

移动社交网中基于兴趣社区的消息传输方案

侯林清 蔡 英 范艳芳 夏红科

(北京信息科技大学计算机学院 北京 100101)

摘 要 节点对路由消息的存储-携带-转发是移动社交网中的一种短距离通讯方式,传输性能是影响用户交互体验的关键因素,如果用户能够根据彼此间的兴趣或社区来进行消息传输,则可提高传输性能。目前,针对移动社交网中的短距离通讯,已有的研究主要是基于兴趣或者基于社区的传输方式。为了使用户得到更好的交互体验,将用户兴趣与社区相结合,提出基于兴趣社区的消息传输方案 InComT(Interest Community based Transmission)。对移动社交网中单个节点的兴趣进行度量,根据得出的节点兴趣值进行社区划分,从而确定社区整体的兴趣值,并根据兴趣值来选择中继社区和中继节点,实现消息的传输。仿真结果表明,该策略在传输负载率和平均延时较低的情况下能够拥有较高的传输成功率。

关键词 移动社交网,社区,兴趣

中图法分类号 TP309 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2018.06.018

Interest Community Based Message Transmission Scheme in Mobile Social Networks

HOU Lin-qing CAI Ying FAN Yan-fang XIA Hong-ke

(School of Computer Science, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101, China)

Abstract The storage-carrying-forwarding of node for route messages is a short-distance communication way in the mobile social networks, and the transmission performance is the key factor that affects user interaction experience. If users can transmit the message according to the interest or the formation of the community, the transmission performance can be improved. For the short-distance communication in the mobile social network, the existing researches are mainly either interest-based or community-based transmission. In order to make users have a better interactive experience, this paper proposed InComT(Interest-Community-based Transmission) by combining user interest with community. The interest value of a single node in the mobile social networks was measured, the community was divided according to the its interest value to determine the whole community interest value and then the relay community and the relay node were selected by the interest value to realize the transmission of message. The simulation results show that the strategy can possess higher transmission success rate in the case of low transmission overhead and low average delay.

Keywords Mobile social networks, Community, Interest

1 引言

随着智能移动设备的产生和快速发展,短距离通讯技术(如蓝牙、WiFi等)为用户随时随地接入互联网、获取并分发消息提供了支持^[1]。将携带着智能移动设备的用户看作节点,节点间相互联系构成社交网络,由于蓝牙、WiFi等技术的通讯范围有限,结合节点的移动性构成移动社交网络(Mobile Social Networks, MSNs)^[2],其消息的传输通过节点存储-携带-转发的方式实现。

移动社交网络中移动节点(即设备和用户)之间的端到端

连接可能由于其快速移动而断开,无法直接进行信息交互;同时,每个节点有对特定内容的偏好。移动社交网中消息的传输都由移动设备自身管理,每个节点只知道自身以及与之接触的节点的兴趣。为了便于将消息携带至感兴趣的目的节点,就源节点应携带消息副本移动。如果将消息副本发送给每一个相遇节点,就能够降低时间开销,但是这些消息副本会很快将网络存储占满,不适用于资源受限的移动社交网络。

利用用户间的社交关系以及用户的社会属性(如兴趣)构成的社区能够有效提高消息的传输性能。带有社会属性的节点遵从这样的方式:相比于没有共同兴趣的节点,一个节点与

到稿日期:2017-03-28 返修日期:2017-05-16 本文受国家自然科学基金(61672106),北京市教育委员会科学技术发展项目(KM201611232013),北京市科技计划中央领导地方科技发展专项基金(Z171100004717002)资助。

侯林清(1994—),女,硕士生,主要研究方向为无线网络传输质量;蔡 英(1966—),女,博士,教授,主要研究方向为网络安全、无线网络和密码算法,E-mail:ycai@bistu.edu.cn(通信作者);范艳芳(1979—),女,博士,讲师,CCF会员,主要研究方向为安全模型、访问控制、云计算安全;夏红科(1979—),女,博士,讲师,主要研究方向为机器学习、社会网络、知识图谱。

