

节点密度感知的容迟网络路由协议*

张俊宝, 罗光春, 李 炯, 陈爱国

(电子科技大学 计算机科学与工程学院, 成都 611731)

摘要: 为适应容迟网络的动态变化, 提高路由性能, 结合空间节点分布和节点度中心性, 提出一种节点密度感知的容迟网络路由协议 DAR。该协议引入移动模型的节点分布, 通过感知节点当前所处位置的节点密度, 动态选择在网络中传播的消息副本数量, 并根据节点的度中心性选择中继和分配消息副本数量。仿真结果表明, DAR 能够提高传输率、降低传输延迟, 在一定程度上降低了资源消耗。

关键词: 容迟网络; 路由; 密度; 中心性; 稀疏网络

中图分类号: TP301.6; TP393

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)04-1522-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.089

Density-aware routing in delay tolerant networks

ZHANG Jun-bao, LUO Guang-chun, LI Jiong, CHEN Ai-guo

(School of Computer Science & Engineering, University of Electronics Science & Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: To adapt to the highly dynamic changing and improve the routing performance in delay tolerant networks (DTNs), this paper proposed a density-aware routing (DAR) scheme for DTNs based on the spatial node distribution and degree centrality. DAR introduced node distribution of mobility model. With the node density of current location, DAR dynamically chose the number of message copies disseminated. Relay selection and copies division were based on degree centrality. Simulation results show that DAR achieves high delivery ratio and low delivery delay with low resource consumption.

Key words: delay tolerant network (DTN); routing; density; centrality; sparse network

0 引言

容迟网络(DTN)^[1,2]是一类间歇连接的网络。由于节点移动、能量管理等原因,源和目标之间可能不存在一条完整的端到端路径,网络拓扑动态变化,导致传统的网络协议不能适用于该类网络。2003年,Fall^[2]提出DTN体系结构。

近年来,DTN路由已成为一个独立的研究领域^[3]。根据是否有先验知识,已有路由算法可分为基于先验知识和无先验知识。基于路由策略,其中无先验知识的路由算法又可以分为基于复制的路由算法、基于概率的路由算法和基于编码的路由算法^[4,5]等。由于DTN动态变化,其中基于复制的路由算法受到普遍关注。

Epidemic^[6]是最基本的基于复制的路由算法。当两个节点相遇时,相互交换彼此没有的消息。Epidemic以洪泛的方式在网络中传播消息,在没有竞争也就是资源无限的情况下,能够达到最小的传输延迟和最大的传输率。然而,Epidemic消耗了大量网络资源,如带宽、缓存、能量等。为了降低资源消耗,研究者提出了限制消息副本数量的方法,如PROPHET^[7]、Max-Prop^[8]、Spray and Wait^[9]、(p, q)-Epidemic^[10]、BUBBLE^[11]、ORWAR^[12]、SA-DTN^[13]等。

Spray and Wait^[9,14]限制消息副本数量为一个固定配额,将消息传输过程分为spray和wait阶段。在消息产生的时候即确定了其在网络中传播的消息副本数量。在spray阶段,当有消息副本的节点遇到无该消息的节点时,该节点会将一半数量的消息副本转发给对方节点,自己保留剩余的一半。直到所携带消息副本数量为1才停止复制。如果消息未到达目标,则进入wait阶段,携带该消息的节点只将消息转发给目标。Multi-period spraying^[15]将Spray and Wait的单个spray阶段扩展为多个,希望在达到预期传输延迟的同时有效利用资源。Density-aware spray and wait^[16]在分析RollerNet轨迹的基础上,每个节点根据其度(在一个时间间隔内的通信机会数目)动态选择适当的副本数量,以适应网络变化,达到预期延迟。SimBetTS^[17]将社会网络分析引入DTN路由,基于节点过去交互的社会分析度量节点的中心性、相似度等,建立效用函数,有效传输消息。

