

# 基于分组的DTN路由协议

杨帆 来嘉哲

(中国人民解放军装备学院研究生管理大队 北京 101416)

**摘要:** 在DTN中,节点没有长时间端到端的链接,所以为了在长时间间歇性链接的环境下提供可靠的数据传输,就需要中继节点来进行数据包的存储和转发。充足的缓存空间和能源是保证DTN网络正常运行的关键,而DTN网络节点的分散性使此条件很难实现,因此,提出一种基于分组的路由协议(group based protocol for DTN,GBP),它只通过本地信息引导数据包副本到达目的节点,旨在传播少量数据包来减少网络开销。先介绍了GBP协议的原理,然后用ONE(opportunistic network environment)仿真软件对Epidemic协议,Spray and Wait协议,PRoPHET协议,MaxProp协议和GBP协议进行仿真对比,在交付成本、成功投递率、网络平均延时3个方面进行对比分析,得出GBP协议具有更好的性能。最后指出了存在的不足并提出改进措施。

**关键词:** DTN;路由协议;分组;仿真

**中图分类号:** TP393.04 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.1099

## Groups based protocol for DTN

Yang Fan Lai Jiazhe

(Company of Postgraduate Management, Equipment Academy, Beijing 101416, China)

**Abstract:** In DTNs, nodes do not have end-to-end connections for long periods of time. Therefore, in order to provide reliable communications in the intermittent connection environment, intermediate nodes are required to store data packets for long periods of time. Enough buffer capacities and energy is the key to work of DTN network. The dispersion of nodes to make it difficult to implement, in this paper, we propose a social grouping based protocol(GBP) among the network nodes to maximize data delivery ratio while minimizing network overhead by efficiently spreading the packet copies in the network. Firstly, we introduce the principle of GBP, then using Opportunistic Network Environment (ONE) -simulation software to compare the performance of Epidemic algorithm, Spray and Wait algorithm, PRoPHET algorithm, MaxProp algorithm and GBP. By comparing packet delivery cost, rate of messages delivered and average delay, it finds that the GBP performs better. At last, the weaknesses of this paper and further improvement are also discussed.

**Keywords:** DTN; routing protocol; group; simulation

## 1 引言

Fall等人于2004年提出了延迟容忍网络(delay tolerant network,DTN)的概念<sup>[1]</sup>,它与移动自组织网络类似<sup>[2-3]</sup>但应用更加广泛,DTN是未来网络研究的方向,在军事、环境保护、航空航天、深空探测、灾难监测及救援和偏远地区网络基础设施建设等方面具有很高的实用价值<sup>[4]</sup>。但其高延迟、间歇性连接等特点给传输协议的设计带来了巨大的挑战。所以,如何根据DTN的特点,设计合理有效的路由算法,成为DTN研究的关键。DTN路由协议采用尽力传输的原则来转发数据,最大化消息传输的成功率,以最

大化DTN的整体性能。但如基于机会转发的Epidemic协议和Spray and Wait协议等虽成功率高但是网络开销巨大,节点负荷较大,也有如PRoPHET协议等基于预测的路由协议,由于处理数据较多,网络开销仍然较大<sup>[5]</sup>。利用网络自身节点分组,并引入“接触度”的概念,在消息的生存时间内,使得在保证消息传输成功率的基础上网络开销大幅减少,拓展路由协议的应用范围。

## 2 GBP路由协议说明

GBP是一种基于社会分组的路由协议,应用“存储-转发”机制进行通信,此协议简便并适用于任意运动节点,而

其他协议在特定节点密度或移动模型下,需要复杂的协议来预测相遇。如果某两个节点之间的连接要比与其他节点之间的连接频繁,则将这两个节点归于同一个社会组,比如城市中的出租车公司,行驶在马路上可以相遇,休息时间在停车场时也能够互相连接,而不同出租车公司的只能在马路上相遇建立连接。所以,可以认为同一公司的出租车有较强的社会联系性,不同公司的有较弱的社会联系性。以前的DTN路由协议大多使用包容性的社会指标,即通过包含具有很强社会联系性的节点来预测从源节点到目的节点的路径。这种方法的缺点是必须广泛地收集网络信息来更好的预测到目的节点的路径。采用一种独特的指标减少网络信息的收集,同时还能够提升性能指标。

