

机会网络中基于邮驿站的数据传输方案及性能评估

蒋凌云^{1,2}, 孙力娟^{1,2}, 王汝传^{2,3}, 徐 佳^{1,2}, 郑竹梅¹

(1 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003; 2 江苏省无线传感网高技术研究重点实验室, 江苏 南京 210003;

3 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210003)

摘 要: 在机会网络中, 由于节点移动、网络稀疏或信号衰减等各种因素通常导致形成的网络大部分时间不连通, 传统的无线网络传输模式无法适用于这类环境. 本文提出了一种适用于机会网络的基于固定基础设施邮驿站的数据传输方案(mail-relay transfer scheme, MRTS), MRTS 由部署阶段和转发阶段组成, 通过对节点历史相遇信息的统计分析, 利用贪婪算法找到最佳的邮驿站部署位置, 根据节点相遇概率和节点剩余存储空间来决定如何转发消息. 仿真结果表明, MRTS 可以有效地提高消息传输率.

关键词: 机会网络; 固定邮驿站; 消息转发; 基础设施辅助路由

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)11-0033-05

Performance Evaluation of Mail-relay Transfer Scheme in Opportunistic Networks

JIANG Ling-yun^{1,2}, SUN Li-juan^{1,2}, WANG Ru-chuan^{2,3}, XU Jia¹, ZHENG Zhu-mei¹

(1 College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2 Jiangsu High Technology Research Key Laboratory for Wireless Sensor Networks, Nanjing 210003, China;

3 Key Lab of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology of Ministry of Education,
Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: In opportunistic networks, nodes form a disconnected network for most of the time due to the nodal mobility, low density, lossy link, etc. Conventional wireless network's protocols are not suitable for intermittently connected networks because they assume that a complete path exists between a source and a destination. This paper presents a novel routing scheme in opportunistic networks called Mail-Relay Transfer Scheme (MRTS), which includes deploying-phase and transfer-phase. MRTS deploys fixed mail-relay according to collection of historical information by greedy algorithm and judges how to transfer messages according to the meeting probability and remaining storage spaces of nodes. Simulation results show that MRTS can effectively improve message delivery ratio.

Key words: opportunistic networks; fixed mail-relay; message forwarding; infrastructure assistant routing

1 引言

机会网络利用节点移动形成的通信机会逐跳传

输数据, 以“存储—携带—转发”的模式实现节点间通信^[1]. 在机会网络中, 数据传输方案一直是一个很大的挑战, 目前典型的数据传输方法分为无基础设

收稿日期: 2012-05-15; **修回日期:** 2012-06-16

基金项目: 国家自然科学基金(61100199); 江苏省高校自然科学基金基础研究项目(10KJB520014); 南京邮电大学引进人才项目(NY210077); 东南大学计算机网络和信息集成教育部开放研究基金(K93-9-2010-13); 南京大学计算机软件新技术国家重点实验室项目(KFKT2011B20); 江苏省博士后科研计划项目(1101126c); 淮安市科技项目(HAG2010049); 江苏高校科技创新计划项目(CXLX120482)

施的数据传输方法(例如直接传输(Direct Delivery)协议^[2]、传染转发(Epidemic Forwarding)协议^[3]、基于概率(Prophet)算法^[4]、喷雾等待(Spray and Wait)协议^[5]等)和基础设施辅助的数据传输方法(例如信息站(Infostations)协议^[6]、基于抛掷盒的数据转发方法(throwboxes)^[7]等)两大类。无基础设施的数据传输方法通常认为网络中所有节点均为同构的,利用节点的接触机会采用不同的策略进行数据转发,消息传输时延较长,能量消耗较大;基础设施辅助的数据传输方法通过引入功率和存储能力较大的设备增加移动节点间的传输机会和网络容量,以节省移动节点的能量,加快消息转发效率。在本文中,引入了一种固定基础设施——邮驿站,将其放置在移动节点组成的机会网络中提高消息传输性能。

2 MRTS 方案

在本文中假设网络中存在两种类型的节点,一种是普通的移动节点,在移动的过程中对环境数据进行采集,所有的移动节点都可以成为源节点和目的节点,另一种类型是邮驿站节点,邮驿站不作为源节点或目的节点,而只作为中转站,邮驿站间不可通信(邮驿站仅与节点通信),且假设邮驿站被部署到固定的位置并有足够的能源供应(例如为邮驿站配备太阳能等可再生能源)。邮驿站需要先部署再使用,一旦部署后,邮驿站位置不再变化。下面将重点分析显著影响消息传输性能的邮驿站部署和数据转发方案。

