

机会网络典型路由算法性能分析

孙践知¹, 刘乃瑞², 张迎新¹, 韩忠明¹, 陈 丹¹

(1. 北京工商大学计算机与信息工程学院, 北京 100048; 2. 北京青年政治学院计算机系, 北京 100102)

摘 要:通过对真实城市场景中行人移动行为的仿真, 定量分析 First Contact、Direct Delivery、Epidemic、Spray and Wait、Prophet 和 MaxProp 6 种机会网络典型路由算法在不同场景下的性能。在仿真过程中, 以不同节点密度、不同节点移动模型和不同节点缓存大小设置多种场景, 从传输能力、传输效率、网络资源开销和节点能耗 4 个方面对路由算法进行分析和比较。实验结果表明, 节点移动模型、节点密度等因素会对路由算法产生显著影响, 各路由算法在不同的场景下性能差距较大, 每种算法都有其适用的特定场景。

关键词: 机会网络; 路由算法; 节点移动模型; 度量值

Performance Analysis of Typical Routing Algorithm in Opportunistic Network

SUN Jian-zhi¹, LIU Nai-rui², ZHANG Ying-xin¹, HAN Zhong-ming¹, CHEN Dan¹

(1. College of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. Department of Computer Science, Beijing Youth Politics College, Beijing 100102, China)

【Abstract】 Based on the simulation of human movement behavior in real city, this paper quantitatively analyzes six opportunistic network routing algorithms, such as First Contact, Direct Delivery, Epidemic, Spray and Wait, Prophet and MaxProp. In the simulation, different scenarios are set according to node density, node mobility model and the cache size of node. Delivery ratio, delivery delay, network overhead and energy consumption are selected to evaluate the performance of different routing algorithms. Experimental results show node mobility model, the network node density have significant impact on routing algorithms. Different routing algorithms perform better in some special scenarios.

【Key words】 opportunistic network; routing algorithm; node mobility model; metric

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.16.030

1 概述

机会网络是一种不需要在源节点和目的节点之间存在完整路径, 利用节点移动带来的相遇机会实现网络通信的、时延和分裂可容忍的自组织网络^[1]。机会网络不同于传统的多跳无线网络, 它的节点不是被统一部署的, 网络规模和节点初始位置未进行预先设置, 源节点和目的节点之间的路径事先不能确定是否存在^[1]。机会网络以“存储-携带-转发”模式逐跳传输信息实现节点间通信, 其体系结构与多跳无线网络不同, 它在应用层与传输层之间插入一个被称为束层的新的协议层。

由于机会网络能够处理网络分裂、时延等无线网络技术难以解决的问题, 能满足恶劣条件下的网络通信需要, 其主要应用于缺乏通信基础设施、网络环境恶劣以及应对紧急突发事件的场合^[1-2]。

在机会网络中由于节点的运动, 网络的拓扑结构会不断变化, 使传统的路由算法无法适用, 大量针对机会网络的新的路由算法被提出。但由于目前机会网络实际的应用场景较少, 各种路由算法性能及在各种场景下的特点未得到很好的评价。基于此, 本文通过选取恰当的度量值、设置具有典型意义的场景, 对机会网络典型路由算法的性能、特点进行比较分析。

2 机会网络典型路由算法

2.1 First Contact 和 Direct Delivery 算法

First Contact 和 Direct Delivery(也称 Direct Transmission)算法基于转发策略, 该类路由算法报文在传输过程中, 节点不会对其进行复制, 网络中只有一个报文副本在传输。

Direct Delivery 算法源节点仅在遇到目标节点时将报文交付给下一个节点, 而 First Contact 算法源节点将报文交付给它遇到的第 1 个节点。

2.2 Epidemic 算法

Epidemic 和 Spray and Wait 算法基于泛洪策略, 在该类路由算法中, 当 2 节点相遇时向对方复制报文, 并可通过限定报文的生存周期或副本数量来避免过度泛洪。

Epidemic 算法的思想是当 2 节点相遇时交换对方没有的报文, 经足够的交换后, 理论上每个非孤立节点将收到所有报文, 从而实现报文的传输。该算法的优点是能最大化报文传输的成功率, 减少传输延迟^[3], 缺点是网络中存在大量的报文副本, 会大量消耗网络资源。

2.3 Spray and Wait 算法

Spray and Wait 算法分为 2 个阶段: Spray 阶段, 源节点中的部分报文被扩散到邻居节点; Wait 阶段, 若 Spray 阶段没有发现目的节点, 那么包含报文的节点通过 Direct Delivery 方式把报文传送到目的节点。该算法优点是传输量显著地少于 Epidemic 算法; 传输延迟较小, 接近于最优; 有更好的可扩展性, 无论网络的规模大小、节点密度如何改变, 都能保持较好的性能^[4]。

