

Research of VANET Routing Protocol Based on Speed and Direction

AN Jianwei, HOU Guoliang, LI Haitao, YANG Yuliang, ZHOU Xianwei

School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing, China

e-mail: ajw626@126.com, tall-man@tom.com

Abstract: Since vehicles traveling fast, the network of the vehicles has an unstable routing. It presents a vehicle Ad hoc network routing solution, which is based on speed and direction. This method has a classification according to the mobility relationship among the nodes. In the route selection, the node, which have the same moving direction and less relative velocity with the source is choosed preferentially as middle transmitting node. We conduct ns-2 simulation, and compare the transmission rate, packet loss rate and routing overhead with AODV protocol. Simulation results show that the vd-VANET protocol has better route stability through the TCP connection and CBR UDP connection in urban road environment.

Keywords: communication technology; routing protocol; ns2 simulation; VANET; Speed and Direction

基于速度与方向的 VANET 路由协议

安建伟, 侯国梁, 李海涛, 杨裕亮, 周贤伟

北京科技大学 信息工程学院通信系, 北京, 中国, 100083

e-mail: ajw626@126.com, tall-man@tom.com

【摘要】针对车载网络节点移动速度快, 路由稳定性差等特点, 提出了一种基于速度与方向的车载 Ad hoc 网络(vd-VANET)路由解决方案。该方法根据节点间的移动状态关系进行分类, 在选路决策中优先选择与源节点运动方向一致、相对速度小的节点作为中间转发节点。通过对 vd-VANET 路由协议就传输速率、丢包率、路由开销及时延指标的 ns2 仿真, 表明该协议在城市车辆移动的情况下, 分别在 TCP 数据连接和恒定比特率 UDP 连接时, 与 AODV 协议相比具有较好的链路稳定性。

【关键词】路由协议; ns2 仿真; VANET; 速度与方向

1 引言

智能交通系统(ITS, Intellectual Transportation System)是当前热门研究领域, 它可以给驾乘者方便舒适的信息体验。而车辆间网络是其重要基础之一, 车载自组网是专门为车辆间通信而设计的自组织网络, 它创造性地将自组网技术应用于车辆间通信, 使司机能够在超视距的范围内获得其他车辆的状况信息(如车速、方向、位置、刹车板压力等)和实时路况信息^[1]。但是由于节点高速移动性, 导致网络拓扑结构变化快, 路由寿命短, 这一缺陷会对 TCP 这一类的端到端的数据流连接的稳定状态保持时间造成很大影响。目前的研究方向主要是使用 GPS 产生的位置信息进行寻路^{[2][3]}和在道路上引入固定节点等方法^[4]。本文通过对车辆行驶特点的分析,

基金项目: 国家高科技发展计划(2007AA01Z234)。

对速度和方向进行分类, 根据速度和方向信息对车辆的状况进行经验性总结, 判断车辆行驶环境, 以指导选路决策。与其他的车载协议相比, 该协议不需引入昂贵的 GPS 设备, 无需在街道上建立基础设施, 算法的计算负荷小。通过对基于速度与方向的 VANET(后简称 vd-VANET)协议进行计算机仿真, TCP 连接性能和 UDP 连接的时延性能均有所提高。

2 基于速度与方向的 VANET 协议原理

2.1 RFC3561 规定的 AODV 协议简介

AODV 协议在 rfc3561 中进行了规定^[5], AODV 的控制报文有 RREQ, RREP, RERR, RREP-ACK, HELLO 报文四种, 主要运行机制是: 以洪泛广播形式发送按需选路请求 RREQ, 到达目的端后 RREP 经过

RREQ 建立的反向路由返回路由应答, 当发现路由由断链的情况下发送 RERR 通知相关节点, 以广播形式周期性发送 HELLO, 以维护各个节点所属的前向、反向路由。AODV 路由表的内容包括: 目的 IP、目的序列号、可用的目的 SN 的标志符、其他状态路由标识符、网络接口、下一跳 IP、前驱列表、生存时间。AODV 根据 AODV 控制报文更新路由表, 按照序列号大、跳数小的优先顺序进行更新路由表, 其中的序列号为各个节点维护的一个单调增的整数, 用于表示该 AODV 控制报文的新旧程度。

