

车载 Ad hoc 网络网关发现机制的改进^{*}

王磊, 杨扬, 王宁

(北京科技大学 计算机与通信工程学院, 北京 100083)

摘要: 车载 Ad hoc 网络是专用自组织网络中研究和应用最为活跃的领域, 其中如何实现车辆节点的 Internet 接入, 进行车载 Ad hoc 网络网关的研究十分必要。主要分析了网关发现策略中主动式的网关发现机制, 对主动网关发现机制现存的问题进行了分析。同时针对车载 Ad hoc 网络的特殊性以及主动网关发现中链路双向通信建立时间过长、负载过大的问题, 设计了一种新型的网关发现策略 R-AODVPlus, 并对该算法提出了路由开销计算模型。基于 NS-2 的仿真结果表明, 新的网关发现机制 R-AODVPlus 在时延和路由开销两个重要的性能指标上均有明显改善。

关键词: 车载 Ad hoc 网络; Internet 接入; 网关发现; 时延; 路由开销

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)08-3085-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.08.074

Novel gateway discovery mechanism in VANET

WANG Lei, YANG Yang, WANG Ning

(Dept. of Computer & Communication Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Vehicular Ad hoc network (VANET) is one of the most widely-used self-organization networks both in research and applications. However, it is imperative to investigate the gateway discovery mechanism in VANET for credible access to Internet. This paper analyzed the existing problems on active gateway discovery protocol. Moreover, considering the long establishment-time and heavy load in bidirectional link communications, it proposed a novel gateway discovery strategy called R-AODVPlus, and also designed the corresponding calculation model for routing overhead. Simulation results in NS2 demonstrate great improvements in the two critical metrics of delay and routing overhead.

Key words: VANET; access to Internet; gateway discovery; delay; routing overhead

当今通信界, 无线 Ad hoc 网络^[1]作为极具应用前景的网络得到了飞速发展。无线 Ad hoc 网络是一种无须基础设施支持的多跳网络, 受无线信号覆盖能力限制而无法直接通信的节点可以借助这样的网络进行通信。因此, 无线 Ad hoc 网络正在吸引越来越多研究者的目光。

作为 Ad hoc 网络的一种, 车载 Ad hoc (vehicular Ad hoc network, VANET) 网络也在迅速发展^[2]。VANET 是专为车辆通信而设计的网络, 其设计目标是建立一个汽车间通信的平台。为适应网络发展和信息获取的需要, 使得车辆节点获得更好的数据服务, 可以使 VANET 与 Internet 网络相连通, 这样就改变了车辆移动自组织网络的自封闭性, 扩大了车辆通信网络的应用范畴。因此, 实现车辆节点的 Internet 接入, 进行车载 Ad hoc 网络网关的研究十分必要^[3-5]。

本文基于主动式的网关发现机制, 提出了一种适用于 VANET 的网关发现策略 R-AODVPlus, 同时针对该策略提出了相应的网络开销计算模型。

1 主动网关发现机制研究背景

目前 VANET 的网关发现机制^[6]主要有以下三种: 主动式、被动式以及混合式网关发现机制。

主动网关发现方法是网关周期性广播消息泛洪到整个网络, 每一个节点都能获得可用的网关消息, 其能够提供较好的互联性和低延时, 但网络开销较高。被动的网关发现方法是有 Internet 连接请求时才进行网关请求, 理论上网络开销较小, 但实际上它的开销远大于主动网关发现方法, 同时也增大了延时。混合式网关发现机制只在选定区域内广播网关公告消息, 区域外的节点使用被动式网关发现机制, 该机制的一个明显缺点是网关公告广播范围的值 TTL 是静态的, 不能根据网络的具体情况进行调整。VANET 环境下, 车辆节点的移动性导致网络环境的动态性, 因此所限制的 TTL 范围有可能不再适用, 这样就势必影响到整个方法的性能。

基于上述分析, 同时结合 VANET 网络动态性、不确定性的显著特点, 本文采用主动式的网关发现机制, 以降低时延和路由开销为出发点, 设计了一款新型的适用于 VANET 的网关发现协议。

