

基于模拟的 DTN 路由协议性能评估

闫小荣¹, 黄晓燕², 彭伟¹

(1. 国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073;

2. 成都军区第一通信总站, 四川 成都 610011)

摘要:DTN 路由问题是一个富有挑战性的问题。为了能更为深入地研究 DTN 路由技术, 提供有价值的参考, 选择了 7 种具有代表性的 DTN 单播路由协议, 使用 ONE 模拟器进行模拟实验。实验表明, 相同的应用场景下, 采用不同路由策略的 DTN 路由协议表现出不同的综合性能, 这使得不同的 DTN 应用需求和性能要求成为选择路由策略、制定路由协议的主要依据; 同时, 节点分布的密度直接影响着 DTN 网络的整体性能, 实用条件下稀疏 DTN 网络的路由问题将面临更大的挑战。

关键词:DTN; 路由协议; 性能评估; 模拟

中图分类号:TP302

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)12-0001-04

Simulation - Based Performance Evaluation of DTN Routing Protocols

YAN Xiao-rong¹, HUANG Xiao-yan², PENG Wei¹

(1. School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. The 1st Communication Station of Chengdu Military Region, Chengdu 610011, China)

Abstract:DTN routing is a challenging problem. Seven typical DTN routing protocols are investigated through simulation using ONE simulator to research DTN routing technology and provide valuable reference. The experimental results have shown that the performance of routing protocols which adopt different routing strategies is different, and the applicability of different routing strategies in different application scenarios has been shown. At the same time, the DTN performance under different node density is influenced has shown that the routing of sparse DTN network faces greater challenges.

Key words:delay/disruption - tolerant network; routing protocol; performance evaluation; simulation

0 引言

DTN(Delay/Disruption - Tolerant Networks)是一种新型的网络体系结构^[1], 它不仅能够很好地解决高延迟、频繁中断通信环境下的数据存储转发问题, 而且还能够很好地融合多种网络, 保证数据在复杂网络环境中或苛刻的通信条件下的可靠传输, 这使得 DTN 具备了良好的发展前景和巨大的应用潜力。虽然目前对于 DTN 的研究尚处于初始阶段, 还没有完整的、统一的理论支撑, 但自 Sushant Jain 等人在 ACM SIGCOMM 2004 年会中提出 DTN 网络路由问题^[2]至今, 研究者提出了大量的单播路由协议和算法。文中根据 DTN 网络的特性, 重点针对 DTN 路由问题, 使用赫尔辛基大学网络实验室开发的 ONE^[3]模拟器, 采用仿真

实验手段, 对各种路由方法进行性能评估, 深入分析已有 DTN 路由协议的优缺点、适用性及其在实用条件下的综合性能, 以便有助于 DTN 路由协议的进一步研究。

1 DTN 路由方法

DTN 网络通常工作在网络资源极端受限的条件下, 其工作环境和 Internet 有着明显的区别^[4], 如: 端到端的间断性连接、不对称的数据数率、较高的传输延迟以及较高的误码率等, 这些 DTN 网络的基本特点决定了 DTN 路由问题具有复杂性。综合分析已有的研究成果, 人们在 DTN 路由协议的设计中采用了多种方法或机制, 例如: 采用不同的策略或多种策略混合应用来提高数据传输的可靠性或时效性^[5], 应用节点的历史移动信息来计算节点相遇的概率, 使用社会网络分析方法^[6]来识别更佳的用于转发消息的中间节点等等。

目前的 DTN 路由根据两个属性进行分类^[1], 即复

收稿日期: 2010-04-09; 修回日期: 2010-07-07

基金项目: 国家 863 计划重大项目(2008AA01A325)

作者简介: 闫小荣(1972-), 男, 山西运城人, 硕士, 研究方向为容迟容断网络。

制(replication)和知识(knowledge),复制:路由策略依赖于传输报文的多个拷贝;知识:可以利用网络中的信息做出路由选择。根据这两个属性可以把路由策略分成两大类:洪泛(flooding)和转发(forwarding)。也可以按照连接的确定性进行分类,分为确定性连接(deterministic)和随机性连接(stochastic)。

