

Research on Data Forwarding Protocol Based on Link Quality in VANET

Tian Tian¹, Xiumei Fan^{1†}

1. Department of automation and information engineering, Xi'an University of Technology Xi'an, Shaanxi Province 710048, China

[†]Email: xmfan@xaut.edu.cn

Abstract

The vehicle as a network nodes move faster, the network topology changes frequently, the link quality is unstable in the vehicle ad hoc network, which leads to the data can not be transmitted in a timely and reliable manner. Therefore, it is of great importance to enhance the robustness of the link. Considering these characteristics of the vehicle ad hoc network, a routing protocol based on link quality LQDF is proposed. Determine the size of the forwarding range according to the traffic density. In the forwarding range, the maintenance time of the link is calculated, including the position, speed and direction of the nodes. The longest link maintenance time is chosen as the relay node to transmit data. The simulation results show that the LQDF protocol improves packet delivery rate, and reduces end-to-end delay and network overhead to some extent.

Keywords: VANET; Link Quality; Traffic Density; Link Maintenance Time; Routing Protocol

车联网中基于链路质量的数据转发协议研究*

田甜¹, 樊秀梅¹

1. 西安理工大学自动化与信息工程学院, 陕西 西安 710048

摘要: 车载自组织网络通过多跳通信实现远距离的数据传输, 但由于车载自组网中作为网络节点的车辆运动速度较快, 使得网络拓扑结构变化频繁, 节点之间的链路质量不稳定, 直接导致数据不能及时可靠的进行转发, 因此增强链路的稳健性具有十分重要的意义。考虑到车载自组网的这些特点, 本文提出了基于链路质量的路由转发协议 LQDF, 根据车辆行驶轨迹和该轨迹上的车流密度确定转发范围的大小, 在该转发范围中根据节点的位置、速度和方向计算链路的维持时间, 选择链路维持时间最长的作为中继节点进行数据转发。仿真结果表明, 相对于 GPSR 路由协议, LQDF 路由转发协议在一定程度上提高了数据包的投递率, 降低了数据转发过程中的端到端时延和网络中的路由开销, 能够很好地适用于车载自组网中数据传输。

关键词: 车载自组织网络; 链路质量; 车流密度; 链路维持时间; 路由协议;

引言

随着人民生活水平的提高, 汽车在人们的生活中扮演的角色越来越重要, 数量也直线上升, 汽车给人们带来便利同时也带来了不少问题, 如: 道路日益拥挤, 交通事故频发和环境污染等影响^[1]。在这个无线通信技术

高速发展的时代, 无线通信技术应用开始普及到生活、工作的方方面面。许多国家的研究人员开始尝试采用无线通信技术来缓解这些棘手的交通问题。

车载自组织网络^[2] (Vehicular Ad Hoc Networks, VANET) 是车辆之间、车辆和路边单元之间以无中心性的方式临时组成的自组织网络。车辆携带短距离无线通信设备, 使道路上的车辆间能够相互通信, 消息以单跳或多跳的方式进行传递。每个车辆节点可以同时作为消息的收发节点和转发中继节点, 如果消息的源节点和目的

基金项目: 车联网环境下的数据交换理论与技术研究 (61272509); 高等学校博士学科点专项科研基金 (No.20136118110002); 陕西省“百人计划” (2012 年)

节点在节点通信范围内,就直接进行通信将消息转发给目的节点,如果源节点和目的节点不在通信范围内,消息的传递就要依靠其他节点进行中转,将消息转发到目的节点。

车载自组织网络是一种由无固定基础设施支持的移动节点组成的无线网络,具有高度动态、无控制中心,可临时建网、开展迅速等特点。节点间在转发数据包之前需要建立端到端路径,但是,由于网络拓扑快速变化、节点移动速度和通信范围受限等因素影响,源节点与目标节点间的路径容易出现断裂,导致节点之间无法通信。针对以上问题,传统路由转发协议已不适用于车载自组织网络,车载自组织网络要求其路由形式具有更强的自适应能力和较好的链路质量,不仅能够动态修改路由转发策略应对网络拓扑的快速变化,也能够路由转发决策过程中综合考虑链路质量、节点的通信距离等因素,以提高网络效率及延长网络的生存时间。

