DTN 中基于两跳 ACK 确认机制的备用副本转发算法

文冠祺 王 忠 巩正正 张少磊 王 静
(火箭军工程大学理学院 西安 710025)

摘 要 针对容迟容断网络(Delay/Disruption Tolerant Networks,DTN)在遇到路由空洞问题时缺乏有效回避路由空洞区域的方法,导致信息端到端传输时延较大的问题,提出一种基于两跳 ACK 确认机制的备用副本转发算法。消息在空洞区域无法传播时由上一跳节点寻找其他符合条件的节点,另辟路径转发消息,从而避开路由空洞区域。仿真实验结果表明,该算法在递交率、平均时延和网络开销方面表现优于 Spray and Wait 等对比算法,在车载自组网中具有很强的应用性。

关键词 容迟容断网络,路由空洞,两跳 ACK 确认机制,备用副本转发,车载自组网
中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Two-hop ACK Message Based Routing Algorithm with Alternative Copy in DTN

WEN Guan-qi WANG Zhong GONG Zheng-zheng ZHANG Shao-lei WANG Jing
(College of Science, Rocket Force Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract Aiming at the problem of lacking effective method to dodge routing holes, which makes higher delay in end to end transmission, a forwarding algorithm based on two-hop ACK mechanism with alternative copies(2HAR) was proposed. To evade routing hole area and find a new communication path effectively, when sending a message, a backup that copies of the message will be maintained by a hop node. After receiving a confirmation of ACK, copies of the message will be deleted, or find other forwarding node to send a copy of the message. Results of the simulation indicate the proposed algorithm performs better in terms to the delivery ratio, the average end-to-end delays and the network overheads, which is significative to use in the VANET.

Keywords DTN, Routing hole, Two-hop ACK mechanism, Alternative copy forwarding algorithm, VANET

1 引言

容迟容断网络(Delay/Disruption-Tolerant Network,DTN)是一种采用"携带-存储-转发"消息互换机制的端到端网络体系结构[1],其特点为节点移动速度快、网络拓扑变化频繁、网络间断性连接、端到端时延较大等[2]。DTN 的概念最初起源于星际通信项目(IPN:Inter-Planet Network)[3],如今已被广泛运用于车载网络[4-7]、地震救助通信[8]、偏远山区通信[9,10]、水下探测、森林防火等领域。

传统的 Ad hoc 网络要求存在传输路径维持端到端连接,但在 DTN 网络中由于其自身特性,很难保持有持续连通的端到端路径,在"快变动态拓扑路由"的研究大趋势下,逐步分衍出不少适合 DTN 网络的路由算法。从报文副本数量角度讲可以把经典 DTN 路由算法分为单报文副本路由算法(如 Random Routing,SimBet 等)和多报文副本路由算法(如 Epidemic Routing[11],PROPHET[12] 等)两大类;而从下一跳节点寻找方式角度考虑又可将路由算法分为基于节点位置信息的路由算法(如 Geo+DTN[13],LASR[14] 等)和基于节点效用值的路由算法[15]。

2 问题描述

DTN 网络中存在路由空洞[16]的现象(见图 1),常发生在节点密度分布不均、部分节点移动至通信区域范围之外、下一跳节点发生故障等情况下。在现实车载网络中,车队之间的通信若受建筑物、山峰等阻隔,或者超出通信范围,当携带信息的节点搜索不到比自身更合适的下一跳节点,从而无法将信息继续向目的节点转发时便出现了路由空洞。一般情况下在 DTN 网络中采取多报文副本路由算法来消除路由空洞的影响。随着网络中的报文数量增多,传播范围扩大,即使一部分报文在传播过程中受阻,仍存在其他路径上的剩余报文将消息传递给目的节点,但这样往往会导致网络泛洪,加大网络开销,甚至造成网络拥塞。已有较多路由算法与地理信息相结合,文献[17]提出一种基于 GPSR 的智能修剪算法 GSGR。该算法通过发现捷径对邻居节点进行侦听,以很小的代价做路由优化,但节点需长时间保持信道侦听,所以能耗过大。在其他基于地理位置信息的路由算法(如贪婪路由算法)中,每个节点会根据周围节点的位置分布和对邻居节点到目的节点距离的判断,找到一个最适合的下一跳节点并把信息传递出

