

容滞网络中能量敏感的散发等待路由研究

王贵竹, 徐亮, 卢华庭

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要:如何更有效地利用节点有限的可用资源问题是容滞网络(DTN)研究的热点之一。为了解决容滞网络的散发等待路由的节能问题,提高网络的存活率,同时避免在转发报文时的随机性和盲目性,提出了能量敏感的散发等待(Energy Aware Spray and Wait, EASW)路由机制,利用节点剩余能量值来优化报文转发决策。仿真结果表明,与源端散发等待路由机制、二分法散发等待路由机制等相比,所提出的能量敏感的散发等待路由机制在平均投递率、平均时延等方面都有明显的改善。并且,EASW增大了网络的存活时间。

关键词:容滞网络;散发等待;能量敏感;路由

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)04-0089-04

Research on Energy-Aware Spray and Wait Routing in Delay Tolerant Network

WANG Gui-zhu, XU Liang, LU Hua-ting

(Ministry of Education Key Lab. of IC & SP at Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: One of the hot researchs is how to use the limited resources available at DTN nodes more efficiently in delay tolerant network. To increase the network lifetime and avoid random and blindfold forwarding decision in Spray and Wait routing in delay tolerant network, Energy Aware Spray and Wait routing is proposed in this paper. Energy of node left is used to make forwarding decision is EASW. Furthermore, evaluate it through simulations versus Spray and Wait routing protocol and epidemic routing protocol. The experimental results demonstrate that the new protocol has a better delivery probability and latency. In addition, EASW increases the network lifetime.

Key words: delay tolerant network; spray and wait; energy-aware; routing

1 概述

K. Fall等科学家于2002年在ICIR会议上提出了容滞网络的架构^[1],这使得容滞网络获得了广泛的关注。容滞网络是由若干区域网络组成的网络。它是区域网络(包括因特网)之上的覆盖网络(overlay)。

通过容纳区域内部及相互之间长的网络延迟、转换区域网络之间的通信特征,DTN支持区域之间的互操作性(interoperability)。由于这些特性,DTN包容了新兴无线通信设备的移动性和有限电能特性。

容滞网络 and 传统互联网络的终端特点有所不同,如表1所示。

目前用于传统网络的路由传输协议如果直接用于容滞网络容易引起协议失效,反应迟缓,无法和路由算法相互配合。在路由信息协议(Routing Information

Protocol)、开放最短路径优先协议(Open Shortest Path First)^[2]和蔓延路由协议(Epidemic Routing Protocol)协议^[3]的基础上设计的针对容滞网络特点的改进协议可以有效地解决这些问题。2005年,Thrasyvoulos Spyropoulos, Konstantinos Psounis 和 Cauligi S. Raghavendra提出了一种新颖的路由策略,叫做散发等待(Spray and Wait)^[4]。散发等待路由协议由两个阶段组成:散发阶段和等待阶段。

表1 容滞网络和传统互联网络的终端特点比较

特点	容滞网络	传统互联网络
寿命	可能能源紧缺,寿命有限	不考虑能源问题,假设寿命无限
占空比	为了保证较长的寿命而降低占空比	越大越好
存储器	排队时间较长时可能需要外存储器,对存储器要求较高	内存和高速缓存,对存储器要求低

在散发阶段,信源为每个报文产生 L 个副本,并将这些副本转发给它最先遇到的 L 个不同的中继节点。在等待阶段,如果在散发阶段的 L 个中继节点中

收稿日期:2009-07-19;修回日期:2009-11-03

作者简介:王贵竹(1965-),男,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为网络通信与安全。

不包括信宿节点,那么携带报文副本的这 L 个节点只有在遇到信宿节点的时候,才会将副本直接递交出去。散发等待路由协议综合了蔓延路由协议的快速以及直接传输路由协议简单健壮的特点。

根据报文副本在信源初始化扩散的方式,可以将散发等待路由协议分为以下两种:

(1) 信源散发等待 (Source Spray And Wait)。

信源将产生的每个报文初始化为 L 个副本,并转发给其最先遇到的 L 个不同中继节点。如果这些中继节点不包括信宿节点,那么携带报文副本的这 L 个不同节点,只有在遇到信宿节点时,才会直接递交出去。

(2) 二分法散发等待 (Binary Spray And Wait)。

信源将报文复制 L 份,任何有 $n > 1$ 个副本的节点 A (信源节点或中继节点),如果遇到另一个没有该报文副本的节点 B ,就会将 $n/2$ 个副本传给节点 B , A 保留剩余的 $n/2$ 个副本。当只剩下一个副本时,节点 A 切换为直接传输模式,即只有遇到信宿时才会转发。

对于初始化报文副本数 L , 可以针对不同的应用场景取不同的值,以满足性能的需求。文献[5]对散发等待路由协议进行了修改,提出了散发集中 (Spray And Focus) 路由策略。当中继节点只有一个副本的时候,该节点并不是一直携带这个副本,直到它遇到信宿,而是基于一个历史连接时间长短的效用函数,将报文副本转发给更有可能遇到信宿的中继节点。文献[6]中,作者在 PROPHET^[7] 路由协议的基础上,将平均投递预测 (Average Delivery Probability) 应用于二进制散发等待路由协议,提出了 ADPSW (Spray And Wait Based on Average Delivery Probability)。避免了二进制散发等待路由协议在转发时的随机性和盲目性。

文中结合容滞网络终端的特点,在节点能量的基础上对散发等待路由协议进行改进。并且,通过仿真表明,和散发等待路由协议相比,文中提出的策略提高了报文的递交率,并且提高了网络的存活率。

2 能量敏感的散发等待路由协议

在很多环境下,如军用网络,传感器网络,或者在紧急情况下搭建的节点,它们的寿命都是比较短的。理由很简单,在能源紧缺的地方,网络节点随时都可能由于能源问题停止工作。针对这个问题,笔者提出能量敏感的散发等待路由 (EASW) 协议,来避免某些节点因为工作量过大而导致能源耗尽,从而改善整个网络的存活率。

如图 1 所示,假设信源节点 S 所剩能量值为 E , 中继节点和 R_j 的能量值分别为 E_1 、 E_2 。首先 S 为报文产生 L 个副本,当遇到其它节点 (假设是 R_i) 的时候,将

$E_1/(E_1 + E) * L$ 个副本转发给 R_i , 这里和二进制散发等待不同^[8]。并且其它节点都按照此方法转发报文副本,转发数量为 N , N 的值如公式 (1) 所示,其中 M 为本节点报文副本是数量, E_i 为本节点剩余能量值, E_j 为下一跳节点能量值,直到节点副本数为 1。当节点携带报文副本数为 1 时,它只有在遇到报文的信宿节点时才会将这个副本直接传递出去。

$$N = E_j / (E_i + E_j) * M \quad (1)$$

从上文对路由算法的描述可以知道,文中提出的转发策略可以成功避免某些节点因为工作量过大而导致最终能量耗尽的情况。在网络中,是存在这样一些工作量非常大的节点的,例如文献[9]中的超级节点 (super node) 的概念。

因为 EASW 通过相遇节点的能量值来确定转发的报文副本数量。所以,剩余能量较少的节点不用再承担过多的转发报文的工作,而将这些工作留给了能量比较充足的那些节点。避免了网络连通性的恶化,提高了网络的存活率。