1 相关研究

路由技术是车载自组织网络数据转发的一个关键的技术,也是该领域一个具有发展前景和挑战性的课题,是目前国内外研究的重点和热点,已有很多研究机构提出了一些有益的方法。如文献[3]PROPHET 路由算法采用的是一种基于相遇预测的转发策略,该算法中的每个节点都会估计自身到达其他节点的相遇概率,而这个相遇概率则会作为路由的效用值。文献[4]提出竞争转发(CPFP)实质上一种基于地理位置的路由算,通过一个分布式的定时器机制来决定下一个转发节点。文献[5]对 AODV 算法进行了改进,提出基于链路感知的路由方案。该方案通过收集车辆移动信息,包括车辆位置、速度以及加速度信息预测链路的可持续时间。如文献[6]提出基于移动预测的路由方案 MOPR。MOPR 方案预测车辆下一时刻的位置,估计数据传输所需要的时间,并判断在此时间内链路是否断裂。然而,该方案的性能很大程度取决于预测的准确性以及数据传输时间的估计精确度。而对车辆位置的预测和传输时间的估计受到系统的多方面因素影响。

除此之外,贪婪周边无状态路由(Greedy Perimeter Stateless Routing, GPSR)^[7],是一种经典的基于位置信息的路由协议,该协议使用贪婪算法来建立路由,当转发出现路由空洞时采用边缘转发。GPSR 算法依赖直接邻节点进行路由选择,节点不需维护路由表,简单易实现,但由于节点移动速度快,网络拓扑不稳定,这就造成网络分割、链路拥塞和数据传输延时长、丢失率高等现象出现。

为了保持 V2V 通信的流畅性,避免数据传输过程中链路的突然断裂。许多研究者对 GPSR 路由算法进行了完善。文献^[8]针对车辆间通信链路断裂频繁,路由稳定性差、车间通信 V2V 数据传输效率低,提出了 GPSR-L 算法,通过 lifetime 概念来解决速度对 GPSR 路由的影响,利用链路的可持续时间,择优选取可持续时间长的链路组建路由,从而提高路由的稳定性。文献^[9]提出的 RRMLI 算法优化了 GPSR 的路由机制,在链接断开后采用贪婪算法向目的节点发送 RREQ 消息分组修复路由。文献^[10]提出了城市车联网环境下的地标覆盖的路由协议 LOUVRE,考虑到道路的车辆数量和连通性对路由性能的影响引入了车流密度,但它通过洪泛方式传播车流密度的估算值,如此众多的洪泛消息极易引起网络拥塞,产生较大的发送时延。

基于上述文献的分析,考虑到车载自组织网络的拓扑结构是快速变化的,而且极有可能是非连通的。高度的动态性使得传统无线网络路由的转发算法对车载自组织网络是低效的。本文提出一种基于链路质量的路由转发协议(LQDF),确保端到端链路间具有良好的连通性,提高数据包的投递率。

2 基于链路质量的路由转发协议 LQDF

本文提出的 LQDF(Data forwarding based on link quality)协议是基于 GPSR 路由协议的基础上改进的。在该算法中,通过节点周期广播 Hello 消息,实时共享车辆移动信息,计算该路段中车辆密度的情况,根据车辆密度大小确定转发范围,再计算节点间链路维持时间选择时长最长的作为中继节点转发数据。

2.1 假设条件

本研究定道路中的每个车辆节点均配有 GPS 设备,根据该设备节点随时都能得到自己的准确位置,并且安装了具有精确电子地图的导航软件,能够将车辆获取的位置信息与其行驶的城市道路相互关联。另外,每

个车辆节点也是一个小型的车载嵌入式系统，配备了 802.11p 无线网络模块，可以实现与其他车辆间的通信。

2.2 相关定义

本研究中，我们做了如下几个定义，便于研究中的统一专业术语。

定义 1-链路质量：本文中链路质量指车辆在发送数据过程中，源节点到目的节点的链路连通质量。

定义 2-邻居节点：本文中车辆节点的邻居节点指其通信范围内的所有车辆间，节点通过 Hello 消息获取邻居车辆的信息，包括位置、速度、运动方向和车辆密度等。

定义 3-Hello 消息：在车载网络中，车辆节点通过周期性广播 Hello 消息来建立并更新邻居节点。Hello 消息的内容包括节点号 I_n 、节点定位信息 D_n 、节点速度 V_n 、路段标号 R_{ij} 、当前路段密度 K_{ij} 、节点时间戳 T_n 和链路维持时间 T_L 信息，如表 1 所示。