节点在同一个社会组中频繁的连接,并且期望与其他组中的节点有相同的社会关系,每一个节点作为所在组的代表,将它的数据包分发到其他组。有时节点向另一节点发送数据包副本往往是从一个组发送给另一个组,所以,本文认为同一组中保存相同副本是没有意义的。

假设*i*和*j*同属一组,即 $G(i) = G(j)$ ,则*i*和*j*的接触率为 $\lambda_{ij}$ ; *i*和*k*不属于同一组,即 $G(i) \neq G(k)$ ,*i*和*k*的接触率为 $\lambda_k$ ,并且 $\lambda_{ij} \gg \lambda_k$ ,假设节点*i*生成一个生存时间TTL为 $l_m$ 的信息*m*,需要传送于另一组的节点*d*。有一组节点 $N_m$ 接收到*m*的副本,信息*m*的副本还有 $RT_m$ 的时间到期。假设每个节点缓存空间足够大,那么,生存时间TTL到期是信息*m*被删除的唯一标准。有可能*m*的生存时间即将到期,而且所有缓存中保留有信息*m*副本的节点在 $RT_m$ 时间内也没有遇到目的节点,则信息不能成功交付。假设在生存时间到期之前信息*m*的副本可以成功交付,但信息*m*还没有成功送达目的节点,则消息*m*将被送达的概率:

$$P_d = 1 - \prod_{n \in N_m} e^{-\lambda_n RT_m} \quad (1)$$

如图1所示,假设一个小型网络组由9个节点组成,每3个节点为一组。节点的移动是随机的,并且两个节点直接接触率呈指数分布,接触率越大,成功交付率越高;副本数量越少,交付率越高。假设消息*m*由A组的节点“1”生成,传递给B组的节点“6”,节点“1”事先知道节点“6”不在A组,但不知道它属于哪一个组,则其路由策略有两种可能:

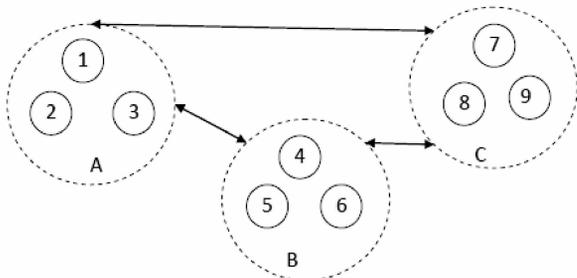


图1 3个分组的网络结构

- 1)转发消息副本给A组的一个节点;
- 2)转发消息副本给除A组的其他组的一个节点。

第1种情况,转发给A组的另一个节点“2”后,A组有同一个信息的两个相同副本( $N_m = \{1,2\}$ )。假设A组节点遇到B组的节点的概率都相同,即A组的信息副本被传送到B组节点“6”的概率相同,则:

$$P_A = 1 - e^{-(2\lambda_{1,6})RT_m} \quad (2)$$

第2种情况下,节点6可能属于B组,也可能是C组,由于节点“1”不知道节点“6”属于哪一组群,所以信息副本被传送到这两个组的概率相同,假设它在B组中遇到节点“4”或在C组中遇到节点“7”,由于二者不在同组,所以只能给其中一个发送消息副本,这种情况下,信息被传送的概率是:

$$P_{BorC} = 1 - (0.5e^{-(\lambda_{1,4}+\lambda_{1,6})RT_m} + 0.5e^{-(\lambda_{1,6}+\lambda_{1,7})RT_m}) \quad (3)$$

假设节点“6”“7”接触率约等于节点“1”“6”的接触率,并且节点“4”“6”的接触率大于节点“1”“6”的接触率,那么:

$$(0.5e^{-(\lambda_{1,4}+\lambda_{1,6})RT_m} + 0.5e^{-(\lambda_{1,6}+\lambda_{1,7})RT_m}) \approx (0.5e^{-(\lambda_{1,6})RT_m} + 0.5e^{-(2\lambda_{1,6})RT_m}) \ll e^{-(2\lambda_{1,6})RT_m} \quad (4)$$