本文基于Spray and Wait协议,提出节点密度感知的容迟网络路由协议(density-aware routing, DAR)。DAR通过感知当前所处位置的网络节点密度,动态确定消息副本数量,只复制消息给度中心性^[17]较高的节点,并根据度中心性在节点间分配消息副本的数量。

收稿日期: 2011-07-13; **修回日期:** 2011-09-02 **基金项目:** 国家教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-10-0298);四川省应用基础计划资助项目(2010JY0113)

作者简介: 张俊宝(1978-),男,河南巩义人,博士研究生,主要研究方向为容迟网络、移动网络(quards@sina.com);罗光春(1974-),男,教授,博导,主要研究方向为中间件技术、计算机网络和信息安全;李炯(1979-),男,讲师,主要研究方向为软件工程;陈爱国(1981-),男,博士,主要研究方向为软件分析。

1 路由协议描述

1.1 基本思想

在 Spray and Wait 路由协议的基础上,引入移动模型的空间节点分布和社会网络的度中心性。每个节点动态选择消息的副本数量,以适应网络的动态变化,同时控制传播的消息副本数量。

当源节点产生消息,或者携带消息的节点遇到未携带该消息的节点时,根据节点当前所在位置,结合移动模型的空间节点分布,动态选择该消息的副本数量。当节点复制消息时,只复制消息给度中心性较高的节点,并根据度中心性在节点间分配消息副本数量。当节点携带的消息数量为 1 时,停止复制该消息,只转发消息给目标。

1.2 节点密度

随机路点模型(random waypoint mobility model, RWP)^[18]是网络仿真中广泛使用的一种移动模型,简单易用。在 RWP 中,节点的初始位置在网络中均匀分布。节点移动遵循以下步骤:a)节点在网络中随机选择一个目的地(waypoint);b)从区间 $[v_{\min}, v_{\max}]$ 中随机选择速度,匀速直线向目的地移动;c)到达目标后暂停一段时间,然后重复以上过程。速度和暂停时间是 RWP 的两个关键参数。研究中通常假设其节点位置的分布是均匀的,然而研究者发现由于边界效应,其空间节点分布是非均匀的。

在 RWP 中,节点位置的概率密度函数近似为^[18,19]

$$f(x, y) \approx f(x)f(y) = \frac{9}{16x_m^3 y_m^3} (x^2 - x_m^2)(y^2 - y_m^2)$$

其中: (x, y) 为当前位置坐标, x_m, y_m 分别为矩形区域的边长。

1.3 消息副本数量

Spray and Wait 在源节点即确定传播的该消息副本数量。由于网络动态变化,由源节点确定的副本数量不一定适合于中继节点。在 DAR 中,每个节点根据当前所处位置的节点密度动态选择要传播的副本数量。

根据 RWP 空间节点分布的分析近似^[18,19],在整个网络区域中,越接近中心区域,概率密度函数值越大;而越接近边界区域,概率密度函数值越小。因此,在中心区域,节点密度相对较高;从中心到边界区域,节点密度逐渐降低。

文献[18]分析了 RWP 在矩形区域中的空间节点分布,从图形中可以看出,概率密度函数在平面上的投影近似为一组同心矩形。以网络中心为矩形中心,将网络区域划分为 n 个从中心向边界逐渐增大的矩形区域,以节点当前位置所处矩形区域计算消息副本数量:

$$L_{\text{dar}} = \alpha \times L \times \frac{n}{i} \quad 0 < \alpha \leq 1$$

其中: L 为 Spray and Wait 所计算的副本数量; n 为矩形个数; i 为当前所处矩形。

每当两个节点相遇时,由携带消息的节点动态计算该数量作为要传播的消息副本数量。

1.4 中继选择

在图论和网络分析中,中心性^[17]是节点相对重要性的量化。在人类社会中,中心性较强的人表现比较活跃,接触其他人的频率较高,通常会频繁接触更多的人。网络中节点的中心性是节点重要性的度量,中心性高的节点有更多和网络中其他节点通信的机会。度量中心性有许多方式,度中心性是其中广泛使用的一种,它使用一个节点所遇到的网络中其他节点的个数来度量。