表 1 给出了 7 种典型的 DTN 路由算法^[7-13],这些路由算法采用不同的路由策略或混合采用多种路由策略,将在下面的章节中以这 7 种路由算法为例,采用模拟仿真手段,针对不同路由协议、不同路由策略进行深入的研究分析。

表 1 几种单播路由算法简介

算法名称 (缩写)	路由策略	基本思想
Direct Delivery (DD)	单副本转发	源节点携带报文直到遇到报文的目的节点才转发
First Contact (FC)	单副本洪泛	一旦具有通信机会,源节点就将尽量多的报文转发到首次连接的其它节点,成功转发后删除本地报文副本
Epidemic (ED)	多副本洪泛	具有链接机会时,节点交换尽量多的报文,但不删除原报文,网络中存在大量副本
PROPHET (PRO)	基于节点历史信息的多副本洪泛	基于节点相遇的历史信息,原节点转发报文到“可能性”较大的其它节点
MAX-PROPHET (MPRO)	基于节点历史信息的多副本洪泛	基于节点相遇的历史信息,并且利用最短路径算法判断报文传输的可能性,在报文传送成功后,通过洪泛方式传送 ACK 清除网络报文
Spray and Wait(SNW)	有限副本转发	源节点分发副本直到最后一个,这个副本只能被发送到目的节点
Spray and Focus(SNF)	有限副本转发	原节点将有限的副本分发到多个中继节点,中继节点根据相遇的历史信息,将副本传送到目的节点

2 基于仿真的 DTN 路由协议性能评估

采用由赫尔辛基科技大学网络实验开发的基于代理的离散事件模拟器 ONE(Opportunity Networking

Environment)来完成 DTN 路由协议的模拟分析。

2.1 实验设置

实验中,力图模拟网络拓扑变化的随机性、通信链路的间断性、信息传输的延迟性,为不失一般性,经过反复的实验验证,按照无线移动自组织网的覆盖范围、作用距离、组网方式等设置实验研究场景,模拟的具体参数设置如下:假设模拟空间为一个 5000m×4300m 的平面空间,DTN 网络内普通节点做基于 Random-RouteMovement 移动模型的随机运动,节点移动速度在 0.5m/s~1m/s 之间随机变化,节点的缓存空间为 500M,节点间通信带宽为 1Mbps,且所有节点具有相同的 100 米的通信距离,部署运行中节点按照 10 分钟内随机、均匀的速率生成一份大小为 100k 消息报文,且消息报文的目的节点是随机的。同时假定,在缓存空间没有耗尽的情况下,消息的 TTL 不做限定且每种路由协议都使用丢旧(Drop Oldest)策略。

2.2 仿真实验

实验条件一:网络节点数为 20 个,模拟时间为 72 小时(ONE 模拟器时间约为 260k),SNW 与 SNF 两种路由算法的报文副本数量设为 6,都采用 Binary Model 分发方式。

