

基于线图的社会性 DTN 消息传输策略

黄宏程, 冯榆斌, 魏青, 罗兰

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院, 重庆 400065)

摘要: 针对目前大多数 DTN 路由算法存在因孤立节点数量过多进而影响整个网络性能问题, 提出了一种基于线图的社会性 DTN 消息传输策略. 本策略将时间划分为若干时间片段, 以线图节点对质量以及相似性作为评判标准, 周期性地将三跳以内的节点划分成不同社区, 最后通过社区内、社区间不同的路由策略进行数据传输. 仿真结果表明: 该算法与 Epidemic、PROPHET、SimBet 算法相比, 在未降低网络延时性能的情况下, 具有较高的消息投递率、较小的网络开销等.

关键词: 社会性 DTN; 线图; 社区; 孤立节点

中图分类号: TP 393

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2015)08-1137-08

doi: 10.11936/bjutxb2014110045

Social DTN Message Transmission Strategy Based on Line Graph

HUANG Hong-cheng, FENG Yu-bin, WEI Qin, LUO Lan

(School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Under the circumstance that there are too much isolated nodes in recent DTN routing algorithm that seriously affect the performance of the whole network. This paper proposes a social DTN message transmission strategy based on line graph. The algorithm takes the quality of node pair and similarity in the line graph into consideration, and then divides nodes into different communities within three hops periodically. Finally, different routing strategies are designed in the community and between communities to achieve data transmission. Simulation results show that compared with Epidemic, PROPHET, and SimBet algorithm, the algorithm has higher message delivery ratio and smaller network overhead without any increase in network latency.

Key words: social DTN; line graph; community; isolated node

延迟容忍网络(delay tolerant network, DTN)是一种无基础通信设施、端到端之间没有固定的传输链路的临时性网络, 具有链路间断的连接特点, 采取基于存储-等待-转发机制来传递消息, 所以也称为机会路由^[1-3]. 在 DTN 中, 路由的设计通常采取积极转发的策略, 尽可能地转发消息, 以此增加端到端的消息成功投递机会. 目前比较经典的路由传输策

略, 如 Direct Delivery^[4]、Epidemic^[5]、PROPHET^[6]等算法, 均未考虑到节点社会移动特性. 基于此, 后来的研究者将社会网络中存在的“小世界”理论引入到 DTN 中, 借鉴人与人之间的社会关系研究 DTN 节点关系, 并提出了大量的基于网络社会性的算法. Daly 等^[7]在社会网络中利用节点的相似性来衡量传递的社会距离, 利用中介中心度来衡量节点承

收稿日期: 2014-11-21

基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1400402); 重庆市科委基础和前沿研究项目(cstc2014jcyjA40039)

作者简介: 黄宏程(1979—), 男, 讲师, 主要从事无线自组织网络、容迟网络、应急通信网、融合通信方面的研究, E-mail: huanghc@cqupt.edu.cn

载网络中数据流的重要性,提出 SimBet 路由算法;张振京等^[8]结合相似性和中介中心性定义节点间的关系,提出将稳定性作为划分社区的指标,将整个仿真周期划分成不同的时隙,并在每个时隙中根据节点间的相遇概率划分簇;Wang 等^[9]根据节点历史接触记录和邻居节点得到节点间的社会关系强弱,划分出不同的社区,以及 Lu 等^[10]利用节点度数及邻居节点集制定 intra-centrality 和 inter-centrality 两个尺度标准,将整个网络划分为不同社区等。

目前大多数的划分社区的路由算法,均是基于利用节点相遇记录及邻居节点得到节点间的社会关系,如文献[8-12]. 因此节点社会关系存在差异性,某些节点的社会关系会相对较弱,在利用社会关系划分社区时,必然出现单节点社区,形成孤立节点. 某个节点与其他节点联系程度相对较低,这类节点将会作为孤立节点存在于网络之中. 又因为社区内的节点联系相对比较紧密,彼此接触的机会远大于社区外的节点. 因此,孤立节点与其他节点的通信机会将会大大减少,导致一些本应该传递给该节点的消息无法传递给该节点,影响整个网络性能. 针对该问题,本文利用线图中节点归属具有唯一性的特点来减少网络中孤立节点存在的数量,提出了一种基于线图的社会性 DTN 消息传输策略. 实验仿真结果表明,本文提出的路由算法能够较为显著地提高网络性能。