一般的情况下, 寻路过程包含路由发起、寻路、路由回复、数据通信四个阶段。

2.2 vd-VANET 路由原理

2.2.1 车载网络特点分析

总体二维性。大多数情况下相邻车辆几乎处于同一平面内, 其拓扑结构具有二维的特点。

特殊一维性。车辆被限制在道路中, 相邻街道间通常有建筑物阻挡, 其拓扑结构更具有一维性。

状态有限性。由于车辆行驶的局限性和交通规则的限制, 任意两辆车可以大致分为: 固定不动(路口或停车场)、同向行驶、反向行驶、超越四种情况。

2.2.2 根据车辆行驶状态分类

根据车载网络特点, 对车辆的行驶状态进行分类, 用以对端到端节点间的情况进行归纳。分类见表 1。

表 1. 车辆行驶状态分类

属性	标准	依据
速度(V)	低速($V < 5\text{km/h}$)	机动车时速小于 5 公里时, 基本可以认为处于静止状态, 如停车场、十字路口或堵车
	高速($V \geq 5\text{km/h}$)	
方向(D)	按 30° 分为 12 份, 相邻区域为同向, 其他方向为非同向; 见图 1	30 度的误差用以判断是否在同一条路上行驶
相对速度的大小(RV)	相对速度小 ($RV < 20\text{km/h}$)	20km/h 略高于自行车车速, 基本可以区分相互间为一静一动或处于超车状态
	相对速度大 ($RV \geq 20\text{km/h}$)	

2.2.3 端到端的节点移动状态

根据速度和方向、相对速度可以判断两辆车之间的行驶关系, 分为四种: standing(固定不动)、following(跟随)、unstable(不稳定)、worst(最坏)四种情况。

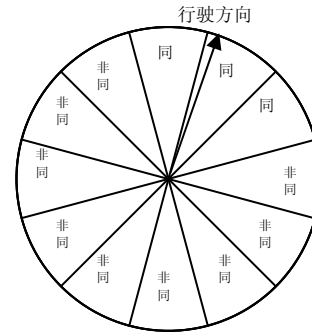


Figure 1. The division of the direction

图 1. 方向划分

可以根据对车辆行驶状态的分类, 推断两辆车间的行驶关系。用 V_0 表示本地节点速度, V 表示远端节点速度, D 表示本地与远端节点是否同方向, RV 表示两节点相对速度的大小, 具体见表 2:

表 2. 节点间移动关系

状态	V_0	V	D	RV
	0(低)	0(低)	0(非同)	0(小)
Standing	0	0	0	1
	0	0	1	0
Worst	0	0	1(同)	1(大)
	1	1	0	0
Following	1	1	0	1
	1(高)	1(高)	1	0
Unstable(超车)	1	1	1	1
	0	1	0	0
Unstable	0	1	1	0
	1	0	0	0
Worst(一动一静)	1	0	1	0
	0	1	0	1
	0	1	1	1
	1	0	0	1

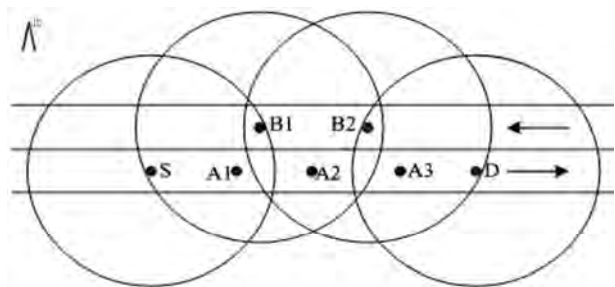


Figure 2. Schematic of a straight-line driving status

图 2. 直线行驶状态下的示意图

2.2.4 基于速度与方向的车载 AODV 协议(vd-VANET) 寻路方法

本文主要考虑解决当源和目的节点之间的关系处于 following 或者 standing 时的选路的移动状态的相对稳定性问题。现举例说明：

如图 2 在一条双向车道上行驶 7 辆汽车，行驶方向如箭头所示。现有一 TCP 数据流从 S 点发往 D 点，如果 S 发起寻路的时候节点分布如图所示，则按照传统的 AODV 协议，将建立的双向路由为 S <—> B1 <—> B2 <—> D。如果 S 和 D 向东行驶，B1、B2 向西行驶，S 与 B1、B2 与 D 之间很快将出现断链，从而导致 S 重新发起寻路。