实验条件二:网络内节点数为 30 个,其它实验条件同实验条件一。

实验条件三:网络内节点数为 40 个,其它实验条件同实验条件一。

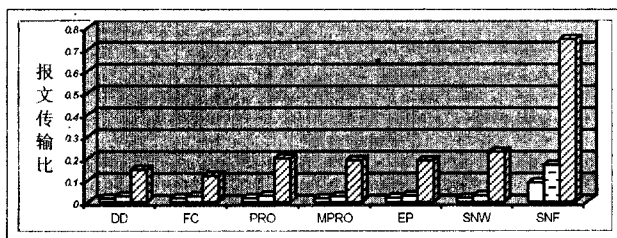
三种实验条件下的实验结果如图 1 所示。

2.3 模拟结果分析

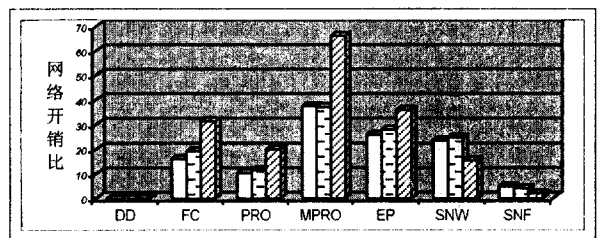
2.3.1 DTN 路由协议性能评估指标

为了能够准确、全面地分析评价不同的 DTN 路由协议,在模拟中使用以下评估参数^[1],其定义如下。

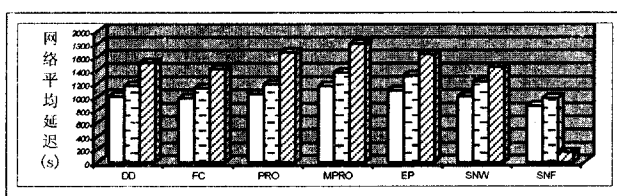
定义 1 报文传输比:在模拟时间内由源节点生成



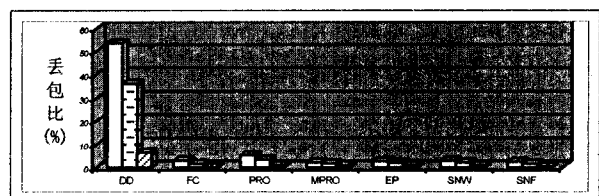
(A) 不同路由协议的报文传输比对比



(B) 不同路由协议的网络开销比对比



(C) 不同路由协议的网络平均延迟对比



(D) 不同路由协议的丢包比对比

图 1 不同 DTN 路由协议性能对比

并成功传送到目的节点的(消息)报文数量,与网络中生成的所有(消息)报文数量之比,其中不包括在路由转发过程中由于中继转发策略的不同而产生的拷贝。

定义 2 丢包比:在完成一次模拟时,被丢弃的(消息)数据包占全网数据包的比率。这里的全网数据包是实际负载,即整个模拟过程中各 DTN 通信节点向网络发送数据的总和,包括(消息)数据报文、报文副本等。

定义 3 网络平均延迟:延迟表示从源节点发送数据报开始到目的节点接收到该数据报所花费的时间。DTN 中,模拟统计单个(消息)报文的传送延迟没有价值,而全面统计(消息)报文在一段时间内传送一定数量的(消息)报文的平均延迟,能够全面反映 DTN 在期间对可用连接使用的有效程度。

定义 4 网络开销比:指 DTN 网络中开始传送但未被中继传送到目的节点的(消息)报文数量,与所有开始传送并被成功中继传送到目的节点的(消息)报文数量的比值。

2.3.2 DTN 路由协议的综合性能评估

从图 1 模拟结果可以看出,在相同的实验条件下,不同的路由协议表现出了不同的数据传输性能。

Direct Delivery、First Contact 都属于单副本路由协议,报文在传输过程中网络开销比较低,在运行中缓冲、带宽等资源占用少,同时,网络平均延迟较大,数据传输率低的特点比较突出。

Epidemic、PROPHET、MAX-PROPHET 都属于多副本洪泛式路由协议,在网络资源允许的情况下,能够实现较高的数据传输率。Epidemic 协议的传输特性决定它在网络中产生大量的副本,会造成网络资源的极大浪费,丢包比、网络开销以及平均延迟都会很高;PROPEHT 在分发报文副本时依据节点相遇的“历史信息”,相比 Epidemic 会减少很多的冗余的报文副本,能适当地提高报文的传输比,减少网络丢包比、延迟和网络开销比;MAX-PROPHET 对 PROPHET 进行了改进和优化,虽然同属于洪泛式的传输模式,但它通过 ACK 机制进行网络副本的管理,能够很好地整合网络资源,有效减少丢包比和报文传输延迟,并且在路由选择时采取了基于“历史知识”和最短路径的策略,能够有效地提高报文的传输比。

Spray and Wait、Spray and Focus 属于有限副本转发式路由协议,它们在报文传输过程中复制并分发有限个副本,在有效提高报文传输可能性的基础上,能够有效地平衡网络流量和资源分配,同时,有限的报文副本对网络资源的开销较少,报文传输的延迟和丢包比相对较小。