有共同兴趣的节点相遇的可能性更大,共同前往某个位置的可能性也更大。人们会因为共同的兴趣而聚在一起,比如在一个办公区工作的同事、在一个聚会上相聚的朋友等^[3]。

目前,移动社交网中消息传输问题的研究成果大多停留在针对单个节点的兴趣或基于社区进行设计,没有考虑将社区整体的兴趣作为消息传输的中继选择条件,使得移动社交网的通信可靠性不高,消息传输的目的性也缺乏保证,同时消耗了大量的网络资源却达不到理想的传输性能^[4]。为更有效地降低传输延迟,提高传输性能,本文提出了基于兴趣社区的消息传输策略 InComT 利用节点的社会连接、兴趣和历史接触信息,通过度量节点的兴趣来进一步度量社区整体的兴趣,寻找中继社区和目的社区,完成消息传输。用户只接收自身感兴趣的内容,只会为自身感兴趣的内容的传送者充当中继进行消息的传递,既能够为缓存受限的智能移动设备节省缓存,还能降低开销,提高消息的传输效率。

2 相关工作

2.1 社区发现算法

针对移动社交网络中的社区发现问题已有了大量的研究成果,可以分为全局社区发现和局部社区发现两类。全局社区发现需要在脱机模式下工作,对资源可用性的要求较高;且网络中所有社区需要中心化管理,每个节点都要掌握整个网络拓扑结构。Newman^[5]第一次将人们“聚集”在一起形成的群体称作“社区”,发现社区内的人们之间的联系要比社区间人们之间的联系更加紧密;并且其还在后续工作中^[6]引入了社区评价标准——模块度,即社区内节点的紧密程度和社区间节点的松散程度,通过度量网络中节点的模块度来评价社区。Nguyen 等人^[7]提出了基于模块化的自适应社区检测算法(Quick Community Adaptation, QCA)。该算法将动态网络随时间推移映射为一系列快照,其中每个快照都对应一个静态网络。QCA 根据随时间变化的静态网络的变化更新社区结构,使得每次更新都能够获得整体模块度的最大化。尽管 QCA 的检测快速有效,但是它不能检测重叠社区。

为检测重叠社区, QCA 的作者设计了 AFOCS^[8],利用类似的方法将网络划分为时间相关的快照。AFOCS 首先从第一个网络快照中检测初始的重叠社区结构,然后在有新的快照出现时对其进行更新。具体地说,如果社区 C 的内部连接大于其密度函数,则边界 (u, v) 上的本地社区 C 由 u, v , 以及它们的共有邻居组成^[9]。然后将超过重叠社区阈值的本地社区合并为一个大的社区。

以上社区发现方法虽然在一定程度上解决了检测重叠社区的问题,但是对于动态变化的移动社交网而言仍存在一定的局限性:需要获取整个网络结构的信息以及社区相关的先验知识;全局的搜索和计算也会大大影响算法的运行速度和网络资源的利用率。

为应对全局社区发现方法的局限性,研究者在移动社交网中提出了基于局部的社区发现方法。基于局部的社区发现方法主要基于网络的局部拓扑结构刻画局部或整个网络的

社区结构。与全局社区发现方法相比,局部社区发现方法无需掌握完整的网络结构信息及先验知识,同时针对规模巨大、动态变化的社交网络,其计算代价也大大降低。这种社区特征在大规模社交网络中尤为明显,成为当前移动社交网中研究社区发现方法的热点。

TopGC(Top Graph Cluster)算法^[10]使用局部敏感的哈希来表示社区,同一社区的用户共享同一个哈希值。该算法能够发现高度重叠的邻居节点并将这些节点聚合在一起形成各个局部社区,但是它只能搜索到那些重叠密度较高的用户群,即只能发现重叠程度达到一定百分比的社区,忽略了低于设定百分比的社区发现。

SLPA 算法(Speaker-Listener Label Propagation Algorithm)^[11]是一种基于代理的算法。首先为网络中每个节点初始化一个唯一的标签,标签根据网络局部结构信息的传播规则在网络中传播,直到所有节点的标签传播达到稳定,将具有相同标签的节点划分到同一个社区中。每次迭代后,网络中每个节点选择加入其邻居节点数量最多的社区,但是它需要使用更多的内存来存储每个节点的邻居标签。一个节点如果只有单一的标签,则说明该节点只属于一个社区;若有多个标签,说明该节点属于重叠社区。尽管算法稳定,但是在大规模网络中,其算法复杂度会随着边的增加而线性增长,适合于低重叠密度的社区发现。

