

一种低功耗的社区机会网络消息路由算法

周军海 林亚平 周四望

(湖南大学信息科学与工程学院 长沙 410081)

摘要 社区机会网络中节点的移动具有一定的相关性且不同的节点往往具有不同的移动特点,当前机会网络中主流的多拷贝路由算法并未充分考虑到这些特点,将该算法直接应用于这类网络会导致资源消耗较高、传输成功率低等问题。针对这些问题,提出一种基于社区的低功耗消息路由算法,其能自适应地控制消息拷贝数量,并根据节点与目标社区节点和本地社区节点相遇的历史信息来设置其目标社区和本地社区的活跃度,依靠活跃度较高的节点来完成消息传输。仿真结果表明,在延迟要求比较宽松的社区机会网络中,该算法在消息传输的成功率及占能耗最主要部分的消息转发次数方面明显优于 Spray and Focus 算法。

关键词 机会网络,社区,路由算法,多拷贝,活跃度

中图法分类号 TP393.0 **文献标识码** A

Power-efficient Message Routing Algorithm for Community-based Opportunistic Network

ZHOU Jun-hai LIN Ya-ping ZHOU Si-wang

(School of Information Science and Technology, Hunan University, Changsha 410081, China)

Abstract The movement of nodes in community-based opportunistic network has some kinds of relativity and different nodes always don't have the same moving characteristic. However, the prevalent multi-copy message routing algorithms in opportunistic network don't consider these characteristics adequately, which leads to high resource consumption and low transmission successful rate when deploying them directly in the community-based opportunistic network. To handle the above problems, this paper proposed a community-based power-efficient message routing algorithm. The algorithm can control the number of message copies adaptively, calculate the activity degree of target community and local community of nodes according to the meeting history of nodes with both the nodes in target community or in local community, and complete the message transmission relying on the nodes which have higher activity degrees. Simulation results show that the message forwarding times, which are the main part of energy consumption, and message transmission successful rate of the algorithm excel the spray and focus algorithm in evidence in the community-based opportunistic network which has loose requirement in delay.

Keywords Opportunistic network, Community, Routing algorithm, Multi-copy, Activity degree

1 引言

随着大量低成本、具备短距离无线通信能力的移动设备的出现,越来越多的研究人员开始关注如何把这些移动设备组织成一种无线网络。例如,在公路上行驶的带有移动智能设备的车辆可组成无线车载网络实现各种交通安全应用;各种配备 Wi-Fi 或蓝牙接口的手持电子设备,如手机、PDA 等可自组织成网络实现数据共享或协作访问互联网等。这些无线自组织网络在实际应用中往往存在节点移动、节点稀疏或障碍物造成的信号衰减,造成网络在大多数时候都不能完全连通,源节点和目标节点可能位于不同的连通区域,从而导致传统的无线网络路由协议不能发现到目标节点的路径。实际上通信源节点和目标节点可以借助节点的移动而进入相互通

信的范围实现数据交换,于是机会网络^[1,2]的概念应运而生。

机会网络不要求网络的全连通,更适合实际的自组织网络需求。机会网络的节点往往被分割成不连通的各个子区域,使得通信的源节点和目标节点之间可能不存在一条端到端的路径,节点的移动使节点与其他节点相遇从而形成通信机会,消息在各节点之间以“存储-携带-转发”的方式实现传输^[3,4]。机会网络的特点是传输延迟比较大,但消息传输的成本很低,通常不需要建设网络基础设施。

由人所携带的设备组成的网络是机会网络的一个主要应用。由于人们之间的社会关系相对稳定且具有一定的相互依赖性,因此这种机会网络与普通的节点移动迅速、网络拓扑变化较快的机会网络不同,其节点移动相对缓慢且有聚集现象,节点通常在一些确定的地方漫游,本文称之为社区^[5,6],社区

到稿日期:2013-03-13 返修日期:2013-06-17 本文受国家自然科学基金(61173038, 60973127),中央高校基本科研业务费专项资金(531107040195),可信系统与网络省重点实验室开放基金项目(201103)资助。

周军海(1974—),男,博士生,讲师,主要研究领域为通信网络和小波数据处理;林亚平(1955—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为通信网络与机器学习;周四望(1971—),男,博士,副教授,主要研究领域为网络中的信息处理和小波分析。

