

文章编号: 2095-4980(2020)04-0620-05

车联网中基于动态传输距离的多跳稳定路由

姚行洲, 赵红梅, 李恒广

(北京开放大学 电商学院, 北京 100086)

摘要: 数据传输是车联网(VANETs)实现交通安全的基础。然而, 车辆的移动、信号传输的衰减以及彼此间的干扰对链路的可靠性均有影响。为此, 提出基于动态传输距离的多跳稳定(DTMS)路由。DTMS 路由在选择下一跳转发节点时, 考虑到因衰减而导致的传输距离的变小, 先估计车辆动态传输距离, 再依据动态传输距离估计链路的连通时间以及距离因素, 然后, 计算邻居节点的权重, 最后, 基于节点权重值设置定时器, 进而竞争产生下一跳转发节点。仿真结果表明, 提出的 DTMS 路由有效地提高了数据包传输成功率。

关键词: 车联网; 多跳路由; 传输距离; 衰减; 下一跳转发节点

中图分类号: TN914

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2019550

Dynamic transmission range-based multi-hop stable routing in vehicular Ad-Hoc networks

YAO Xingzhou, ZHAO Hongmei, LI Hengguang

(College of Electronic Commerce, Beijing Open University, Beijing 100086, China)

Abstract: Data transmission is the basis of Vehicular Ad-Hoc Networks(VANETs) for traffic safety. The movement of vehicles, the attenuation of signal transmission and the interference between each other have important effects on the reliability of the link. The Dynamic Transmission range-based Multi-hop Stable(DTMS) routing is proposed, which takes into account the reduced transmission distance due to attenuation when selecting the next-hop forwarding node. Firstly, the dynamic transmission distance of the vehicle is estimated, and then the connection time and distance rate of the link are estimated based on the dynamic transmission distance. The weight of the neighbor node is calculated. A timer is set based on the weight information of the node to generate the next-hop forwarding node. Simulation results show that the proposed DTMS routing can effectively improve the success rate of packet transmission.

Keywords: VANETs; multi-hop routing; transmission range; attenuation; next-hop forwarding node

作为提高道路安全的有效技术, 车联网(VANETs)的相关技术研究受到广泛关注^[1]。VANETs 有 2 类通信: 车-车间通信(Vehicle-to-Vehicle, V2V)、车-基础设施间通信(Vehicle-to-Infrastructure, V2I)。车辆通过车载单元(On-Board Units, OBU)与其他车辆或路侧单元进行通信^[2]。

通过 V2V 和 V2I 通信, 车辆捕获道路信息, 进而提高行驶效率和安全。由于车辆的快速移动以及无线通信的特性, 路由已成为 VANETs 的研究热点。

现存的多数稳定路由策略通常是依据车辆移动信息决策路由, 并利用简单的无线传播模型, 但其并没有考虑信号的散射、衰落等因素。自由空间和双线传播模型是最常用传播模型^[3-4]。这 2 个模型均基于以下 3 点假设: 1) 如果接收到的信号强度(Received Signal Strength, RSS)高于预定的阈值, 则认为成功地接收了数据包; 2) 车辆的通信范围是圆形的; 3) 相同距离的 RSS 值是相同的。

然而, 这些假设与实际环境并不完全相符。VANETs 网络环境内存在障碍物以及车辆的移动性, 这些特性

收稿日期: 2019-12-20; 修回日期: 2020-01-06

基金项目: 2018 年教育部产学合作协同育人资助项目(201802112002)

作者简介: 姚行洲(1961-), 男, 硕士, 主要研究方向为软件工程。email:zhong_yanyan@21cn.com

可能影响信号的传输。车辆所接收的信号可能是来自不同的传输路径。研究表明，Nakagami 衰落模型^[5-6]与 VANETs 网络环境更贴切。

此外，由于车辆通信范围的有限性，通常车辆通信半径不超过 300 m，车辆需多跳路由才能将数据传输至目的地。因此，如何选择一下跳转发节点是成为构建多跳路由的关键。

为此，提出基于动态传输距离的多跳稳定(DTMS)路由。先动态估计车辆的通信距离，再估计邻居节点的权值，最后，择优选择下一跳转发节点，进而提高多跳路由的稳定性能。仿真结果表明，提出的 DTMS 路由有效地提高了数据传输效率。