因此,传递不同组之间复制消息的交付概率比同组之间复制消息的交付概率大。为实现该协议,节点应该知道哪些节点和它属于一个组,哪些不属于一个组,引入“接触度”来衡量节点之间的联系程度,节点*a*,*b*接触越频繁,接触度越大;距离最后一次接触时间越长,接触度越小。两节点接触时,更新接触度,有:

$$\Gamma_{ab} = (\Gamma_{a,b})_{old} \gamma^k + (1 - (\Gamma_{a,b})_{old}) \alpha \quad (5)$$

$\Gamma_{ab}$ 是节点*a*和节点*b*之间的接触度;  $(\Gamma_{a,b})_{old}$ 是上一次的接触度;  $\alpha, \alpha \in (0, 1]$ 是更新因子;  $\gamma, \gamma \in (0, 1]$ 是老化因子, *k*是自节点*a*和*b*相遇经过的时间单位数。

设置初始状态 $\Gamma_{ab} = 0$ ,随时间推移,由于节点的行动不同节点之间会发生接触,每次接触时,参与接触的节点更新接触度,每个节点都包含一个接触度的库,该库记录了这个节点与其他节点接触的接触度。一段时间之后,节点将接触的节点的组别进行分类(判断是否属于同组),分类的依据是地图尺寸和节点速度,如果节点增加或减少接触频率,分类可能会改变。

数据包根据跳数进行排序,跳数少的数据包优先传送,跳数多的数据包最后传送,这种机制能够促进新生成的数据包在网络中的传播,并且假定具有较高跳数的数据包送达目的节点的概率较低。具体描述如下:

1)每个数据包都有一个唯一的ID,这个ID在数据包以及其复本中都存在,除非它们被丢弃或者被传送到目的节点。所有数据包的ID信息均被保存在一个叫做概要矢量的缓存中。

2)节点*a*和节点*b*之间有接触度 $\Gamma_{ab}$ ,根据上述公式,接触越频繁,接触度越大。除非肯定要传送的节点或不管接触度高低的节点,则两节点基于接触度决定是否向对方发生数据包。

3)两个节点在传送数据包之前,要先交换它们的概要

矢量,肯定要被传送到其他节点的数据包放置于传送队列的前端,其他节点的数据包则基于跳数进行排序,因此,跳数少的数据包会优先传送。

4)只有当接触度小于连接阈值时,那些不会被传送到其他节点的数据包才会被传送,表示两个节点不属于同一组,此外,数据包利用二进制 SnW 机制限制副本数量,接触时间内数据包持续传送。

5)数据包传送后,如果接触度大于下降阈值,那么该数据包会被丢弃,保证传送节点和接收节点不在同组中。

6)如果接收节点缓存溢出,则缓存中跳数最大的数据包就会被丢弃,释放存储空间接收传送的数据。

### 3 仿真环境

#### 3.1 仿真软件

ONE<sup>[6]</sup>是由芬兰 Nokia 研究中心基于 Java 开发的用于延迟容忍网络研究的仿真平台,它是一个开源的仿真平台,其核心是基于代理的离散事件仿真引擎,集运动模型、路由仿真以及可视化和报告于一体如图 2 所示。