文冠祺(1991-),男,硕士生,主要研究方向为嵌入式系统与嵌入式网络;王 忠(1968-),男,博士,教授,主要研究方向为嵌入式与移动 AD-hoc;巩正正(1990-),女,硕士,主要研究方向为计算机网络与分布式计算;张少磊(1992-),男,硕士生,主要研究方向为计算机网络与指挥自动化系统;王 静(1992-),女,硕士生,主要研究方向为嵌入式系统与嵌入式网络。

去，通过一次次重复类似操作，来完成把信息传递给目的节点这个过程。然而当某一时刻信息传递到某节点后出现了路由空洞，该节点无法发现比自己更优的下一跳转发节点，此刻信息传递便会受阻，转发将无法继续，从而影响通信质量。如何在避免网络拥塞的情况下，使得节点不必产生过多能耗来对路由空洞做预测规避，而是用一种简单的方式尽量绕开空洞是值得思考的问题。

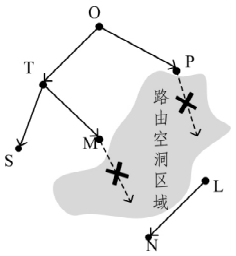


图 1　路由空洞示例

3　算法描述

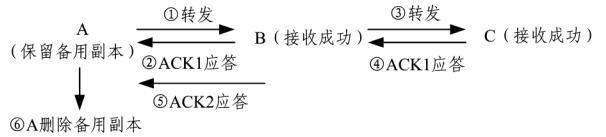
单报文副本位置路由算法不必考虑泛洪给网络开销带来的压力，本文提出一种基于两跳 ACK 确认机制的备用副本转发路由算法(Two-Hop ACK Routing with Alternative Copies，2HAR路由算法)，对单报文副本算法面对路由空洞问题时的行为进行了改进。当节点寻找不到比自己更合适的下一跳转发节点时，由它的上一跳节点负责寻找其他节点转发消息，从而完成消息回退行为，避开路由空洞。

3.1　基本思想

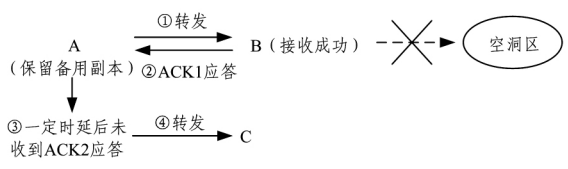
为了保证通信的连贯性和可靠性，本算法设有两个反馈消息 ACK1 和 ACK2，它们都是节点成功接收到转发消息时给上一跳反馈的信息，不同之处在于发送时机不同，产生效果也不同。

如图 2 所示，节点 A 在发送消息之前自己先备份一消息副本，它将消息发送给 B，B 再转发给 C，在此过程中 ACK1 是节点反馈给其上一跳节点的作为已成功收到消息的证明；ACK2 是节点在收到其下一跳节点传回的 ACK1 后，发给上一跳节点的反馈消息，用作告知上一跳节点：路径相对可靠，可以删除备用副本。

若遇到如图 2(b)所示的不可靠路径时，B 不可能收到下一跳节点 C 的 ACK1，结果也不会发送 ACK2 给上一跳节点 A，A 再等待一段时间仍没收到 ACK2 后将再次备份消息，另寻路径转发。即是否接收到反馈 ACK2 是上一跳节点删除备份的消息副本或者再一次备份消息并择路转发的重要依据。



(a) B接收并转发



(b) B遇到路由空洞

图 2　基于两跳 ACK 确认机制的备用副本转发算法

3.2　路由过程

在路由过程中，设置 Timer1 和 Timer2 两个计时器，分别对应节点等待 ACK1 和 ACK2 两个确认消息的最长等待时间。在 3.1 节中已经说明 ACK1 和 ACK2 的发送时机，考虑在时间上加松弛因子，本文取 Time1 为 3 倍单跳转发时延，取 Time2 为 5 倍单跳转发时延。

