

基于位置及连通性的车辆自组网可靠路由算法*

张丽丽⁺, 郑莹, 陈浩

(河海大学 计算机与信息学院, 江苏 南京 211100)

Position-Based and Connectivity Aware Routing Algorithm in Vehicular Ad Hoc Networks

ZHANG Li-Li⁺, ZHENG Ying, CHEN Hao

(College of Computer and Information Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

+ Corresponding author: E-mail: lilzhang@hhu.edu.cn

Zhang LL, Zheng Y, Chen H. Position-Based and connectivity aware routing algorithm in vehicular ad hoc networks. *Journal of Software*, 2012, 23(Suppl. (1)): 141-148 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/12016.htm>

Abstract: Based on the analysis of proposed routing protocols in vehicular ad hoc networks (VANETs), this paper gives a new algorithm PCAR(position-based and connectivity aware routing) by combining the position information and the network connectivity. The algorithm also takes advantage of the vehicle density information to estimate the network connectivity and selects anchor nodes and the routing based on the weight of the road. Next it gives the extended greedy forwarding strategy based on the velocity and direction of vehicles. Compared to the GPSR and GSR, the simulations show that PCAR is good for VANETs in the city scenario and has a more efficient delivery rate and transmission delay.

Key words: VANETs; routing algorithm; network connectivity; PCAR

摘要: 基于对现有车辆自组网路由算法的分析,结合城市环境下车辆自组网的特点,提出城市环境下基于位置及连通性的车辆自组网可靠路由算法 PCAR(position-based and connectivity aware routing).该算法基于 GPS 收集的数据,利用车辆密度信息推断网络连通性,根据道路权值公式计算数据传输路径和锚点,并根据车辆行驶速度及方向,基于扩展的贪心模式给出数据的传输策略.仿真表明,与路由协议 GPSR 及 GSR 相比较,算法 PCAR 具有更好的数据包投递率及较短的时延,能更好地适应城市环境.

关键词: VANETs;路由算法;网络连通性;PCAR

车辆自组网(vehicular ad hoc networks,简称 VANETs)是一类特殊的移动自组网,具有不同于其他移动自组网的特性,如网络节点移动速度快、拓扑变化频繁等.这使得基于拓扑的路由协议在车辆自组网中的性能急剧下降^[1],在城市环境下尤为明显.因此,近年来针对车辆自组网的可靠有效路由协议的研究仍是车辆自组网的研究热点,并取得了一些进展^[2-4].基于位置信息的路由协议不需要像基于拓扑的路由协议一样维护路由信息,且随着科技的发展、车辆导航系统及 GPS 在车辆中的广泛使用,使得节点位置信息及电子地图的获得变得更加容易,这为基于位置的路由协议在车辆自组网中的发展提供便利^[5].

已有基于位置的路由协议的典型协议有 GPSR(greedy perimeter stateless routing)和 GSR(graphic source

* 基金项目: 国家自然科学基金(61003224)

收稿时间: 2012-05-05; 定稿时间: 2012-08-17

routing).其中基于位置的路由协议 GPCR(greedy perimeter stateless routing)^[6]整体采用贪心转发策略,且当数据转发遇到空洞时,数据转发模式转换为面遍历转发.GSR(graphic source routing)^[7]则是最早提出利用电子地图获得道路拓扑结构,进而根据道路拓扑应用 Dijkstra 算法获得传输数据的最优路径.但是 GSR 仅考虑道路拓扑结构和物理长度,没有考虑网络状态,如网络连通性.GPCR(greedy perimeter coordinator routing)^[8]也采用了类似 GSR 的思想,与 GSR 的不同之处在于该算法是利用节点自身的位置去判断节点是否处于岔路口.A-STAR(anchor-based street and traffic aware routing)^[9]则根据每条路上经过的公交线路计算道路权重,将计算所得的权值加载到道路电子地图中,然后利用 Dijkstra 算法计算传输数据的路径.

综上所述,已有基于位置的路由协议主要基于节点间的物理距离作为数据转发的主要策略,没有结合道路的车辆密度及节点移动信息等,所以在实际应用时无法保证数据的传输时延和顺利到达.例如,图 1 中的车辆 V 要给车辆 D 传输数据,按照已有基于位置的路由算法,一般是车辆 V 将按照最短路径进行转发,即沿着 I4 和 I3 传输数据.但是,I4 和 I3 之间道路上的车辆密度稀疏,对应的通信网络并不连通,从而无法保证数据的传输和较小的时延.若选择路径 I4-I1-I2-I3 进行传输,则可保证数据顺利到达.