PEC(Periodic Encounter Communities)^[12]社区发现算法是通过对节点间的相遇历史信息以及共享信息的分析挖掘来实现的,利用分布式算法发现全局最大的周期性社区。假设在现实世界中,节点之间并不是总有足够的接触机会来交换信息。但是该算法没有动态更新节点状态,导致算法性能随着社区规模的增加而下降,不能很好地适用于大规模动态变化的移动社交网络。

为解决该问题,陈琼等人^[13]提出了一种基于局部度中心节点的方法(LMD 算法),首先找到与初始节点连接的局部最大度节点,再从最大度节点开始扩展社区结构,逐步通过优化局部社区度量找到最终社区。DONET(Detecting Overlapping community in NETwork)算法^[14]是基于适应度函数和不同节点的模糊隶属度的局部优化方法,该算法从初始节点开始,利用最优停止理论贪婪地延伸至周围节点。社区的发现分为两个步骤:发现核心节点以及延展核心节点。通过该算法,能够获得均匀且稳定的社区。

以上局部社区发现,算法虽然消除了全局社区发现算法的某些局限性,但是其缺点仍然存在:不能很好地体现移动社交网中构成网络节点的社会属性以及它们之间的社交关系。本文的社区发现将解决由这一缺点带来的问题。

2.2 消息传输策略

移动社交网中数据的传输是容忍延时的^[15],将网络中消息的携带者看作一个节点,每个节点都有自己的社会属性,节点通过携带的智能移动设备在近距离范围内彼此传递信息,完成消息的传输。

最经典的消息传输有传染路由(Epidemic Routing)^[16]、PROPHET^[17]和直接等待(Spray and Wait)^[18]。传染路由将消息分发给同一个连通子网内的节点(称为带菌者),通过带菌者与其他连通子网中节点的接触,将消息传输到最终的目

的节点。传染路由假设节点的运动完全随机,为权衡中继节点的个数与传送概率的关系,文献[17]的作者认为真实的节点通常会以一种可预测的方式移动,其移动模型可以根据过去一段时间的重复行为来推断;基于该假设,提出一种基于相遇历史和可传递性的概率路由协议,最大化消息被传送到目的节点的概率。Spray and Wait 路由与 Epidemic 路由类似,但是为了降低转发开销,直接等待路由限制了每个转发数据项的副本数。

近来,基于社交的传输机制^[19-21]利用网络中节点的社会属性设计消息传输策略,其传输性能有较大提升。文献[22]中的传输协议在受服务提供商的下载链路容量限制的情况下,确保发送给用户的内容尽可能“新鲜”。结合移动社交网中节点的兴趣和行为,与无相同爱好或相似兴趣的节点相比,具有相同爱好或相似兴趣的节点在未来某时刻同时前往某一位置的可能性更大。Moghadam 等人^[23]提出了基于兴趣的路由协议 SANE,其内容只会传输给对其感兴趣的节点;SANE 中的节点只会接收与自己感兴趣的数据项相近的数据内容。为更好地及时传输用户最感兴趣的消息,People-Rank^[24]根据可调谐加权的社交信息对节点进行排列,如果一个节点与社交权重较大的节点连接,那么将会得到较大的权重。User-centric^[25]试图选择最少的中继节点将消息转发给尽可能多的兴趣用户。PrefCast^[26]考虑用户的不同兴趣程度,使移动社交网中每个转发者抉择出最优的消息转发序列,最大化所有用户的总体效用。文献[27-30]也从不同角度对移动社交网中的消息传输进行了阐述,但是都没有将用户的兴趣与社区相结合,导致消息传输的性能并没有达到最优。

移动社交网中,节点都有一定的社会属性(如兴趣),本文将兴趣作为社区发现的条件,具有相同爱好或相似兴趣的用户会被划分到同一个社区(community)。通过度量节点的兴趣来度量社区整体的兴趣,利用局部扩展的方法进行社区发现,以度量每个节点与相同地理区域内的相遇节点的兴趣相似度,若二者的兴趣相似度超过设定阈值,则将他们划分到同一社区中。社区间通过选择主兴趣相同且距离目的社区最近的社区作为中继社区;社区内借鉴推荐的思想为携带消息的节点推荐候选中继节点,选择与目的节点相似度最大的候选节点作为最优中继转发节点,实现消息在社区间和社区内的逐跳转发。最后进行仿真实验和分析。