1.1 AODVPlus 协议的主动网关发现机制

AODVPlus^[7]协议是在原有的 AODV 协议的基础上进行改进的路由协议。其设计原理是在 AODV 协议的控制报文 RREQ、RREP、RERR 中加入了网关标志, 并增加了网关通告报文, 网关的通告消息在路由层传输。为了避免洪泛的问题, 网

收稿日期: 2011-12-07; 修回日期: 2012-01-09 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61070182, 60873192)

作者简介: 王磊 (1982-), 女, 河北张家口人, 博士研究生, 主要研究方向为移动自组织网络和服务组合 (wanglei820420@gmail.com); 杨扬 (1955-), 男, 教授, 博导, 主要研究方向为多媒体通信、服务科学及云计算; 王宁 (1978-), 女, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为数据挖掘和云计算。

关周期性地发送网关通告,即网关通告的发送有一个随机大小的时间间隔,这种机制与 hello 消息的机制很类似,只有节点的邻居才能收到 hello 消息,而网关的通告是多跳的,可以在中间节点转发。

当网内的移动节点收到网关通告时,若该节点没有到网关的默认路由时,则添加一个默认路由;若节点已经存在到网关的默认路由则更新该默认路由,同时此节点将此网关通告转发给其相邻节点。因此,这就存在节点重复接收网关通告的问题,即一个网内节点多次收到某一网关的某次通告。协议采用了通过比较 RREQ ID 和网关的源地址来解决网关通告的重复接收问题^[8],先判断具有同样 RREQ ID 和源地址的通告是否收到过,若收到过则将网关通告丢弃;否则就接收并转发该网关通告。这样就解决了网关通告的重复接收问题。

网关节点的网关通告数据包结构如表 1 所示。

表 1 网关通告的报文格式

TYPE	RESERVE	PREFIXSz	HOP COUNT
RREQ ID			
DESTINATION IP ADDRESS			
DESTINATION SEQUENCE NUMBER			
ORIGINATOR IP ADDRESS			
LIFE TIME			

1.2 AODVPlus 协议主动网关发现机制存在的问题

在 AODVPlus 的网关发现机制中,存在着网关到移动节点双向链路创建时间过长、负载过大的问题。如图 1 所示, G 为车载 Ad hoc 网络的网关节点,当该网关发送的网关通告报文经 B 、 C 转发至 D 时, B 、 C 、 D 三个移动节点就会建立到网关的路由表项。例如, D 节点就会出现一个目的节点为 G 、下一跳为 B 、跳数为 3 的网关路由表项,在网络中就会建立一条 $D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow G$ (网关) 的路由。但此时网关 G 并没有到达 B 、 C 、 D 三个节点的路由表项,此时若存在移动节点与网关的双向通信,网关在向移动节点发送数据包时,需要重新发送 RREQ 报文查找移动节点的路由,因此会带来很明显的时延和额外的控制报文开销。若网关需要给多个节点发送数据,就会发送到多个移动节点的 RREQ 报文,会造成更大的网络负载以及时延。

1.3 网关发现机制研究基础

针对 VANET 网络节点移动速度快、路由稳定性差、移动存在规律等特点,本文以更符合实际情况的 Shadowing 电波传播模型^[9]和曼哈顿 (Manhattan, MH)^[10] 节点移动模型作为研究基础。

1.3.1 Shadowing 电波传播模型

在 VANET 环境中,由于受到城市道路、地形和建筑物等的影响,电波传播除了大尺度路径损耗外还有小尺度的衰落。实际上,无论在室内还是室外信道,某一位置接收信号的平均功率随距离的变化呈对数衰减。Shadowing 模型实现了对数正态阴影传播模型,更符合实际的城市道路环境,其接收功率为

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right] = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{dB} \quad (1)$$

该功率由两部分组成: a) 路径损耗,用于预测当距离为 d 时接收到的平均能量相对于参考点 d_0 的损耗量, β 是路径损耗指数,随着障碍物的增多而变大; b) X_{dB} 是一个没有任何意义的高斯随机变量,标准差为 σ , 称为 Shadowing 偏差,反映了某一位置接收到能量的变化,可以用来分析不同传播环境下的随