表 1 Hello 消息格式

I_n	D_n	V_n	R_{ij}	K_{ij}	T_n	T_L
-------	-------	-------	----------	----------	-------	-------

定义 4-阻塞密度 K_j ：阻塞密度 K_j 用于表示道路上的车流由于堵塞使移动缓慢或无法移动，即发生交通阻塞时的交通流密度。

定义 5-最佳密度 K_m ：最佳密度 K_m 表示接近或达到道路通行能力的最佳车流密度，反映交通流达到最大时的密度。车辆速度与密度的关系如图 1 所示。

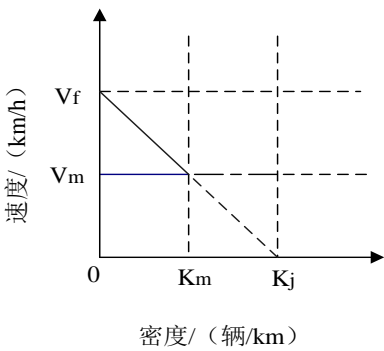


图 1 速度-密度的关系

2.3 LQDF 路由转发协议

LQDF 转发策略具体步骤如下：

(1) 处在网络中的各节点周期性地广播发送 Hello 消息，收到该数据包的各节点及时更新自己的路由表，若节点的路由表中存在相关的节点信息，则用收到的该信息替换以前的节点信息。若不存在，则将该信息增加到节点的路由表中，然后转到 (2)。

(2) 节点检测邻居节点中是否有目的节点，是则直接转发数据包完成路由，否则进入步骤 (3)。

(3) 判断当前车辆密度值是否等于该道路的阻塞密度值，即 $k=k_j$ 。若是则采用贪婪算法在在 $[^{\mu k}R, R]$ 范围内选择离目的节点最近的邻居节点转发数据包，否则进入步骤 (4)。

(4) 判断当前车辆密度值是否大于等于该道路的最佳密度，即 $k_m \leq k \leq k_j$ 。若是将转发范围限定在 $[^{\mu k}R, R]$ ，在其中选择 T_L 最大的作为下一跳转发节点。否则进入步骤 (5)。

(5) 将转发范围限定在 $[0, R]$ ，在其中选择 T_L 最大的作为下一跳转发节点，否则采用周边转发模式。若找不到满足要求的中继转发节点，就采用周边转发模式。

(6) 重复以上步骤，直到找到目的节点。下次传输时，则按照优化后的路径进行传输，若未发现优化

路径，则继续采用本方法或按照边缘转发方式传输。

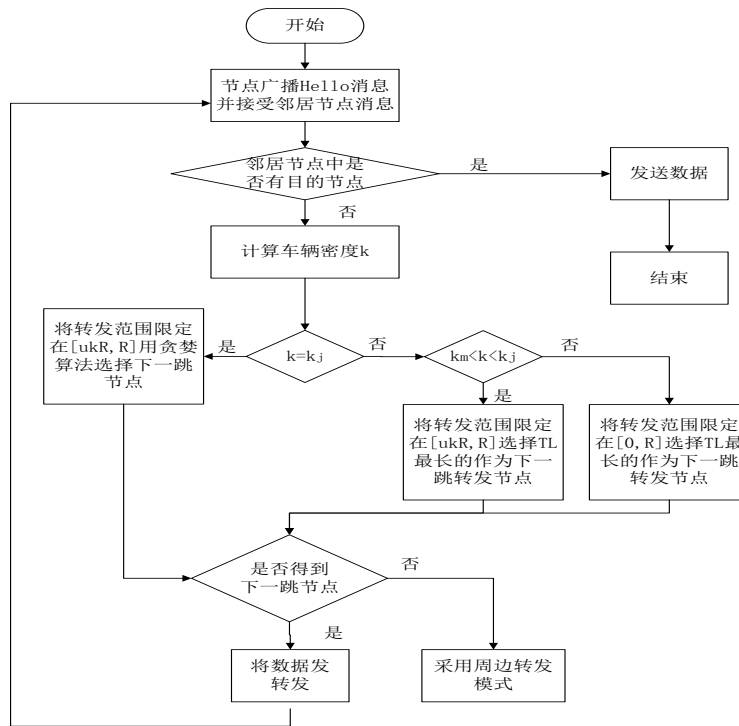


图 2 LQDF 转发流程图

2.3.1 车辆密度估算

车流密度的大小可以通过格林希尔茨提出的“速度-密度线性模型”^[11]来估算。车辆速度由车辆密度以及法律规定的限速共同决定，速度-密度线性模型表达式为：

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right) \quad (1)$$

式中， v_f 表示车流密度很小时，车辆的自由行驶速度； k_j 表示道路可容纳的最大车流密度； k 为实时车流密度。通过获取一定地理范围内的车流平均速度，便可估算出实时的车流密度，其单位是“辆/km”。