3 基于兴趣的社区划分

3.1 基于兴趣社区的网络模型

在移动社交网中,用户倾向于根据各自的兴趣进行消息传输,具有相同兴趣的用户会聚集在一起形成社区。不同的社区节点之间的联系较为稀疏,同一个社区内的节点之间的联系较为紧密。由此,在网络中设计路由算法时只需要考虑节点所在的社区和频繁往来于社区之间的节点,而不必考虑每一个节点。本文中基于兴趣社区的网络模型如下:

- 1) 节点之间都是协作的,不存在行为不端的节点;
- 2) 一个节点可以有多个兴趣,每个节点允许存在于多个社区;
- 3) 每个节点都有自己的兴趣表,用于计算节点间的兴趣相似性和进行社区划分;

4) 消息的传输包括两个阶段:社区间的消息传输和社区内的消息传输。

3.2 基于兴趣的社区划分策略

假设网络中共有 n 类兴趣, $Int_{i,j}$ 表示节点 i 对第 j 个主题是否有兴趣,即:

$$Int_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{节点 } i \text{ 对第 } j \text{ 个主题没有兴趣} \\ 1, & \text{节点 } i \text{ 对第 } j \text{ 个主题有兴趣} \end{cases}, j \in [1, n]$$

且节点 i 对第 j 个主题的兴趣权重为:

$$w_{eg_{i,j}} \in [0, 1], j \in [1, n]$$

由此,每位用户的兴趣表如表 1 所列,以用户 i 为例。

表 1 用户 i 的兴趣表

Table 1 Interest table of user i

兴趣号 P_i	$P_i^{(1)}$	$P_i^{(2)}$	...	$P_i^{(j)}$	...	$P_i^{(n)}$
兴趣	$Int_{i,1}$	$Int_{i,2}$	...	$Int_{i,j}$	...	$Int_{i,n}$
权重	$w_{eg_{i,1}}$	$w_{eg_{i,2}}$	...	$w_{eg_{i,j}}$	...	$w_{eg_{i,n}}$

初始化时,根据 $w_{eg_{i,j}} = w_{eg_{i,j}} / (\sum_{i=1}^n w_{eg_{i,j}})$ 归一化兴趣表中每位用户对不同兴趣的兴趣权重,以保证权值的完备性,使得每位用户的兴趣权重相加的和为 1。同时,按照兴趣权重降序排列,权重值最大的兴趣被认为是该用户的主兴趣。

当两个用户相遇时,会交换彼此的兴趣表,由此可知对方的兴趣信息。同时,比较这两个用户的主兴趣的兴趣号, $P_i^{(k)}$ 表示用户 i 的兴趣表的第 k 个主题的序号(如 $P_i^{(1)}$ 表示用户 i 的第一个主题的兴趣号),即用户 i 的主兴趣的兴趣号。若用户 i 与用户 j 的主兴趣相同,即 $P_i^{(1)} = P_j^{(1)}$,则继续计算这两个用户的兴趣相似性 $Sim_{i,j}$,计算式如下:

$$Sim_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^n [(Int_{i,k} \cdot w_{eg_{i,k}}) \times (Int_{j,k} \cdot w_{eg_{j,k}})]}{\sqrt{\sum_{k=1}^n w_{eg_{i,k}}^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=1}^n w_{eg_{j,k}}^2}}$$

根据经验值,设定兴趣相似性的阈值 $thr_{sim} = 0.5$,如果 $Sim_{i,j} \geq thr_{sim}$,则说明用户 i 与用户 j 具有相似的兴趣偏好,将二者划分到一个社区中。其具体算法步骤如算法 1 所示。

算法 1 兴趣社区划分算法

Input: N, thr_{sim}, n

Output: C_1, C_2, \dots, C_b

1. $m = b = 0, C_m = \emptyset$
2. while($P_i^{(1)} = P_j^{(1)}$), then
3. calculate $Sim_{i,j}$
4. if $Sim_{i,j} \geq 0.5$, then
5. $C_m = C_m \cup \{i, j\}, i = C_m$
6. update the interest table
7. end if
8. $b = m + 1, m = m + 1$
9. end while
10. for every community C_a ,
11. if $C_a = \emptyset, a \in [1, m]$, then
12. delete $C_a, b = b - 1$
13. end if
14. end for
15. return C_1, C_2, \dots, C_b