1 DTMS 路由

1.1 车辆动态传输距离的估计

通过估计车辆动态的传输距离，可提高估计链路稳定性的准确度。引用 Nakagami 衰落模型，并假定每辆车的传输功率相同。令 P_r 表示成功接收数据包的概率：

$$P_r(d \leq r) = \exp\left(-3\left(\frac{d}{r}\right)^2\right) \left(1 + 3\left(\frac{d}{r}\right)^2 + \frac{9}{2}\left(\frac{d}{r}\right)^4\right) \quad (1)$$

式中： d 表示发送节点与接收节点间的距离； r 为最大的通信距离。

节点(车辆)在道路上是移动的，因此，发送节点与接收节点间的相对距离 d 是随机变量。概率 P_r 是随距离 d 变化的。为此，用随机变量 z 替代式(1)的 d 。

依据文献[7-8]定义，将动态传输距离 R_e 定义为传输距离的均值 $E[r]$ ：

$$R_e = E[r] = \int_0^{+\infty} P_r(z \leq r) dz = \int_0^{+\infty} \exp\left(-3\left(\frac{z}{r}\right)^2\right) \left(1 + 3\left(\frac{z}{r}\right)^2 + \frac{9}{2}\left(\frac{z}{r}\right)^4\right) dz \quad (2)$$

有效的传输距离肯定不大于最大的传输距离，因此，可用式(3)表述 R_e 与 r 的关系：

$$R_e = r(1 - \varepsilon) \quad (3)$$

式中 $\varepsilon = 1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \int_0^{+\infty} \exp(-x^2) \left(1 + x^2 + \frac{1}{2}x^4\right) dx$ ，且 $x = \sqrt{3}z/r$ 。参数 ε 反映了最大传输距离的衰减比例。

1.2 链路的持续时间

为了提高路由的稳定性，对链路的持续时间^[9]进行估计。链路的持续时间不仅与节点的位置、速度有关，还与节点的传输距离有关。令 $T_{i,j}$ 表示节点 \mathcal{Q}_i 与节点 \mathcal{Q}_j 所形成链路的连通时间，其定义如式(4)所示：

$$T_{i,j} = \frac{\sqrt{(a_{ij}^2 + c_{ij}^2)R_e^2 - (a_{ij}d_{ij} - b_{ij}c_{ij})^2} - (a_{ij}b_{ij} + c_{ij}d_{ij})}{a_{ij}^2 + c_{ij}^2} \quad (4)$$

式中： $a_{ij} = v_i \cos \theta_i - v_j \cos \theta_j$ ； $b_{ij} = x_i - x_j$ ； $c_{ij} = v_i \sin \theta_i - v_j \sin \theta_j$ ； $d_{ij} = y_i - y_j$ ； (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 分别表示车辆 \mathcal{Q}_i 和车辆 \mathcal{Q}_j 的位置坐标； v_i, v_j 分别为车辆 \mathcal{Q}_i 和车辆 \mathcal{Q}_j 的行驶速度； θ_i, θ_j 分别为车辆 \mathcal{Q}_i 和车辆 \mathcal{Q}_j 的方向角。

依据文献[10]的建议，利用指数函数对链路连通时间进行归一化：

$$S_e = 1 - \exp\left(-2\frac{T_{i,j}}{T_p}\right) \quad (5)$$

式中 T_p 表示路径连通时间。

2 距离率

链路的连通时间只反映了路由的稳定性。为此，引用距离率约束路径的跳数，进而降低数据传输的路径。令 $D_{i,j}$ 表示节点 \mathcal{Q}_j 的距离率，其定义如式(6)所示：

$$D_{i,j} = \frac{\text{Min}(d_{i,j}, R_e^j)}{\text{Min}(R_e^i, R_e^j)} \quad (6)$$

式中： $d_{i,j}$ 为节点 \mathcal{G}_j 利用RSS值测量得到离节点 \mathcal{G}_i 间距离； R_e^i, R_e^j 分别为节点 $\mathcal{G}_i, \mathcal{G}_j$ 的有效通信距离； $Min(\cdot)$ 表示取最小值。

3 节点权重

当接收到数据包 $Data$ ，节点就计算自己的权重值。再依据自己的权重值竞争成为该数据包 $Data$ 的下一跳转发节点。具体而言，假定节点 \mathcal{G}_i 广播了数据包 $Data_i$ ，邻居节点 $\mathcal{G}_j \in N_i$ 利用链路的连通时间和距离率计算自己的权重值：

$$W_j = \alpha \times T_{i,j} + (1 - \alpha) \times D_{i,j} \tag{7}$$

式中： N_i 为节点 \mathcal{G}_i 的一跳邻居节点； α 为权重因子。

4 基于 CBF 的下一跳转发节点的产生

基于竞争转发(Contention-Based Forwarding, CBF)^[11]产生下一跳转发节点。传统的 CBF 是假定各节点的传输距离相同。DTMS 路由采用动态的传输距离。各节点先估计有效的传输距离，在选择下一跳转发节点时，考虑各节点的有效传输距离。