假设在 t 时刻，车辆得到周围节点及自身的速度 v_i 的集合 $\{v_{i0}, v_{i1}, \dots, v_{im}\}$ ，其中 i 表示第 i 次周期广播， m 表示邻居节点数量。因此， t 时刻，该车辆及其邻居节点的平均速度为：

$$\overline{v_i} = \frac{\sum_{j=1}^m v_{ij}}{m} \quad (2)$$

经过 n 次周期广播后，可以得到 v_i 的集合 $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ，因此可求得期望为：

$$\overline{v} = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{v_i}}{n} \quad (3)$$

结合 (1) 可以得到车流密度：

$$k = k_j \left(1 - \frac{\overline{v}}{v_f} \right) \quad (4)$$

2.3.2 链路维持时间

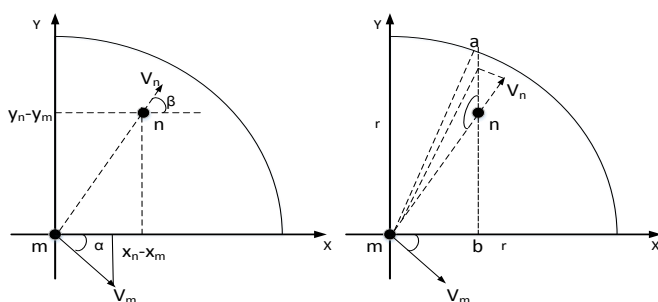
本文在计算节点之间链路的生存时间时不仅考虑到车辆节点间的距离、移动的速度、坐标位置，还考虑到了节点之间的方向。当相邻的两个车辆节点 i 和 j 之间所构成的传输链路距离 d_{ij} 不大于车辆间通信距离 R 时，可以认为节点 i 和 j 之间处在有效的通信范围内，能进行通信及获取 GPS 数据。若移动节点一直处于彼

此的通信范围内，代表节点间链路一直保持连接，通过计算得出的 TL 就是 LET(Link Expire Time)，称为链路生存期，若节点一直保持同方向同速度运行，LET 会达到无穷大，链路一直连通，否则链路就会发生断开的情况。因此，选择 TL 时长最大的节点作为下一跳中继节点。

假设节点 m 与 n 能互相通信，节点 m 由 GPS 装置所获得的位置坐标为 (X_m, Y_m) ，运动的速度为 V_m ，运动的方向为 α ；节点 n 的位置坐标是 (X_n, Y_n) ，运行方向为 β ；则通过图 3 所示的数学模型可以计算出链路的连接保持时间。

图 3 链路连接时间的预测模型

由图 3 可知，设 $a = V_n \cos \beta - V_m \cos \alpha$ ， $b = V_n \sin \beta - V_m \sin \alpha$ ， $c = X_n - X_m$ ， $d = Y_n - Y_m$ ，计算出车辆之间的传输范围大小是 r 。假定经历时间长度为 t ，那么在 $Rt\Delta amb$ 中需要满足勾股定理：



则有 $(c + at)^2 + (d + bt)^2 = r^2$

那么可以解得时间 t 的计算公式如下(5)所示：

$$t = \frac{-(ac + bd) + \sqrt{r^2(a^2 + b^2) - (bc - ad)^2}}{a^2 + b^2} \quad (5)$$

若通过计算得出移动节点之间的距离一直处于彼此的通信范围内，也就意味着节点间链路状态为一直保持连接的方式，反之则代表节点间的链路状态不是一直保持的，中间存在着断开的情形。在中继节点的选择过程中，选择通过计算公式得出 t 时长最大的节点做为最优的中继节点。