4 基于社区兴趣的传输策略

4.1 社区间的消息传输

在进行社区间的消息传输之前,先定义节点 i 和节点 j 之间的地理距离 $Geo_{i,j}$,根据智能设备中的 GPS 获取每个节点的所在位置(用二维坐标表示),假设节点 i 和节点 j 的位置分别为 $L_i=(X_i,Y_i),L_j=(X_j,Y_j)$,则它们之间的地理距离采用下式计算:

$$Geo_{i,j} = \sqrt{(Y_j - Y_i)^2 + (X_j - X_i)^2}$$

假设消息 msg 由源节点 S 产生于源社区 C_s ,目的节点 d 所在的社区为 C_d 。消息在社区间的传输是根据消息的主兴趣选择中继兴趣社区。因为消息存在于某个社区中,所以该消息的主兴趣 I_s 与它所在社区的主兴趣是一致的。假设目的节点(或所在的社区)的主兴趣是 I_d ,由于本文中社区之间允许存在重叠,利用这一特点,从重叠节点中选取主兴趣与 I_d 相同且距离目的社区地理距离最近的社区作为社区间消息传输的中继社区。社区间消息传输算法如算法 2 所示。

算法 2 社区间消息传输算法

Input: $C_1, C_2, \dots, C_b, I_s, I_d$

Output: relay community C_{R_1}, \dots, C_{R_m}

1. if $C_s \neq C_d$, then
2. if \exists overlapping communities $C_{O_1} \dots C_{O_i} \dots C_{O_k}$, then
3. for every overlapping node in C_{O_i}
4. while $(I_{O_i} = I_d)$
5. calculate the $Geo_{i,d}$
6. end while
7. rank the $Geo_{i,d}$ with descending
8. choose the minimum value of $Geo_{i,d}$
9. end for
10. end if
11. end if
12. return C_{R_1}, \dots, C_{R_m}

4.2 社区内的消息传输

社区内的消息传输往往发生在消息已经被传送到目的社区,但还未到达目的节点的情况下。社区内消息传输的策略是,若源节点的邻居节点不是目的节点,则计算兴趣社区内源节点 s 的邻居节点 j 与目的节点 d 的兴趣相似度,当二者的相似度大于设定阈值 0.5 时,将节点 j 推荐给 s 作为候选中继节点,最终节点 s 从候选中继 $candidate(s)$ 中选择相似度最大的节点作为最优的中继转发节点。循环上述过程直至遇到目的节点并将消息成功转发。具体的算法步骤如算法 3 所示。

算法 3 社区内的消息传输算法

Input: s, d

Output: R

1. while $(d \notin N(s))$ then
2. for every node $j \in N(s)$
3. calculate the $SInt_{j,d}$
4. if $(SInt_{j,d}) \geq 0.5$ then
5. add j to candidate(s)
6. end if
7. end for
8. if $(candidate(s) \neq \emptyset)$ then

9. rank the candidate(s) with descending
10. Choose the first node I as really node from candidate(s)
11. $R = R \cup \{i\}$
12. deliver msg from node s to node $i, s \leftarrow i$
13. end if
14. end while
15. return R

5 仿真实验

5.1 仿真环境设置

本文采用 ONE(Opportunistic Network Evaluation)平台对 InComT 进行性能评估,与之进行对比的算法分别是洪泛算法(Epidemic Routing)、第一次接触算法(FirstContact)和直接等待算法(Spray and Wait Routing)。实验在不同消息生存时间(Time To Life, TTL)下,分别从平均传输延时、传输成功率和传输负载率 3 个方面与经典路由算法进行仿真结果的对比。主要仿真参数如表 2 所列。

表 2 仿真参数

Table 2 Simulation parameters

参数	值
仿真面积/m ²	4500 * 3400
仿真时间/s	43200
仿真节点数	76
传输速率/kbps	250
更新频率/s	0.1
通信范围/m	10
缓存/M	5
移动模型	ShortestPathMapBasedMovement
消息大小/K	50
移动速度/(m/s)	0.5~1.0
消息生存时间/min	30 60 120 180 240 300 360