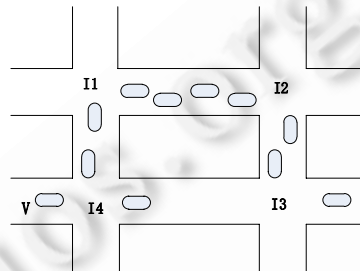


Fig.1 Routings of data delivery from V to D

图 1 数据由车辆 V 发送到车辆 D 的不同路径示意图

以物理距离作为数据转发的主要策略,注定了已有基于位置的路由算法的局限性.因此,设计数据转发策略时,不仅要考虑物理层面的最短距离,同时也要结合道路上的车辆移动信息和网络的连通性等.

本文基于以上因素,提出了一种基于位置及网络连通性的路由算法 PCAR(position-based and connectivity aware routing).该路由算法邻节点的选择考虑扩展的贪心转发模式,而路径的选择则基于道路的物理长度和网络连通性.该算法主要采用的技术包括:源路由技术、岔路口序列选择以及扩展的贪心转发策略.

1 基于位置及连通性的路由算法

1.1 假设条件及相关术语定义

本算法假设所有车辆都安装了 GPS 和导航系统,车辆能获得自己的位置信息及其他车辆的位置信息,且所有节点时间与 GPS 时间同步,导航系统为车辆提供街道电子地图等.本文将每辆车模型化为网络模型中的节点,且假设只要有岔路口,道路就分为不同路段.处于岔路口的车辆称为岔路口节点,其他车辆称为非岔路口节点.不在同一条道路上的非岔路口节点间不通信,岔路口的节点可以与其无线传输范围内的多条道路上的非岔路口节点进行通信.因此,数据转发主要存在于同一条道路上的两个非岔路口节点间,和岔路口节点与非岔路口节点间.数据的转发过程,主要从非岔路口节点向岔路口节点靠近,岔路口节点再传给非岔路口节点,直到数据到达目的节点为止.

1.2 算法设计

本文设计的路由协议主要分为 3 部分.首先,根据目的节点位置信息,根据网络连通性选择锚点序列;其次,锚点之间的数据传输基于节点的移动速度和方向采用扩展的贪心转发策略;最后,当节点无法传输数据时则采取路由恢复策略,即节点携带数据重新进行路径选择,直到遇到可转发节点.

1.2.1 锚点序列选择

根据街道拓扑结构信息,将连接不同道路的岔路口记为 J_i, R_{ij} 表示岔路口 J_i 与岔路口 J_j 连接的道路,其物理长度记作 $L_{R_{ij}}, Den_{R_{ij}}$ 则表示岔路口 i 和岔路口 j 之间道路的车辆密度.首先通过道路的长度及车辆密度信息建立一个权值公式,并选择权值最小的道路作为数据传输的路径,并根据传输路径记录下需要经过的岔路口,即锚点序列.每条道路权值定义如下:

$$weight_{ij} = \frac{L_{R_{ij}}^a}{Den_{R_{ij}}^b} \quad (1)$$

其中 a, b 是调整性参数, a 和 b 都只能取值为 0 或 1. 当 $a=0$ 且 $b=1$ 时,意味着锚点的选择只依赖道路的车辆密度;当 $b=0$ 且 $a=1$ 时,意味着锚点的选择只依赖道路的物理长度;当 $a=1$ 且 $b=1$ 时,意味着锚点的选择同时考虑道路的物理长度和道路的连通情况.因此 a 和 b 的不同取值对应不同的数据传输策略,从而对应不同的锚点选择,仿真分析部分将说明参数 a 和 b 的有效取值.

当根据权值公式(1)计算出每条道路的权值后,我们将选择权值最小的道路作为数据转发的路径,同时提取出需要经过的岔路口序列,并将路径信息存储在数据包头文件中.每当数据发送到一个岔路口时,就会根据包头文件中的路径信息选择下一条道路进行数据的转发.如图 2 所示,其中实心点表示转发数据节点,空心点表示其他节点.当 S 需要发送数据到 D 时,首先根据已知的道路拓扑信息,若令权值公式(1)中的参数 $b=0$ 且 $a=1$,则按照权值最小原则, S 节点会选择道路 R_{13} 来发送数据.若令 $a=1$ 且 $b=1$,则根据权值公式(1)可得到的路径为 R_{12}, R_{24}, R_{46} ,即存在数据包头文件中的信息则是 R_{12}, R_{24}, R_{46} .