2.3.3 确定中继转发节点

当道路上交通密度小时，车速较高，畅行无阻；当交通密度增大时，即道路上的车辆增加，驾驶员被迫降低车速；当交通达到拥挤状态时，车速更加降低，直至处于停滞状态。因此需要根据不同的车辆密度 k 来确定转发范围，将中继节点的选择范围限定在 R 与 $\mu^k R$ （称之为稳定区域）之间， μ^k 变化范围为 $[0, 1]$ ， μ 是一个常数， k 是车辆密度，如图 4 所示。将中继节点的选择范围根据距离系数限定在某个区域，这样就会排除掉一系列不符合要求的邻居节点，可以减小复杂度，减小网络开销和端到端的时延。

(1) 当交通拥堵 ($k=k_j$)，车辆处于停滞状态时，此时节点间的链路质量处于稳定状态，采用贪婪算法来转发，即在 $[\mu^k R, R]$ 间选择离目的节点最近的邻居节点作为中继节点。

(2) 当车辆密度较高时 ($k_m < k < k_j$)，在 $[\mu^k R, R]$ 间选择链路维持时间最长的节点进行转发。

(3) 当车辆密度小时 ($k < k_m$)，节点数小速度高，链路质量差。在 $[0, R]$ 间选择与目的节点同方向上链路维持时间最长的节点进行转发。若找不到满足要求的中继转发节点，就采用周边转发模式。

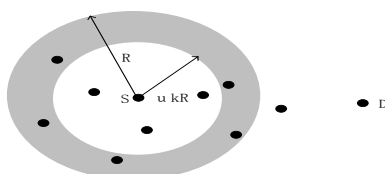


图 4 限定转发范围

3 仿真实验与结果分析

本文采用交通流仿真器 VanetMobiSim 和网络性能仿真软件 NS2 建立联合仿真平台，对提出的 LQDF 协议进行仿真，最后对仿真结果进行分析。参数设置分别如表 2 和 3 所示。

表 2 VanetMobiSim 参数设置

参数	数值
仿真区域	1km*1km~3km*3km
车辆移动方式	VanetMobiSim
流量模型	CBR
CBR 发送频率	1packet/s
数据包大小	512bytes
车辆数量	20~160
车辆通信范围	250m
MAC 层协议	802.11

表 3 NS2 仿真参数

内容	数值
仿真区域	1km*1km~3km*3km
仿真时间	200s
道路结构	双向车道
路段数	25
车辆节点类型	car
车辆节点数量	20~160
车辆运动速度	0m/s~22m/s
车辆移动模型	IDM_LC

3.1 性能指标

本文衡量该算法的指标主要有：数据包成功投递率、端到端平均时延、网络开销。

1)数据包成功投递率(Packet Delivery Ratio, 单位：%)

定义：信宿应用层接收的 data 数据包个数与信源发送的 data 数据包个数之比。

数据包投递率=目的节点接收到的数据包个数 / 源节点发送的数据包个数

2)端到端平均时延(Average End-to-End Delay, 单位：秒)

定义：指一个 data 数据包从源节点的产生到目的节点接收所需要的平均时间。

端到端平均时延=(每个数据包到达时间-每个数据包离开源节点的时间) / 接收到的数据包个数

3.2 验证分析

(1) 仿真场景一

在其它参数相同情况下，分析车辆节点数量对于不同网络协议的数据包丢包率和平均时延的影响。车辆节点数量分别设置为20、40、60、80、100、120、140、160，依次对这八组实验进行多次仿真测试，根据所有节点接收到数据包数量和时间的计算网络中的丢包率和平均端到端时延。

图5(A)所示为随着车辆数目的增加，数据包的平均端到端时延的变化情况。LQDF与GPSR的平均端到端延迟总体呈下降趋势，原因在于随着车辆数目的上升，道路中车辆密度逐渐增大，源节点与目的节点之间的有效连接不断增加，转发过程中链路质量也不断增加。由于LQDF协议选取转发节点时考虑了转发范围、方向，使得选取的中继节点能减少计算复杂度节约时间，比GPSR协议进一步减少了时延。但是另一方面，当网络中车辆节点的数目增加到一定程度时，网络中数据包的碰撞增多，时延也有所增加。

图5(B)所示为随着车辆数目的增加，数据包的投递率变化情况，当节点数目从20到160的变化过程中，2种机制的数据到达率都有较大幅度的提高。在20到60之间节点较少，车辆速度较高导致链路质量低，因此数据投递率也较低，随着节点数目的增加，LQDF协议的数据到达率有所上升，这主要是因为在该协议执行前计算了每条链路的维持时间，之后选择了链路时间最长的作为消息的传输路径，有效的降低了找不到下一跳节点的概率。当车流密集过大时会导致大量的数据包碰撞，从而不可避免地产生丢包导致投递率轻微的下