(1)节点 A 找到合适的下一跳节点 B 并将消息转发给 B，且节点 A 自身留存备份一消息副本，启动 Timer1 等待节点 B 的反馈；

(2)节点 B 成功收到消息，向节点 A 反馈 ACK1 应答消息，否则不反馈：

a)若节点 A 在计时器 Timer1 时间限制之内收到 ACK1 应答消息，启动计时器 Timer2，等待节点 B 反馈 B 的下一跳节点成功接收并转发信息的反馈消息；

b)若节点 A 在计时器 Timer1 时间限制之内没有收到 ACK1 应答消息，可认为节点 A 转发消息失败(即节点 B 是一个不可靠的下一条节点)，此时节点 A 再次寻找其他合适的下一跳节点 C，重复步骤(1)、(2)；

(3)当节点 B 成功接收消息并反馈 ACK1 给节点 A 后，寻找下一跳节点 C(如果还有)将消息转发，重复步骤(1)、(2)；

(4)若节点 C 成功收到消息，向节点 B 反馈 ACK1 应答消息，否则不反馈。此时节点 B 除执行步骤(2)a)、步骤(2)b)外，需向节点 A 发送应答消息 ACK2，如果节点 B 正是目的节点，没有下一跳节点时，也要反馈 ACK2 应答消息：

a)若节点 A 在计时器 Timer2 时间限制之内收到 ACK2 应答消息，则此次转发过程已经成功结束或者已经成功完成消息向目的节点的传送，可以删除备份的副本消息；

b)若节点 A 在计时器 Timer2 时间限制之内没有收到 ACK2 应答消息，即判断为前方出现路由空洞，那么节点 A 将遵照上述步骤重新寻找下一条节点转发消息。

在上述步骤中，若遇到路由空洞或者是其他因素导致某一节点不能成功将消息转发出去，则该节点会一直保留消息，当某个时机有合适的下一跳节点或者通信路径顺畅时继续转发；直到消息的生命周期结束，该节点缓存空间管理机制将过期消息清除，以增加消息在路由空洞附近的生存几率，提升整个网络的通信质量。

基于两跳 ACK 确认机制的备用副本转发算法流程如图 3 所示。

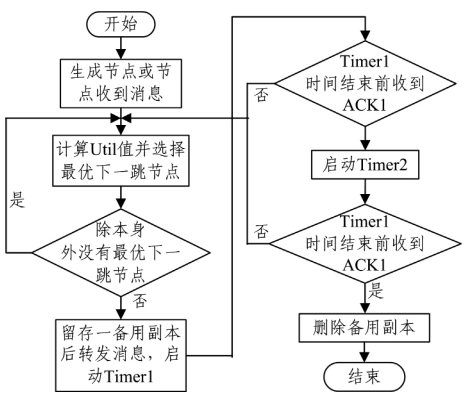


图 3　基于两跳 ACK 确认机制的备用副本转发算法流程图

4 仿真与分析

4.1 仿真场景设置

车队在山地道路上行驶，周围有高地、树木等遮蔽物阻碍信号传递，仿真场景中设置了若干路由空洞区域来测试2HAR算法。图4截取了仿真场景地图部分画面并添加标识，某时刻车队中节点 p 想对节点 q 传递消息，但两者之间有H1高地阻碍信号，可能会形成空洞区，故节点 p 只能暂时将消息转发给前一辆车，以使信息得以传递。