传统的 AODV 实施过程中在 B2 转发一个 RREQ 到 D 以后，立即回复 RREP 给 B2，当 RREP 按 RREQ 来到 D 的路径传递回 S 的时候，最终的双向路由建立。但是实际上，D 在收到 B2 传来的第一个 RREQ 以后，还会收到 A3 发来的 RREQ，这个 RREQ 虽然跳数多了 1，但是有更好的保持时间。

表 3 说明了整个 vd-VANET 路由更新过程其中沿途状态栏中 W 代表 WORST，F 代表 FOLLOWING，关键过程说明如下：

S 广播了一个 RREQ，A1 和 B1 收到后添加到路由表，见步骤 1、2。

A1 转发了该 RREQ，S、B1 收到后因为已经处理过所以丢弃该报文，作为传统的 AODV 协议，不会再检查路由表相关项，而 vd-VANET 协议虽然同样丢弃该报文，但是同时查看路由表是否需要更新。由于此处是一个全新的路由项，不存在更新问题，因此 A2 添加路由表，见步骤 3

B1 转发该 RREQ，S、A1、A2 丢弃，A1 收到 B2 广播的报文后，查看路由表是否需要更新，序列号相同，状态为 W(WORST)+W（已有的路由为 FOLLOWING），没有已存在的路由稳定，因此不更新路由。A2 同理不需更新。B2 添加路由表，见步骤 4。同时在转发 RREQ 前将延迟一个随机时间，但是每个节点转发某一 RREQ 的延迟时间的均值与沿途状态稳定节点个数线性相关，这样在转发的之后保证了稳定路由的优先性。

A2、B2 依次转发该 RREQ，直到 D 收到该 RREQ 添加路由表，并回复 RREP，见步骤 5-9。

当 A3 转发 RREQ 到达 D 时，D 查看路由表，序列号相同，状态为 F×4(原有状态为 W+F+W)，虽然跳数增加了 1，但是原来的路径有两个不稳定点，所以

D 更新路由表，再次回复 RREP，见步骤 10-14。

表 3. vd-VANET 选路分析

步骤	本地节点	本地接受状态	控制报文类型	控制报文传递路线及状态	目的节点	与路由目的状态	路由表更新状态	下跳	沿途状态	最终是否选择该路
1	A1	RREQ	S->A1:F	S	F	S	1	F(1)	是	
2	B1	RREQ	S->B1:W	S	W	S	1	W(2)	否	
3	A2	RREQ	A1->A2:F	S	F	A1	2	FF(2)	是	
4	B2	RREQ	B1->B2:F	S	W	B1	2	WF(3)	否	
5	A3	RREQ	A2->A3:F	S	F	A2	3	FFF(3)	是	
6	D	RREQ	B2->D:W	S	F	B2	3	WFW(5)	否	
7	B2	RREP	D->B2:W	D	W	D	1	W(2)	否	
8	B1	RREP	B2->B1:F	D	W	B2	2	WF(3)	否	
9	S	RREP	B1->S:W	D	F	B1	3	WFW(5)	否	
10	D	RREQ	A3->D:F	S	F	A3	4	FFFF(4)	是	
11	A3	RREP	D->A3:F	D	F	D	1	F(1)	是	
12	A2	RREP	A3->A2:F	D	F	A3	2	FF(2)	是	
13	A1	RREP	A2->A1:F	D	F	A2	3	FFF(3)	是	
14	S	RREP	A1->S:F	D	F	A1	4	FFFF(4)	是	

同理，当在移动节点中存在几个固定节点的时候，也将按照相同的方法进行寻路。直观上看，相当于将移动状态类似的节点进行分组，这种状态比较理想的情况是将同方向同速度的节点分成一组，固定不动的节点分成一组，寻路的时候优先选择同组的节点。

概括起来 vd-VANET 是分析整个 RREQ 的沿途的状态，优先选择具有较少的非稳定单跳的组合(稳定单跳包含 standing 和 following 的状态)，且该稳定性的优先级高于跳数的优先级。

3 具体实现

具体实现上述原理，需要引入一个参数 stateindex 来记录 AODV 控制报文沿途的移动状态信息，并且在 AODV 控制报文和路由中加入速度和速度方向信息。