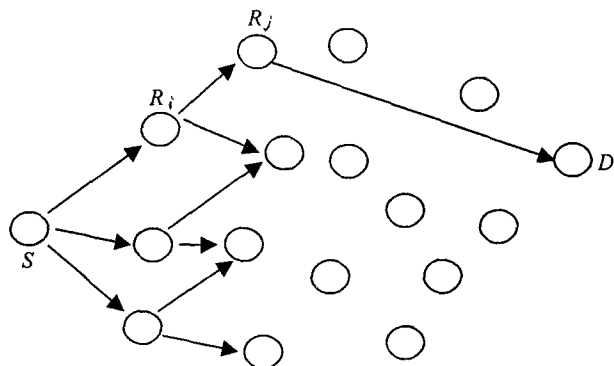


图 1 能量敏感散发等待路由示意图

3 仿真及结果分析

文中使用的仿真工具是由芬兰赫尔辛基理工大学在 Java 环境下编写的机会网络环境仿真器 The ONE 1.3.0 版本。该仿真工具受 GPLv3 保护。仿真试验环境是使用 jdk1.6.0_12 运行编译工具,在 Windows XP SP2 操作系统下进行。硬件环境是 Intel Core2 Duo CPU,主频 1.5GHz,内存容量 1.00GB。The ONE 的仿真场景大小 4500m * 3400m,在其中放置了 126 个节点。这些节点被分成了 6 个组。第 1 组和第 3 组分别包括了 40 个行人。第 2 组包括了 40 个汽车节点。第 4、5、6 组分别包括 2 个节点,节点均为有轨电车。行人的速度为 0.5~1.5m/s,等待时间为 0~120s。汽车移动速度为 10~50km/h,等待时间和行人相同。有轨电车移动速度为 7~10km/h,每一站的等待时间为 10~30s。本仿真中设定行人节点和汽车节点的缓存大

小为 10M, 有轨电车的缓存为 50M。802.11b WLAN 设备传递范围是 50m, 报文传递速率为 2Mbps。另外, 报文的 TTL 被设定为 40min。

第 1、2、3 组节点的移动模型为 Shortest-PathMapBasedMovement, 这里的地图为芬兰首都 Helsinki 城市地图。第 4、5、6 组节点的移动模型为 MapRouteMovement, 这里的地图为有轨电车在现实中的真实轨道。

文中将 EASW 和散发等待的信源散发方式和二分法散发方式以及蔓延路由做了比较。散发等待路由报文的初始化副本数 $L = 10$ 。如图 2 所示, 随着仿真时间的增大, 在投递率方面, 文中提出的 EASW 要明显优于其它三种路由协议。

在仿真开始阶段, Epidemic 路由表现的略好一些。但在 $t = 7000s$ 之后, 其投递率是最低的。这是因为 Epidemic 协议采取的是一种洪泛机制, 以牺牲无线网络带宽和移动节点存储空间来换取较高投递率和较低的延迟。而本仿真实中所采用的真实网络模型, 节点的缓存和能量都是有限的。因此, 移动网络拓扑结构的高速变化, 节点资源的快速消耗, 必然导致 Epidemic 路由较低的投递率。

随着仿真时间的延长, 节点的能量消耗越来越多, EASW 的优势体现的越来越明显。这是因为该策略基于节点剩余能量来做出转发决策, 成功避免了部分节点能量的耗尽, 有效增加了网络中可工作节点的数目, 从而增强了网络的相对连通性, 改善了报文的投递率。

图 3 所示为文中提出的 EASW 和散发等待路由的信源散发和二分法散发方式的开销率随时间变化的比较。Epidemic 路由的开销率要比上述三种高得多, 大小约为散发等待路由的 10 倍。其高开销也是上面 Epidemic 路由投递率最低的主要原因。

从图 3 可以发现, 随着仿真时间的延长, 在三种协议下的系统开销趋于稳定。不过, 文中提出的 EASW 路由协议的开销率要明显低于散发等待的信源和二分法散发方式。这是因为 EASW 更加合理地选择了下一跳节点, 有效地改善了报文投递的成功率, 避免了由于中继节点由于能量不足而造成的传递失败。

如图 4 所示, 对四种路由协议的时延随时间变化做了比较。由图可见, Epidemic 路由协议在本实验中的时延是最大的。这是因为 Epidemic 采用洪泛机制,