机效应。 β 和 σ 的一些典型值由表 2 给出。

表 2 β 和 σ 的典型值

environment	β	environment	σ_{dB}/dB
outdoor		outdoor	4 to 12
free space	2	office, hard partition	7
shadowed urban area	2.7 to 5	office, soft partition	9.6
in building		factory, line-of-sight	3 to 6
line-of-sight	1.6 to 1.8	factory, obstructed	6.8
obstructed	4 to 6		

1.3.2 Manhattan 节点移动模型

为了更真实地模拟 VANET 网络中的节点移动性,很多针对 VANET 的移动模型被提出来^[11], 如 Freeway (FWY) 模型^[12]、MH 模型^[13] 等。其中 MH 模型就是用来仿真城市道路环境下的网络状况,它能够贴切描述城市环境下 VANET 的特点。MH 节点移动模型具体描述如图 2 所示。该模型主要特点如下:

a) 节点的运动轨迹被限制在水平和竖直的道路中,用户可自定义道路数量,每条道路的车道数,节点数目,节点运动的最大、最小移动速度和加速度。

b) 节点在交叉口按照一定的概率选择左转、右转或者直行,节点的移动受到其前一个时刻的运动速度以及前方节点速度的影响。

通过合理的参数设置,基于 Shadowing 无线传播模型和 Manhattan 节点移动模型的仿真实验能较好地模拟城市车载 Ad hoc 网络的运行状况,得到可信度较高的仿真结果。

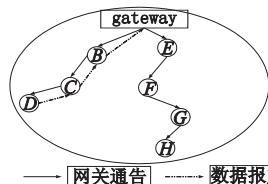


图1 主网关通告中双向链路问题

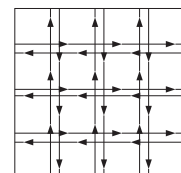


图2 车辆道路示意图

2 改进的 AODVPlus 协议的网关发现机制

2.1 网关发现策略

本研究旨在保证数据包投递率的情况下,尽可能地降低网关发现延时和路由开销。其核心解决方案是回复特定的网关通告,即反向报文。在网关收到该通告报文时,就建立或更新各个移动节点到网内各个节点的前向路由。具体网关回复报文的各个字段如表 3 所示。

表 3 网关反向报文格式

TYPE	RESERVE	PREFIXSz	HOP COUNT
RREP ID			
GATEWAY IP ADDRESS			
GATEWAY SEQUENCE NUMBER			
ORIGINATOR IP ADDRESS			
LIFE TIME			

具体的网关发现过程实现机制如下:

a) 网内的某移动节点收到网关通告报文时,会建立一个同向网关的路由表项,此路由表项的 ID 值等于网关通告里面的 RREQ ID 大小。

b) 同时该移动节点会向网关回复一个反向报文,具体各个字段见如表 3 所示。其中, RREP ID 字段的数值大小等于网关通告报文里面的 RREQ ID 值。反向报文在向网关发送时,经过节点转发,转发节点会比较报文中 RREP ID 值和到网关的默认路由 ID 值,若两者的值相同则根据报文中的上一跳信

息创建一个使用该路由表的前驱列表。

c) 网关节点收到各个节点的反向报文时,会根据报文中的 RREP ID 字段的大小建立或更新到网内各个节点的前向路由,至此网关和各个网内节点之间建立起了双向的通信链路,如图3所示。