在描述具体实现前，为防止混淆，明确两个概念，且以下叙述均以此区分：作为寻路的发起方，产生一个 RREQ，这里称生成 RREQ 的节点为发源，而 RREQ 要到达的目的地，且作为目的端产生 RREP 的最终的目的节点称之为最终目的；作为接收到 AODV 控制报文的中间节点，要将路由信息写入路由表，其中又以目的节点的 IP 地址为关键字的一个表项，称此时写在路由表项中的目的节点为路由目的，本机为路由源。

3.1 修改 AODV 控制报文和路由表项

在 RREQ 中加入三个参数：u_int8_t rq_speed; u_int8_t rq_speedhead; u_int8_t rq_stateindex ;

rq_speed 表示发起源节点的速度,8 比特;rq_speedhead 为发起源节点的速度方向,8 比特。这两项均在生成 RREQ 时确定, RREQ 生存期间不发生变化。rq_stateindex 意义为 RREQ 传输过程中所途径的节点的移动状态的加权重值,其初始值为 0,也是 8 比特。同理在 RREP 中和路由表项中加入相同参数,设置方法同 RREQ。

3.2 HELLO 报文

HELLO 报文是一种特殊的 RREP 报文,因此其格式和 RREP 相同。

在本文所述的 vd-VANET 协议,必须具备一个表包含 3.1 节所述的三个参数,来存储 HELLO 报文传递的邻居间的关系,用于计算 stateindex 的权值。这个表可以是路由表中的一项或专门的邻居列表。因为一旦节点接收到 AODV 控制报文必须马上处理,并更新路由表,临时交换邻居节点间移动状态信息将影响实时性,所以必须使用历史的数据,而 HELLO 报文发送周期 rfc3561 建议为 1 秒,远远小于车辆移动状态改变的周期。

3.3 收到 RREQ 或 RREP 的操作

收到 RREQ 和 RREP 的操作类似。下面仅就收到 RREQ 的操作过程进行描述。

3.3.1 引入路由更新机制

Rfc3561 阐述的 AODV 当 RREQ 中的发起源和 RREQ ID 相同时表示同一的 RREQ 请求。为防止环路产生,在一段时间内直接丢弃已收到并处理过的 RREQ。

vd-VANET 取消了对同一发起源的同一个 RREQ 不予理会的限制,引入处理过的 RREQ 请求虽然不再重复转发该报文,但按序列号、移动状态(stateindex)、跳数进行路由重定向的策略。

3.3.2 计算 stateindex 值

在收到 RREQ 报文后,提取 RREQ 中的已统计的 stateindex 值,通过邻居列表或路由表计算本地的最后一跳的 stateindex 自增值。并使 stateindex 自增。自增方式为:

RREQ 发来最后一跳间的两节点之间的移动关系为 standing 时,自增量为 0;

当 RREQ 发来最后一跳间的两节点之间的移动关系为 following 时自增量为 1;

当 RREQ 发来最后一跳间的两节点之间的移动关

系为 worst 或 unstable 时自增量为 2;

3.3.3 路由表的更新

按照序列号,移动状态的权值,跳数的顺序进行更新。比较本机与发起源之间的序列号,大于路由表存储的相应路由目的则直接更新。前缀 rt 表示该值为路由表中已经存在的历史数据,前缀 rq 表示该值为当前 RREQ 报文携带的数据。

当序列号相同时,比较本机与发起源之间的关系记为 srrelativestate。

当 srrelativestate 为 following 状态时,记 RREQ 中的 rq_stateindex-rq_hopcount(跳数)的值为 rq_diffcount, rq_diffcount 越小说明本机与发起源之间的相对移动状态越稳定,从而路由也越稳定, rq_diffcount=0 时表示 RREQ 到达本机路径均为 following。当小于路由表中记录的数据时,进行路由的更新;

当 srrelativestate 为 standing 状态时, RREQ 中的 rq_stateindex 越小说明本机与发起源之间的相对移动状态越稳定、路由越稳定, rq_stateindex=0 时表示 RREQ 到达本机路径均为 standing。当小于路由表中记录的数据时,进行路由的更新,具体流程见图 3。