基金项目: 北京市教委科技计划基金资助面上项目(KM200810011008, KM201010011006); 北京市科技新星计划基金资助项目(2006B10)

作者简介: 孙践知(1967—), 男, 副教授、硕士, 主研方向: 网络安全, 信息安全; 刘乃瑞, 讲师、硕士; 张迎新, 副教授、硕士; 韩忠明(通讯作者), 副教授、博士后; 陈 丹, 副教授、硕士

收稿日期: 2011-03-02 **E-mail:** webir@163.com

2.4 Prophet 算法

Prophet 算法基于概率策略, 该类路由算法对报文传输成功的概率进行估算, 选择性地复制报文, 尽力避免生成低传输效率的副本。该算法定义了一个传输预测值来描述节点间成功传输的概率。当 2 个节点相遇时, 节点更新各自的传输预测值, 并利用该值来决定是否转发报文。

2.5 MaxProp 算法

MaxProp 算法基于调度策略, 该类算法为报文设定优先级, 当 2 个节点相遇时, 依报文优先级来决定复制次序。在该算法中, 优先级低的报文, 不易得到传输机会, 从而避免生成低效传输的副本。该算法每个节点依据到目标节点的传输开销维护一个报文队列, 并依此队列传输或删除报文。传输开销是报文成功传输到目标节点概率的一个估计。

3 分析方法

本文采用设置特定场景, 通过软件模拟的方法来分析比较各路由算法的性能。由于机会网络的固有特点, 影响路由算法性能的因素很多, 需首先确定度量路由算法的指标。此外, 节点移动模型决定了节点移动的方式, 进而影响到路由算法性能, 各路由算法在不同移动模型下的表现也是需要考虑的问题。

3.1 度量值

为定量比较分析各路由算法的性能, 本文选取了下面 4 个指标。

(1) 传输成功率

传输成功率(Delivery Ratio)是在一定的时间内成功到达目标节点报文总数和源节点发出的需传输报文总数之比, 刻画了路由算法正确转发报文到目标节点的能力, 是最重要的指标。

(2) 传输延迟

传输延迟(Delivery Delay)是报文从源节点到达目标节点所需的时间, 通常采用平均传输延迟来评价。传输延迟小意味路由算法传输能力强、传输效率高, 意味在传输过程中占用较少的网络资源。

(3) 路由开销

路由开销(Overhead)是指在一定时间内节点转发报文的总数, 通常用所有成功到达目的节点的报文数和所有节点转发的报文总数之比来评价。路由开销率高, 意味着节点大量地转发报文, 会使网络中充斥大量的报文副本, 增加报文发生碰撞的概率, 也会大量地消耗节点能量^[5]。本文将该指标作为评价节点能耗的一个间接指标。

(4) 缓存时间

缓存时间是报文在其整个生命周期内在各节点被缓存的时间总和。该指标描述了路由算法消耗节点存储空间情况, 通常以平均缓存时间来评价。

3.2 节点移动模型

节点移动模型定义了节点移动路径形成的算法和规则^[6], 描述了节点的移动模式, 广泛应用于自组网协议性能的分析 and 评价, 是自组织网络的基础研究之一。

节点移动模型可分为随机构建的、基于地图随机构建的和基于人类行为构建的^[6]。

(1) RWP 节点移动模型

RWP(Random Waypoint)模型随机生成目标位置坐标, 不考虑道路情况以固定速度直接移动到目标位置, 在目标位置度过停止期后, 再次重复上述过程。该模型被广泛使用, 但

也存在一些缺陷, 如在初始阶段, 节点初始位置不能很好地反映节点运行的特征。

(2) MBM 和 SPMBM 节点移动模型

MBM(Random Map-Based Movement)模型是基于地图的, 地图可视为由点和路径构成, 节点只能沿着路径从一个点到达另一个点^[6]。在该类模型中, 允许定义不同类型的路径, 使不同类型节点各行其道。

SPMBM(Shortest Path Map-Based Movement)模型使用 Dijkstra 算法依据地图中点和路径信息计算出源和目标之间的最短路径, 并令节点沿该路径移动。

3.3 仿真场景设计

文本使用 ONE(the Opportunistic Networking Environment)^[6] 仿真工具, 模拟携带智能蓝牙设备的行人步行于真实的城市场景中, 并以此分析 6 种路由算法。具体场景设置如表 1 所示。