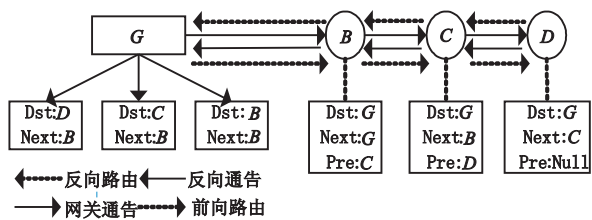


图3 网关双向链路的建立示意图

从图3可以看出,当网关收到反向网关通告报文时,就会建立起到各个移动节点的路由,不用再发起 RREQ 寻路过程,性能上会有较大的改善。

2.2 网关发现路由开销分析

文献[14]研究了网关发现开销的计算模型。依据上述思路,本文提出了改进的主动网关发现路由开销的计算模型。

定义1 网络开销。节点泛洪广播消息时,参与中继该消息的节点个数与回复反向报文过程中所经历的节点个数之和定义为这次消息传递过程中网络产生的开销。

网关发出的广播消息报文(gateway advertisement packets, GWADV)到整个网络,该消息被节点传递过程中产生的网络开销就是 N_{FW+1} , N_{FW+1} 表示该条 GWADV 被 N_{FW} 个节点转播加上第一个消息是由网关本身产生的。 v_{avg} 表示 GWADV 的发送速率; P_l 为每条通信链路的长度,即包含的节点数目。因此改进的 AODVPlus 的路由开销可以表示为

$$\text{cost} = \sum_{l=1}^n P_l + v_{avg} t N_{FW+1} N_{ICW} \quad (2)$$

将 N_{FW+1} 代入,即

$$\text{cost} = \sum_{l=1}^n P_l + v_{avg} t (N_{FW} + 1) N_{ICW} \quad (3)$$

3 仿真

3.1 评价指标与仿真场景的设置

1) 评价指标

丢包率(packet drop ratio)。它为应用层目的节点未成功接收的数据包与源节点发送的所有数据包之比。如何尽量减少丢包率是每个网关发现协议考虑最多的问题。

路由开销(routing overhead)。它为在仿真时间内,发送的路由控制报文总数与发送的数据报文总数之比。此指标反映了网络的拥塞程度,开销越大,拥塞程度越高。

端到端时延(end to end delay)。它是指数据分组从源节点到目的节点所需要的平均时间。此指标可以反映网关发现协议性能的优劣。

2) 仿真场景的设置

本文仿真的参数设置如表4所示。

表4 仿真环境的参数设置

场景大小	1 000 m × 1 000 m	节点的缓存队列	50
传播模型	Shadowing 模型	节点最大速度	25 m/s
移动模型	Manhattan 模型	节点的传输半径	100 m
仿真时长	120 s	业务类型	TCP
网关发现协议	AODVPlus, R-AODVPlus	数据包大小	512 Byte
MAC 协议	IEEE 802.11 DCF	发包速率	1 packet/s
节点数目	10 ~ 120		

车辆在 2 × 2 车道上运行,在经过转弯处时有一定的概率转弯,如图4所示,星型节点为网关节点所在地,其周期性地广播网关通告给附近节点。

为了能够正确对双向链路建立的时延和网络负载进行仿真,本文在仿真中采用了 TCP 报文^[15]的业务类型。这是因为尽管 TCP 在建立连接、传输数据、结束连接的过程中是以一种握手机制来实现的,但在 TCP 连接建立之后,就不会再出现建立连接的时延问题。因此本文采用建立多条 TCP 连接、发送短小的 TCP 数据报文的方法对双向链路的时延进行仿真。

3.2 仿真结果及分析

从图5可以看出,改进后 R-AODVPlus 的丢包率较原有的网关发现机制有所下降,但总体变化不明显。TCP 报文的丢包率并没有随着车载 Ad hoc 网络节点密度的增大而增加,而是始终维持在 30% 左右,这是因为 TCP 报文有超时重传的机制,导致丢包率可以较稳定地控制在一定的范围之内。

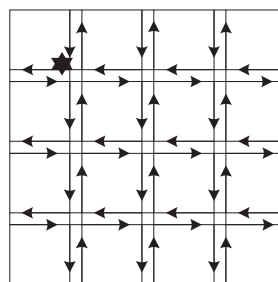


图4 节点移动场景的设置

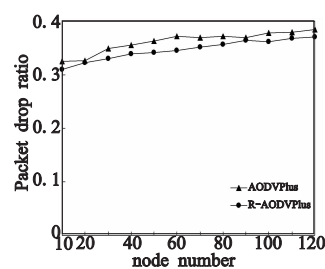


图5 丢包率比较

如图6所示,改进后的 R-AODVPlus 控制报文开销明显降低。这是因为在反向网关报文的回复过程中,建立或更新了到网内各个节点的前向路由,使得网关节点与车载网络内部节点建立连接时无须重新发起路由请求,大大降低了控制报文的数量。