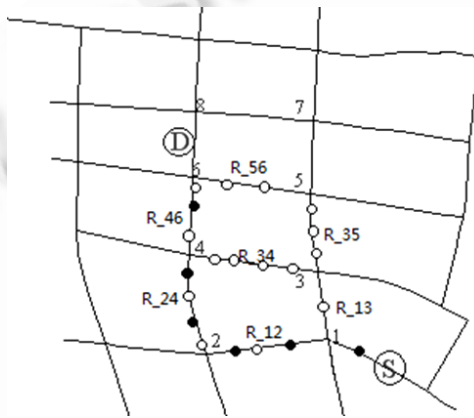


Fig.2 The anchors to forward data from S to D

图 2 S 发送数据到 D 的锚点选择过程图

已有研究表明车辆密度与车辆自组网的连通性有一定的关联^[10],如果车辆密度较大,对应的网络的连通性也越好;反之,当车辆密度较小时,网络的连通性也较弱.因此,为了计算方便,权值公式中用车辆密度反映网络的连通性.

对于车辆的密度信息可以通过路边设施获得,但路边设施的部署增加很高的建设成本与时间.本文给出一种简单方法以估计道路上的车辆密度.首先,每个节点广播自身 ID,可根据节点获得的邻居信息推算车辆密度信息.位于岔路口的节点还须负责广播道路密度信息.因此,每个节点需维护一张密度信息表,记录所需道路上的密度信息.图 3 给出一条车辆密度信息的数据记录格式.

当节点从岔路口 J_i 进入道路 R_{ij} 时,每接收到一个节点的广播信息, $Den_{R_{ij}}$ 就会加 1,若接收到相同的 ID,直接将此信息丢弃;节点到达 J_j 时, $Den_{R_{ij}}$ 的值则表示道路 R_{ij} 的密度,并给时间戳 TS 一个时间 T .即在时间 T 内,此信息有效;否则,该车辆密度信息将失效.

由于道路密度状况是数据传输的主要策略,所以我们将车辆密度设置一个阈值:

$$D_{threshold} = \frac{L - R_{ij}}{2r} + 1 \quad (2)$$

其中, r 表示无线通信的传输半径. 当 Den_R_{ij} 的值小于 $D_{threshold}$ 时, 表示没有足够车辆进行数据的连续传输, 所以不使用公式(1)进行路径的选择, 而是需要车辆携带数据, 直至岔路口, 重复该过程, 直到到达车辆密度超过阈值的道路或者数据发送给目的节点为止.

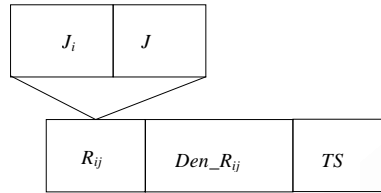


Fig.3 Data format of vehicle density

图3 车辆密度的数据记录格式

1.2.2 扩展的贪心转发策略

同一道路上节点之间数据的传输, 主要基于贪心模式, 且由于本策略是对高级贪心算法 AGF[11]的改进, 故称之为扩展的贪心转发策略. 首先, 将岔路口也就是所谓的锚点作为数据在同一道路上的目的节点, 数据在传给锚点过程中采用贪心模式; 其次, 该贪心策略基于节点移动速度和方向传给离岔路口最近的节点.

为了平衡距离与移动方向对路由策略的影响, 我们首先判断邻节点的运动方向是否同数据传输方向一致, 根据车辆行驶的方向, 再计算每个节点的权值, 根据权值贪心选择下一跳节点. 邻节点 i 的权值根据以下公式计算:

$$W_i = \begin{cases} 1 - \frac{D_i}{L - R}, & Dir_i < 0 \\ \frac{v_i}{v_{threshold}}, & Dir_i > 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中, D_i 表示节点 i 距离下一岔路口的距离, $L - R$ 表示节点所处的道路长度, Dir_i 表示节点运动方向是否同数据传输方向一致, 当 $Dir_i > 0$ 时表示方向一致, 反之即方向不一致, v_i 表示节点运动速度的大小, $v_{threshold}$ 表示道路上车辆的最高限速值. 权值 W_i 是用来选择下一跳节点的, 首先根据方向设置优先权, 若存在 $Dir_i > 0$ 的节点则不考虑 $Dir_i < 0$ 的节点, 且选择权值最大的作为下一跳节点. 否则, 若不存在 $Dir_i > 0$ 的节点, 则携带数据直到遇到 $Dir_i > 0$ 的节点为止.