表 1 仿真场景设置

类别	参数	值
场景特征	模拟时间	12 h
	模拟区域范围	4 500 m×3 400 m
	模拟背景城市	Helsinki
节点特征	移动速度	0.5 m/s~1.5 m/s
	传输速度	250 KB/s
	最大传输范围	10 m
	传输方式	广播
	节点缓存大小	5 MB
数据包特征	数据包大小	500 KB~1 MB
	数据包生存期	5 h
	数据包生成频度	每 25 s~35 s 生成一个新的源数据包

4 仿真结果分析

本文以表 1 场景为基础, 模拟多种场景, 分析 6 种路由算法在不同节点密度、不同节点移动模型、不同节点缓存大小情况下的表现。

4.1 节点密度对路由算法的影响

在表 1 场景中, 采用 SPMBM 移动模型, 以不同的节点数进行了仿真, 结果如图 1~图 4 所示。

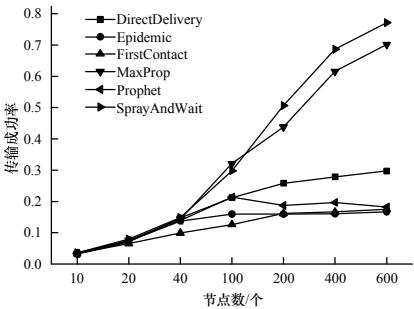


图 1 传输成功率 1

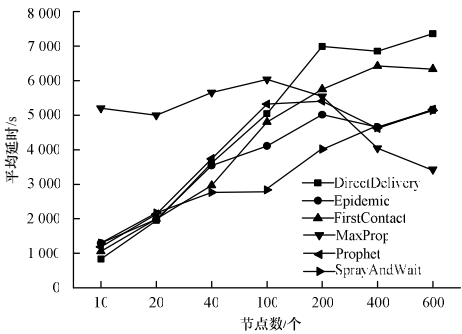


图 2 传输延迟 1

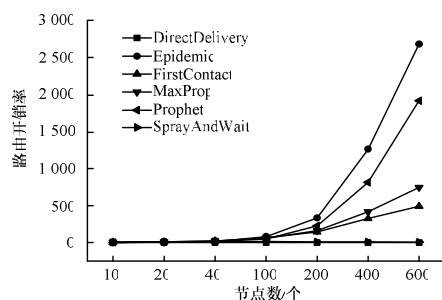


图3 路由开销1

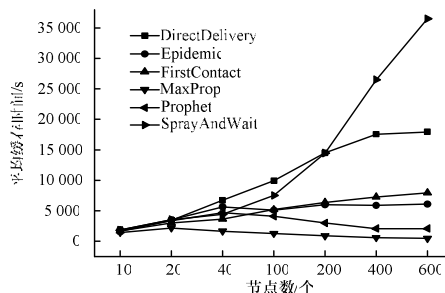


图4 平均缓存时间1

从图1~图4可以看出,节点密度对各路由算法的4个性能指标均有较大的影响,在节点密度较低时,各路由算法的性能指标没有显著差异,只有MaxProp算法的传输延迟明显高于其他算法。当节点密度增加时,传输成功率会随之增加,其中,Spray And Wait和MaxProp算法增加尤显著,同时传输延迟、路由开销和缓存时间也会显著增加。

图2表明,MaxProp算法的传输延迟不会随节点密度增加而显著增加,该算法传输延迟和节点密度之间关系的趋势与其他算法明显不同。

图3表明,Direct Delivery和Spray And Wait算法路由开销基本和节点密度无关。其他4种算法当节点密度达到一定程度后,路由开销急剧增加,这将导致节点能耗的显著增加,从而限制这些路由算法的应用范围。