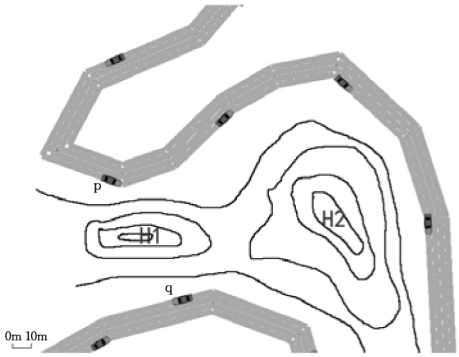


图4 仿真场景示意图

过程实现中利用Sumo交通仿真器和NS2[18]网络仿真平台对算法进行模拟仿真。首先在OSM地图中选取合适的一部分作为仿真场景区域，用sumo生成道路拓扑结构和车辆移动模型等文件做出车辆运行地图，利用sumo命令输出fcd(Floating Car Data)文件，利用traceExporter.py生成所需的config，mobility，activity文件，将3个文件嵌入到ns2代码中。随后将仿真结果与Epidemic算法和Spray and Wait算法做比较。Epidemic算法的基本思路是当两个节点相遇时，双方都将对方没有的信息转发给对方节点，互通有无，经过足够多次数的交换后将消息传递给目的节点。Spray and Wait算法包含两个步骤：首先源节点将消息复制 n 份分给 n 个相遇节点；然后这 n 个节点寻找目的节点直接传输消息。仿真场景部分参数设定如表1所列。

表1 实验参数设定

场景大小	8000m×5000m
报文大小	100Kb
链路带宽	1Mbps
仿真模拟时间	600s
节点运动速度	(0,80)km/h
节点数量	50个
报文生存周期	30s
节点缓冲空间	100M
节点产生消息间隔	5s
通信距离	200m
路由算法	Epidemic,Spray and Wait,2HAR

4.2 仿真结果与分析

(1)递交率

自驾游场景中场地开阔，节点各自路径之间虽有细小不同，但是大体方向相似，消息发送并不频繁。所以由图5可知3种路由算法的递交率都呈上升趋势，包括利用泛洪传递消息的Epidemic算法在递交率上都有一定优势，相比较消息发送初期而言Epidemic算法优势最明显，2HAR算法次之，Spray and Wait算法递交率最低。Epidemic算法采用的感染传播方式使得网络中的各个节点都有机会传递消息，故递交率最高；Spray and Wait算法递交成功率不高的原因主要是对消息副本上限有限制，消息传播范围小，并且在场景中节点密集程度不如城市密集度高，所以此算法的递交率相比之下并不高；2HAR算法的路由空洞避免机制使得在节点稀疏的环境中，消息传递能够自发扩展路径，增加转发机会，所以递交成功率并不低。

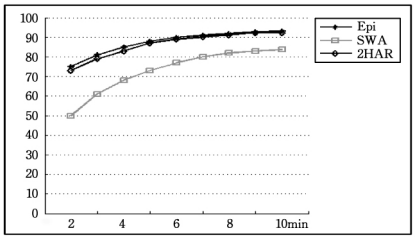


图5 自驾游场景车队自组网递交率随时间变化的情况

(2)传输时延

在节点密度稀疏的场景中，Spray and Wait算法因限制了消息扩散的范围，以及寻找下一跳节点所用时间不确定，使得该算法在传输过程中延时最大；2HAR算法可结合地理位置信息来避免Spray and Wait算法的随机性，消息可以更精准地找到合适的下一跳节点并转发，而且其本身的空洞回退机制也避免了因盲目传递消息导致的通信受阻，所以传输时延远小于Spray and Wait算法；时延最小的Epidemic算法因为其泛洪传播机制使得消息在网络中迅速蔓延到各个角落，无论在寻找下一跳节点还是传播时延上都耗费最少的时间，在节点密度稀疏的场景里如果不考虑发生拥塞的情况，Epidemic算法在此环节性能最优。自驾游场景车队自组网传输时延随时间变化的情况如图6所示。