当两个节点相遇时,携带消息副本的节点只复制消息给度中心性较高的节点。因为在过去一段时间内,度中心性较高的节点比度中心性较低的节点所遇到其他节点的个数多。同样,在将来的时间里,度中心性较高的节点也可能遇到更多的节点,有更多的通信机会。

每个节点维护一个计数器,将计数器的值作为节点的度中心性 C 。当两个节点相遇时,各自的计数器加 1。当 $C_B \geq C_A$ 时,携带消息副本的节点 A 复制消息给节点 B 。

1.5 消息副本的分配

当携带消息的节点 A 遇到无该消息的节点 B 时,基于节点的度中心性分配消息副本数量。假设 A 携带的消息副本数量为 R ,按下式分配^[17]:

$$R_A = \lceil R \times \frac{C_A}{C_A + C_B} \rceil$$

$$R_B = R - R_A$$

2 仿真结果与分析

本文采用仿真软件 ONE (opportunistic network environment)^[20]进行仿真实验,版本 1.4.1。在相同场景下,与 Epidemic、PROPHET、Spray and Wait 协议对比,从以下三方面评估协议的性能:a)传输率^[1,4],成功到达目标的消息数量与网络中产生的消息总数之比;b)传输延迟^[1,4],消息到达目标的时间;c)传输次数^[14],网络中消息在节点间传输的总次数,以此度量网络资源消耗。

2.1 仿真参数设置

本文在稀疏网络的场景下进行仿真。表 1 是各项仿真参数的设置。

表 1 仿真参数

参数	值
仿真时间	40 000 s
移动模型	RWP
仿真区域	1000 m × 1000 m
节点数量	20
速度	[0.5, 1.5] m/s
暂停时间	[0, 120] s
传输速率	250 Kbps(2 Mbps)
传播范围	10 m
缓存大小	5 MB
消息大小	[512 KB, 1 MB]
产生消息的时间间隔	[25, 35] s
TTL	300 m

PROPHET^[7]协议的初始常量分别为: $p_{\text{init}} = 0.75, \beta = 0.25, \gamma = 0.98$ 。Spray and Wait^[9]协议采用 binary spray,且 $L = 6$ 。

2.2 仿真结果分析

图 1 和 2 分别展示了所有路由协议的传输率和传输延迟。随着时间增长,网络中的消息数量渐增,传输率增长幅度略有下降,传输延迟也逐渐增长。Epidemic 采用洪泛的方式,其传输率最终达到最高。但由于资源受限,随着网络中流量的增加,Epidemic 的传输延迟也达到最高。最终 DAR 的传输率仅次于 Epidemic,而传输延迟仅略高于 PROPHET,低于 Epidemic 和 Spray and Wait。

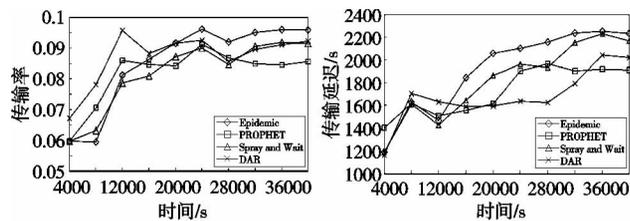


图1 传输率随时间的变化

图2 传输延迟随时间的变化

图 3 描述了各种路由协议总的传输次数。传输次数是资源消耗的一种度量。传输次数越多,消耗的带宽、能量、缓存越多。随着时间增长,所有协议总的传输次数明显增加。Epidemic 没有消息副本控制,其传输次数最多,Spray and Wait 次之。DAR 只向度中心性大于等于自己的节点复制,所以传输次数最少,略低于 PROPHET。仿真结果表明,DAR 在提高路由性能的同时,提高了网络资源利用率。