2.1 部署方案

在本文中,邮驿站和节点均以圆表示,文中所指的节点位置和邮驿站位置均表示圆心的位置。在一个连续区域内要解决部署问题是很困难的,因为邮驿站可以被部署在无限多个位置。所以,本文中近似地将整个区域划分成网格元,然后将邮驿站放置在这些网格元的中心,如图1所示(当网格元很小的时候,它将是一个很好的近似方法)。在图1中, W_A 表示网络区域A的最宽宽度, H_A 表示网络区域A的最长高度, dia 表示网格的边长,其取值为邮驿站的通信直径。通过将邮驿站部署在通信量大的网格中,增加移动节点接触机会。

接下来详细阐述部署方案。 L 表示可能部署邮驿站的位置。 s 表示部署的邮驿站,其中 s_l 表示放置在位置 l 的邮驿站的数量, $l \in L$ 。在本文中,不考虑邮驿站的能量限制,在同一个位置部署多个邮驿站是没有必要的,因此 s_l 的取值只有0和1。 $G_{w_i, w_j}^{h_i, h_j}$ 表示

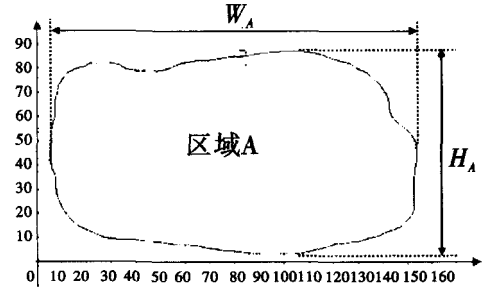


图1 划分区域网格元示意图

网格 $w_i, w_j - h_i, h_j$ 间的总流量,其中 $0 \leq w_i < \lceil W_A / dia \rceil$, $0 < w_j \leq \lceil W_A / dia \rceil$, 且 $w_j = w_i + 1$, 相似的, $0 \leq h_i < \lceil H_A / dia \rceil$, $0 < h_j \leq \lceil H_A / dia \rceil$, 且 $h_j = h_i + 1$ 。在整个算法中,首先分别统计每一个网格的 $G_{w_i, w_j}^{h_i, h_j}$ 的大小,其值可以近似地通过统计每个网格中两个节点相遇的次数来计算,然后根据算法1对邮驿站进行部署。在算法1中,把满足条件的 m 个邮驿站位置依次保存在 M 中,不满足条件的位置保存在 N 中。最初,没有部署任何邮驿站,即对于所有的 $l \in L$ 都有 $s_l = 0$, $M = \Phi$, $N = \Phi$ 。接下来,在 L 中找到最大的 $G_{w_i, w_j}^{h_i, h_j}$ 所在位置 L_h 。算法将把 L_h 从 L 中删除,如果 L_h 到 M 中所有位置的距离都大于2倍 dia ,则将邮驿站部署位置 L_h 保存在 M 中(这样处理的目的是防止邮驿站部署过于集中),否则把 L_h 保存在 N 中,在 L 中继续查找最大的 $G_{w_i, w_j}^{h_i, h_j}$,再判断该位置是否满足部署条件,重复上述过程,直到 m 个邮驿站

算法1

```

1:  $S_l = 0, l \in L$ ;
2:  $M = \Phi; N = \Phi$ ;
3: while ( $|M| < m$ ) &  $L \neq \Phi$  do
4:   for all  $l \in L$  do
5:     find the position  $L_h$  of largest  $G_{w_i, w_j}^{h_i, h_j}$ ;
6:      $L = L - L_h$ ;
7:     for all  $l \in M$  do
8:       if (the distance of  $l$  and  $L_h$ )  $< 2 * dia$ 
9:          $N = N + L_h$ ;
10:        jump to line 4;
11:      endif
12:    endfor // 如果找出的部署位置距离已经
           部署的邮驿站太近,则重新选择
13:     $M = M + L_h$ ;
14:  endfor
15: endwhile
16: while ( $|M| < m$ ) do
17:    $N = N - L_h$ 
18:    $M = M + L_h$ 
19: endwhile //  $M$  中为  $m$  个邮驿站部署的位置

```

都被部署好. 如果没有 m 个位置满足条件, 则在 N 中找可部署的位置, 直到找到 m 个部署位置.

2.2 数据转发方法

在机会网络中, 由于使用的是“存储—携带—转发”的模式实现消息传递, 因此除了节点的移动方式, 节点的存储空间对消息传递也有重要的影响, 这是因为当节点存储空间有限时, 如果没有存储管理, 将导致部分消息因为没有存储空间而被强制丢弃, 从而浪费了传输资源. 因此本文在 PROPHET 协议^[4]的基础上提出了一种基于节点历史相遇信息和节点剩余存储空间的数据转发方案 Pro-Space, 具体描述如下.