1 线图模型

传统的网络模型图是由节点及节点之间的连边组成,如图 1 所示. 然而基于传统的网络拓扑图划分的社区会因为某些节点(如图 1(a)中 05 节点)与其他节点的联系程度较小,导致社区划分后存在过多孤立节点,不利于消息传递. 线图模型是将传统网络模型图中点与点之间的关系,转化为边与边之间的关系,利用边的归属具有唯一性的特点,进一步减少网络中孤立节点数量。

传统的网络模型图如图 1(a)所示,网络中的节点为图中各顶点,边表示节点之间存在连接关系. 线图模型将原图的边转化为节点,边与边的关系等定义为线图上的边,即给定一个无向图 $G < V, E >$, 其对应的线图 $L(G)$ 应当以图 G 中的边为顶点集,并且如果图 G 中的 2 条边共享同 1 个节点,那么在线图 $L(G)$ 中这 2 条边相对应的顶点就存在 1 条边^[13],转化为对应的线图模型,如图 1(b)所示。

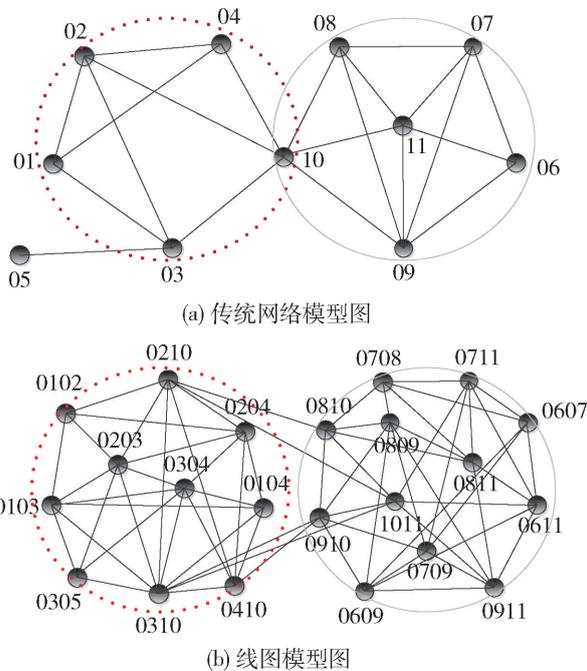


图 1 传统网络模型图到线图模型的转换

Fig. 1 Traditional network model diagram to line graph model transformation

2 线图权值的设定

由于线图上的点是原图中的边,并且边的归属具有唯一性,即线图上的点的归属具有唯一性,所以线图中节点间的关系则是本文研究的一个重点. 分析线图结构可知,线图中边的权值大小取决于线图中节点对质量、节点间的相似性 2 个因素,因此,本文从以下几方面来考察线图中边的权值。

2.1 节点对质量

2.1.1 线图节点的社会压力

线图上的节点是原图中的边,那么可以采用原图中节点间连接关系来描述一个线图节点社会压力值. 由于 DTN 的间断性特点,那么考察节点间连接关系需要考虑原图中节点的 3 个方面:节点的相遇频率、节点间连接时长以及节点间的相遇规律. 当两节点之间的相遇频率高,连接总时间长,相遇又有规律性,那么两节点之间的连接质量就很好,相应地线图中该节点所具有的权值就越大. 文献[14]中提出了衡量这种关系的社会压力大小 SPM_{ij} .

$$SPM_{ij} = \frac{\int_{t=0}^T f(t) dt}{T} \quad (1)$$

式中: $f(t)$ 表示离下一次相遇时刻的剩余时间,当 2 节点连接时, $f(t) = 0$;当 2 节点断开时, $f(t) =$

$t_{\text{next_encounter}} - t$, 其中 $t_{\text{next_encounter}}$ 表示下一次相遇的时刻, 且 SPM_{ij} 满足 $0 \leq \text{SPM}_{ij} \leq \frac{T}{2}$, 那么 $(\text{SPM}_{ij})_{\max} = \frac{T}{2}$.