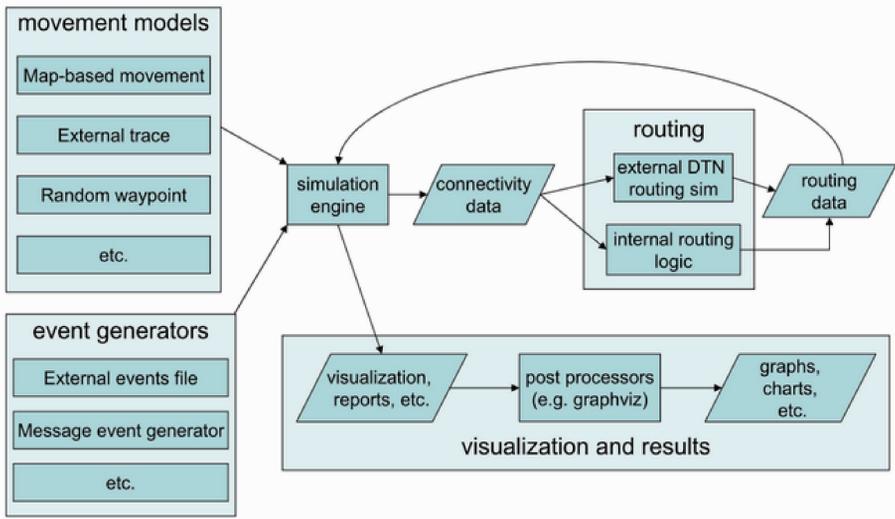


图 2 ONE 模拟器原理

report 包:用来导出符合自己要求类型的报告。

routing 包:用来指定消息的路由策略,ONE 仿真平台内置了 6 种典型的路由协议可供选择。

movement 包:用来指定节点的移动模型,ONE 支持的移动模型有 3 类:有随机模型、基于地图的随机模型、基于人类行为的模型。

input 包:继承 External Event 的消息实体类,基本为每个消息对应一个实体。

core 包:包括一些核心的类和核心的接口。

#### 3.2 仿真场景设置

本文对 GBP 协议进行仿真实验,验证其性能,选取以下 4 种协议与其进行仿真对比:

1)Epidemic<sup>[7]</sup>协议是一种基于泛洪的路由协议,原理是两节点随机相遇,互相交换对方没有的信息。优点是交付率高,但是缺点也很明显,其网络开销巨大。

2)Spray and Wait<sup>[8]</sup>协议是用两个阶段来实现消息交付,Spray 阶段,源节点向网络中发布固定数目的消息;Wait 阶段,如果消息副本在 Spray 阶段没有发现目的节点,那么携带消息副本的节点执行直接传输来传递消息。优点是网络开销较小,缺点是交付率较低。

3)PROPHET<sup>[9]</sup>协议是一种基于概率预测的协议,定义一个可预测参数的概率度量,节点成功交付率越高,度

量值越大,相反越小。两节点相遇时,根据度量值大小进行预测,以此判断是否转发此消息。优点是传输成功率较高,缺点是传输延迟较大。

4)MaxProp<sup>[10]</sup>协议的核心是每个节点维护一个数据分组队列,按照队列传输或删除数据分组,该队列是依据各数据分组到其目标节点传输开销排列的。该协议性能较为均衡。

以上 4 种协议为 DTN 协议中较为典型并且研究较多的协议,能够较客观地反映 GBP 协议的性能。

仿真环境设置为某市街区(4 500m×3 400m)。假设所有节点随机移动,速度为 0.5~1.5m/s,通过蓝牙以 250 KB/s 的速率传递消息,节点传输距离是 10 m,节点数量设置为 50,节点每 25~35 s 生成一个 500 KB~1 MB 大小的新消息,消息寿命为 18 000 s。每个协议仿真运行时间 43 200 s。

仿真节点从初始位置到目标位置以地图指示的最短路线运动,以不同节点数量进行仿真,获得以下 3 个数据,用于比较上述 4 个协议的性能。

消息交付成本,指网络中一定时间内节点转发消息的数量与成功交付消息数量的比值。体现了节点成功交付一个消息所付出的代价;成功投递率,成功发送消息的数量与产生消息总数的比值,成功投递率是极为重要的 DTN

路由协议评估指标之一,体现了消息成功投递到目的节点的比率;网络平均延时,所有成功发送消息时间延迟的平均值。体现了消息的实时性,延时越小,实时性越强,延时的大小直接影响到DTN网络的可用性和应用范围。

### 4 仿真结果及分析

仿真结果见图3~5。图3是随节点缓存容量的增加消息交付成本的平均值。由该图分析得出:各协议交付成本与缓存容量基本无关,Epidemic协议的交付成本最大,MaxProp协议、ProPHET协议和Spray and Wait协议的交付成本次之,GBP的交付成本最小。证明GBP协议在网络中节点利用率较高。