当节点 \mathcal{G}_i 广播了数据包 $Data_i$ 后，邻居节点 $\mathcal{G}_j \in N_i$ 一旦收到数据包，就估计自己的有效传输距离 R_e^j 。同时，节点 \mathcal{G}_j 就从 $Data_i$ 数据包的首部提取节点 \mathcal{G}_i 的有效传输距离(节点在广播数据包时，将自己的有效传输距离放在首部)。节点 \mathcal{G}_j 再计算传输距离优胜率：

$$TR_j = \frac{R_e^{i,j}}{R_e^{j,i}} \tag{8}$$

式中： $R_e^{i,j}$ 为节点 \mathcal{G}_i 向节点 \mathcal{G}_j 传输距离； $R_e^{j,i}$ 为节点 \mathcal{G}_j 向节点 \mathcal{G}_i 的传输距离。在实际环境中， $R_e^{i,j}$ 与 $R_e^{j,i}$ 两者并不相等，即节点 \mathcal{G}_i 与节点 \mathcal{G}_j 间链路并不对称。

显然，节点的 $R_e^{i,j}$ 值越大，越有利于提高数据包传输的成功率。因此，节点利用自己权重值和传输距离优胜率值设置定时器，如式(9)所示：

$$T_j = T_{\max} \times (1 - W_j) \times (1 - TR_j) \tag{9}$$

式中 T_{\max} 表示最长的等待时间。

5 数据传输流程

节点 \mathcal{G}_i 需传输数据包，就广播数据包 $Data_i$ 。接收数据包 $Data_i$ ，节点先判断自己是否为目的节点，若是目的节点，就完成了数据包的传输。

若自己不是目的节点，就需竞争成为下一跳转发节点。先依式(9)设置定时器，在等待定时的过程中，监听是否有其他节点转发数据。一旦检测到有其他节点转发了 $Data_i$ ，就取消定时。否则，就等待定时完毕，一旦定时完毕就转发数据包，整个流程如图 1 所示。

6 性能分析

6.1 仿真环境

利用 NS-2.33 软件建立仿真平台，分析 DTMS 路由性能。利用 SUMO 软件产生交通流量数据。SUMO 软件集成

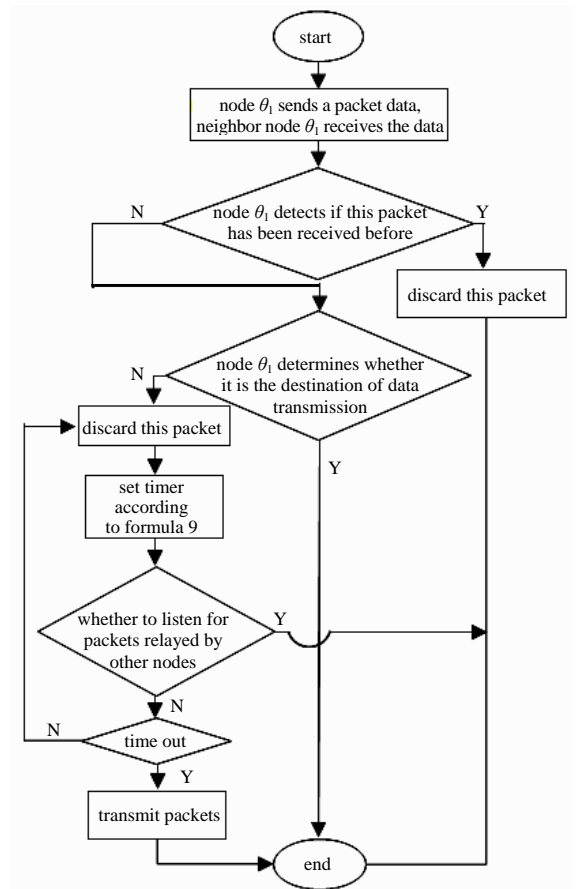


Fig.1 Packet transfer process
图1 数据包传输流程

了车辆行驶规律、驾驶习惯等重要模块。再通过 OMNET++ 平台分析数据传输的性能。

考虑双向的 4 车道的高速公路作为仿真场景，公路长度为 10 km，车辆数从 100 辆~900 辆变化。且从车辆数中抽取 20% 的车辆产生数据包，这些车辆每秒产生 5 个数据包，且每个数据包大小为 512 kB，仿真时间为 2 000 s。其他的仿真参数如表 1 所示。