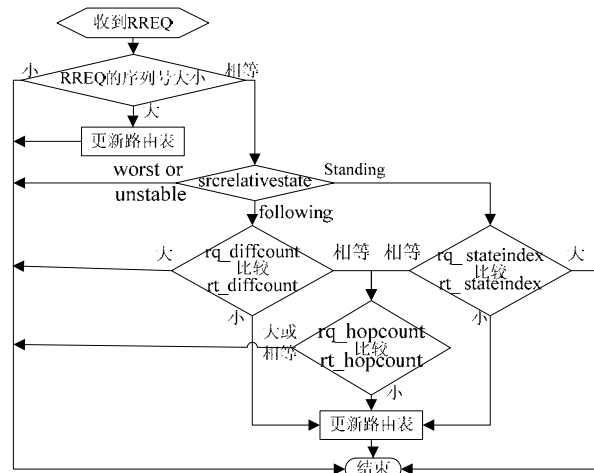


Figure 3. the relationship between RREQ and routing updates
图 3. RREQ 处理与路由更新的关系

如此,每一个节点对于路由源节点都选择最新、较稳定,跳数少的路由,则按照局部最优全局最优原理,到达最终目的将得到一个较为稳定的路由。

3.3.4 RREQ 转发的分级延迟

RREQ 采取洪泛的方式进行发送时极易产生 mac 层冲突,因此在本 vd-VANET 协议中引入了分级延迟

机制, 设置 RREQ_DELAY_UNIT 约为 1/5 个节点间传输时间, 根据当前的 RREQ 传输路径稳定性的优劣, 延迟转发 RREQ。

具体方法为:

当 srrelativestate 为 following 时, 延时为 $rq_diffcount \times RREQ_DELAY_UNIT$;

当 srrelativestate 为 standing 时, 延时为 $rq_stateindex \times RREQ_DELAY_UNIT$;

当 srrelativestate 为 worst 或 unstable 时, 延时为 $3 \times RREQ_DELAY_UNIT$;

该方法使得洪泛广播时, 处于稳定路由上的节点在时间上先于其他节点发送。这样处理有两点好处。第一, 洪泛类似水纹一样向四周扩散, 这使得属于较稳定路由的节点一般处于洪泛广播的最外沿, 避免了其他节点转发的时候造成的干扰影响; 第二, 采用该机制防止了这样一种情况: 当一个节点收到了更优的 RREQ, 但是由于防止回路机制(对于同一个 RREQ, 各个节点只转发一次), 不能再次广播 RREQ 来通知其他节点该信息。最终, 该方法有利于最优路由的实现。

3.3.5 多 RREP 回复

最终目的仅回复第一个收到的 RREQ 时, 并不能获得最佳的反向路由, 因此, vd-VANET 协议允许最终目的收到更优的 RREQ 时, 再次发送 RREP, 这样使前向路由得到更新且与反向路由一致。RREP 和 RREQ 不同, 它是采用单播的形式沿 RREQ 寻得的路由回到发起源节点, 几乎不会增加网络负载。

4 仿真实验及结果

4.1 移动模型和数据模型

4.1.1 移动模型选取

采用车辆移动仿真软件 sumo^[6]对一个 5 × 5 的网格状道路环境进行仿真, 仿真环境 2000 × 2000, 在每一个十字路口设置红绿灯, 见图 4(a)。节点数分别按照在 10~100 之间间距为 10, 125~250 间距为 25 进行取点, 最大车速 50 公里/时, 车流随机产生。采用 vanetsim^[7]将其转换为 ns2 可识别的移动节点模型。该模型较为符合真实的车辆移动环境, 并包含十字路口停车等待的情况。

4.1.2 ns 仿真环境设置

采用 Shadowingvis 传播模型^[8], 见图 4(b), 黑色为损耗低的区域, 白色为损耗高的区域, 这样将无线信号限制在道路上传播, 黑色区域无线信号传播距离

为 500 米。

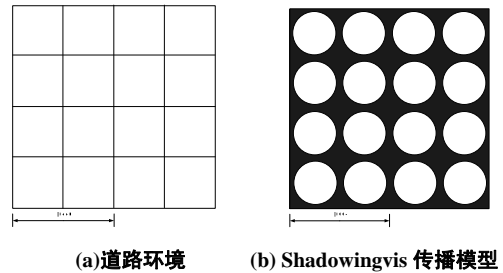


Figure 4. Simulation environment
图 4. 仿真环境

4.1.3 数据流设置

TCP 和 CBR 数据均采用 cbrgen 生成, 最大连接数为每次仿真总节点数的 50%, seed 为 5, 每个包大小为 512。其中 TCP 每次连接时长为 20 秒; CBR 数据每个连接发送数据包 1000 个。