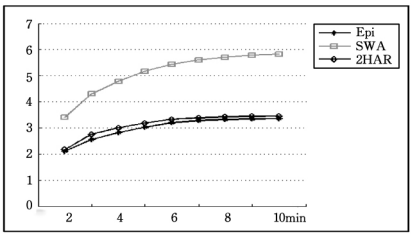


图6 自驾游场景车队自组网传输时延随时间变化的情况

(3)网络开销

3种算法的网络开销大小对比为：Epidemic＞Spray and Wait＞2HAR。在不采取端到端确认机制的情况下，上一跳节点在转发消息后不删除消息副本，使得副本在节点存储得越来越多。Epidemic算法本身就是采用泛洪机制，虽然能确保几乎所有节点都收到消息，但更多的是不必要的消息转发，占用了存储空间和资源，加大了网络开销；Spray and Wait算法虽然控制了副本数量上限，但是在模拟中发现副本数同样在一段时间内就逼近阈值，同时网络开销上升；2HAR算法在这方面显示了较为明显的优势，本来单副本消息传输就相当节约开销，即使遇到路由空洞，副本数量也只是在空洞区域周围有所上升，不影响整体网络性能，所以其网络开销最小。自驾游场景车队自组网网络开销随时间变化的情况如图7所示。

(下转第289页)

结束语　本文建立了一种新的多重权重复杂网络模型，与以往的复杂网络模型不同的是，这种网络模型的每条边上具有多个权重，并按网络拆分的原则，将其拆分为多个性质不同的子网络。接着研究了具有三重权重的复杂网络的自适应同步问题，给出了同步的准则，最后用 Lorenz 混沌系统进行数值模拟。值得注意的是，这种多重权重复杂网络模型在每条边上加上性质不同的权值，在现实中实用性很强，它的应用将是下一步研究工作的重点。

参 考 文 献

[1] 王波，柯红红，蒋天. 基于复杂网络理论的杭州公交网络建模与特性分析[J]. 武汉大学学报，2011，44(3)：404-408

[2] 米刚，刘雯，李梦龙. 复杂网络分析激酶底物信号传递机制[J]. 四川大学学报，2013，50(2)：359-365

[3] 许立雄，刘俊勇，刘洋，等. 电力网络结构特性分析[J]. 四川大学学报(工程科学版)，2014，46(S2)：133-139

[4] Gu Ya-qin，Shao Chun，Fu Xin-chu. Complete synchronization and stability of star-shaped complex networks[J]. Chaos Solitons and Fractals，2006，28(2)：480-488

[5] 史昕，赵祥模，惠飞. 一种面向分簇实时监测应用的 WSN 时间同步算法[J]. 四川大学学报(工程科学版)，2012，44(5)：121-129

[6] 孙国强. 一般双重时变时滞复杂网络的同步分析[J]. 哈尔滨商业大学学报，2012，28(6)：696-699

[7] 刘金良. 具有随机节点结构的复杂网络同步研究[J]. 物理学报，2013，62(4)：040503-040503

[8] 郑海青，井元伟，刘晓平. 一类时滞加权动态复杂网络的牵制同步[J]. 东北大学学报(自然科学版)，2010，31(3)：1065-1069

[9] 王波，王万良，杨旭华. 一种基于加权复杂网络的最优公交换乘算法[J]. 武汉理工大学学报，2008，32(6)：1113-1116

[10] 王亮亮. 加权复杂动态网络自适应控制与同步[D]. 河北：河北工业学院，2009

[11] 郭陶，张琨，郭文娟. 一种改进的加权复杂网络聚类方法[J]. 计算机科学，2012，39(S1)：99-102

[12] 高洋，李丽香，彭海朋. 多重边复杂动态网络的稳定性分析[J]. 物理学报，2008，57(3)：1444-1452

[13] 高洋，李丽香，彭海朋. 多重边融合复杂动态网络的自适应同步[J]. 物理学报，2008，57(4)：2081-2091

[14] An Xin-lei，Zhang Li，Li Yin-zhen，Zhang Jian-gang. Synchronization analysis of complex networks with multi-weights and its application in public traffic network[J]. Physica A，2014，412(10)：149-156

(上接第 277 页)