改进后的网关发现机制中,双向链路通信时延有了明显的降低,如图7所示。这是由于在改进后的 R-AODVPlus 中,网关在接收到反向通告的同时就创建了双向通信链路,无须重新发起到网络内部节点的路由请求重新寻路,大大缩短了通信建立时间。因此较 AODVPlus 的时延性能有了明显的改善。

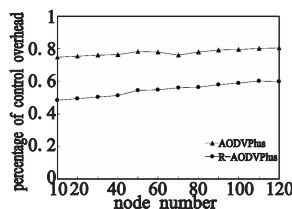


图6 路由开销比较

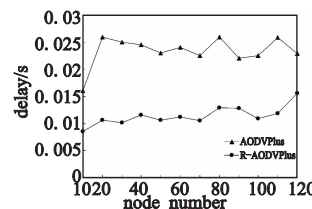


图7 端到端时延比较

4 结束语

本文针对主动网关发现机制中链路双向通信建立时间过长、负载过大的问题对传统的 AODVPlus 进行分析,设计了一种新型的网关发现策略 R-AODVPlus,并建立了该算法的路由开销计算模型。最后的仿真结果表明,R-AODVPlus 在时延和路由开销两个重要的性能指标上都有了明显的改善。在未来的研究中,可以考虑将各个路由表项进行汇聚,减少路由表项的数量,特别是在网内节点数量较多时,可以大大降低网关节点占用的网络资源。

(下转第 3095 页)

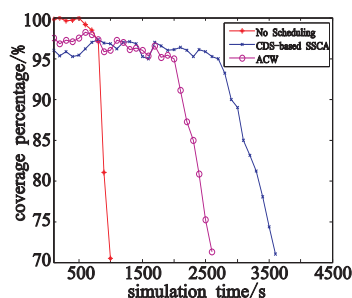


图4 覆盖率为95%下对应时间关系

5 结束语

随着无线传感器网络的广泛应用,能量有效地保证网络连通性覆盖问题得到关注。本文在节点随机部署机制下,节点采用基于概率联合感知模型,该感知模型相对于布尔感知模型可以更精确地描述网络覆盖能力;并在此基础上设计了一种基于连通支配集的节点调度控制算法(CDS-based SSCA)。该算法综合考虑节点剩余能量及距离因素等,在达到网络感知覆盖率及网络连通要求下,启动尽量少的节点处于工作状态。仿真实验将CDS-based SSCA与ASW算法进行对比,虽然两节点调度算法均通过选择部分节点处于工作状态,有效地实现了无线传感器网络连通覆盖和感知覆盖要求,但CDS-based SSCA更有效地延长了网络的生命周期,较好地达到了网络负载均衡。

参考文献:

- [1] STOJIMENOVIC I. Position based routing in Ad hoc networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2002, 40(7): 128-134.
- [2] ZOU Y, CHAKRABARTY K. Sensor deployment and target localization in distributed sensor networks[J]. *ACM Trans on Embedded Computing Systems*, 2004, 3(1): 61-91.
- [3] YARDIBI T, KARASAN E. A distributed activity scheduling algorithm for wireless sensor networks with partial coverage[J]. *Wireless Networks*, 2010, 16(1): 213-225.
- [4] TIAN D, GEORGANAS N D. A node scheduling scheme for energy conservation in large wireless sensor networks[J]. *Wireless Com-*

munications and Mobile Computing, 2003, 3(2): 271-290.