为了消除统计窗口对社会压力大小的影响, 对 SPM_{ij} 归一化处理得到线图节点的社会压力大小.

$$\text{SPM}'_{ij} = \frac{\text{SPM}_{ij}}{(\text{SPM}_{ij})_{\max}} = \frac{2 \int_{t=0}^T f(t) dt}{T^2}, \quad 0 \leq \text{SPM}'_{ij} \leq 1 \quad (2)$$

在线图中, 相邻的节点之间必然在原图中具有公共部分节点, 所以假定存在线图节点 l_{ij} 和 l_{jk} , 且线图节点 l_{ij} 、 l_{jk} 的社会压力值分别为 SPM'_{ij} 、 SPM'_{jk} , 线图节点 l_{ij} 、 l_{jk} 的空闲值分别为 $1 - \text{SPM}'_{ij}$ 、 $1 - \text{SPM}'_{jk}$. 将线图节点 l_{ij} 和 l_{jk} 之间的社会压力抽象为模型图, 如图 2 所示.

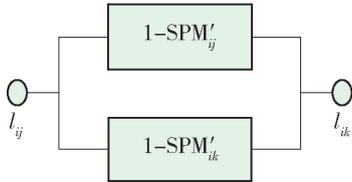


图 2 线图节点对社会压力模拟图

Fig. 2 Simulation of line graph nodes to the social pressure

那么 2 个线图节点对的社会压力大小为

$$\text{SPM}'_{ij,jk} = 1 - \frac{(1 - \text{SPM}'_{ij}) \times (1 - \text{SPM}'_{jk})}{(1 - \text{SPM}'_{ij}) + (1 - \text{SPM}'_{jk})} \quad (3)$$

2.1.2 线图节点对质量 $W_{ij,jk}$

当社会压力越小时, 节点对质量越好; 当社会压力越大时, 节点对质量越差, 且满足当 $\text{SPM}'_{ij,jk} = 0$ 时, $W_{ij,jk} = 1$; $\text{SPM}'_{ij,jk} = 1$ 时, $W_{ij,jk} = 0$; 以当前节点作为参考节点, 那么在当前节点最近没有遇到携带有边缘节点对的消息时, 当前节点并不知道边缘节点对质量是否已经发生了改变, 因此边缘节点对质量呈现衰减趋势. 根据该限制条件, 线图节点对质量 $W_{ij,jk}$ 定义为

$$W_{ij,jk} = \frac{e^{(1 - \text{SPM}'_{ij,jk})} - 1}{e - 1} \times \gamma^k, \quad 0 \leq W_{ij,jk} \leq 1 \quad (4)$$

式中: γ 为链路的衰减因子; k 为该线图节点对最后相遇的时间与当前划分社区时间的差值与单位时间 (取 PROPHET 算法中的单位时间) 的个数.

同理可得, 线图节点的质量也是原图中节点间的关系大小, 那么原图中节点对质量记为

$$w_{ij} = \frac{e^{(1 - \text{SPM}'_{ij})} - 1}{e - 1}, \quad 0 \leq w_{ij} \leq 1 \quad (5)$$

2.2 线图节点相似性

由于线图中节点间的连接情况不仅与 2 个节点存在密切的联系, 同时也与 2 个节点的共同邻居节点存在密切的联系, 即节点间的相似性. 因此考察线图中节点间的相似性作为线图边权值的一部分具有重要的意义.