4.2 仿真结果

按照上述原理和模型利用 ns2 对该协议分别就 tcp 和 cbr(恒定速率的 udp 数据包)进行仿真, 仿真结果如下:

4.2.1 成功传输数据

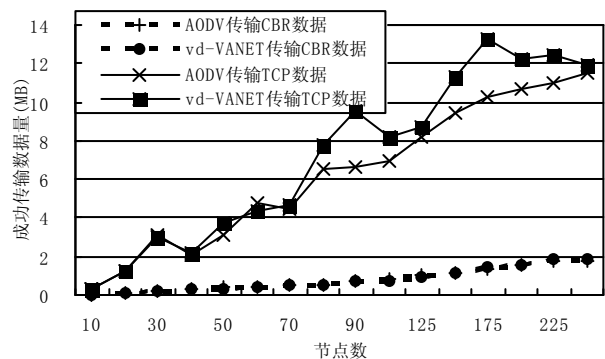


Figure 5. The successful transmission of data
图 5. 成功传输数据

4.2.2 丢包率

4.3 结果分析

从图 5 得知, 在路由稳定性要求较高的 TCP 连接中, 本文所阐述的 vd-VANET 协议, TCP 成功传送的数据量均高于 AODV, 所有仿真的总数据量 vd-VANET 较 AODV 多传输了 15%, 由于 TCP 连接

采用了慢启动、拥塞控制机制和超时重传机制，一旦路由发生断链，TCP 连接将认为是拥塞引起的丢包，将自动减少传输窗口，降低发送速率来避免拥塞。本协议在 TCP 连接上总数据量的优势表明 vd-VANET 应用在城市道路环境中更高的路由稳定性。而从图 5 中的 CBR 连接可以看出，CBR 传输性能没有下降。

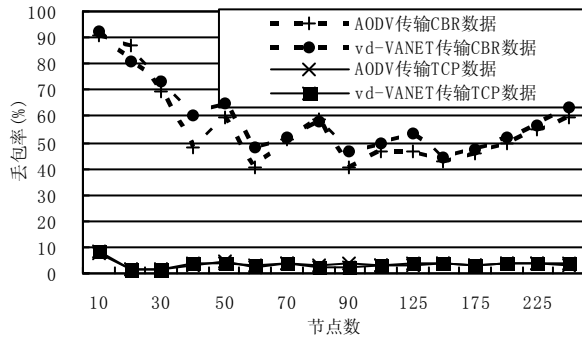


Figure 6. Packet loss rate
图 6. 丢包率

4.2.3 路由开销

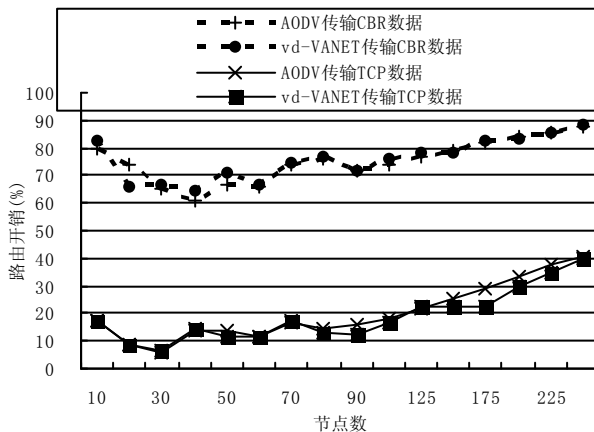


Figure 7. Routing overhead
图 7. 路由开销

4.2.4 时延

从图 6 可以看出，TCP 连接的丢包率与 AODV 协议的丢包率基本处于相同水平。而 CBR 数据在 vd-VANET 协议下，丢包率略高于 AODV 协议，原因是路由的稳定是以跳数的增加为代价，增多跳数导致了丢包率的增加。

从图 7 可以发现，在路由开销方面，在 TCP 连接上，vd-VANET 协议的路由开销略低于 AODV 协议，而在 CBR 数据连接中，路由开销基本相同，虽然路由控制报文增加 3 个选项，但是由于发起寻路次数减少，