导致网络中节点缓存空间和能量消耗过快, 从而造成报文不能及时被投递。

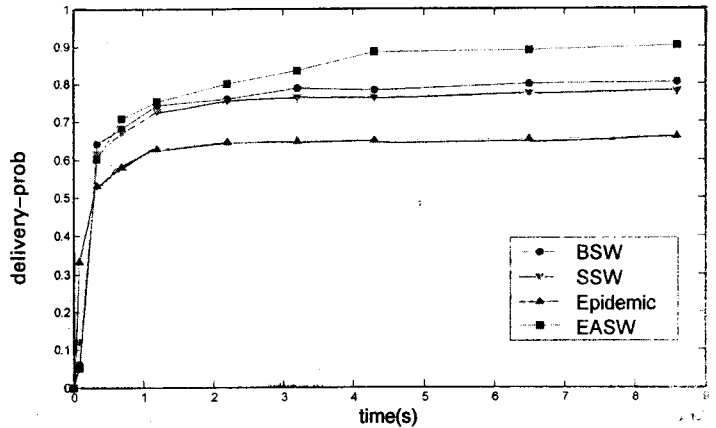


图 2 投递率随时间变化的比较

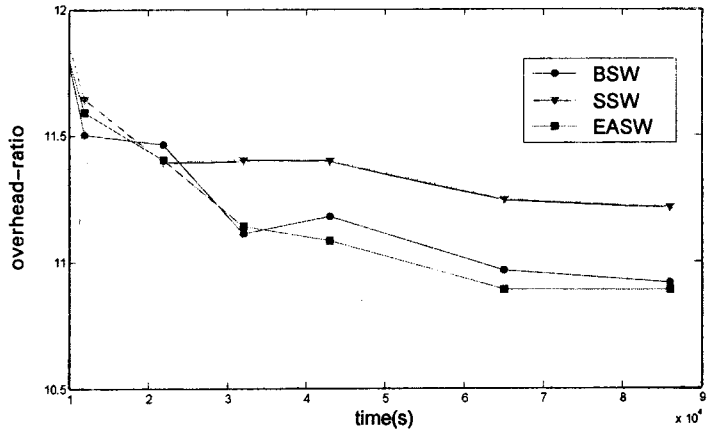


图 3 开销随时间变化的比较

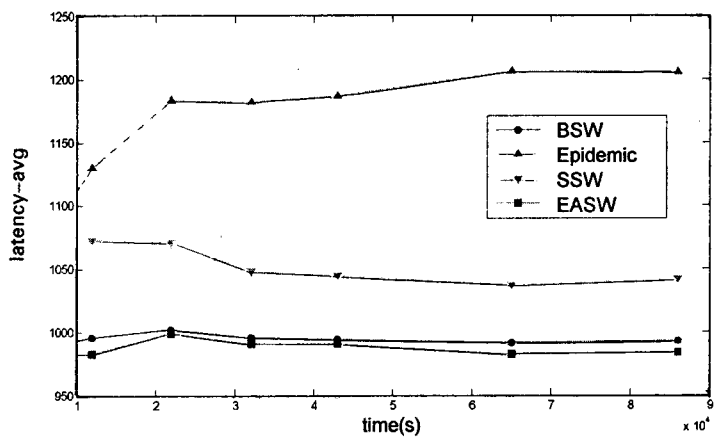


图 4 时延随时间变化的比较

总的来说, 文中提出的 EASW 的时延是最短的。散发等待的二分法散发方式要优于信源散发方式。这是因为 EASW 更有效地选择了下一跳节点, 保证了报文更有效更快速地被投递。

此外, 因为 EASW 利用节点剩余能量来选择下一跳节点, 作为报文副本散发的根据, 所以它能够有效地避免部分节点能量的快速耗尽, 从而改善了整个网络的连通性和存活率。

4 结束语

散发等待路由协议综合了蔓延路由协议的快速以及直接传输路由协议简单健壮的特点。它可以被看作是介于单复制策略和多复制策略之间的折衷(trade-off)方式。在报文传递数目和延迟方面,散发等待在大多数场景下要比所有其他的单复制和多复制策略表现的要好^[1]。但是,散发等待路由报文副本的散发具有一定的盲目性和随机性。文中基于节点能量对散发等待路由进行了改进。仿真结果表明,提出的方法可以得到比散发等待路由更好的性能。同时,它还可以提高整个网络的存活率。