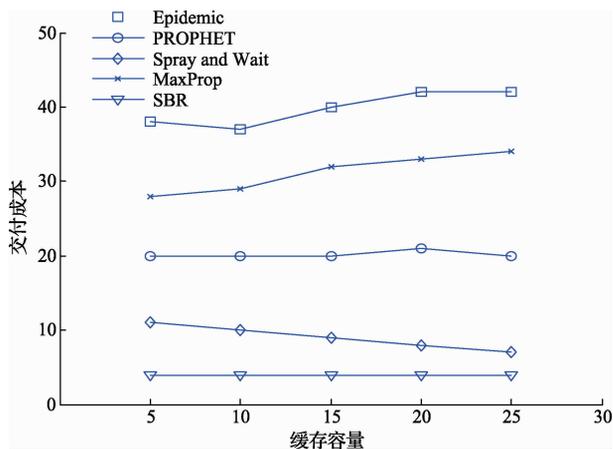


图3 交付成本和缓存容量

图4是各协议随缓存容量增加成功投递率的变化量。由该图分析得出:Epidemic协议随节点数量增加成功投递率相对较小,PROPHET协议和Spray and Wait协议成功交付消息的比率相差不大并且趋势大致相同,GBP协议总体的成功投递率稍高于其他。证明GBP协议综合成功投递率比其他4种协议更高。

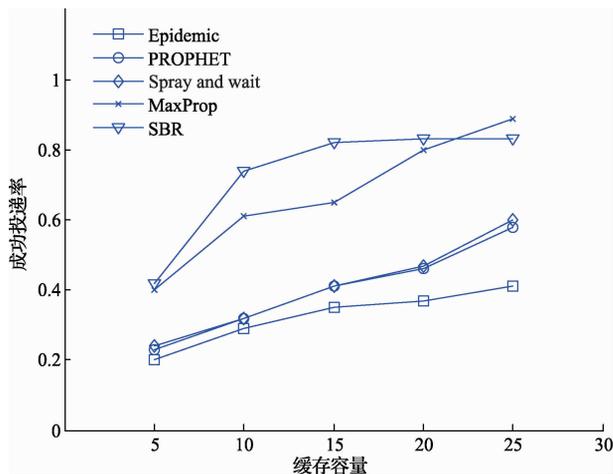


图4 成功投递率和缓存容量

图5是协议随节点缓存容量的增加网络平均延时的增加量。由该图分析得出:PROPHET协议随缓存容量增加延时基本不变,在相同节点缓存容量的条件下,GBP协议的网络平均延时明显小于其他4种协议。证明GBP协议的网络平均延时比其他4种协议小。

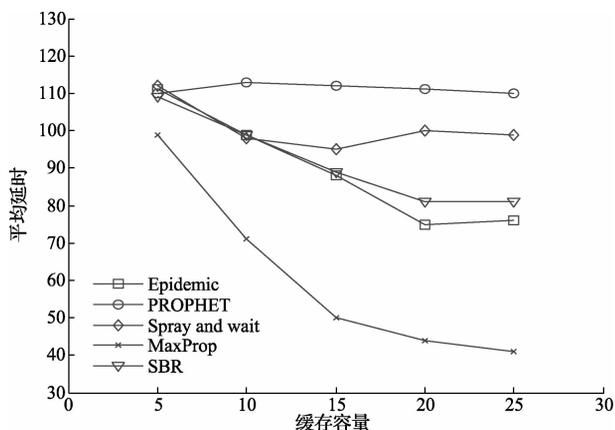


图5 网络平均延时和缓存容量

### 5 结论

本文提出一种基于社会分组的路由协议并对其进行验证,此协议通过本地信息引导数据包副本到达目的节点,旨在传播少量数据包来减少网络开销,将GBP协议与Epidemic协议、Spray and Wait协议、PROPHET协议和MaxProp协议在传递成本、成功投递率、网络平均延时3个方面进行仿真对比,分析仿真结果,发现在不同缓存容量的节点中GBP协议的性能良好。