首先定义了传送预测概率 $P(a, b)$. 传送预测概率 $P(a, b)$ 表明节点 a 能够发送信息到节点 b 的概率. 当两节点相遇时, 它们将相互交换各自的预测向量, 其中预测向量包含了该节点到达其它所有节点的传送预测概率信息. P_INIT 表示初始化常量, $P(a, b)_{old}$ 表示旧传送预测概率.

考虑到接收节点的存储空间, 定义存储空间比率为 B_i , 有

$$B_i = 1 - \frac{\text{节点 } i \text{ 已用存储空间}}{\text{节点 } i \text{ 总存储空间}} * P_INIT \quad (1)$$

节点将利用从另一节点接收到的预测向量来更新本节点上的旧预测向量信息. 具体实现分以下三步:

① 更新相遇的两节点 a, b 之间的传送预测概率, 更新方程如公式(2)和(3)所示:

在节点 a 上:

$$P(a, b) = P(a, b)_{old} * B_a + (1 - P(a, b)_{old} * B_a) * P_INIT \quad (2)$$

在节点 b 上:

$$P(b, a) = P(b, a)_{old} * B_b + (1 - P(b, a)_{old} * B_b) * P_INIT \quad (3)$$

② 如果一对节点在一段时间内没有相遇, 传送预测概率将要衰减. 衰减方程如公式(4)所示:

在节点 a 上:

$$P(a, b) = P(a, b)_{old} * \gamma^k \quad (4)$$

其中 γ 是衰减常数, k 表示衰减的时间间隔, 如果在 k 个时间单位内两节点没有相遇, 则两节点之间的传送预测概率要衰减.

③ 利用传送预测概率的传递性更新. 例如, 如果节点 a 经常遇到节点 b , 节点 b 又经常遇到节点 c , 那么, 节点 a 可以通过节点 b 将消息传递给节点 c , 即节点 a 能够发送信息到节点 c 的概率也不会

低. 具体的传递方程如公式(5)和(6)所示:

在节点 a 上, 针对于其他任何一个节点 c (不包含相遇节点 b):

$$P(a, c) = P(a, c)_{old} + (1 - P(a, c)_{old}) * P(a, b) * P(b, c) * \beta \quad (5)$$

类似的, 在节点 b 上, 针对于其他任何一个节点 c (不包含相遇节点 a):

$$P(b, c) = P(b, c)_{old} + (1 - P(b, c)_{old}) * P(b, a) * P(a, c) * \beta \quad (6)$$

其中 β 是传递系数, 反映了传递对于传送预测概率的影响大小.

进行完以上三步预测向量更新后, 两节点开始进行传送消息. 发送策略如下: 如果节点 a 在移动的过程中遇到节点 b , 对于本节点 a 上的每一条目的节点为 d 的信息, 如果 $P(b, d) > P(a, d)$, 则将消息转发给节点 b , 否则不进行转发. 由于假设邮驿站的存储空间为无穷大, 因此当节点遇到邮驿站时, 其转发概率为 1, 而邮驿站将消息转发给目标节点. 信息根据发送策略不断转发, 直到该信息到达目的节点.

3 性能评估

本文采用赫尔辛基科技大学网络实验室开发的离散事件模拟器 ONE 来完成 MRTS 数据传输方案的模拟分析^[8], 本文主要通过以下两个评价标准来度量数据传输方案的性能: 平均传输时延(从源节点开始发送数据报到目的节点接收到该数据报所花费的平均时间)、消息传输率(网络中所有节点生成并成功到达目的节点的消息数量, 与网络中生成的所有消息数量的比). 具体的模拟参数设置如下:

仿真区域大小为 $700\text{m} \times 450\text{m}$, 网络内普通节点做基于 RandomWaypoint 移动模型运动, 节点移动速度在 $0.5\text{m/s} \sim 1.5\text{m/s}$ 之间随机变化, 等待时间在 $0 \sim 20\text{s}$ 之间变化, 普通节点间通信带宽为 1000kbps , 所有节点的通信半径为 15 米, 节点以每 120s 随机均匀生成的消息, 消息大小在 $200\text{kB} \sim 500\text{kB}$ 之间随机变化, 消息的目的节点是网络内任意普通节点, 消息的 TTL 不做限定(设置成仿真时间). 邮驿站的参数设置如下: 邮驿站缓存空间为 2000M , 邮驿站的通信带宽为 1000kbps , 邮驿站的通信半径为 25 米. 邮驿站不作为消息的源端或目的端, 邮驿站只能与普通节点通信. 转发算法中 β 取值为 0.25, γ 取值为 0.98, P_INIT 取值为 0.75, 时间间隔的单位是 30 秒. 仿真软件运行系统界面如图 2 所示. 图 2 中 t 开头的是部署的邮驿站, p 开头的是

普通移动节点. 模拟仿真实验时间为 86200 秒, 消息产生前有 2000 秒的预热时间.