- [5] YE Fan, ZHONG G, CHENG J, *et al.* PEAS: a robust energy conserving protocol for long-lived sensor networks[C]//Proc of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems. Washington DC: IEEE Computer Society, 2003: 28-37.
- [6] ZHANG H, HOU J C. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks[J]. *Wireless Ad hoc and Sensor Networks*, 2005, 1(1-2): 89-123.
- [7] 蒋杰, 方力, 张鹤颖, 等. 无线传感器网络最小连通覆盖集问题求解算法[J]. *软件学报*, 2006, 17(2): 175-184.
- [8] GUPTA H, DAS S R, GU Q. Connected sensor cover: self-organization of sensor networks for efficient query execution[C]//Proc of ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2003: 189-200.
- [9] CHEN Y, LIESTMAN A. Approximating minimum size weakly-connected dominating sets for clustering mobile Ad hoc networks[C]//Proc of ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2002: 165-172.
- [10] WAN P J, ALZOUBI K M, FRIEDER O. Distributed construction of connected dominating set in wireless Ad hoc networks[C]//Proc of IEEE INFOCOM. [S. l.]: IEEE Press, 2002: 1597-1604.
- [11] YANG Yin-ying, CARDEI M. Adaptive energy efficient sensor scheduling for wireless sensor networks[J]. *Optimization Letters*, 2010, 4(3): 359-369.
- [12] INTANAGONEWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D. Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks[C]//Proc of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2000: 56-67.
- [13] ALTINEL I, ARAS N, GNEY E, *et al.* Binary integer programming formulation and heuristics for differentiated coverage in heterogeneous sensor networks[J]. *Computer Network*, 2008, 52(12): 2419-2431.
- [14] HEINAELEMAN W, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. *IEEE Trans on Wireless Communications*, 2002, 1(4): 660-670.

(上接第3087页)

参考文献:

- [1] 于宏毅. 无线移动自组网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [2] 常促宇, 向勇, 史美林. 车载自组网的现状与发展[J]. *通信学报*, 2007, 28(11): 116-126.
- [3] ABROUGUI K, BOUKERCHE A, PAZZI R W N. Location-aided gateway advertisement and discovery protocol for VANET[J]. *IEEE Trans on Vehicular Technology*, 2010, 59(8): 3843-3858.
- [4] KHURSHID H, GHASSEMIAN M, AGHVAMI H. Impact of applying realistic mobility models on the performance analysis of Internet gateway discovery approaches for mobile Ad hoc networks[C]//Proc of International Conference Al-Ain. 2009: 230-235.
- [5] GHASSEMIAN M, HOFMANN P, PREHOFER C. Performance analysis of Internet gateway discovery protocols in Ad hoc networks[C]//Proc of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. 2004: 120-125.
- [6] 朱成. 移动Ad hoc网络与Internet互连技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [7] HAMIDIAN A. AODV+: an extension to AODV, source code for implementation on ns2 [EB/OL]. (2003). <http://www.telecom.lth.se/Personal/alexh/>.
- [8] 盛楠. Ad hoc网络子网互连结构下扩展AODV路由协议的性能研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2004.
- [9] RAPPAPORT T S. Wireless communications: principles and practice [M]. 2nd ed. [S. l.]: Prentice Hall, 1996.
- [10] UMTS 30.03-1998, selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS[S]. 1998.
- [11] BAI Fan, SADAGOPAN N, HELMY A. The important framework for analyzing the impact of mobility on performance of routing for Ad hoc networks[J]. *Ad hoc Networks Journal*, 2003, 1(4): 383-403.
- [12] PERKINS C E, ROYER E M. Ad-hoc on-demand distance vector routing[C]//Proc of IEEE WMCS. 1999: 90-101.
- [13] SUN Y, BELDING-ROYER E M, PERKINS C E. Internet connectivity for Ad hoc mobile networks[J]. *International Journal of Wireless Information Networks*, 2002, 9(2): 75-88.
- [14] 赵蕴龙, 单宝龙, 王鸡喆. 一种自适应的动态多机制网关发现算法[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2010, 31(5): 637-645.
- [15] STEVENS W R. TCP/IP illustrated [M]. New York: Addison Wesley, 1994.