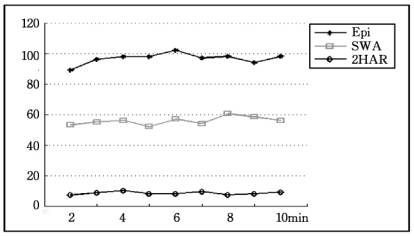


图 7　自驾游场景车队自组网网络开销随时间变化的情况

通过以上分析可以看出，Epidemic 算法虽然在递交率和传输时延上有优势，但这仅限于节点少的情况，如果节点数量达到一定值时发生网络拥塞会对通信效果产生巨大不良影响；2HAR 算法的整体性能较好，网络拥塞问题不明显，无论是节点密度稀疏的郊区野外场景还是节点密集的城市，都能保证不错的通信质量，有较强的应用性。

结束语　基于两跳 ACK 确认机制的备用副本转发算法对避开路由空洞问题能够发挥一定的主动性，结果证明该算法能够有效提高消息在不稳定连接中的转发成功率。下一步可结合文中思想进一步研究在节点高速运动中 DTN 网络端到端的可靠传输。

参 考 文 献

[1] Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets[C]// Conference on Applications，Technologies，Architectures，and Protocols for Computer Communications. ACM，2003：27-34

[2] Daly E M，Haahr M. The challenges of disconnected delay-tolerant MANETs[J]. Ad Hoc Networks，2010，8(2)：241-250

[3] Akyildiz I F，Akan B，Chen C，et al. InterPlanetary Internet：State-of-the-Art and research challenges[J]. Computer Networks，2003，43(2)：75-112

[4] Li X，Shu W，Li M，et al. DTN Routing in Vehicular Sensor Networks[J]. IEEE，2008：752-756

[5] Yu D，Ko Y B. FFRDV：Fastest-ferry routing in DTN-enabled vehicular Ad Hoc networks[J]. International Conference on Advanced Communication Technology. Icact.，2009，2：1410-1414

[6] Farahmand F，Patel A N，Jue J P，et al. Vehicular Wireless Burst Switching Network：Enhancing Rural Connectivity[C]// GLOBECOM Workshops. 2009：1-7

[7] Dentsoras A J. An information propagation scheme for VANETs[C]// Proceedings of Intelligent Transportation Systems，2005. IEEE，2005：155-160

[8] 申健，夏靖波，付凯，等. 一种区分服务的 DTN 路由算法[J]. 计算机应用研究，2013，30(6)：1772-1774

[9] Brewer E，Demmer M，Ho M，et al. The challenges of technology research for developing regions[J]. IEEE Pervasive Computing，2006，5(2)：15-23

[10] Naidu S，Chintada S，Sen M，et al. Challenges in deploying a delay tolerant network[C]// The Workshop on Challenged Networks. 2008：65-72

[11] Sok P，Kim K. Distance-based PROPHET routing protocol in Disruption Tolerant Network[C]// IEEE International Conference on ICT Convergence. 2013：159-164

[12] Park H S，Jang J H，Lee S H，et al. Position-Based DTN Routing in metropolitan bus network[C]// International Conference on Systems and Informatics. IEEE，2012：1449-1453

[13] 符媛柯，唐伦，陈前斌，等. 车载自组织网络路由协议及研究进展[J]. 计算机应用，2013，33(7)：1793-1797，1801

[14] 田乐，谢东亮，任彪，等. 无线传感器网络贪婪转发策略中的路由空洞问题[J]. 电子与信息学报，2007，29(12)：2996-3000

[15] 姚玉坤，陈曦，余志龙，等. 基于动态分段网络编码的 DTN 高效路由算法[J]. 微电子学与计算机，2015，32(3)：136-141

[16] 谢凌杰，韩学东. 战场环境下的 DTN 路由算法研究[J]. 计算机工程与设计，2014，35(2)：376-415

[17] Ma X，Sun M，Liu X，et al. Improving geographical routing for wireless networks with an efficient path pruning algorithm[J]. IEEE Transactions on Vehicle Technology，2008，57(4)：2474-2488

[18] 王辉. NS2 网络模拟器的原理和应用[M]. 西安：西北工业大学出版社，2008