降。

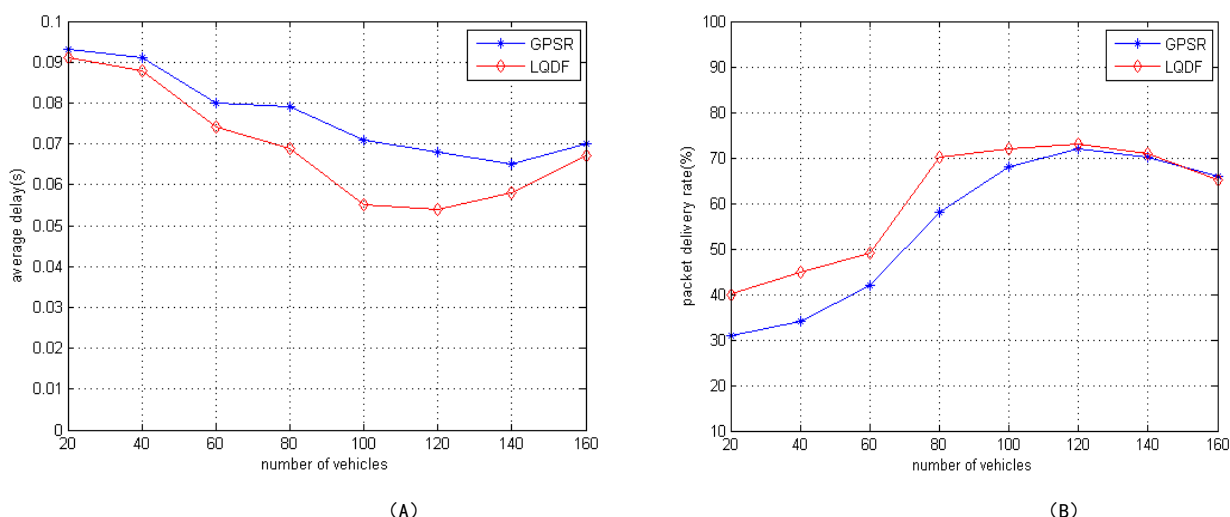


图 5 车辆数量对平均时延和数据投递率的影响

(2) 仿真场景二

为了验证LQDF协议的可扩展性，设置一个场景。当场景的大小和场景中节点数目成比例增长时，研究网络中的平均端到端时延和分组投递率受到的影响。场景大小设置为1km*1km, 1.5km*1.5km, 2km*2km, 2.5km*2.5km, 3km*3km, 节点数目分别对应为100, 150, 200, 250, 300。

如图6 (A) 和图6 (B) 所示，在场景和节点数目都变大的情况下，网络中数据包的端到端时延有上升的趋势，分组投递率有下降的趋势，LQDF协议比GPSR上升幅度小，这是因为LQDF协议在选择中继转发节点时，考虑了链路维持时间的因素，当场景扩大，道路拓扑更加复杂的情况下，依然选择在链路质量较好的节点之间建立链路，减少了端到端时延，提高了数据包的投递率。结果表明，LQDF协议的扩展性优于GPSR。