可代表一个教室、实验室、图书馆或公司等。在社区内,节点的密度相对较高,相遇频繁;而不同社区的节点之间相遇概率较低,某些节点相对活跃,经常来往于不同的社区之间,使得社区间的联系得以实现。

2 相关工作

转发和路由是任何组网技术的首要问题,机会网络中由于通信的源节点和目标节点往往不存在一条完整的通信路径,传统网络中依据网络状态信息建立和维护路由的功能在机会网络中退化成一跳转发节点的单跳决策问题。研究人员提出了利用机会网络中节点的移动性来辅助消息转发的传输策略,如 Epidemic^[7], PROPHET^[8], Spray and Wait (SW)^[9], Spray and Focus(SF)^[10]等算法,这些算法的基本思想是将同一消息的多份拷贝注入网络中,当其中一个到达目标节点时,消息传输成功。若消息拷贝的数量增加过多,虽然可提高传输成功率和降低延迟,但对网络资源的消耗也较大。因而在多拷贝传输策略中,进行资源消耗的控制十分重要。

Pan Hui 等人根据人的社会性提出了一种基于社区适用于容延迟网络的单拷贝的 BUBBLE 路由算法^[11],该算法采用人的真实移动轨迹作为节点的移动轨迹,并据此计算每个节点的活跃度,活跃度大的节点作为消息中继节点的概率也较大。算法依据节点活跃度在系统和社区的排名,设计了全局排序表和社区排序表两种排序表,其进行消息路由的策略为:源节点将消息传输给全局活跃度大于自己的节点,直到将消息传输到与目标节点位于同一社区的中继节点,然后中继节点再依据社区排序表将消息传输给社区内排名大于自己的节点,直到消息达到目标节点。该算法依靠社会关系带来的通信机会进行消息的传输,利用了活跃度高的节点与其他节点接触机会相对较多的特点,但该算法采用的是消息的单拷贝策略,消息的传输延迟比较大。

Spyropoulos T 等人提出了适用于机会网络的 SW 和 SF 两种经典路由算法,两种算法均采用消息的多拷贝策略来降低网络中消息传输的延迟,消息的源节点在产生消息后生成该消息的多个转发令牌,每个转发令牌可对应生成一个该消息的拷贝,节点将消息的拷贝及其转发令牌采用二分法分发给所有遇到的没有该消息的节点,两种算法在消息的多拷贝分发阶段均没有充分考虑在社区机会网络中,节点具有不同移动特点以及节点移动相关性的情况,没有对节点相应的活跃度进行设置,无条件地用二分法进行消息的传递,导致无效消息传输的次数较多,能耗较大。当中继的节点只有一个转发令牌时,SW 算法的中继节点会一直等待,直到遇到目标节点才将消息进行转发完成消息的传输,消息传输的延迟大,传输的成功率也相对较低;SF 算法在 SW 算法的基础上进行了改进,在消息的 Focus 阶段,中继节点采用一个简单的基于时间的效用函数进行消息的单拷贝转发,其每个节点都必须对网络中所有其它节点维持一个基于相遇时间的效用函数值,空间需求量较大,其效用函数具有传递性,所需的计算量也相对较大。

针对社区机会网络的特点,本文提出了一种基于社区的低功耗消息路由算法(Community-based Power Efficient Message Routing Algorithm,以下简称 CPMRA 路由算法)。该算法根据人活动的社区性特点建立节点移动模型,将节点

划分到不同的社区。在社区间,根据节点与目标社区节点接触的历史信息设置各节点的目标社区活跃度,依靠目标社区活跃度较高的节点实现到目标社区的消息转发,适当增加拷贝数量,可有效降低消息进入目标社区的延迟;在社区内,利用与目标节点接触的历史信息设置各节点的本地社区活跃度,确定消息的转发时机,适当增加社区内的消息拷贝数量确保较高的消息传输成功率,并及时地进行传输反馈,删除多余消息拷贝,进一步降低网络资源的消耗,提高资源的使用效率。

3 基于社区机会网络的消息路由算法

3.1 基于社区机会网络的移动模型

一般的移动模型假设每个节点可等概率地移动到网络的任意位置,这样的模型往往还进一步假设所有节点具有相同的移动特点,然而大量基于真实网络移动轨迹(如大学校园、会议等)的研究表明,这两个假设在真实的生活场景中很少成立^[11,12]。因此,为更好地仿真具有社区特点的实际节点的移动,我们提出一个基于社区的节点移动模型,此模型的节点移动由两阶段组成,即本地社区阶段和漫游阶段,两个阶段在节点移动过程中不断地交替。该模型的具体描述如下:

每个节点均属于一个本地社区 C_i ,节点在社区内的移动采用经典的 Random Waypoint 移动模型。

定义 1(本地社区阶段, Local Community Epoch) 节点限制在本地社区 C_i 内移动,其预期的时间长度为 \bar{L}_i ,节点此时所处的状态称为本地状态 S_i 。

定义 2(漫游阶段, Roaming Epoch) 节点大部分时间在所属社区内移动,有时可移动到 C_i 区域外的网络中的其它社区,节点在本地社区外移动的预期时间长度为 \bar{L}_i 。节点此时所处的状态称为漫游状态 S_r 。

节点的移动形成了一个本地社区阶段和漫游阶段的序列。

定义 3(本地社区概率, Local Community Probability) 如果前一个时期节点处于本地状态 S_i ,则下一个时期节点仍在本地社区移动的概率为 p_i ,处于漫游状态的概率为 $1-p_i$ 。

定义 4(漫游概率, Roaming Probability) 如果前一个时期节点处在漫游状态 S_r ,则下一个时期节点仍处于漫游状态的概率为 p_r ,回归所属社区进行移动的概率为 $1-p_r$ 。

此模型捕获了根据现实生活中各种真实的节点移动轨迹进行观察所得的移动特点^[2,13,14],可将上述具有社区特点的节点移动模型表述为两状态的马尔科夫链,如图 1 所示。

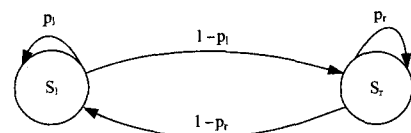


图 1 节点状态变化图

依据上述节点状态变化的马尔科夫链图,由马尔科夫链理论可得:

在任一给定阶段,节点处于本地状态的概率为:

$$\rho_i = \frac{1-p_r}{2-p_i-p_r} \quad (1)$$

在任一给定阶段,节点处于漫游状态的概率为:

$$\rho_r = \frac{1-p_i}{2-p_i-p_r} \quad (2)$$

在上述模型中,首先节点的移动往往具有本地的特征,它们一般会以概率 $\rho_l (>60\%)$ 在本地社区中待上大部分的时间,有时节点会离开本地社区以概率 ρ_r 在网络中的其它社区漫游;其次,不同的节点可以有不同的 (ρ_l, ρ_r) 参数值,适用于为各个节点的大范围移动特征变化建模。基于该模型,CPMRA 路由算法由两阶段组成:社区间的消息路由和社区内的消息路由,下面分别予以讨论。

3.2 社区间的消息路由策略

跨社区的消息路由可分为两个阶段:寻找目标社区,然后在目标社区内寻找目标节点。寻找目标社区是消息成功传输的关键,在社区内,有的节点基本上在本地社区活动,与其它社区节点的接触较少,另外有些节点相对活跃,移动的区域较广泛,与其它社区节点的接触频繁,在消息传输时,CPMRA 路由算法尽量选择与目标社区节点接触较多的活跃节点作为中继节点,以提高转发质量,同时适当增加消息拷贝的数量,以降低消息传输的延迟,确保较高的消息传输成功率。

定义 5 定义 F 为消息按理论上的最优路径到达目标节点所需的转发次数。

基于 Random-Waypoint 移动模型,文献[15]提出了移动节点平均相遇时间 EM_{rup} 的计算方法,如下式所示:

$$EM_{rup} = \frac{1}{\rho_m \hat{V}_{rup} + 2(1-\rho_m)} \frac{N}{2KL} (\bar{T} + \bar{T}_{sop}) \quad (3)$$

式中, \bar{T} 为节点的平均移动时间, \bar{T}_{sop} 为节点的平均暂停时间, $\rho_m = \frac{\bar{T}}{\bar{T} + \bar{T}_{sop}}$ 表示节点在任意时间进行移动的概率, \hat{V}_{rup} 是 Random-Waypoint 移动模型中节点的规一化相对速度, N 为节点移动范围的面积, K 为节点射频信号的覆盖范围, L 为节点在一次移动过程中平均移动的距离,在一个 $\sqrt{N} \times \sqrt{N}$ 的矩形区域中, $L = 0.5214 \sqrt{N}^{[15]}$ 。在 Random-Waypoint 移动模型中,每间隔 EM_{rup} 时长就会有节点相遇, EM_{rup} 值越小,节点相遇的频率就越高。