此外，为了更好地分析 DTMS 路由性能，选择基于竞争转发广播数据包策略(Contention-Based Forwarding Broadcast, CBFB)，以文献[12]提出的基于模糊逻辑广播数据包策略(Fuzzy Logic-based Broadcast Scheme, FLBS)和文献[13]提出的智能自适应广播策略(Intelligent-hybrid Adaptive Broadcast Scheme, IABS)作为参照，分析它们的数据包传输成功率、数据包重传率和吞吐量性能。

表 1 仿真参数

Table1 Simulation parameters	
simulation parameters	value
maximum communication radius of vehicle/m	350
data packet size/kB	512
data rate/Mbps	6
MAC/PHY agreement	IEEE 802.11p
number of vehicles	100,200,300,500,700,900
simulation time/s	2 000

6.2 数据分析

6.2.1 数据包传输成功率

本小节分析车辆数对数据包传输成功率的影响，车辆数从 100 辆~900 辆变化。从图 2 可知，最初，车辆数的增加有利于提升数据包传输成功率，但是当车辆数增加到 600 辆后，数据包传输成功率并没有随车辆数的增加而继续上升。这主要因为：在车辆密度较低时，车辆数的增加提升了路由的稳定性。但当车辆密度增加至一定密度后，车辆数的继续增加，可能反而增大了传输干扰，进而使数据包传输成功率的增长速度变缓。

此外，相比于智能混合自适应策略(Intelligent Hybrid Adaptive Scheme, IHAS)和 CBFB，提出的 DTMS 路由的数据包传输成功率得到有效提高。原因在于：DTMS 路由考虑了节点传输距离的变化对链路的连通时间的影响，这有利于提高路由的稳定性。

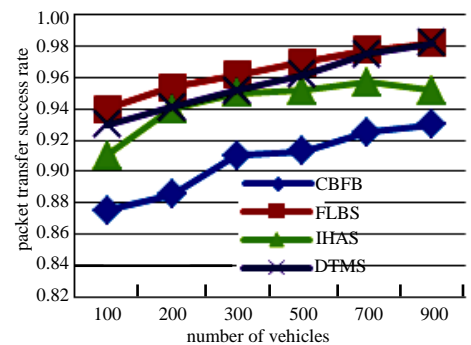
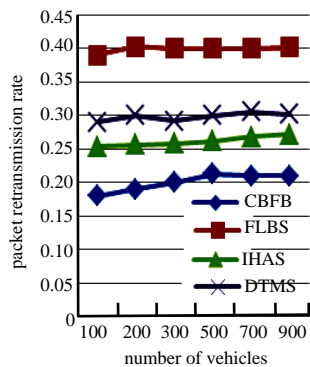
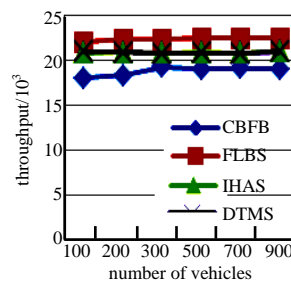


图 2 数据包传输成功率

Fig.3 Packet retransmission rate
图 3 数据包重传率Fig.4 Throughput
图 4 吞吐量

6.2.2 数据包重传率

图 3 显示了 CBFB,FLBS,IHAS 和 DTMS 路由的数据包重传率。从图可知，车辆数的变化对数据包重传率的影响并不大。只有 CBFB 路由的数据包重传率随车辆数增加呈上升趋势。此外，相比于 IABS 和 CBFB 的数据传输策略，提出的 DTMS 路由的数据包重传率还是提高了近 0.05% 和 0.1%。这主要是因为：IABS 和 CBFB 路由旨在抑制重传。而 FLBS 的数据包重传率最高，但其数据包传输成功率也是最高的。这说明，FLBS 路由是以高的重传率换取高的数据包传输成功率。

6.2.3 吞吐量

最后，分析 DTMS 路由的吞吐量性能，以每辆车平均传输的字节数表征吞吐量性能。图 4 显示了 CBFB,FLBS,IHAS 和 DTMS 路由的吞吐量。从图 4 可知，车辆数的增加对各路由的吞吐量的影响并不大。在车辆数从 100 辆~900 辆变化期间，CBFB,FLBS,IHAS 和 DTMS 路由的吞吐量基本上保持稳定状态。由于 FLBS 路由的数据包传输成功率最高，它的吞吐量也高于 CBFB,IHAS 和 DTMS。