综合图 1 实验结果和以上的分析,按照高、中、低三个层次并结合评估指标,对各类路由协议做如下的评估对比(见表 2)。

表 2 各类 DTN 路由协议模拟结果对比表

算法 评估指标	DD	FC	PRO	MPRO	EP	SNW	SNF
报文传输比	低	低	中	中	中	高	高
网络开销比	低	中	低	高	高	高	低
网络平均延迟	中	中	高	高	高	中	低
丢包比	高	低	中	中	中	中	低

2.3.3 DTN 路由策略的适用性评估

分析图 1 所示的实验结果可以得出:采取多副本洪泛策略的 DTN 路由协议,其最大的优点是可以获得相对较高的报文传输成功率,完成消息报文转发的可靠性相对较高,但在交换和存储报文信息时要付出很大的代价,且该方法的可扩展性很差;采取单副本转发或有限副本转发策略的 DTN 路由协议,在传输过程中仅保持有限数量的报文副本,传输开销相对较小,但容易造成报文传输失败,完成消息报文转发的可靠性相对较低。

因此,目前的 DTN 路由设计要么以节省存储和能量的消耗为主,要么以减少传输延迟为主,要么以数据传输率为主,很难做到彼此兼顾。从已有的研究成果来看,不同的 DTN 应用需求和性能要求是选择 DTN 路由策略、制定路由协议的主要依据,在不同的应用场景中使用不同的路由协议,关键是要根据应用需求和性能要求在传输延迟、数据传输率和网络消耗等各个约束条件之间寻求综合性能的平衡,以最大限度地提高 DTN 网络的 QoS 保障。

2.3.4 基于网络节点密度的网络性能评估

图 2 反映了 Epidemic(Ep)、PROPHET(PRO)和 Spray and Focus(SNF)三种典型 DTN 路由协议在三种节点密度情况下的模拟结果。图 2(A)反映的是三种节点密度对报文传送比的影响,随着 DTN 网络内节点密度的增加,由于节点间得到通信的机会增大,消息报文被成功传送到目的节点的机会和比例就会提高,报文传送比相应提高;同时,模拟过程中消息报文被丢弃的几率减小,丢包比相应降低,这在图 2(D)中得到了验证。图 2(B)反映了节点密度对网络开销比的影响,模拟中由于消息报文能够得到更多的转发机会,从源节点传送到目的节点的跳数就会相应加大,其中 Epidemic 会在连接可用的时间内洪泛更多的消息报文副本,PROPHET 和 Spray and Focus 会收集计算更多的节点相遇信息来确定转发路径,这些都增加了网络运行时的系统开销和网络资源的消耗;同时,由于采用了“保管-携带-转发”的传送机制,随着消息报文被成