转发策略中使用符合说明如下:

loc_c : 当前节点的位置

\bar{v}_c : 当前节点的行驶速度

$dest$: 数据包转发终点

loc_d : 下一岔路口节点的位置

$nextHop$: 选为下一跳的节点

$neighbour_i$: 当前节点的第 i 个邻节点

loc_i : 第 i 个邻节点位置

\bar{v}_i : 第 i 个节点的行驶速度

CN : 当前接收到分组数据的节点

扩展的贪心转发策略.

$loc_c \leftarrow$ 获得当前节点的位置信息

$v_c \leftarrow$ 获得当前节点的行驶速度

$$D_c = \text{distance}(loc_c, loc_d)$$

$$\vec{p}_{c,d} = loc_c - loc_d$$

$$Dir_c = \cos(\vec{v}_c, \vec{p}_{c,d})$$

if $Dir_c > 0$

$$W_c = \frac{v_c}{v_{threshold}}$$

else

$$W_c = 1 - \frac{D_c}{L_{mn}}$$

$$W = W_c$$

$$\text{nextHop} = CN$$

for all neighbours of CN do

$loc_i \leftarrow$ 第 i 个邻节点的位置

$\vec{v}_i \leftarrow$ 第 i 个邻节点的速度

$$D_i = \text{distance}(loc_i, loc_d)$$

$$\vec{p}_{i,d} = loc_d - loc_i$$

$$Dir_i = \cos(\vec{v}_i, \vec{p}_{i,d})$$

$$W_i = \begin{cases} 1 - \frac{D_i}{L_{R_{mn}}}, & Dir_i < 0 \\ \frac{v_i}{v_{threshold}}, & Dir_i > 0 \end{cases}$$

if $W_i > W$ **then**

$$W = W_i$$

$$\text{nextHop} = \text{neighbour}_i$$

end if

end for

if $\text{nextHop} \neq CN$ **then**

将数据转发给 nextHop

else CN 继续携带数据

end if

1.2.3 路由恢复策略

当岔路口不存在节点时则无法转发数据,当数据传输遇到以上问题时携带数据的节点并不会直接丢弃数据,而是会继续携带数据并重新进行路径信息计算,直到将数据转发给合适的邻节点.

2 仿真实验与结果分析

为了使得仿真环境更接近实际场景,我们将交通流仿真器 VanetMobiSim 与网络仿真器 NS-2 相结合,模拟实际场景中的交通流状况,并基于此,对车辆自组网及无线通信进行模拟,最后通过仿真结果比较、分析算法 PCAR 与已有典型算法 GPSR 和 GSR 在车辆自组网中的性能.仿真过程中使用的参数设置见表 1 和表 2.

Table 1 Parameters in VanetMobiSim**表 1** VanetMobiSim 参数设置

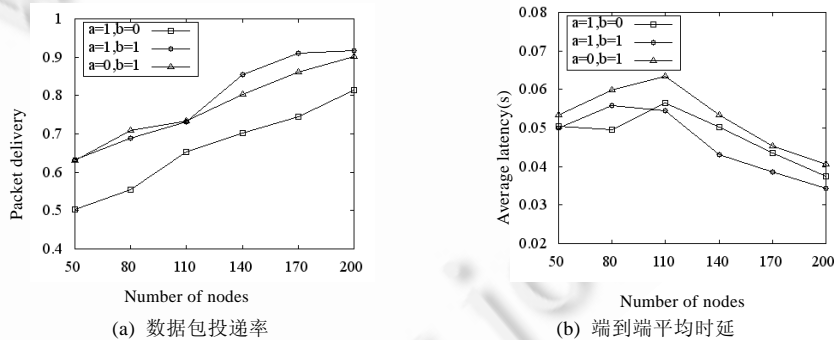
参数	参数值
仿真区域	2km×2km
岔路口数目	18
节点数目	50,80,110,140,170 或 200
节点运动速度	10m/s~25m/s 之间随机取值
仿真持续时间	180s

Table 2 Parameters in NS-2**表 2** NS-2 主要参数值配置

参数	参数值
仿真区域	2km×2km
仿真持续时间	180s
节点个数	50,80,110,140,170 或 200
分组大小	512 Bytes
数据流发生器	CBR
传输半径	200m
传播模型	TwoRayWay
天线类型	OmnAntenna
发送速率	1Mbps
连接数	10