5.2 仿真结果分析

5.2.1 消息传输成功率

消息传输的成功率是指消息成功被传输到目的节点的个数与总创建消息的个数的比例。如图 1 的仿真结果所示,InComT 算法的传输成功率在消息生存时间 $TTL < 120$ 时是单调递增的,当 $TTL > 120$ 时其传输成功率呈缓慢下降的趋势,这说明消息传输时设定消息生存时间在 120min 左右可以达到较好的传输率。Epidemic 路由的传输成功率最高,但随着消息生存时间的增加,因为网络中消息副本数大量增加会导致网络拥塞,其传输成功率在 $TTL > 200$ 时开始出现下降;当 $TTL > 240$ 时,SprayandWait 和 FirstContact 算法的传输成功率趋于平稳。

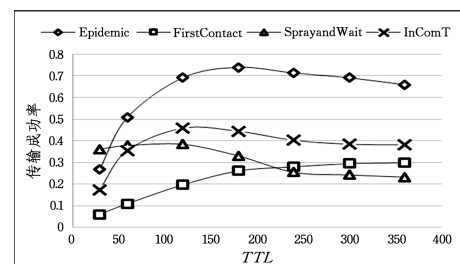


图 1 消息传输成功率随 TTL 的变化

Fig. 1 Changes of success rate of message transmission with TTL

5.2.2 消息的传输负载率

负载率是指消息被中继转发但是未被成功传输的个数与总传输个数的比值。图 2 的仿真结果表明,InComT 的消息传输负载率与 SprayandWait 算法接近,这是因为本文算法在消息进行转发前对消息的兴趣进行了分类,并选择同一兴趣的用户作为中继,从而减少了消息中继的转发个数,进而降低了消息的传输负载率。此外,Epidemic 路由因其对消息副本数量不加控制,导致其传输负载率最大。

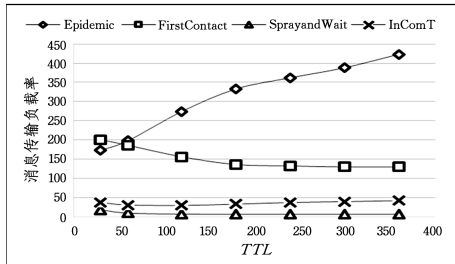


图 2 消息传输负载率随 TTL 的变化

Fig. 2 Changes of overhead rate of message transmission with TTL

5.2.3 消息的平均传输延时

图 3 反映了网络中消息的平均传输延时随消息生存时间(TTL)的增加而变化的情况。图中每种算法的平均传输延时均随着消息生存时间的增加而增加。其中,本文所提算法的平均延时最低,且随着消息生存时间的增加,其传输延时变化不大,而其他 3 种算法的传输延时均高于 InComT 算法。原因在于本文提出的算法将具有相同兴趣的用户划分到一个社区,在消息传输过程中,将这些社区内的兴趣用户作为中继,能够有效减少等待中继用户携带转发的时间,而其他 3 种算法都没有利用同一兴趣的用户能够更方便地为源用户提供中继转发的优势,因此其传输延迟较大。

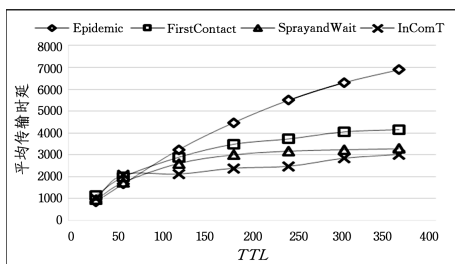


图 3 消息传输平均延时随 TTL 的变化

Fig. 3 Changes of average delivery delay of message transmission with TTL

结束语 本文提出了一种基于社区兴趣的消息传输策略 InComT,首先对用户兴趣进行度量并基于兴趣进行社区划分,消息基于社区进行传输,使得用户对中继节点和中继社区的选择更具有目的性,从而提高了消息传输的性能。仿真结果表明,相比于 FirstContact 算法和 SprayandWait 算法,InComT 算法的消息的传输成功率有一定提高,且其传输负载率和平均传输延时明显降低。实验表明,InComT 的传输策略是切实有效的。

参考文献

[1] Index,Cisco Visual Networking.Global Mobile Data Traffic

Forecast Update 2015—2020 White Paper[OL]. <https://www.cisco.com/go/offices>.