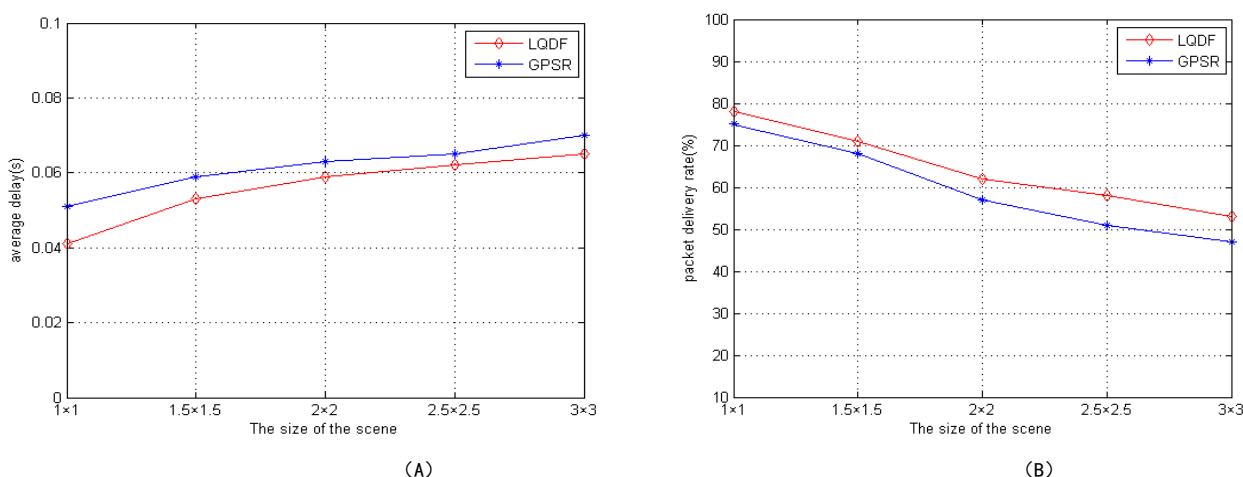


图 6 场景大小对平均时延和数据投递率的影响

4 结论

为了减小 VANET 中快速变化的拓扑结构导致的链路断裂问题，对已有协议进行分析总结，提出了基于链路质量的路由转发协议。该机制结合了现有路由协议的优点，充分利用了车辆的密度、速度、位置和道路拓扑结构，根据车辆密度确定转发范围减小端到端延迟，根据链路维持时间确保较高的分组投递率。仿真结果表明，LQDF 协议在城市环境中优于传统协议，有效降低了时延，并在节点相对较少的情况下提高数据的转发率，对于场景扩展也有较好的性能，能很好地适用于节点较多，交通状况较复杂的环境中。

5 参考文献

- [1] Dimitrakopoulos G, Demestichas P. Intelligent Transportation Systems[J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 2013, 5(1):77-84.
- [2] Development of urban intelligent transportation system [J]; Engineering Research; Engineering in an interdisciplinary view, 2014, 01: 6-19.
- [3] Jae-Choong Nam,Eung-Hyup Kim,Myuny-Ki Lee,Geon-Hwan Kim,You-Ze Cho,Shams ur Rahman.Enhances PROPHET based on messages delivery predictability in Delay Tolerant Networks[C].Information and Communication Technology Convergence,2015:457-459.
- [4] 李元振等. 城市场景车载 Ad Hoc 网络竞争转发关键参数分析[J]. 电子学报, 2013.
- [5] 王佩雪, 罗青.VANETs 中基于链路的可持续时间路由方案[J].科学技术与工程, 2014 (9) : 1671-1815.
- [6] Vahdat Amit, Becker David. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks.DurhamNC,USA:Duke University,Duke Technical Report:CS-2000-06,2000.
- [7] Karp B, Kung HT. GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks [C],In: Proc. Of the sixth Annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (Mobi Com 2000). Boston. MA. USA. Aug. 2000. 243-254.
- [8] 夏梓峻,刘春风等.基于链路预测的 VANET 路由算法[J].计算机工程, 2012(4):011-02.
- [9] LIU Guotian,YANG Yongjun,LIU Zhengyu.A Route Recovery Method Based on Location Information in Vehicular Ad Hoc Networks[J].Journal of Electronic Measurement and Instrument,2015,26(8):716-720.
- [10] LEE C K, LE M, HARRI J. LOUVRE: Landmark overlays for urban vehicular routing environments [C]//Proceedings of the 68th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall'08), Sep 21-24, 2008, Calgary, Canada. Piscataway, NJ,USA:IEEE, 2014: 5p.
- [11] WANG HZ,LI J,CHEN QY,NI DH.Logistic Modeling of the Equilibrium Speed-density Relationship[J].Transportation Research Part A Policy&Practice,2011,45(6):554-556.

【作者简介】



¹ 田甜 (1991-), 女, 汉, 硕士, 车联网环境下的数据转发协议研究。作者一
Email:Tian_tian0105@163.com



² 樊秀梅 (1967-), 女, 汉, 博士后, 主要研究方向为移动互联网、物联网/车联网的通信控制理论与路由协议算法研究。作为项目负责人已完成教育部新世纪优秀人才计划(No.NCET-07-0074)、国家自然科学基金项目(下一代移动互联网服务质量研究)、国家 863 计划项目(支持间歇连接的新型无线自组织网络路由技术)。目前作为项目负责人的主要科研项目有国家自然科学基金项目(车联网环境下的数据交换理论与技术研究)。E-mail: xmfan@xaut.edu