

容迟容断网络中基于模型的动态路由算法

王兴伟 魏永涛 黄敏 王军伟

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110819)

摘要 通过对容迟容断网络中无拓扑信息路由算法进行分析,提出了基于模型的容迟容断网络动态路由算法。针对节点位置信息事先难以确定的特点,动态更新节点到访概率及相遇概率,并在此基础上自适应选择中继节点。对所提算法进行了仿真实验和性能分析。结果表明,基于模型的容迟容断网络动态路由算法不仅可以提高报文递交率并降低平均传输延时,而且可以避免产生大量冗余报文副本。

关键词 容迟容断网络,无拓扑信息,基于模型,动态路由

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Model Based Dynamic Routing Algorithm in Delay/Disruption Tolerant Network

WANG Xing-wei WEI Yong-tao HUANG Min WANG Jun-wei

(College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract In this paper, the non-topological information routing algorithms in DTN was analyzed. Then, a model based dynamic routing algorithm(MDRA)for DTN was proposed. Aiming at the difficulty of getting node location in advance, a process was designed to dynamically update node visiting probability and encountering probability, which can help adaptively choose the relaying nodes. Simulation implementation and performance analysis of the proposed MDRA were done. Simulation results show that with the MDRA algorithm running in DTN, the delivery ratio of the transferred message is increased and the time delay is reduced, and at the same time the generation of numerous redundant copies of the transferred message is avoided.

Keywords Delay/disruption tolerant network, Non-topological information, Model based, Dynamic routing

1 引言

容迟/容断网络(Delay/Disruption Tolerant Network, DTN)的典型特征就是网络环境苛刻,网络中节点以及节点间链路不稳定(如延时很长、经常中断、丢包率很高等)^[1,2]。现有的DTN路由算法,根据使用拓扑信息的程度可以分为无拓扑信息、部分拓扑信息、完全拓扑信息3类。

已经提出了一些适用于移动自组织网络(Mobile Ad-hoc Network, MANET)、车辆自组织网络(Vehicular Ad-hoc Network, VANET)等类型DTN的无拓扑信息路由算法。首次接触(First Contact, FC)算法^[3]采用单副本洪泛机制,一旦有通信机会,源节点就将尽可能多的报文转发到首次连接到的其它节点,转发成功后删除本地报文副本。直接投递(Direct Delivery, DD)算法^[4]也采用单副本转发机制,源节点存储并携带报文,直到遇到目的节点才转发。周期移动空间路由(Routing in a Cyclic Mobispace, RCM)算法^[5]和基于社

会轨迹感知的位置逼近路由(Sociological Orbit aware Location Approximation and Routing, SOLAR)算法^[6]都采用单副本转发机制,在延时、递交率等方面表现一般,RCM算法还需要预先确定节点在移动空间中的坐标。传染性路由(Epidemic, EP)算法^[7]为多副本洪泛机制,采用“存储-携带-转发”模式,在两个节点移动到相互可通信的区域范围内时,彼此交换对方尚未缓存的报文。自适应传染性(Adaptive Epidemic, AEP)路由算法^[8]根据网络缓存饱和程度自适应确定报文副本数,减少报文副本数量,缓解了EP算法过度洪泛的问题,但传输延时有所上升。多副本转发路由算法还有基于投递概率预测的有效路由(Delivery probability Prediction based Efficient Routing, DPER)算法^[9]和基于概率分布的传输(Probability Distribution based Transmission, PDT)算法^[10]。DPER算法根据节点信息预测其它节点的投递概率,在复制报文时根据节点间的投递概率分配副本配额,能提升递交率并降低延时,但投递效率不高;PDT算法分析节点移动及报

到稿日期:2012-11-15 返修日期:2013-05-02 本文受国家杰出青年科学基金(61225012),国家自然科学基金(61070162, 71071028, 70931001),高等学校博士学科点专项科研基金优先发展领域(20120042130003),高等学校博士学科点专项科研基金(20100042110025, 20110042110024),工信部物联网发展专项资金,中央高校基本科研业务费专项资金(N110204003, N120104001)资助。

王兴伟(1968—),男,博士,教授,主要研究方向为未来互联网、云计算和信息安全, E-mail: wangxw@mail.neu.edu.cn; 魏永涛(1980—),男,博士,讲师,主要研究方向为下一代网络技术; 黄敏(1968—),女,博士,教授,主要研究方向为智能优化算法; 王军伟(1971—),男,博士,教授,主要研究方向为智能路由算法等。