如果不考虑资源消耗的情况, Epidemic 路由算法的延迟性能接近理论上消息按最优路径到达目标节点的最优传输延迟 EM_{opt} , 其计算方法如下:

$$EM_{opt} = \frac{CN \log N_2}{2(M-1)\bar{V}K} \quad (4)$$

式中, C 为经验常数,在文献[15]中推荐取值为 0.34, N 为节点移动范围的面积, M 表示节点的数量, \bar{V} 表示节点的平均移动速度, K 为节点射频信号的覆盖范围,网络中每个消息按理论上的最优路径到达目标节点所需的转发次数 F 可由下式计算:

$$F = \frac{EM_{opt}}{EM_{rup}} \quad (5)$$

定义 6 节点 i 对目标社区 K 的目标社区活跃度 (Target Community Activity):

$$TCA_i(k) = \frac{M_{ik}}{TotalTime} \quad (6)$$

式中, $TotalTime$ 为网络到目前为止的总运行时间, M_{ik} 表示节点 i 在 $TotalTime$ 时间内与属于目标社区 K 的节点的相遇次数。

社区间消息传输的具体方法为:源节点生成新消息后,为每个消息设置一个 TTL (time-to-live) 值,当该值随着时间的流逝或转发次数的增加而减少至零时,消息被丢弃。同时为

每个消息设置社区间转发令牌的数量上限 F_{up} , 在本文中 F_{up} 初始化为上述的转发次数 F 值,实际仿真实验中,为使消息成功地到达目标社区, F_{up} 的取值只需 F 值的 $1/2 \sim 4/5$ 。设任意一个节点 i (源节点或中继节点) 拥有的某消息转发令牌数为 F_i 。

1. 若 $F_i > 1$, 当节点 i 与另一个没有该消息拷贝的节点 j 相遇时,如果相遇节点 j 的目标社区活跃度大于消息携带节点 i 的目标社区活跃度,则相遇节点获得消息的一份拷贝,并分别更新两节点中该消息的转发令牌数,计算方法如下:

$$F_j = \left\lceil \frac{TCA_j(k)}{TCA_i(k) + TCA_i(k)} \times F_i \right\rceil \quad (7)$$

$$F_i = \left\lfloor \frac{TCA_i(k)}{TCA_i(k) + TCA_i(k)} \times F_i \right\rfloor \quad (8)$$

上述公式确保目标社区活跃度较大的节点在相遇时获得较多的消息转发令牌数。

2. 若 $F_i = 1$, 当节点 i 与另一个没有该消息拷贝的节点 j 相遇时,则当且仅当 $TCA_j(k) > TCA_i(k) + UC_n$ 时 (其中 UC_n (Utility threshold of Communities) 为算法的社区间转发的阈值参数), 节点 i 将消息转发给相遇节点 j 后删除自身的该消息拷贝, 节点 j 设置该消息的转发令牌数为 1。

3. 如果消息携带节点遇到的是与目标节点在同一社区的节点,则将消息转发给相遇节点后,删除自己的拷贝并清除相应的转发令牌,从而避免由于消息的过度转发而导致的无线带宽竞争和缓存等资源占用较多的问题。

实际上,这种社区间消息转发的过程就是消息沿着节点的目标社区活跃度递增的方向进行传输的过程,直到消息被传输到目标社区的某个节点,完成寻找目标社区的任务。

3.3 社区内的消息路由策略

本文采用受控的复制策略来设计社区内的消息传输。属于同一社区的节点接触相对频繁,节点通信的机会较多,根据这一特点,CPMRA 路由算法在消息进入目标社区后适当增加消息拷贝数量,有效控制消息的转发时机,在保证较高的消息传输成功率的同时,可有效降低网络资源的消耗。

如果消息的源节点和目标节点均在同一社区,则直接使用社区内的消息路由策略。当消息到达目标社区后,目标社区内的节点重新设置该消息转发令牌数,其方法同 Spray and Focus 方案,文献[9]表明,获得平均延迟最多为最优时间的 α 倍所需的消息转发令牌数 L , 可由下式计算:

$$(H_M^2 - 1.2)L^3 + (H_M^2 - \frac{\pi^2}{6})L^2 + (\alpha + \frac{2M-1}{M(M-1)})L = \frac{M}{M-1} \quad (9)$$