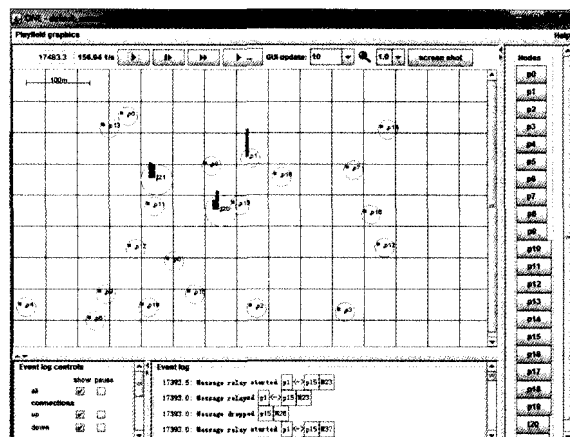


图 2 系统界面

3.1 邮驿站部署方案的可用性评估

为了对邮驿站及部署方案的可用性进行评估分别进行了两组实验. 在第一组实验中, 分别设置普通节点的数目为 10、20、30、40 个, 邮驿站数量分别为 0 个、普通节点数的 10%、20%, 普通节点的缓存空间为 3M; 邮驿站对消息传输率的影响如图 3 所示.

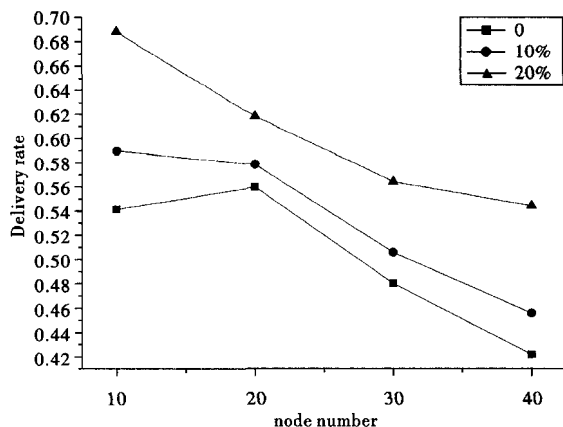


图 3 邮驿站对消息传输率的影响

从图 3 中可以看出, 使用邮驿站可以增强网络的消息传输率. 由于缓存空间较小, 随着节点数目增加, 其传输率有所下降.

在第二组实验中, 测试了随机部署邮驿站方案、最大流量部署方案(即不考虑邮驿站过度集中部署)和本文提出的部署方案, 邮驿站的数量是普通节点数量的 20%, 进行 10 次随机部署邮驿站方案进行求统计均值. 实验结果可以看出, 文中提出的部署方案可以相对较大程度地提高消息传输率. 由此可见, 本文给出的部署方案具有一定的实用性.

3.2 Pro-Space 数据转发方案性能评估

为了对 Pro-Space 数据转发方案的可用性进行评估分别进行了两组实验. 在第一组实验中, 分别设置普通节点的数目为 10、20、30、40 个, 邮驿站数量分别为 0 个、普通节点数的 20%, 普通节点的缓存空间为 3M, Prophet 和 Pro-Space 方案对消息传输率和平均传输时延的影响分别如图 4 和图 5 所示.