由线图的定义可知, 线图上的节点对应的是原图中的连边, 那么对于 2 个线图节点 l_{ij} 、 l_{jk} 而言, 线图节点 l_{ij} 与 l_{jk} 相似度也就是原图中连边的相似度, 线图上的节点之间有连边当且仅当对应于原图中的 2 条连边有公共节点, 所以具有公共节点的 2 条连边的相似度要比没有公共节点的 2 条连边的相似度高. 因而考察具有公共节点的连边相似性, 即对于线图节点 l_{ij} 、 l_{jk} 而言, 线图节点 l_{ij} 与 l_{jk} 相似度也就是原图中 2 条连边 e_{ij} 、 e_{jk} 的相似度, 称节点 j 为关键节点, i 和 k 称为贡献节点. 由于关键节点对整个相似性不提供任何的贡献值, 所以线图节点的相似性只需考虑贡献节点的贡献值, 并将本节点计算为自己的邻居节点, 对 Jaccard 系数进行改进, 得到相似性^[15-16]为

$$\text{Sim}(l_{ij}, l_{jk}) = \frac{|n_+(l_{ij}) \cap n_+(l_{jk})|}{|n_+(ij) \cup n_+(l_{jk})|} = \frac{|n_+(i) \cap n_+(k)|}{|n_+(i) \cup n_+(k)|} \quad (6)$$

式中: $n_+(i)$ 表示 i 节点包括自己的邻居节点; $|n_+(i) \cap n_+(k)|$ 表示 i 节点和 j 节点的共同邻居个数; $|n_+(i) \cup n_+(k)|$ 表示 i 节点和 j 节点的所有邻居节点个数.

2.3 线图中边的权值

线图中节点间的连边的权值大小与线图节点对质量及线图中节点之间的相似性相关. 综合考虑 2 种因素定义线图中连边的权值, 不失一般性, 假定存在 2 个线图点 l_{ij} 和 l_{jk} , 综合考虑线图节点对质量以及线图节点的相似性, 得到线图节点 l_{ij} 和 l_{jk} 之间的连边权值 $q_{l_{ij}, l_{jk}}$ 为

$$q_{l_{ij}, l_{jk}} = \alpha \times W_{ij,jk} + (1 - \alpha) \times \text{Sim}(l_{ij}, l_{jk}) \quad (7)$$

式中 α 为权重因子.

3 社区划分和路由策略

3.1 总体思路

在本文提出的路由算法中, 首先将时间划分成以 T 作为周期的时间单元, 在每个时间单元内均以本节点为中心再寻找三跳以内的局部网络; 其次将原图转化为线图, 利用线图节点出现的可能性以及

线图节点之间的相似性作为线图节点间边的权值;利用线图节点归属具有唯一性的特点,在局部网络内选取相邻2个节点构成的社区内外权值之和最大的2个节点作为第1个社区.逐步将周围贡献度最大节点加入社区,直至构成的新社区内外权值比不再增加,重复该步骤直至局部网络中的节点划分到各自的社区.最后,将与本节点相关的社区保留,并将节点从线图节点转化为原图节点.至此,整个网络就划分为不同的社区,以此作为下一个周期该节点的社区结构.在社区内,基于直接等待策略进行消息转发;在社区间,利用社交权值的大小完成社区间消息的快速转发,不仅有效降低了消息进入目标社区的延时,更提高了网络带宽的利用率.

3.2 社区划分

已介绍了网络拓扑从一个真实的网络结构转变为了一个加权的线图结构,将原图中以节点作为考察对象转换为原图中的边作为考察对象的方法,假定存在一个线图节点网络,且已经存在一个社区 C 、线图节点为 l ,为了便于描述线图中社区划分,做以下定义.

定义1 线图社区的邻居节点集 N_u :社区 C 外节点与社区 C 内节点直接相连的社区外节点集称为社区 C 的邻居节点集.