文生存周期,统计各节点连通概率,使网络具备较高的报文递交率。

本文针对 MANET、VANET 等类型的 DTN,提出一种基于模型的动态路由算法(Model based Dynamic Routing Algorithm,MDRA),其利用节点移动信息建立概率模型,描述节点移动与相遇规律,并据此选择中继节点,使中继节点选择更精确,进而使报文到达目的节点的的概率更高。MDRA 采用动态更新节点信息的方法,引入自适应中继选择机制,可以在提高报文递交率的同时避免产生大量冗余报文副本,从而节省网络资源。

本文第 2 节描述 MDRA 的设计;第 3 节描述 MDRA 的仿真实现及其性能;最后得出结论。

2 基于模型的动态路由算法设计

2.1 网络模型

由于 DTN 拓扑随时间而变,MDRA 采用时间相关网络模型,记 $G(t)=(V(t),E(t))$, $V(t)$ 、 $E(t)$ 分别为网络节点和边的集合, t 为时间变量。网络中有 N 个节点,被划分为 M 个子网络。

(1) 节点属性

节点能够发送并接收报文,与相遇节点在同一子网时能够转发报文。每个节点都有唯一标识符,节点出现在子网的概率称为节点到访概率。

(2) 链路属性

子网中的链路为子网内链路,用于连接同一子网中的两个节点,设子网内链路为双向链路。不在同一子网中的节点之间没有链路。若源节点与目的节点不在同一子网,需从遇到的节点中选择中继节点,并将报文转发给中继节点,再由中继节点转发给目的节点;若源节点与目的节点在同一子网,则由源节点直接向目的节点转发;报文转发采用逐跳方式。

2.2 概率计算

MDRA 中定义参数如表 1 所列。

表 1 MDRA 参数描述

参数	描述
$P_i^k(t)$	t 时刻节点 i 出现在子网 k 的到访概率
$P_{ij}^k(t)$	t 时刻节点 i 和 j 在子网 k 相遇的概率
$P_{ij}(t)$	t 时刻节点 i 和 j 在整个网络相遇的概率
$ACN_{ij}(t)$	t 时刻节点 i 向 j 转发报文所需自适应中继数量*

* $ACN_{ij}(t)$ 的定义见 2.5 节式(6)。

$$\sum_{k=1}^M P_i^k(t) = 1 \quad (1)$$

在移动过程中,各节点到访概率相互独立,因此 $P_{ij}^k(t)$ 的计算见式(2):

$$P_{ij}^k(t) = P_i^k(t) \times P_j^k(t) \quad (2)$$

$P_{ij}(t)$ 的计算见式(3):

$$P_{ij}(t) = 1 - \prod_{k=1}^M (1 - P_{ij}^k(t)) \quad (3)$$

2.3 概率更新

在 MANET、VANET 等类型的 DTN 环境中,节点频繁移动,节点对各子网的到访概率会发生变化,需要适时更新。

设 t_s 时刻节点 i 移动到子网 j ,则 t_{s+1} 时刻节点 i 在子网 j 的概率更新见式(4):

$$P_i^j(t_{s+1}) = P_i^j(t_s) + (1 - P_i^j(t_s)) \times \alpha \quad (4)$$

其中, α 为到访概率更新参数。

为使节点 i 到访各子网的概率之和为 1,节点 i 在其他子网的概率相应更新,见式(5):

$$P_i^k(t_{s+1}) = P_i^k(t_s) \times (1 - \alpha) \quad (5)$$

其中, $k \neq j$ 。

按照式(4)和式(5)进行概率更新,能够保证 t_{s+1} 时刻节点 i 到访各子网的概率之和为 1,演算过程如下:

$$\begin{aligned} & P_i^j(t_{s+1}) + \sum_{k \neq j} P_i^k(t_{s+1}) \\ &= P_i^j(t_s) + (1 - P_i^j(t_s)) \times \alpha + \sum_{k \neq j} [P_i^k(t_s) \times (1 - \alpha)] \\ &= P_i^j(t_s) + (1 - P_i^j(t_s)) \times \alpha + \sum_{k \neq j} P_i^k(t_s) - \sum_{k \neq j} [P_i^k(t_s) \times \alpha] \\ &= P_i^j(t_s) + \sum_{k \neq j} P_i^k(t_s) + (1 - P_i^j(t_s)) \times \alpha - \sum_{k \neq j} [P_i^k(t_s) \times \alpha] \\ &= 1 + (1 - P_i^j(t_s)) \times \alpha - \sum_{k \neq j} [P_i^k(t_s) \times \alpha] \\ &= 1 + \sum_{k \neq j} [P_i^k(t_s) \times \alpha] - \sum_{k \neq j} [P_i^k(t_s) \times \alpha] \\ &= 1 \end{aligned}$$