- [2] HU X,CHU T H S,LEUNG V C M,et al. A survey on mobile social networks: Applications, platforms, system architectures, and future research directions [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials,2015;1557-1581.
- [3] VASTARDIS N,YANG K. Mobile social networks: Architectures,Social properties,and Key Research Challenges[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials,2013,15(3):1355-1371.
- [4] ZHU Y,XU B,SHI X,et al. A survey of social based routing in delay tolerant networks:Positive and negative social effects[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials,2013,15(1):387-401.
- [5] NEWMAN M E J. Fast algorithm for detecting community structure in networks[J]. Physical Review E,2003,69(6 Pt 2): 066133.
- [6] HUI P,YONEKI E,CHAN S Y,et al. Distributed community detection in delay tolerant networks[C]// Workshops -2nd ACM International Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture. 2007:1-8.
- [7] NGUYEN N P,DINH T N,TOKALA S,et al. Over-lapping communities in dynamic networks: their detection and mobile applications[C]// Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. ACM,2011: 85-96.
- [8] FORTUNATO S,CASTELLANO C. Community structure in graphs [M]. New York:Springer,2012.
- [9] MACROPOL K,SINGH A. Scalable discovery of best clusters on largegraphs[C]// Proc. VLDB Endow. . 2010:693-702.
- [10] XIE J R,SZYMANSKI B K,LIU X M. Spia:Uncovering overlapping communities in social networks via a speaker-listener interaction dynamic process[C]// Data Mining Workshops (ICDMW). IEEE 11th International Conference,2011:344-349.
- [11] WILLIAMS M J,WHITAKER R M,ALLEN S M. Decentralised detection of periodic encounter communities in opportunistic networks[C]// Ad Hoc Networks. 2012:1544-1556.
- [12] CHEN Q,WU T T,FANG M. Detecting local community structures in complex networks based on local degree central nodes [J]. Physica A Statistical Mechanics and Its Applications,2013, 392(3):529-537.
- [13] RHOUMA D,ROMDHANE L B. An efficient algorithm for community mining with overlap in social networks[J]. Expert Systems with Applications,2014,41(9):4309-4321.
- [14] WEI K,LIANG X,XU K. A survey of social-aware routing protocols in delay tolerant networks: applications, taxonomy and design-related issues[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials,2014,16(1):556-578.
- [15] ZHANG X,NEGLIA G,KUROSE J,et al. Performance modeling of epidemic routing[J]. Computer Networks,2007, 51(10): 2867-2891.
- [16] LINDGREN A,DORIA A,SCHELEN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks [M]// Service assurance with partial and intermittent resources. 2004:239-254.

- [17] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks [C]//Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop, 2005:252-259.
- [18] 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, ACM, 2007:32-40.
- [19] HUI P, CROWCROFT J, YONEKI E. Bubble Rap: Social-based Forwarding in Delay Tolerant Networks [C]//ACM MobiHoc, 2008.
- [20] GAO W, LI Q, ZHAO B, et al. Multicasting in delay tolerant networks: a social network perspective [C]//Tenth ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing, ACM, 2009:299-308.
- [21] IOANNIDIS S, CHAINTREAU A, MASSOULIÉ L. Optimal and scalable distribution of content updates over a mobile social network [C]//INFOCOM, 2009:1422-1430.
- [22] MOGHADAM A, SCHULZKRINNE H. Interest-aware content distribution protocol for mobile disruption-tolerant networks [C]//IEEE International Symposium, 2009:1-7.
- [23] MTIBAA A, MAY M, DIOT C, et al. Peoplerank: Social opportunistic forwarding [C]//Infocom Proceedings IEEE, 2010:1-5.
- [24] HUI P, CROWCROFT J, YONEKI E. Bubble-rap: Social-based forwarding in delay-tolerant networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(11):1576-1589.
- [25] GAO W, CAO G. User-centric data dissemination in disruption tolerant networks [C]//INFOCOM IEEE, 2011:3119-3127.
- [26] LIN K C J, CHEN C W, CHOU C F. Preference aware content dissemination in opportunistic mobile social networks [C]//INFOCOM Proceedings IEEE, 2012:1960-1968.
- [27] WU J, WANG Y. Social feature-based multi-path routing in delay tolerant networks [C]//INFOCOM Proceedings IEEE, 2012:1368-1376.
- [28] XU Y, CHEN X. Social-similarity-based multicast algorithm in impromptu mobile social networks [C]//Global Communications Conference (GLOBECOM), IEEE, 2014:346-351.
- [29] DIDWANIA A, NARMAWALA Z. A comparative study of various community detection algorithms in the mobile social network [C]//Engineering Nui- CONE 5th Nirma University International Conference, IEEE, 2015:1-6.
- [30] MAO Z, JIANG Y, MIN G, et al. Mobile social networks: Design requirements, architecture, and state-of-the-art technology [J]. Computer Communications, 2016, 100:1-19.