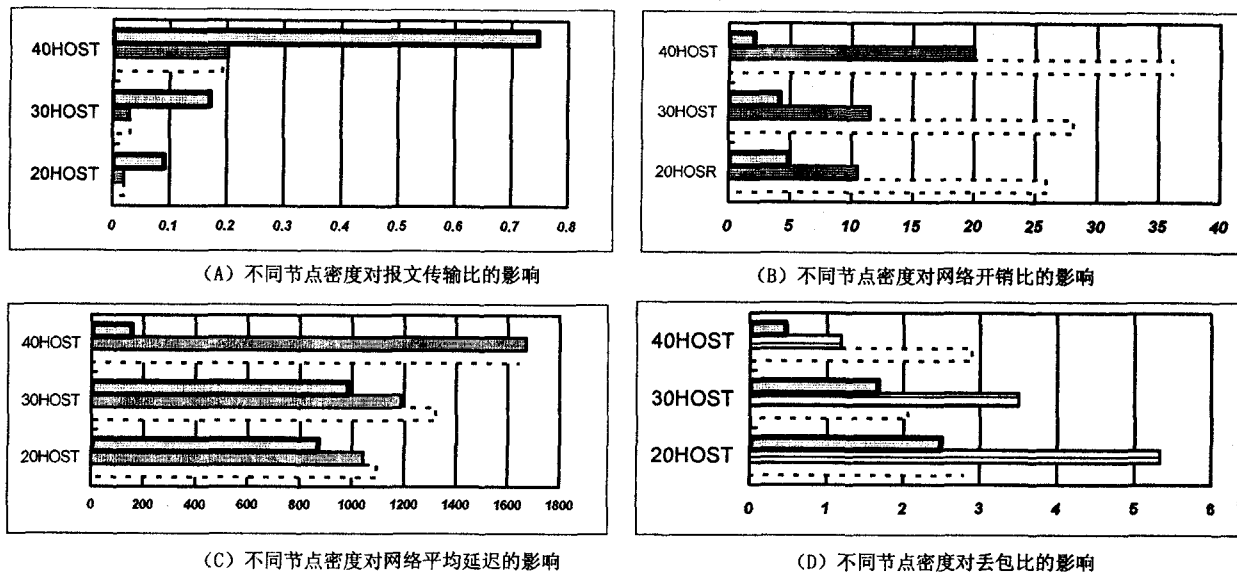


图 2 不同节点密度对 DTN 路由协议性能的影响

功传送到目的节点的跳数增多,其在传输过程中被中间节点保管、携带的次数和时间就会加大,相应造成了网络平均延迟的加大,这在图 2(C)中得到了验证。

综合以上分析,不难发现,节点分布的密度直接影响着所采用的 DTN 路由协议的性能,也直接影响着 DTN 网络的整体性能。不妨把这种网络节点密度比较低的 DTN 网络称作稀疏 DTN 网络。稀疏 DTN 网络在实际的部署运行中,由于节点分布的稀疏性、节点移动的随机性、消息通信的不确定性以及网络条件的动态变化,网络拓扑频繁变化、通信链路经常中断、传输延迟相对更长的特点更为突出,这就使得整个网络的数据传输性能难以得到保证。

3 结束语

DTN 网络所具有的典型的应用特征,使得 DTN 路由问题具有复杂性和富有挑战性。文中总结阐述了 DTN 路由所采用的基本策略,并对几种典型的 DTN 单播路由协议进行模拟仿真。实验结果表明,采用不同路由策略的路由协议适用于不同的 DTN 应用需求和运行环境,在实际部署应用中,稀疏 DTN 网络的路由问题将面临更大的挑战,这将是下一步工作的重点和方向。

参考文献:

- [1] 薛静锋,陆慧梅,石琳. DTN 路由技术研究综述[EB/OL]. 2007-11. <http://www.paper.edu.cn>.
- [2] Jain S, Fall K, Patra R. Routing in a delay tolerant network[J]. ACM SIGCOMM, 2004,34(4):145-158.
- [3] Keranen A. Opportunistic Network Environment Simulator[R]. Helsinki: Helsinki University of Technology, 2008.
- [4] 樊秀梅,单志广,张宝贤,等. 容迟网络的体系结构和关键技术[J]. 电子学报,2008,36(1):161-170.
- [5] Yuan Q, Cardei I, Wu J. Predict and relay: an efficient routing in disruption-tolerant networks[C]// In Proceedings of the Tenth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc'09). New Orleans, LA, USA:[s.n.],2009:95-104.
- [6] Daly E, Haahr M. Social Network Analysis for Routing in Disconnected Delay-Tolerant MANETs[C]// In Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc'07). [s.l.]:[s.n.], 2007:32-40.
- [7] Jones E P C. Practical routing in delay-tolerant networks[J]. SIGCOMM, 2005(8):237-243.
- [8] Mundur P, Lee S, Seligman M. Routing in intermittent network topologies[C]// International Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. [s.l.]:[s.n.], 2006:385-389.
- [9] Vahdat A, Becker D. Epidemic Routing for Partially-connected Ad hoc Networks[R]. USA:Duke University, 2000.
- [10] Burgess J, Gallagher B, Jensen D, et al. MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks[J]. IEEE Infocom, 2006(4):1-11.
- [11] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks[C]// ACM SIGCOMM WDTN. [s.l.]:[s.n.], 2005:252-259.
- [12] Pelusi L, Passarella A, Conti M. Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks[J]. IEEE Communications Magazine,2006(11):134-141.
- [13] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and focus: efficient mobility-assisted routing for heterogeneous and correlated mobility[C]//5th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops. [s.l.]:[s.n.], 2007.