相应地,根据式(2)和式(3)更新节点 i 与其它节点在子网 k 相遇的概率及节点 i 与其它节点在整个网络相遇的概率。

2.4 存储表

每个节点都保存一张到访概率表来存储当前整个网络中每个节点对每个子网的到访概率,如表 2 所列。每个节点保存一个概要向量 SV 来记录其与其它节点在整个网络中的相遇概率,例如节点 1 的概要向量如表 3 所列。此外,每个节点都保存一个时间向量来记录相遇概率的更新时间,如表 4 所列。

表 2 节点到访概率表

节点 \ 子网	1	2	...	M
1	P_1^1	P_1^2	...	P_1^M
2	P_2^1	P_2^2	...	P_2^M
...
N	P_N^1	P_N^2	...	P_N^M

表 3 概要向量

节点 ID	1	2	...	N
相遇概率 P_{1j}	1	P_{12}	...	P_{1N}

表 4 时间向量

节点 ID	1	2	...	N
概率更新时间	t_1	t_2	...	t_N

2.5 自适应中继选择

在本文中,每个节点都是根据其相遇节点个数及相遇概率大小来自适应选择中继节点,以提高报文成功传输到目的节点的概率。

携带报文的当前节点与某节点相遇时,如果该相遇节点与目的节点的相遇概率大于当前节点与目的节点的相遇概率,则将报文转发给相遇节点,否则不进行转发。当前节点与多个节点相遇时,要对中继节点数量进行自适应调节,同时比

较当前节点和相遇节点分别与目的节点相遇的概率,最终确定中继节点。

中继节点数量据式(6)而定:

$$ACN_{ij}(t) = \left\lfloor \frac{1}{P_{ij}(t)^{\frac{1}{\lambda}}} \right\rfloor \quad (6)$$

其中, $\lambda \in (0, 1]$ 。 $P_{ij}(t) = 0.5$, λ 取不同值时, 对应的中继数量如图 1 所示; $\lambda = 0.5$, $P_{ij}(t)$ 取不同值时, 对应的中继数量如图 2 所示。可以看出, 当节点间相遇概率较大时, 中继数量为 1, 采用单副本转发, 既可以保证以较高概率成功传输报文, 又不会产生报文冗余; 当节点间相遇概率较小时, 中继数量相应增多, 为自适应多副本转发, 同时副本不会无限增大, 既可以提高报文递交率, 又可以减小传输延时, 同时避免产生过多副本。

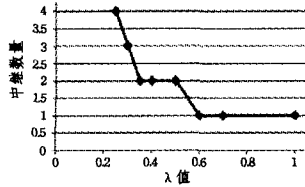


图 1 不同 λ 值下的中继数量

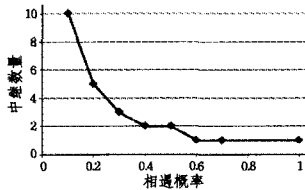


图 2 不同相遇概率下的中继数量

2.6 报文转发过程

对于节点移动过程中与一个或多个节点相遇情况下的报文转发规则分别描述如下:

情况 1 t 时刻节点 i 和一个节点(如节点 j)相遇。

Step 1 更新节点到访概率表、概要向量和时间向量;

Step 2 如果节点 i 有报文需要发送给目的节点 k , 则将 SV_i 中节点 i 与节点 k 的相遇概率 P_{ik} 与 SV_j 中节点 j 与节点 k 的相遇概率 P_{jk} 进行比较, 如果 $P_{jk} > P_{ik}$, 则节点 i 将报文转发给节点 j , 由节点 j 继续转发, 同时删除自身保管的报文; 否则, 不进行转发, 结束。

情况 2 t 时刻节点 i 和 $n(n > 1)$ 个节点相遇。

Step 1 更新节点到访概率表、概要向量和时间向量;

Step 2 如果节点 i 及相遇节点中没有与目的节点的相遇概率大于 0.5 的节点, 则转 Step 4;