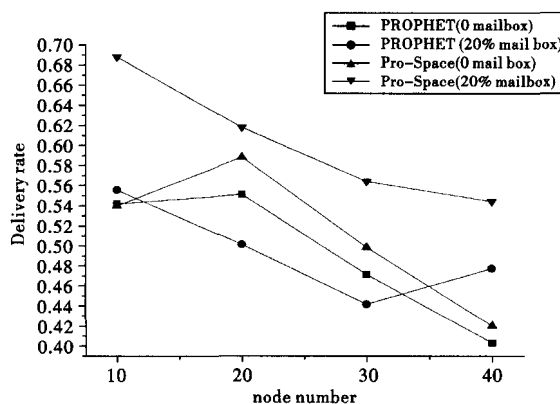


图 4 转发方案对消息传输率的影响

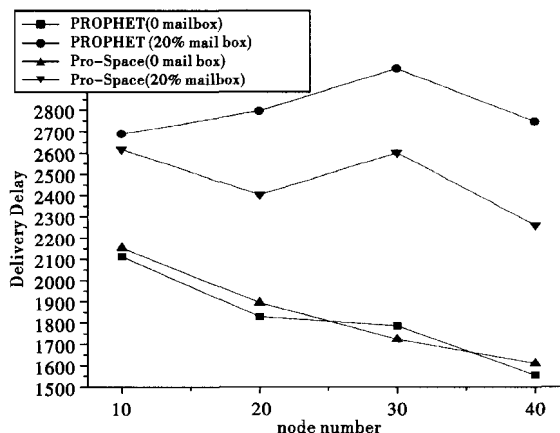


图 5 转发方案协议对平均传输时延的影响

在第二组实验中, 设置普通节点的数目为 20 个, 邮驿站数量分别为 0 个、普通节点数的 20%, 分别设置普通节点的存储空间为 1M、2M、3M、4M、5M、10M、20M、50M, 测试不同存储空间下 Prophet 和 Pro-Space 方案对消息传输率的影响. 实验结果如图 6 所示.

可以看出, 在不同的存储空间大小下, Pro-Space 方案可以在不同程度上提高节点的消息传输率. 随着节点存储空间的增大, 部署邮驿站的 Pro-Space 协议的时延在逐渐下降, 而不部署邮驿站的 PROPHET 协议的时延在逐渐上升. 当节点存储空间为 50M 时, 其时延比 PROPHET 协议低.

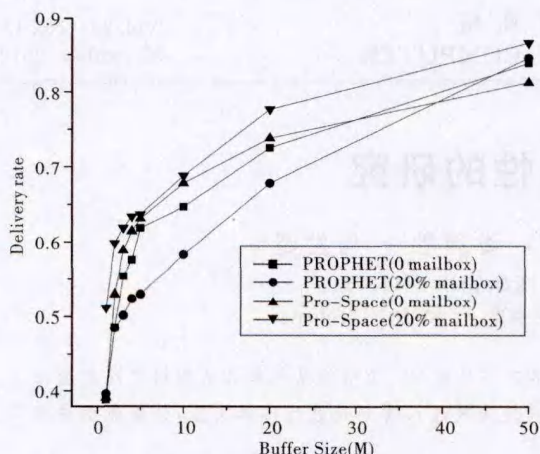


图6 节点存储空间对消息传输率的影响

4 结束语

本文提出了一种基于固定基础设施邮驿站的数据传输方案,主要讨论了邮驿站的部署方案和基于邮驿站的数据转发方法 Pro-Space. 通过仿真实验分析可知,相对于随机部署和仅考虑最大流量的部署方案,本文提出的部署方案可以提高消息传输率;相比于 PROPHET 协议,结合部署方案的 Pro-Space 数据转发方案可以显著的提高消息传输率. 本文中提出数据传输方案还在仿真阶段,希望不断完善该方案后可以运用到实际环境中,真正发挥效用.

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] Shah R, Roy S, Jain S, et al. Data MULEs: modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks[C] // IEEE SNPA Workshop. US, 2003: 30-41.
- [3] Vahdat, Becker D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks[R]. Durham: Duke University, 2000.
- [4] Lindgren A Doria, Schelén O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[C] // Mobile Computing and Communications Review. US, 2003: 19-20.
- [5] Khaled Harras, Kevin Almeroth, Elizabeth Belding-Royer. Delay tolerant mobile networks (DTMNs)[C] // Controlled Flooding Schemes in Sparse Mobile Networks. Canada: IFIP Networking, 2005: 1180-1192.

- [6] Goodman D, Borras J, Mandayam N, et al. Infostations: new perspectives on wireless data networks[R]. New Jersey: Rutgers University, 2000.
- [7] Wenrui Zhao, Yang Chen, Mostafa Ammar, et al. Capacity enhancement using Throwboxes in DTNs[C] // IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS). US, 2006: 31-40.
- [8] Keränen A, Ott J, Kärkkäinen T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation [C] // The 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques. Italy, 2009: 1-10.

作者简介:



蒋凌云 女, (1978—), 博士研究生, 讲师. 研究方向为分布式网络和传感器网络技术.



孙力娟 女, (1963—), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为无线传感器网络, 计算机软件在通信中的应用和信息安全.



王汝传 男, (1943—), 教授, 博士生导师. 研究方向为计算机软件、计算机网络和网络、对等计算、信息安全、无线传感器网络、移动代理和虚拟现实技术等.



徐佳 男, (1980—), 博士, 讲师. 研究方向为机会网络和无线自组织网络.