路由开销没有增加。

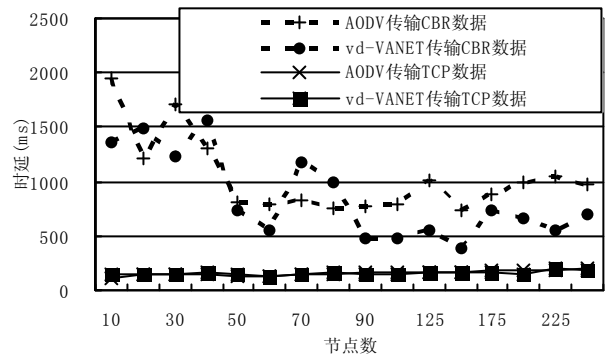


Figure 8. Delay
图 8. 时延

从图 8 的时延可以发现，vd-VANET 协议的时延在节点密度较大的情况下(>25 辆/km²) CBR 的连接时延性能有了很大的提高，约减少了 50%，而 TCP 连接的时延与 AODV 协议基本一致。

因此，vd-VANET 在 TCP 数据传输中的较好表现可以说明 vd-VANET 具有较好的路由稳定性，适合在车载网络中对链路稳定性较高的应用中，如可靠数据传输，FTP 文件共享等。而在 CBR 的表现可以看出，在 CBR 应用时最看重的时延在节点较密的情况下有约 50% 的改善，同样适用于一些非可靠的，但是时延要求较小的连接。

5 结语

本文针对车辆在道路情况下的限制，针对车辆行驶特点，提出了一种速度、方向优先的选路策略，对所提出的协议进行了 ns2 仿真，在仿真场景设置尽可能接近真实的城市车辆移动的情况下，本协议与 AODV 协议相比，TCP 连接的数据传输速率性能平均增加了 15%，恒定速率的 UDP 的时延时间减少了约 50%，其他性能与 AODV 基本一致。

本协议便于实现，在实际应用中不需 gps，不需车外基础设施，不需要相应地点的电子地图数据，不受天气影响，一个电子罗盘甚至改装的指南针加上汽车自身的测速表就可以实现，即使不引入相关速度方向设备，也可以按照原来的 AODV 协议相互通信，即可兼容 AODV 协议。

本文的研究侧重于对接近实际的场景进行仿真试验，下一步的工作，研究该协议在高速公路方面的表现；在理论上对速度和相对速度的阈值分析；其他的参数对 vd-VANET 的优化，如 hello 发送间隔，路由

失效时长等。

致谢

感谢，杨扬老师的指导。感谢本 863 项目组成员王蒙、王小波等人的支撑和帮助。

References (参考文献)

- [1] CHANG Cu-yu, SHI Mei-lin, XIANG Yong, Development and status of vehicular ad hoc networks [J], Science of Computer Technology, 2007, 28(11), P116-126 (Ch).
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.
- [2] LOU Min, Liu Hong-li, Yang Xiao-zong, A New On-demand Aouting Algorithm Based on Nodes Locations for MANET [J], Communications Technology, 2008, 41(12), P164-167 (Ch).
娄敏, 刘宏立, 杨晓宗, MANE T 中一种新的基于节点位置的按需路由算法[J]. 通信技术, 2008, 41(12), pp. 164-167.
- [3] LIU Wei-biao, ZHANG Xiu-ru, ZHU Guang-hui, A Position-Based DSR Algorithm for Ad Hoc Networks [J], Computer Technology and Development, 2007, 17(10), P158-161 (Ch).
刘卫彪, 张修如, 朱光辉. 一种基于节点位置信息的 Ad Hoc 网络路由算[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(10): 158-161.
- [4] LI Shu, ZHANG Dong-liang, JIANG Chang-jun, On Connectivity of Vehicular Wireless Ad hoc Network [J], Journal of System Simulation, 2009, 21(3), P888-899 (Ch).
李舒, 张栋良, 蒋昌俊. 车载无线自组网络连通性分析[J]. 系统仿真学报., 2009, 21(3): 888-899.
- [5] IETF RFC 3561. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AD HOC) Routing[S].
- [6] SUMO-Simulation of Urban Mobility [DB/OL]. <http://sumo.sourceforge.net/index.shtml>.
- [7] Rapid Generation of Realistic Simulation for VANET [DB/OL]. <http://www.csie.ncku.edu.tw/~klan/move/index.htm>.
- [8] KevinFall, Kannan Varadhan. The ns Manual [DB/OL]. <http://isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>.