Step 3 如果相遇节点中存在与目的节点相遇概率大于节点 i 的节点, 则选择与目的节点相遇概率最大的节点作为中继节点, 将报文转发给该节点, 删除节点 i 自身保管的报文; 否则, 不进行转发, 结束;

Step 4 节点 i 用更新之后的相遇概率根据式(6)计算中继节点数量 n_0 ; 确定 n 个相遇节点中与目的节点相遇概率大于节点 i 与目的节点相遇概率的节点数量 $m(0 < m < n)$; 按照与目的节点相遇概率的大小对 n 个相遇节点由大到小排序, 如果 $m > n_0$, 则节点 i 产生 n_0 份报文副本并转发给前 n_0 个相遇节点, 否则节点 i 产生 m 份报文副本并转发给前 m 个相遇

节点; 删除节点 i 自身保管的报文, 结束。

3 仿真实现与性能评价

采用 C++ 编程仿真实现了 MDRA, 并将 EP 算法^[7]、AEP 算法^[8] 和 RCM 算法^[5] 作为基准算法进行了性能评价。评价时, 使用如下性能指标: 报文递交率(定义为成功投递的报文占需要投递的报文总量的比例)、平均传输延时(定义为报文从源节点投递到目的节点所用的平均时间)和开销比(定义为未成功投递的报文数量与成功投递的报文数量的比值)。

(1) 报文递交率

算法在不同节点停留时间下的报文递交率如图 3 所示。随着节点停留时间的增加, 可用连接的持续时间延长, 各算法的报文递交率均提高。MDRA 采用自适应多副本转发, 一旦遇到可用连接, 就根据相遇概率及相遇节点个数确定中继节点, 选择中继节点比其他算法更精确, 因此报文递交率更高。

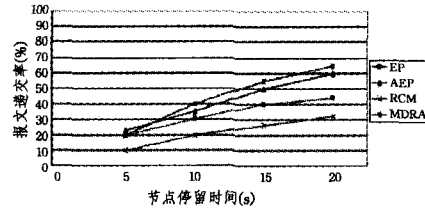


图 3 不同节点停留时间下的报文递交率

算法在不同节点个数下的报文递交率如图 4 所示。随着网络节点个数增加, 算法表现不一。MDRA 自适应选择中继节点, 选择的中继节点相遇概率会更高, 不仅产生的报文副本数更少, 而且报文递交率更高。

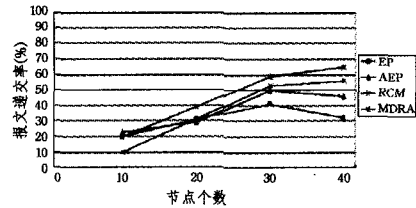


图 4 不同节点个数下的报文递交率

算法在不同节点报文发送速率下的报文递交率如图 5 所示。随着节点报文发送速率增加, 各算法的报文递交率均呈上升趋势, 从高到低依次为 MDRA、AEP 算法、EP 算法和 RCM 算法。

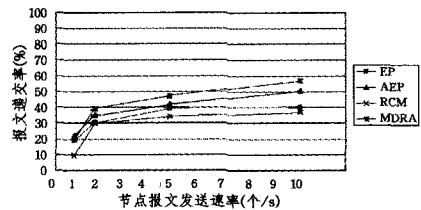


图 5 不同节点报文发送速率下的报文递交率

(2) 平均传输延时

算法在不同节点停留时间下的平均传输延时如图 6 所示。随着节点停留时间增加, 各算法的平均传输延时逐渐减小。其中, MDRA 最能充分利用节点间的通信机会, 平均传输延时下幅度最大。

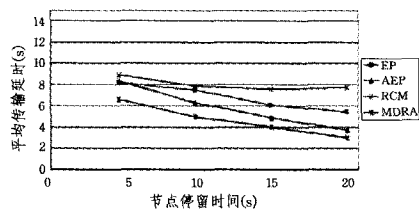


图6 不同节点停留时间下的平均传输延时

算法在不同节点个数下的平均传输延时如图7所示。各算法的平均传输延时随节点个数的增加而增加,但MDRA的传输延时增幅最小,基本保持不变。

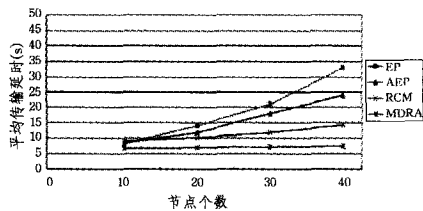


图7 不同节点个数下的平均传输延时

算法在不同节点报文发送速率下的平均传输延时如图8所示。随着节点报文发送速率增加,各算法的平均传输延时均呈上升趋势。MDRA产生的报文副本数最少,表现出更低的平均传输延时。