式中, $H_r = \sum_{i=1}^r \frac{1}{i}$ 为第 n 个 r 阶的调和数, M 为社区内的节点数。实际的仿真中, L 值设为由上式所计算值的 $1/3$ 至 $1/2$ 即可达到所需的目标^[9]。本算法中跨社区的消息传输需两次设置消息的转发令牌数,但两次转发令牌数的总和仍不超过 SF 算法所设置的转发令牌数。

定义 7 社区内的节点 i 为属于同一社区的每个其它节点 j 维持了一个本地社区活跃度 (Local Community Activity) 的效用函数 LCA_{ij} , 其值由下式计算:

$$LCA_{ij} = \frac{M_{ij}}{TotalTime} \quad (10)$$

式中, $TotalTime$ 为网络到目前为止的总运行时间, M_{ij} 为节

点 i 与节点 j 在 $TotalTime$ 时间内相遇的总次数。

设社区内的节点 i 拥有某消息的转发令牌数为 F_i , 当节点 i 与社区内另一个没有该消息拷贝的节点 j 相遇时:

1. 若 $F_i > 1$, 如果相遇节点 j 相对于目标节点 d 的本地社区活跃度大于消息携带节点 i 相应的本地社区活跃度, 则相遇节点获得消息的一份拷贝, 并分别更新两节点中该消息的转发令牌数, 计算方法如下:

$$F_j = \left[\frac{LCA_{jd}}{LCA_{id} + LCA_{jd}} \times F_i \right] \quad (11)$$

$$F_i = \left[\frac{LCA_{id}}{LCA_{id} + LCA_{jd}} \times F \right] \quad (12)$$

上述公式确保本地社区活跃度较大的节点获得较多的消息转发令牌数。

2. 若 $F_i = 1$, 消息不再分发, 进入直接发送阶段, 当且仅当 $LCA_{jd} > TCA_{id} + ULC_h$ 时, 其中 ULC_h (Utility Threshold of Local Community) 为算法的本地社区转发阈值参数, 相遇节点 j 获得该消息的一个拷贝并设置该消息的转发令牌数为 1, 消息携带节点 i 将消息转发后删除该消息拷贝。

根据式(9)适当设置社区内的转发令牌数量, 选择与目标节点接触更为频繁的节点(即与目标节点的本地社区活跃度较大的节点)作为消息的中继节点, 可有效地降低消息转发的次数及转发的延迟, 在降低资源消耗的同时, 确保消息的传输成功率。

4 仿真和结果分析

4.1 仿真环境设置

本文采用 ONE^[16] 进行算法性能的仿真, 并和机会网络的经典路由算法 SF 算法进行了比对。因为本算法在网络运行初期需要收集节点相遇的信息来完成相关活跃度的计算, 所以仿真开始时先进行 600 秒的预处理过程, 社区按照 4×4 的方式布局, 网络流量随机地分布在所有节点之间。在大量真实的网络移动轨迹中, 节点可等概率地移动到网络的任意位置以及所有节点具有相同的移动特点的情况很少存在, 因此本文参照 SF 算法设置了以下场景来仿真实际的网络移动轨迹: 网络中的节点分为两种类型, 所有节点中 80% 的节点绝大部分时间在本地社区内移动(称为本地节点), 其 p_l 的值分布在 $[0.8, 0.95]$ 之间, 本地节点偶尔在网络中其它的社区漫游, 其 p_r 的值分布在 $[0.1, 0.2]$ 之间; 所有节点中 20% 的节点经常在网络中其它的社区漫游(称为漫游节点), 其 p_r 的值分布在 $[0.3, 0.4]$ 之间, 漫游节点大部分时间仍在本地社区内移动, 其 p_l 的值分布在 $[0.7, 0.8]$ 之间。其它主要的仿真参数如表 1 所列。

表 1 主要仿真参数

参数名称	参数值
仿真时间/s	72000
社区面积/m ²	400 * 400
社区个数	16
社区内的节点数	10
社区节点移动模型	Random-Waypoint
节点的通信半径/m	30, 40, 50, 60, 70
节点的最大移动速度/(m/s)	1, 2, 3, 4, 5, 6
TTL 值/s	1000, 2000, 3000, 4000, 5000
每秒消息产生的数量	4
Spray & Focus 的消息拷贝数量	8