定义2 社区稳定度 S :社区 C 内节点间权值之和与该线图社区的邻居节点集 N_u 的权值之和的比值,具体公式为

$$S = \frac{\sum_{l \in C} q_l}{\sum_{l' \in N_u} q_{l'}} = \frac{k_{in}}{k_{out}} \quad (8)$$

式中: k_{in} 表示社区内的边权值之和,即 $k_{in} = \sum_{l \in C} q_l$; k_{out} 表示当前线图中社区 C 的邻居节点集 N_u 的边权值之和,即 $k_{out} = \sum_{l' \in N_u} q_{l'}$.

定义3 线图节点对社区稳定性的贡献度 G :线图节点加入一个社区后,给社区的稳定度的提高比率值

$$G = \frac{S_{new} - S_{old}}{S_{old}} = \frac{\left(\frac{k_{in}}{k_{out}}\right)_{new} - \left(\frac{k_{in}}{k_{out}}\right)_{old}}{\left(\frac{k_{in}}{k_{out}}\right)_{old}} \quad (9)$$

假如一个线图节点属于社区 C ,那么该节点与社区 C 内的联系的紧密程度高于与外界节点的紧密程度,且当该节点加入社区 C 之后,社区结构比之前更加稳定,进而社区 C 的稳定度 S 会增大,此

时节点对社区稳定性的贡献度为 $G \geq 0$,反之社区 C 的稳定度 S 会减小,节点的贡献度为 $G < 0$.

基于对线图及原图进行分析,本文提出节点周期性划分社区的思想:将仿真时间划分为周期性的时间片段 T ,且将整个网络划分为以节点 i 为中心的局域网络,再在各自的局域网络中划分社区,即:原图网络中节点以 T 为周期收集自己邻居节点的相关信息,存取以节点 i 自身为中心的三跳局域网络.当一个周期满时,节点 i 通过获取到的局域网络,转化为线图,利用算法1的思想进行社区划分,最终节点 i 保留与自己相关的社区网络节点及其相关信息.算法1流程如图3所示.

通过分析,社区结构一般在一段时间内是稳定的,但随着节点移动和某些节点的失效,社区结构会随之发生变化.因此,按照周期 T 统计各自局部网的信息,并且以当前周期统计的信息都为下一个网络社区结构的划分周期提供初始数据,这样不仅能够保证动态地发现社区结构,而且在很大程度上降低了算法的时间复杂度.

3.3 消息路由策略

为了实现消息在源社区内能够快速传递到社区的重叠节点,现将节点的消息处理能力做如下定义.

定义4 节点的处理能力:评估一个节点的处理能力主要包括2部分,获取数据包的速度和成功转发率.又因为获取数据包的速度与节点与其他节点的关系大小(见式5)平均值成正比,所以节点 i 的处理能力 D_i 为

$$D_i = \beta \times \frac{\sum_j w_{ij}}{\sum_j 1} + (1 - \beta) \times \frac{N_{TS}}{N_{total}} \quad (10)$$

式中: $\sum_j w_{ij}$ 为直接与节点 i 接触的所有节点关系大小之和; $\sum_j 1$ 为与节点 i 直接接触的节点数; N_{TS} 为成功转发的数据包个数; N_{total} 为节点总的数据包个数.

由于对整个网络进行了社区划分,那么整个网络节点的关系则变成了社区间、社区内以及在某些情况下存在的少数孤立节点.因此,本文设计了以下路由策略.

社区内路由策略:通过分析消息处于网络中位置的不同,社区内路由策略分为2种情况:1)携带消息的节点与目的节点处于同一个社区内.由于在社区内节点相遇频繁,为了减小不必要的消息副本数和网络开销,选择直接等待目的节点,将消息传递

4 仿真实验及结果分析

本文对所提出的基于线图的社区划分路由策略进行了仿真验证,采用的仿真软件为机会网络环境 (opportunistic network environment, ONE)^[17],是专门为延迟容忍网络设计的仿真工具,以节点的缓存空间大小作为参变量对网络性能做分析.为了更好地模拟真实环境情况,采用真实数据集 Infocom06^[18]作为仿真环境,具体参数如表1所示.