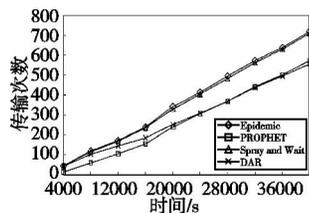


图3 传输次数随时间的变化

3 结束语

本文在 Spray and Wait 路由协议的基础上,提出一种网络节点密度感知的 DTN 路由协议 DAR。DAR 在 Spray and Wait 的基础上,通过感知当前所处位置的网络节点密度,动态选择消息副本数量。当两个节点相遇时,只复制消息给度中心性较高的节点,并根据度中心性分配消息副本数量。仿真结果表明,DAR 在传输率、传输延迟方面均有一定提升,同时降低了网络资源消耗。

下一步将针对异构网络环境,结合社会网络分析理论,通过适应网络动态变化,以提高传输率,降低传输延迟,同时降低资源消耗。

参考文献:

[1] 肖明军,黄刘生. 容迟网络路由算法[J]. 计算机研究与发展, 2009,46(7):1065-1073.
 [2] FALL K. A delay-tolerant network architecture for challenged Internets [C]//Proc of Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. New York: ACM Press, 2003:27-34.
 [3] FALL K, FARRELL S. DTN: an architectural retrospective [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(5): 828-836.

[4] JAIN S, FALL K, PATRA R. Routing in a delay tolerant network [C]//Proc of Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. New York: ACM Press, 2004:145-158.
 [5] SPYROPOULOS T, RAIS R, TURLETTI T, et al. Routing for disruption tolerant networks: taxonomy and design [J]. Wireless Networks, 2010, 16(8): 2349-2370.
 [6] VAHDAT A, BECKER D. Epidemic routing for partially connected Ad hoc networks, Duke Technical Report CS-2000-06 [R]. Durham: Duke University, 2000.
 [7] LINDGREN A, DORIA A, SCHELÉN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks [J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 19-20.
 [8] BURGESS J, GALLAGHER B, JENSEN D, et al. MaxProp: routing for vehicle-based disruption-tolerant networks [C]//Proc of INFOCOM. 2006:1-11.
 [9] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C, et al. Spray and Wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks [C]//Proc of ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking. New York: ACM Press, 2005:252-259.
 [10] MATSUDA T, TAKINE T. (p, q)-Epidemic routing for sparsely populated mobile Ad hoc networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(5): 783-793.
 [11] HUI P, CROWCROFT J, YONEKI E, et al. BUBBLE rap: social-based forwarding in delay tolerant networks [C]//Proc of the 9th ACM International Conference on Mobile Ad hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2008:241-250.
 [12] SANDULESCU G, NADJM-TEHRANI S. Opportunistic DTN routing with window-aware adaptive replication [C] //Proc of AINTEC the 4th Asian Conference on Internet Engineering. New York: ACM Press, 2008:103-112.
 [13] 王贵竹,张家勇,王炳庭. SA-DTN: 基于节点社会活跃度的 DTN 路由研究[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(4): 1524-1526.
 [14] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2008, 16(1): 77-90.
 [15] BULUT E, WANG Z, SZYMANSKI B. Cost-effective multiperiod spraying for routing in delay-tolerant networks [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2010, 18(5): 1530-1543.
 [16] TOURNOUX P U, LEGUAY J, BENBADIS F, et al. The accordion phenomenon: analysis, characterization, and impact on DTN routing [C]//Proc of INFOCOM. 2009: 1116-1124.
 [17] DALY E M, HAAHR M. Social network analysis for information flow in disconnected delay-tolerant MANETs [J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2009, 8(5): 606-621.
 [18] BETTSTETTER C, RESTA G, SANTI P, et al. The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless Ad hoc networks [J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2003, 2(3): 257-269.
 [19] BETTSTETTER C. Poster: topology properties of Ad hoc networks with random waypoint mobility [J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 50-52.
 [20] KERÄNEN A, OTT J, KÄRKKÄINEN T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation [C]//Proc of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques. Brussels: ICST, 2009:55-65.