4.2 实验结果及分析

4.2.1 社区节点的通信范围与平均转发次数的关系

在该实验中节点的最大移动速度为 3m/s, TTL 为 3000s。其平均转发次数是进行一次成功的消息传输所需要的平均转发次数。

图 2 的实验表明, 由于 SF 算法在初期的 Spray 阶段为无条件的二分法分发, 使得消息可迅速分发完毕, 消息的转发次数也较多, 同时一些与目标节点通讯机会较少的节点也获得了消息的拷贝, 使得在后期的 Focus 阶段进行单拷贝的消息转发时次数增多, 从而 SF 算法的平均转发次数明显高于本文的 CPMRA 算法; CPMRA 算法的消息令牌数量总和均不超过 SF 算法, 同时对消息转发条件做了严格限制, 只有与目标社区和目标节点通信可能性较大的节点才能获得消息的拷贝, 因此在转发次数上明显优于 SF 算法, 进而在能耗上明显低于 SF 算法。

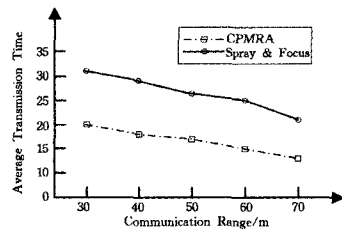


图 2 不同节点通信范围时平均转发次数的比较

4.2.2 节点最大移动速度与平均转发次数的关系

在该实验中设置节点的通讯半径为 50m, TTL 为 3000s。

图 3 的实验结果表明, SF 算法对节点的移动速度依赖性相对较大, 其消息转发的次数随着节点移动速度的增加有着较显著的减少。随着节点移动速度的增加, 节点相遇概率加大, 有更多的机会进行消息传输, 使得传输的成功率提高, 进而使其平均转发次数降低。CPMRA 算法采用先寻找目标社区, 再寻找目标节点的二阶段方法, 并严格地控制转发条件, 因此在转发次数上显然优于 SF 算法, 同时算法对节点移动速度的依赖性也较低。

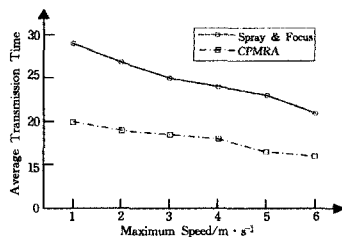


图 3 不同节点最大移动速度时平均转发次数的比较

4.2.3 消息生存期对传输成功率的影响

在该实验中设置节点的最大移动速度为 3m/s, 节点的通讯半径为 50m。

图 4 的实验结果表明, 当消息的 TTL 值较小时, 两个算法的传输成功率都较低, 因为 SF 算法消息的转发令牌数大于或等于 CPMRA 算法, 且在消息分发阶段采用无条件的二分法, 其消息的传播速度较快, 因而在 TTL 值较小时可获得相对较高的传输成功率。但是随着 TTL 值的增加, CPMRA 算法的传输成功率显著增加, 当消息进入目标社区后, 消息重新产生转发令牌, 使传输的成功率有较大的提升。CPMRA 算法更适合于对延迟要求较为宽松的网络。

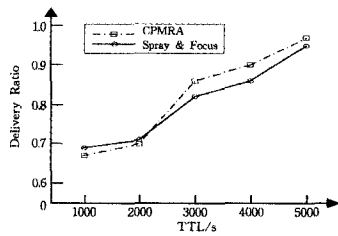


图4 不同 TTL 时消息传输成功率的比较

4.2.4 节点最大移动速度对传输成功率的影响

在该实验中设置消息的 TTL 值为 3000s, 节点的通讯范围为 50m。

图 5 的实验结果表明, 当节点的移动速度较慢时, SF 算法的消息跨社区传输受到较大影响, 消息的传输成功率偏低。当节点移动速度较快时, CPMRA 算法因寻找目标社区节点的通讯机会较大, 因而成功的概率较高, 消息进入社区后再次生成转发令牌, 确保了传输的成功, 从而传输成功率明显优于 SF 算法。