表1 主要仿真参数设置

Table 1 Main simulation parameter settings

参数	数值
消息大小	500 kbit ~ 1 Mbit
消息的产生间隔/s	25 ~ 35
消息的生存时间(TTL)/s	300
节点通信方式	Bluetooth
传输范围/m	10
传输速率/(kbit·s ⁻¹)	250

4.1 孤立节点数对比

线图是利用原图中的边转化为线图点,原图中边与边直接相连的关系才会产生线图点.在文献[15,19-21]中,作者将线图利用到了复杂网络中,从而减少了复杂网络中孤立节点的存在.为了进一步说明,本文利用文献[22]中方式对PROPHET、SimBet算法及本文提出的算法在数据集进行仿真,数据如表2所示.从表2中可以看出,线图划分的社区几乎能够包含所有的节点,从而有效地减少网络中的孤立节点的存在.

表2 PROPHET、SimBet及本文算法在数据集中孤立节点数的比较

Table 2 Comparison of PROPHET, SimBet and the algorithm of this paper focused isolated node number in the data %

PROPHET	SimBet	本文算法
12.1	10.2	6.1

4.2 路由算法性能比较

由于社区是周期性划分出来的,那么在缓存空间为5M,及 $\gamma=0.9, \alpha=0.8, \beta=0.4, m=6$ 的前提下,对本文提出的基于线图划分的社区路由算法进行性能比较,如图5所示.

当划分时间周期 $T=600$ s时,整个网络的性能

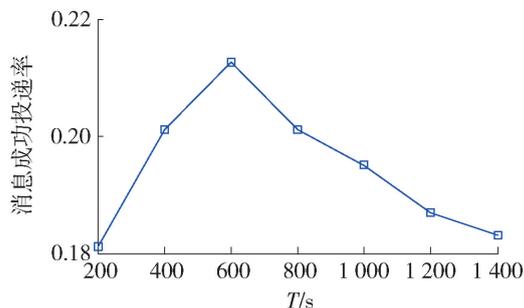


图5 不同社区划分周期下投递率的比较

Fig. 5 Comparison of the delivery rate under different community division cycles

最优,以下的性能比较均是在划分周期为600s条件下进行的.

在节点缓存大小不同的情况下,本节将基于线图划分社区路由算法与传统的Epidemic、PROPHET算法以及社会性路由算法SimBet进行比较,结果如图6~8所示.