目前,文中提出的策略只是一种将能量和散发等待路由的简单结合。在未来,将研究是否存在更佳的结合方式。另外,将继续进行的工作是研究节点剩余能量对 PROPHET 路由协议的影响。

PROPHET 中,节点 A 和节点 B 间的投递预测值(delivery predictability) $P_{(a,b)}$ 只由 $P_{(a,b),old}$ (上一个时刻 A、B 间的投递预测值) 和初始化常量 P_{init} 决定^[7],而并没有考虑节点 B 的剩余能量,如果节点 B 的剩余能量很低,那么即使 $P_{(a,b),old}$ 等于 1,它也不适合作为下一跳节点。

参考文献:

- [1] Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged Internets[C]//In: Proc. of the 2003 Conf. on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. Karlsruhe: ACM, 2003:27-34.
- [2] 熊小兵,舒辉,董卫宇.基于简化 OSPF 协议的自组织网

(上接第 88 页)

开展收益管理工作。同时也要看到,该模型尚有很多地方需要继续研究完善,例如考虑采用更为科学的方法划分时间段,在预测过程中考虑更多的影响因素,引入新的预测方法到中长期和短期的预测模型中,建立更为精确的预测模型,为我国航空业收益管理提供更好的参考手段。

参考文献:

- [1] 张永莉,张晓全.我国城市间航空客运量影响因素的实证分析[J].经济地理,2007,27(4):658-660.
- [2] Weatherford L R, Gentry T W, Wilamowski B. Neural network forecasting for airlines: A comparative analysis[J]. Journal of Revenue and Pricing Management, 2003, 1(4): 319-331.
- [3] Zickus J. Forecasting for Airline Network Revenue Management: Revenue and Competitive Impacts [EB/OL]. 2005.

络[J].计算机工程,2009,35(4):121-124.

- [3] Becker V D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks[R]. Durham, NC: Department of Computer Science, Duke University, 2000.
- [4] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks[C]//In: Proc. of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking. Philadelphia: ACM, 2005:252-259.
- [5] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and Focus: Efficient Mobility-Assisted Routing for Heterogeneous and Correlated Mobility[C]//Pervasive Computing and Communications Workshops (PerComW'07). [s. l.]: IEEE, 2007.
- [6] Xue Jingfeng, Fan Xiumei, Cao Yuanda, et al. Spray and Wait Routing Based on Average Delivery Probability in Delay Tolerant Network [C]//2009 International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing. [s. l.]: [s. n.], 2009.
- [7] Lindgren A, Doria A, Schelen O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 19-20.
- [8] Shah R C, Rabaey J. Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks[C]//IEEE WCNC. Orlando, FL: [s. n.], 2002:17-21.
- [9] Abdulla M, Simon R. The Impact of the Mobility Model on Delay Tolerant Networking Performance Analysis [C] // in Proceedings of Annual Simulation Symposium (ANSS'07). [s. l.]: IEEE, 2007:177-184.

<http://icat-server.mit.edu/Library/>

- [4] 冯兴杰,魏新,黄亚楼.基于支持向量回归的旅客吞吐量预测研究[J].计算机工程,2005,31(14):172-173.
- [5] Fan Wei, Chi Hong. Cluster Model for Flight Demand Forecasting[C]//Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation. 2004. <http://air.mit.edu/>
- [6] 崔德光,吴淑宁,徐冰.空中交通流量预测的人工神经网络和回归组合方法[J].清华大学学报:自然科学版,2005, 45(1):25-37.
- [7] 吴金花,孙德山.加权支持向量回归的权值确定方法[J].计算机技术与发展,2009,19(6):135-139.
- [8] 杜华英,赵跃龙.人工神经网络典型模型比较研究[J].计算机技术与发展,2006,16(5):97-100.
- [9] 王建雄,刘应龙.基于人工神经网络的数字识别系统的研究[J].计算机技术与发展,2006,16(5):26-29.
- [10] 胡蓉.多输出支持向量回归及其在股指预测中的应用[J].计算机技术与发展,2007,17(10):226-229.