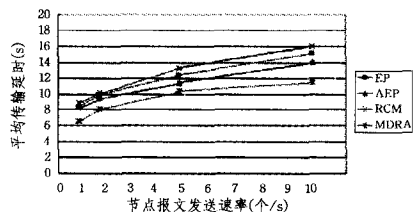


图8 不同节点报文发送速率下的平均传输延时

(3) 开销比

算法在不同节点停留时间下的开销比如图9所示。随着节点停留时间的增加,算法的开销比表现不一。MDRA能充分利用通信机会,表现出最低的开销比。

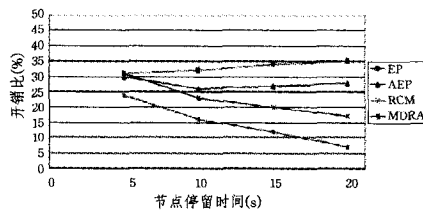


图9 不同节点停留时间下的开销比

算法在不同节点个数下的开销比如图10所示。MDRA选取相遇概率大的节点作为中继,开销比持续下降且最低。

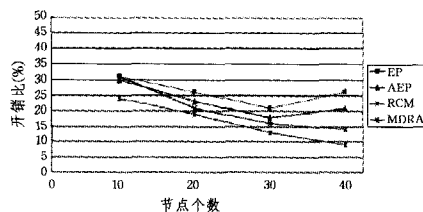


图10 不同节点个数下的开销比

算法在不同节点报文发送速率下的开销比如图11所示。MDRA采用自适应中继,产生报文副本最少,开销比最低。

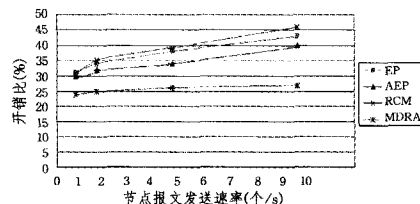


图11 不同节点报文发送速率下的开销比

结束语 本文针对 MANET、VANET 等类型 DTN 的特点,提出了一种基于模型的动态路由算法,进行了仿真实验和性能评价。通过对本文提出的算法和现有的一些典型路由算法在报文递交率、平均传输延时、开销比等性能指标上的定量对比分析,可以看出本文提出的算法具有更好的性能。算法在实际环境下的应用及其进一步实用化是今后研究工作的重点。

参考文献

- [1] Esposito F, Matta I. PreDA: Predicate Routing for DTN Architectures over MANET [C]// Global Telecommunications Conference, 2009. Honolulu; IEEE, 2009; 1-6
- [2] Krishnan R, Basu P, Mikkelsen J M, et al. The SPINDLE Disruption-Tolerant Networking System [C]// Military Communications Conference 2007. Orlando; IEEE, 2007; 1-7
- [3] Jones E, Li L, Ward P. Practical Routing in Delay-Tolerant Networks [C]// Proceedings of 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking. New York; ACM, 2005; 237-243
- [4] Grossglauser M, Tse D N C. Mobility increases the capacity of ad hoc wireless networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, 10(4): 477-486
- [5] Liu Cong, Wu Jie. Routing in a cyclic mobispace [C]// Proceedings of the 9th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing. New York; ACM, 2008; 351-360
- [6] Ghosh J, Philip S J, Qiao Chun-ming. Sociological orbit aware location approximation and routing (SOLAR) in MANET [J]. Ad hoc Networks, 2007, 5(2): 189-209
- [7] Zhang Xiao-lan, Neglia Q, Kurose J, et al. Performance Modeling of Epidemic Routing [J]. Computer Networks, 2007, 51(10): 2867-2891
- [8] 孙践知, 张迎新, 陈丹, 等. 具有自适应能力的 Epidemic 路由算法 [J]. 计算机科学, 2012, 39(7): 104-107
- [9] 彭敏, 洪佩琳, 薛开平, 等. 基于投递概率预测的 DTN 高效路由 [J]. 计算机学报, 2011, 37(1): 174-181
- [10] 卢文伟, 李光辉, 冯海林. 移动传感器网络中基于概率分布的动态的低冗余路由算法 [J]. 计算机科学, 2012, 39(6): 174-177