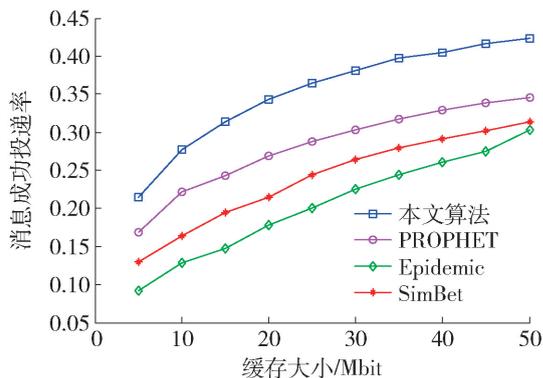


图6 不同缓存大小下消息成功投递率比较

Fig. 6 Message success delivery rate under different cache sizes

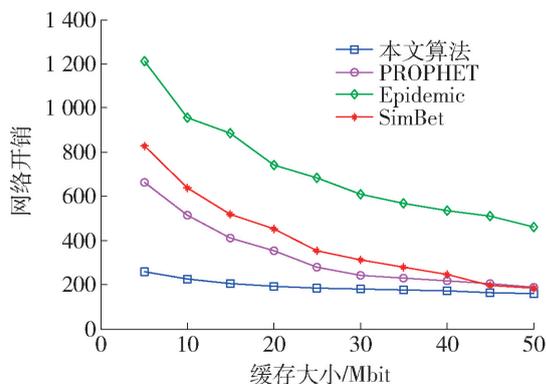


图7 不同缓存大小下网络开销的比较

Fig. 7 Comparison of different cache size overhead of the network

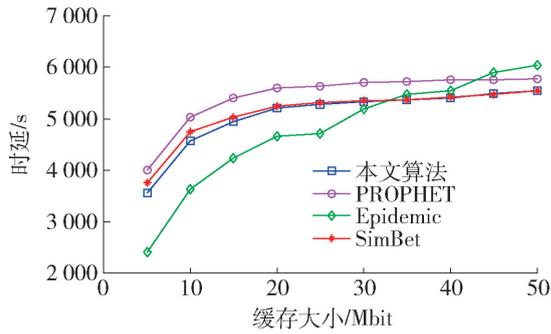


图8 不同缓存大小时延的比较

Fig.8 Comparison of delay under different cache size

消息的成功传输率随缓存变化情况如图6所示。可以看出,4种路由算法的投递率均随缓存大小增加而增加。本文提出的路由算法较Epidemic路由算法大约有14.8%的性能提升;较SimBet路由算法大约有10.24%的性能提升;较PROPHET路由算法在消息成功投递率上大约有7.1%的提升。

图7描述了网络开销随缓存变化情况,可见,4种路由算法的网络开销均随缓存变化的增加而减小,最终逐渐趋于稳定。由于本文的算法对消息的副本数进行了限制且在消息传递方向上具有导向作用,从而避免了消息副本数过度增加以及无向传递带来的巨大的额外网络开销。所以在网络开销的性能上,本文提出的算法较PROPHET路由算法在网络开销上平均降低了40.11%,较Epidemic路由算法在网络开销上平均降低了69.19%,较SimBet路由算法平均降低了52.03%。

图8描述了4种路由算法的时延均随缓存空间大小的增加而增加。本文提出的算法与PROPHET、SimBet路由算法在时延指标上性能基本一致,从图中看出,本文提出的路由算法在时延指标上较PROPHET路由算法降低了大约2%;与Epidemic算法相比,在缓存空间较小时,本文提出策略的性能略低于Epidemic,但随着缓存大小的增加,Epidemic算法性能呈下降趋势,延时性能比本算法差。

5 结论

1) 针对DTN中社区划分的路由策略算法存在孤立节点数较多,进而影响整个网络性能问题,借助线图知识,提出了一种基于线图的社区划分策略。

2) 利用社区内、社区间节点联系紧密程度不同等特性,制定了相应的消息路由策略。仿真结果表明:本文所提出的社区划分算法,可以有效地减少网络中孤立节点存在的数量,且在没有增加网络时延

的情况下,对整个网络的性能有了进一步的提升。

参考文献:

- [1] WANG Bo, HUANG Chuan-he, YANG Wen-zhong, et al. Trust opportunistic routing protocol in multi-hop wireless networks [C] // 2010 IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Information Security. Beijing: IEEE, 2010: 563-567.
- [2] 郭航,王兴伟,黄敏,等. 容延容断网络研究及进展 [J]. 计算机科学, 2010, 37(11): 12-18.
GUO Hang, WANG Xing-wei, HUANG Min, et al. Delay/disruption tolerant network [J]. Research and Development of Computer Science, 2010, 37(11): 12-18. (in Chinese)
- [3] 林闯,董扬威,单志广. 基于DTN的空间网络互联服务研究综述[J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(5): 931-943.
LIN Chuang, DONG Yang-wei, SHAN Zhi-guang. Overview of the research on the Internet service of space network based on [J]. DTN Computer Research and Development, 2014, 51(5): 931-943. (in Chinese)
- [4] GROSSGLAUSER M, TSE D. Mobility increases the capacity of ad-hoc wireless networks [C] // Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Anchorage: IEEE, 2001(3): 1360-1369.
- [5] RAMANATHAN R, HANSEN R, BASU P, et al. Prioritized epidemic routing for opportunistic networks [C] // Proceedings of the 1st International MobiSys Workshop on Mobile Opportunistic Networking. New York: ACM, 2007: 62-66.
- [6] 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.
- [7] DALY E, HAAHR M. Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs [C] // Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Network and Computing. Montreal: ACM, 2007: 32-40.
- [8] 张振京,金志刚,舒炎泰. 基于节点运动预测的社会性DTN高效路由[J]. 计算机学报, 2013(3): 626-635.
ZHANG Zhen-jing, JIN Zhi-gang, SHU Yan-tai. Social DTN efficient routing based on node motion prediction [J]. Journal of Computers, 2013(3): 626-635. (in Chinese)
- [9] WANG Yun-sheng, WU Jie. Social-tie-based information dissemination in mobile opportunistic social networks [C] // 2013 IEEE 14th International Symposium and