4.2 节点移动模型对路由算法的影响

在表1场景中,采用200个节点,以不同的节点移动模型进行了仿真,结果如图5~图8所示。

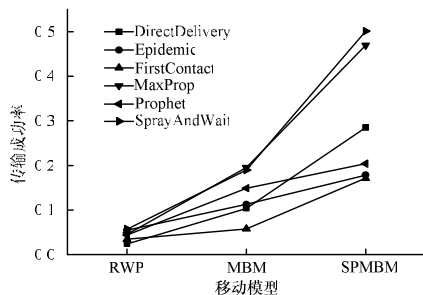


图5 传输成功率2

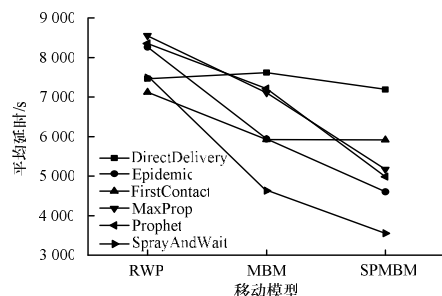


图6 传输延迟2

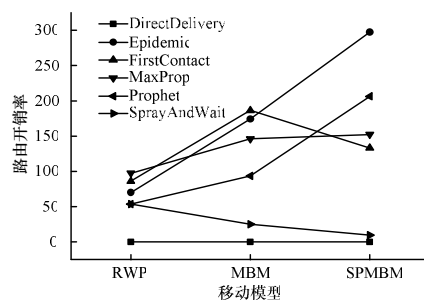


图7 路由开销2

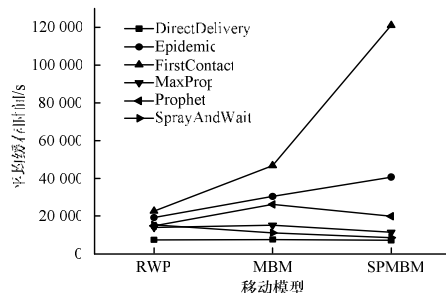


图8 平均缓存时间2

图5表明,节点移动模型对所有算法的传输成功率产生显著影响,以Spray And Wait为例,不同模型下传输成功率相差近10倍。采用MBM和SPMBM模型时,由于节点被限定沿地图上路径移动和RWP模型相比节点间相遇的概率大大提高,从而对传输成功率产生了显著的影响。可见在机会网络中,节点移动模型是影响传输成功率最重要的因素之一。

图6表明,节点移动模型对部分算法的传输延迟会产生影响,而对Direct Delivery和First Contact算法影响不显著。

图7表明,节点移动模型对部分算法的路由开销会产生显著影响,但各算法趋势差距较大。

图8表明,节点移动模型对多数算法的平均缓存时间影响不显著。

4.3 节点缓存大小对路由算法的影响

在表1场景中,采用SPMBM移动模型,200个节点,以不同的节点缓存进行了仿真,结果如图9~图12所示。

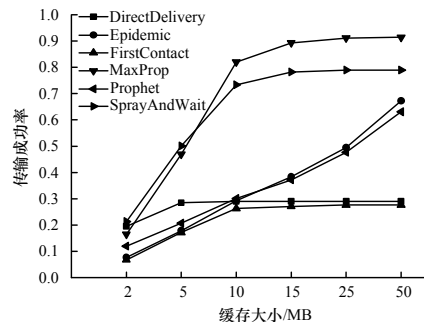


图9 传输成功率3

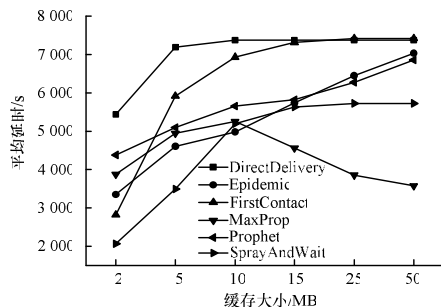


图10 传输延迟3

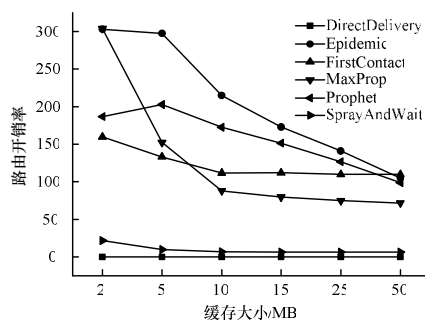


图 11 路由开销 3

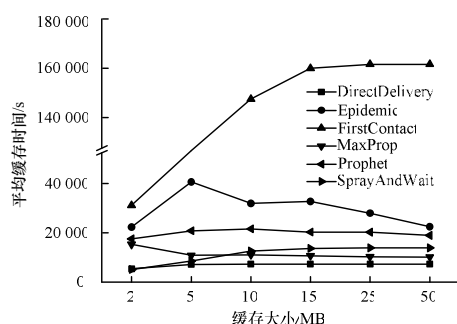


图 12 平均缓存时间 3

图9表明, 节点缓存对各路由算法的传输成功率影响各异, 在节点缓存比较小时影响相对显著, 从趋势上看增加节点缓存可以提高传输成功率。

图10表明, 除MaxProp算法外, 其他算法增加节点缓存存在一定程度上会令传输延迟增加, 特别是当缓存比较小时影响比较显著。

图11表明, 节点缓存的增加对Direct Delivery和Spray and Wait算法的路由开销基本没有影响, 而其他算法则会显著下降。

图12表明, 节点缓存对First Contact算法影响非常显著, 而对其他算法影响不显著。

5 结束语

本文经过对仿真结果的比较分析, 综合各路由算法在不同场景下的表现, 得出如下结论:

(1)节点密度、节点移动模型和节点缓存大小都会对路由算法的性能产生显著的影响。在稀疏场景下各路由算法的性

能差距不大, 但随着节点数目的增加各路由算法的性能分化明显。

(2)Spray And Wait算法的在多数仿真场景下具有传输成功率高、路由开销低的特点, 和其他路由算法综合比较有显著的优势。MaxProp算法在不同的场景下, 均有较高的传输成功率, 且该算法的其他指标不会因节点密度增加而显著恶化, 该算法对不同节点密度有较好的适用性。

(3)文献[3]认为 Epidemic 算法能最大化报文传输的成功率, 减少传输延迟, 但本文的仿真结果不支持该结论。本文结果表明, Epidemic 算法在多数场景下各性能指标较差, 其传输成功率和 Direct Delivery 算法相当, 传输延迟和其他算法比较也无明显优势。

(4)Prophet算法在本文仿真场景中没有突出表现, 在一些场景下其传输成功率甚至不如 Direct Delivery 算法。Direct Delivery 算法的传输成功率在6种算法中处于中间水平, 但该算法有一个显著的优点, 其路由开销在所有场景下均为0, 在节点能耗稀缺的场景下是最具优势的路由算法。First Contact 算法的综合性能低于其他算法。

参考文献

- [1] 任 智, 黄 勇, 陈前斌. 机会网络路由协议[J]. 计算机应用, 2010, 30(3): 723-728.
- [2] 刘 雷, 江 虹. Ad Hoc 网络在未知环境探测中的应用[J]. 计算机工程, 2010, 36(1): 112-114.
- [3] Apoorva J, Konstantinos P. Performance Analysis of Epidemic Routing Under Contention[C]//Proc. of the 2006 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing. [S. l.]: ACM Press, 2006.
- [4] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks[C]//Proc. of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay Tolerant Networking. [S. l.]: ACM Press, 2005.
- [5] Jun H, Ammar M H, Zegura E W. Power Management in Delay Tolerant Networks: A Framework and Knowledge-based Mechanisms[C]//Proc. of IEEE SECON'05. [S. l.]: IEEE Press, 2005.
- [6] Ari K, Jörg O, Teemu K. The One Simulator for DTN Protocol Evaluation[C]//Proc. of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques. [S. l.]: ACM Press, 2009.

编辑 陈 文

(上接第76页)

其中, c 为输出用缓冲区。

在输出算法中, 其时间复杂度主要是由超长整数转换为十进制 ASCII 所需时间和输出每一个 ASCII 字符决定的。设超长整数的二进制位数为 n , 则其平均时间复杂度为:

$$T(n) = (n+4+1) \times (2 \lceil (n+4+1)/4 \rceil) + n + c = O(n^2)$$

其中, c 为处理动态分配存储缓冲区等的时间; $(n+4+1) \times (2 \lceil (n+4+1)/4 \rceil)$ 利用余数和被除数右移方法作为除法的时间复杂度, n 为输出处理的时间复杂度。

5 结束语

在图像数据压缩与解压缩中, 利用整数运算代替浮点运算, 提高了整体运算效率, 取得了很好的效果^[5]。同时在 CNG 储气井检测技术与系统的(“863”重点项目)数字成像部分, 提高了总体运算速度, 为整个性能的实现提供了保证。同时本文不仅在计算机中整数运算代替浮点运算奠定了一定的

基础, 也为嵌入式应用提供了一个可以参考的使用方法。需要指明的是, 由于所述算法为了不进行浮点计算, 利用计算机中32位寄存器进行32位整数运算, 支持最大的超长整数十进制位数为: $2^{32}/333 \approx 12897799$ 。

参考文献

- [1] 高 峰, 王玉柱, 桑林琼, 等. 大整数乘除运算在 PC 机上的实现[J]. 后勤工程学院学报, 2007, 23(1): 57-59.
- [2] 郑 莉, 董 渊. C++语言程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [3] 蓝璐成, 肖金秀. Windows 环境下汇编语言程序设计[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [4] 王晓东. 计算机算法设计与分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [5] 谢勤岚, 桑 农. 基于低分辨率图像融合的超分辨率恢复方法[J]. 计算机工程, 2009, 35(8): 239-241.

编辑 顾逸斐