7 结论

针对车联网的数据传输问题,提出基于动态传输距离的多跳稳定路由 DTMS。DTMS 路由考虑到因障碍物、阴影对车辆传输距离的影响,并估计车辆动态的传输距离。同时,通过链路的连通时间和距离因素,构建节点的权重,再依据节点权重择优产生下一跳转发节点。仿真结果表明,提出的 DTMS 路由有效地提高了数据包传递率,并控制了数据包重传率。

参考文献:

- [1] 黄学文,王冠,周胜源,等. 车联网中 V2R 通信功率分配策略[J]. 2018,16(3):516-521. (HUANG Xuewen,WANG Guan,ZHOU Shengyuan,et al. V2R communication power allocation scheme for VANETs[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2018,16(3):516-521.)
- [2] 吴振华,胡鹏. VANET 中路由协议分析[J]. 通信学报, 2016,36(ZI):75-84. (WU Zhenhua,HU Peng. Analysis on VANET routing protocols[J]. Journal on Communications, 2016,36(ZI):75-84.)
- [3] 郭晨. 基于 RSSI 的无线网络定位技术研究[D]. 南京:东南大学, 2015. (GUO Chen. Research on wireless network location technology based on RSSI[D]. Nanjing,China:Southeast University, 2015.)
- [4] 李凯丽. Ad Hoc 网络路径选择中泛洪消息冲突问题研究[D]. 沈阳:沈阳航空航天大学. (LI Kaili. Research on flood message conflict in Ad Hoc network path selection[D]. Shenyang,China:Shenyang University of Aeronautics and Astronautics.)
- [5] 成峰,章国安,金喜龙. 认知车载网的频谱感知性能分析[J]. 电讯技术, 2017,57(12):1363-1368. (CHENG Feng,ZHANG Guoan,JIN Xilong. Performance analysis of spectrum sensing in cognitive vehicular networks[J]. Telecommunication Engineering, 2017,57(12):1363-1368.)
- [6] 左雨星,郭爱煌,黄博. 基于网络效用最大化的车联网功率控制算法[J]. 计算机应用, 2017,34(8):23-31. (ZUO Yuxing, GUO Aihuang,HUANG Bo. Power control algorithm based on network utility maximization in Internet of vehicles[J]. 2017, 34(8):23-31.)
- [7] ABADA D,MASSAQ A,BOULOUZ A. An efficient next hop selection scheme for enhancing routing performance in VANETs[J]. Information Systems and Technologies to Support Learning, 2019,56(111):25-36.
- [8] SABRI M H,MOHAMMED M K,WAN T C. On connectivity analysis of vehicular ad hoc networks in presence of channel randomness[C]// The 4th International Conference on Internet Applications,Protocols and Services(NETAPPS2015). At CyberJaya, Malaysia:[s.n.], 2015:45-51.
- [9] 林勇,宋三华. 基于链路连通时间的移动 Ad Hoc 网络路由[J]. 中国电子科学研究院学报, 2019,14(2):178-181. (LIN Yong,SONG Sanhua. Link expiration time-based routing protocol in mobile Ad Hoc networks[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2019,14(2):178-181.)
- [10] BENSLIMANE A,BARGHI S,ASSI C. An efficient routing protocol for connecting vehicular networks to the internet[J]. Pervasive and Mobile Computing Journal, 2010,45(8):123-128.
- [11] 陈淑群. 车载自组网中安全信息的拥塞优化方法研究[D]. 杭州:浙江大学, 2017. (CHEN Shuqun. Congestion optimization method for safety information in vehicular AD hoc networks[D]. Hangzhou,China:Zhejiang University, 2017.)
- [12] LIMOUCHI E,MAHGOUB I,ALWAKEEL A. Fuzzy logic-based broadcast in vehicular ad hoc networks[C]// Proceeding IEEE 84th Vehicle Technology Conference(VTC-Fall). Montreal,Canada:[s.n.], 2016:1-5.
- [13] LIMOUCHI E,MAHGOUB I. Intelligent hybrid adaptive broadcast for VANET[C]// Proceeding IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing,Electron.Mobile Communication Conference(UEMCON). Warsaw,Poland:IEEE, 2016:1-7.