2.1 仿真结果分析

每次仿真过程独立进行,仿真实验共进行 10 次,最后取其平均值.每次仿真过程中均设定 10 对节点进行数据传输,得到算法 PCAR 性能如图 4 所示.从图 4(a)可以看出,同时考虑道路物理长度及网络连通状态时数据包投递率最大,考虑道路连通状态时次之,包投递率最差的是仅考虑道路物理长度的情况,这也验证了我们算法设计策略的有效性.同时图 4(b)显示同时考虑道路物理长度及网络连通状态时数据传输有最低的时延.

**Fig.4** Packet delivery and average latency of PCAR**图 4** PCAR 算法性能

以上对 PCAR 算法本身的性能进行了分析比较,下面将 PCAR 与 GPSR 和 GSR 的性能相比较.图 5(a)表明 PCAR 路由协议的数据包投递率明显好于 GPSR 和 GSR,且随着车辆密度的增加,3 种算法的数据投递率都有上升趋势.且当节点个数为 200 时,PCAR 的数据投递率可达 90%.图 5(b)表示了路由算法的端到端时延,PCAR 算法相对较稳定,时延整体少于 GPSR 和 GSR.随着网络密度的增加,PCAR 算法的优势更明显,时延明显减少,这与算法考虑了道路上车辆的移动速度和方向密切相关.图 5(c)显示了路由算法的吞吐量变化情况.随着节点密

度的增加,PCAR 算法的吞吐量均领先于算法 GPSR 与 GSR.