- Workshops on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. Madrid: IEEE, 2013: 1-6.
- [10] LU Zong-qing, WEN Yong-gang, CAO Guo-hong. Community detection in weighted networks: algorithms and applications [C] // 2013 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. San Diego: IEEE, 2013: 179-184.
- [11] 万里, 廖建新, 朱晓民. 一种动态网络社区划分算法[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(2): 285-290.
WAN Li, LIAO Jian-xin, ZHU Xiao-min. A dynamic network community division algorithm [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2011, 37(2): 285-290. (in Chinese)
- [12] 朱铁英, 崔艳茹, 李童, 等. 基于社会性的 DTN 网络路由算法研究[J]. 计算机工程, 2012, 38(14): 96-98.
ZHU Tie-ying, CUI Yan-ru, LI Tong, et al. Research on DTN network routing algorithm based on social [J]. Computer Engineering, 2012, 38(14): 96-98. (in Chinese)
- [13] EVANS T S, LAMBIOTTE R. Line graphs, link partitions, and overlapping communities [J]. Physical Review E, 2009, 80(1): 016105.
- [14] WANG Kun, HUANG Guo, WU Meng, et al. An Efficient Routing Algorithm Based on Social Awareness in DTNs[C]//IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). Dresden: IEEE, 2013: 1-5.
- [15] 施伟. 复杂网络中层次重叠社区发现算法研究[D]. 重庆: 重庆大学通信与信息工程学院, 2013.
SHI Wei. Hierarchical overlapping community discovery algorithm in complex network research [D]. Chongqing: School of Communication and Information Engineering, Chongqing University, 2013. (in Chinese)
- [16] LI Q, GARCIA-LUNA-ACEVES J J. Opportunistic routing using prefix ordering and self-reported social groups [C] // 2013 International Conference on Computing, Networking and Communications. IEEE, 2013: 28-34.
- [17] KERÄNEN A, OTT J, KÄRKKÄINEN T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation [C] // Proceedings of the 2nd international conference on simulation tools and techniques. Brussels: Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, 2009: 55-57.
- [18] The 25th Conference on Computer Communications Sponsored by IEEE Communications Society [EB/OL]. [2014-10-20]. <http://infocom2006.ieee-infocom.org/>.
- [19] 张振宇, 张珍, 杨文忠. 复杂网络中重叠社区检测[J]. 计算机工程与科学, 2013(12): 76-83.
ZHANG Zhen-yu, ZHANG Zhen, YANG Wen-zhong. Overlap in complex network community detection [J]. Computer Engineering & Science, 2013(12): 76-83. (in Chinese)
- [20] 黄发良, 肖南峰. 基于线图与 PSO 的网络重叠社区发现[J]. 自动化学报, 2011, 37(9): 1140-1144.
HUANG Fa-liang, XIAO Nan-feng. Based on line graph and PSO's network of overlapping communities found [J]. Automation Journal, 2011, 37(9): 1140-1144. (in Chinese)
- [21] AHN Y Y, BAGROW J P, LEHMANN S. Link communities reveal multiscale complexity in networks [J]. Nature, 2010, 466: 761-764.
- [22] ZHU Kong-lin, LI Wen-zhong, FU Xiao-ming. Smart: A social and mobile aware routing strategy for disruption tolerant networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2014, 1: 3423-3434.

(责任编辑 杨开英)