(上接第 88 页)

从图 12 还可以看出,在 MFSS 协议中,节点 2 的时间差分别在 18 s, 37 s 以及 55 s 左右重新降低了一次,而降低前节点 2 相对于节点 1 的时间差并没有超过阈值,这是因为节点 1 在这些时刻通过双向监测,发现节点 2 相对于节点 0 的时间差已经超过阈值,所以通知节点 2 重新同步。因此, MFSS 协议保证了两跳节点的同步精度。

结束语 MFSS 协议利用双向交互机制实现了节点的快速初始同步,之后的监测过程可以根据节点之间允许的时间误差,在减少重新同步次数的同时保证同步精度。仿真结果表明,相比于 STS 协议和 TISS 协议, MFSS 协议具有更快的同步收敛速度、更小的同步开销以及更高的同步精度。但在 TDMA 方式下的同步协议还与时隙调度策略有着很大的关联,例如节点初入网时的冲突避免策略对同步收敛速度也有很大影响,因此下一步将在同步协议的基础上继续研究合适的时隙调度方法,以更好地优化同步性能。

参 考 文 献

- [1] YANG Q, SHI J H, CHEN H H. Decentralized slot synchronization method for Ad Hoc networks [J]. Systems Engineering and Electronics, 2011, 33(4):888-893. (in Chinese)
杨琦, 石江宏, 陈辉煌. 无线自组织网络分布式时隙同步算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(4):888-893.
- [2] MILLS D L. Internet time synchronization: the network time protocol [J]. IEEE Transactions on Communications, 1989, 39(10):1482-1493.
- [3] GANERIWAL S, KUMAR R, SRIVASTAVA M B. Timing-sync protocol for sensor networks [C]//1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2004:138-149.
- [4] KUSY B, LEDEZI A, MAROTI M, et al. The flooding time synchronization protocol [C]//2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2004:39-49.
- [5] WANG F Q, ZENG P, ZHANG X L, et al. Survey on Time Synchronization in Wireless Sensor Network [J]. Computer Engineering, 2011, 37(22):70-73. (in Chinese)
汪付强, 曾鹏, 张晓玲, 等. 无线传感器网络时间同步综述 [J]. 计算机工程, 2011, 37(22):70-73.
- [6] DAI L, BASU P, REDI J. An Energy Efficient and Accurate Slot Synchronization Scheme for Wireless Sensor Networks [C]//International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems, 2007:1-8.
- [7] WANG F, ZENG P, YU H. Slot Time Synchronization for TDMA-Based Ad Hoc Networks [C]//Proceedings of International Symposium on Computer Science and Computational Technology, 2008:544-548.
- [8] GE S H. Design and Implementation of TDMA-Based Cooperative MAC Protocol [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011:31-35. (in Chinese)
葛松虎. 基于 TDMA 的协同 MAC 协议设计与实现 [D]. 长沙:国防科学技术大学, 2011:31-35.
- [9] SUN Y, ZENG L K, WU X, et al. Timing synchronization algorithm based on clock skew estimation for WSN [J]. Journal on Communications, 2015, 36(9):26-33. (in Chinese)
孙毅, 曾璐琨, 武昕, 等. 基于频偏估计的无线传感器网络时间同步算法 [J]. 通信学报, 2015, 36(9):26-33.
- [10] KASIM S Y, AYLIN K. Time synchronization based on slow-flooding in wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2014, 25(1):244-253.