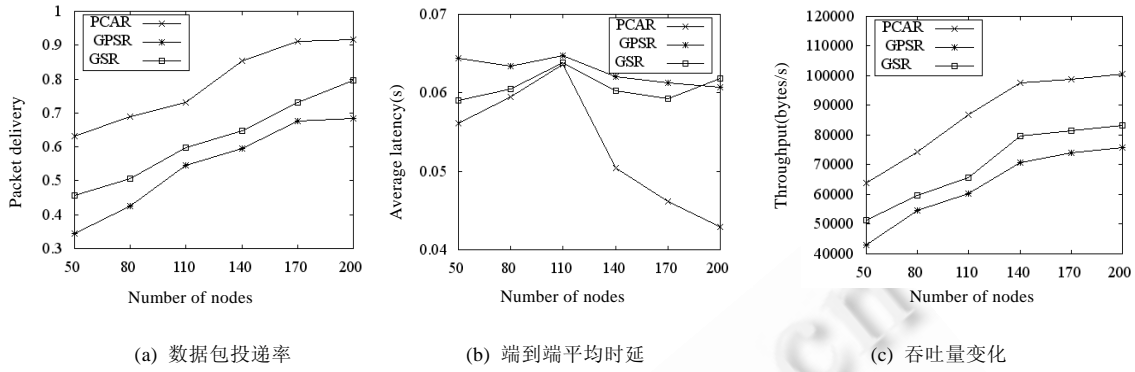


Fig.5 Comparison of PCAR、GPSR and GSR

图5 PCAR 与 GPSR、GSR 性能比较

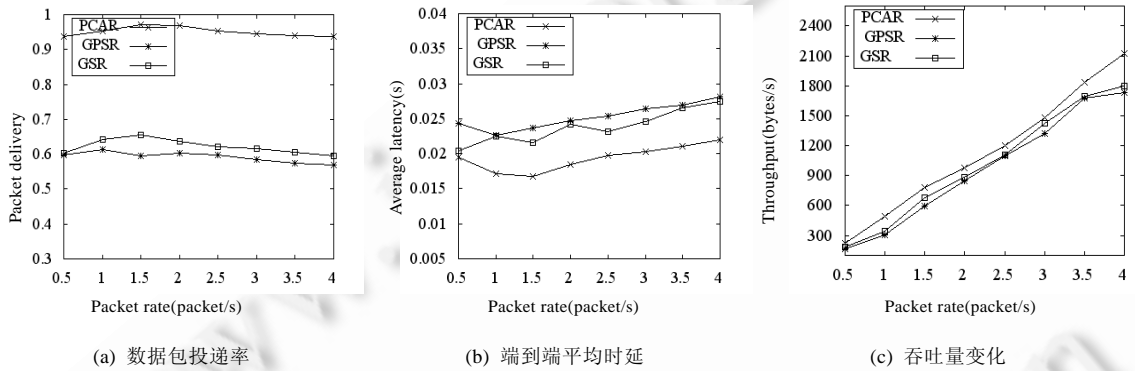


Fig.6 Comparison of the algorithms with different packet rates

图6 不同分组速率下算法性能变化情况

为了比较不同分组发送速率下算法的性能,分组发送速率分别为 0.5 分组/秒,1 分组/秒,1.5 分组/秒,2 分组/秒,2.5 分组/秒,3 分组/秒,3.5 分组/秒,4 分组/秒,其中 1 分组对应 512 比特,且节点数目设定为 200 个,仿真结果如图 6 所示.其中图 6(a)表明不同分组发送速率不会明显影响数据包投递率,且算法 PCAR 的数据包投递率始终保持在 90% 以上,明显好于 GPSR 和 GSR;图 6(b)显示不同分组发送速率下 PCAR 算法的端到端平均时延不仅比 GPSR 和 GSR 短,且波动小,更稳定;图 6(c)则显示不同分组发送速率下 PCAR 的吞吐量比 GPSR 和 GSR 有微弱优势.

3 总结

由于基于位置的路由协议不需要维护全局路由表,同时实时信息便于获得实时最优路径.因此,在车辆自组网中,基于位置的路由协议占较大优势.已有基于位置的路由协议主要将道路上转发节点间的物理距离作为数据转发的主要因素,这使得该策略在网络不连通的情况下容易失效.本文充分利用 GPS 及导航系统等提供的信息,结合节点的位置及网络连通性提出基于位置和连通性的可靠路由算法.该算法主要通过推断道路车辆密度,根据车辆密度与连通性之间的关联,及道路长度计算道路权值,从而选择出有效的数据转发路径;再根据车辆移动速度和方向设计扩展的数据贪心转发策略,从而实现数据的快速可靠传输.仿真实验也验证了 PCAR 算法的性能明显优于已有算法 GPSR 和 GSR;在相同条件和环境下,具有较高的包投递率和较小的时延.

References:

- [1] Chang CY, Xiang Y, Shi ML. Development and status of vehicular ad hoc networks. *Journal on Communication*, 2007,28(11): 116–126 (in Chinese with English abstract).
- [2] Xu F, Guo S, Jeng J, He T. Utilizing shared vehicle trajectories for data forwarding in vehicular networks. In: *Proc. of the 31st Annual IEEE Int'l Conf. on Computer Communications*. 2011. 441–445.
- [3] Wu Y, Zhu Y, Li B. Trajectory improves data delivery in vehicular networks. In: *Proc. of the 31st Annual IEEE Int'l Conf. on Computer Communications*. 2011. 2183–2191.
- [4] Niu N, Liu M, Chen G. PVA in VANETs: Stopped cars are not silent. In: *Proc. of the 31st Annual IEEE Int'l Con. on Computer Communications*. 2011. 431–435.
- [5] Li F, Wang Y. Routing in vehicular ad hoc networks: A survey. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2007,2(2):12–22.
- [6] Willke T, Tientrakool P, Maxemchuk N. A survey of inter-vehicle communication protocols and their applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2009,11(2):3–20.
- [7] Lochert C, Hartenstein H, Tian J. A routing strategy for vehicular ad hoc network in city environments. In: *Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. 2003. 156–161.
- [8] Lochert C, Mauve M, Fulbler H. Geographic routing in city scenarios. *ACM Sigmobile Mobile Computing and Communications Review*, 2005,9(1):69–72.
- [9] Liu G, Lee B, Seet B. A routing strategy for metropolis vehicular communications. *Lecture Notes on Computer Science*, 2004,3090: 134–143.
- [10] Zheng Y, Zhang L, Xie H. Topology structure in vehicular ad-hoc network based-on urban scenarios. *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, 2012,4(6):137–144.
- [11] Naumov V, Baumann R, Gross T. An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces. In: *Proc. of the ACM Int'l Symp. on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*. 2006. 108–119.

附中文参考文献:

- [1] 常促宇,向勇,史美林.车载自组网的现状与发展. *通信学报*,2007,28(11):116–126.



张丽丽(1977—),女,山东淄博人,博士,副教授,主要研究领域为无线移动自组网,复杂系统建模.



陈浩(1988—),男,硕士生,主要研究领域为车辆自组网,复杂网络.



郑莹(1986—),女,硕士,主要研究领域为车辆自组网.