本文提出并验证了该协议的性能,但还需进一步研究,比如:选取的协议虽然比较典型,但不能代表所有的DTN协议,存在一定的片面性;仿真环境设置为相遇即传输,但在实际生活中可能会遇到天气、建筑物等影响,不能达到文中所设置的理想环境。改进措施:增加对比协议的数量,更加客观地反应此协议的性能;尽量完善仿真环境,使其更加接近真实的环境。

### 参考文献

- [1] 闫小荣, 彭伟, 宋子明. 基于消息摆渡的DTN路由协议性能评估[J]. 计算机应用研究, 2010(08): 3120-3126.
- [2] 张建军, 李宁, 刘征宇, 等. 一种分布式车联网路由恢复方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 27(3): 255-261.
- [3] 何明, 陈秋丽, 陈希亮, 等. 鱼群启发的三维Ad hoc网络节点随机移动优化模型[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(12): 2826-2834.
- [4] 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(5):

- 931-943.
- [5] 谢孟昊, 屈玉贵, 赵保华. DTN网络中 PROPHET路由协议的改进[J]. 小型微型计算机系统, 2010(1): 40-44.
- [6] 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. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2009: 55.
- [7] 孙践知, 张迎新, 陈丹, 等. 具有退避机制的 Epidemic路由算法[J]. 计算机工程与科学, 2013, 35(3): 66-71.
- [8] LIU J, TANG M, YU G. Adaptive spray and wait routing based on relay-probability of node in DTN [C]//2012 International Conference on Computer Science & Service System (CSSS). IEEE, 2012: 1138-1141.
- [9] 王艳玲, 秦拯, 陶勇. 基于 PROPHET路由算法的缓冲区管理[J]. 计算机工程, 2012, 38(14): 76-78.
- [10] SADAT M, MOHIUDDIN M T. An improved MaxProp based on neighborhood contact history for Delay Tolerant Networks [C]//2013 16th International Conference on Computer and Information Technology (ICIT). IEEE, 2014: 287-291.

### 作者简介

杨帆, 在读硕士生。主要研究方向为延迟容忍网络路由协议, 计算机网络仿真等。  
E-mail: 954453160@qq.com

(上接第112页)

### 参考文献

- [1] 应欢, 王少平. 提高脉冲激光测距精度的方法研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(10): 25-28.
- [2] 谭威, 曾文峰, 王小兵, 等. 激光测距机脉宽测量技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 37(4): 61-63.
- [3] 权贵秦, 郝睿鑫, 于洵. 一种室内标定激光测距准确度方法的研究[J]. 红外与激光工程, 2013, 32(9): 42-45.
- [4] 刘辉, 王伯雄, 任怀艺, 等. 基于三维重建数据的双向点云去噪方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(1): 1-7.
- [5] 杨必胜, 魏征, 李清泉, 等. 面向车载激光扫描点云快速分类的点云特征图像生成方法[J]. 测绘学报, 2010, 39(5): 540-545.
- [6] 托雷, 康志忠, 谢远成, 等. 利用三维点云数据的地鐵隧道断面连续截取方法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2013, 38(2): 171-175.
- [7] 黄武煌, 王厚军, 叶芄. 一种高速全波形采集与高精度定位技术研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(1): 73-79.
- [8] LETALICK D, LARSSON H. High range resolution laser scanner with full waveform recording[J]. Proc. of SPIE, 2010, 7835.
- [9] 王国星, 马冲, 魏志芳. 激光测距中微弱激光辐射测量技术[J]. 电子测量技术, 2012, 35(9): 113-115.
- [10] 王晓冬. 高频脉冲激光测距接收系统设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2009(5).
- [11] 杨洋. 脉冲激光测距雷达回波信号统计特性研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.

### 作者简介

陈小宇, 工学博士, 副教授, 硕士生导师。主要研究方向为光电信号检测、信号与信息处理、嵌入式系统及应用。  
E-mail: chenxiaoyu@phy. ccnu. edu. cn