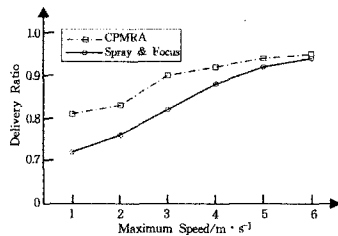


图5 不同节点最大移动速度时消息传输成功率的比较

4.2.5 节点的通讯范围对传输成功率的影响

在该实验中节点的最大移动速度为 3m/s, TTL 为 3000s。

图 6 的实验结果表明, 当节点的通讯范围较小时, 消息的跨社区传输对 SF 算法的影响相对较大, 导致消息成功率偏低。当节点的通讯范围增大时, 节点相遇的机会增大, SF 算法得益于其具有传递性的效用函数, 消息的传输成功率增长较快。CPMRA 算法在节点的通讯范围增大时, 更易于寻找目标社区的节点, 传输成功率稳步增长, 成功率均优于 SF 算法, 更适合于节点移动具有异构及相关性的社区网络。

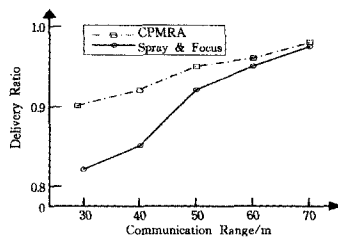


图6 不同节点通信范围时消息传输成功率的比较

结束语 本文提出了一种低功耗社区机会网络的消息路由算法, 使得消息在节点移动具有异构和相关性的社区机会网络中以较小的资源消耗完成可靠的消息传输。本文首先分析了当前机会网络中经典的消息路由算法的特点及其在社区网络中存在的问题, 并针对社区内节点移动具有相关性及异构的特点, 提出了 CPMRA 算法。实验结果表明, CPMRA 算法较好地控制了消息拷贝的数量和转发条件, 首先依靠目标社区活跃度较高的节点完成寻找目标社区的任务, 再利用本

地社区活跃度较高的节点完成社区内的消息传输, 实现了在社区机会网络中消息的高效传输, 在消息传输延迟较为宽松的情况下, CPMRA 算法在消息传输的成功率以及占能耗最主要部分的消息转发次数等方面, 均明显优于 SF 算法。本文下一步将考虑多个社区大小、形状不同、非规则分布的实际情况, 进一步优化 CPMRA 算法, 使之更适合于实际的社区网络。

参考文献

- [1] Pelusi L, Passarella A, Conti M. Opportunistic networking; Data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(11): 134-141
- [2] 熊永平, 孙利民, 牛建伟, 等. 机会网络[J]. 软件学报, 2009, 20(1): 124-137
- [3] Passarella A, Kumar M, Conti M, et al. Minimum-Delay Service Provisioning in Opportunistic Networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2011, 22(8): 1267-1275
- [4] 孙践知, 张迎新, 陈丹, 等. 具有自适应能力的 Epidemic 路由算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(7): 104-107
- [5] Schurgot M R, Comaniciu C, Jaffres R K. Beyond traditional DTN routing: social networks for opportunistic communication [J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(7): 155-162
- [6] 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
- [7] Vahdat A, Becker D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks[R]. Duke University, Durham, 2000
- [8] Lindgren A, Doria A, Schelén O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 19-20
- [9] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks[C]// Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking. ACM Press, 2005: 252-259
- [10] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and focus: Efficient mobility-assisted routing for heterogeneous and correlated mobility[C]// Proceedings of the IEEE PerCom Workshop on Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks. 2007
- [11] Pan H, Jon C, Eiko Y. Bubble Rap: Social-based forwarding in delay tolerant networks [C]// Proceedings MobiHoc'08. Hong Kong SAR, China, 2008
- [12] Augustin C, Pan H, Jon C, et al. Impact of human mobility on the design of opportunistic forwarding algorithms[C]// Proc. IEEE INFOCOM. 2006
- [13] Tristan H, David K, Ilya A. The changing usage of a mature campus-wide wireless network[C]// Proceedings of ACM MOBICOM. 2004
- [14] Marvin M, Geoffrey M V. Access and mobility of wireless pda users[J]. ACM Mobile Computing and Communication Review, 2005, 9(2): 40-55
- [15] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Performance analysis of mobility-assisted routing[C]// Proc. ACM MobiHoc. 2006
- [16] The ONE: Opportunistic Network Environment simulator [EB/OL]. <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>