[J]. Physics Reports, 2010, 486(3/4/5): 75-174.