

基于机会权重的环境自适应动态车联网路由

于家培, 王 萍, 祝 捷, 王 帅
(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201600)

摘 要: 为满足车联网的数据转发质量, 保证通信连接的可靠性非常重要。基于对车联网动态拓扑、车辆行驶行为变化、车辆密度变化、高速移动等交通环境复杂性问题的分析, 提出基于机会权重的环境自适应动态路由(SaDAGR)。SaDAGR引入了车辆行驶行为预测模型, 设计了动态信标周期自适应调节机制, 并在转发策略中设计机会权重转发机制, 引入车辆目的方向预测及车前密度感知, 所提路由能够适应复杂交通环境下大动态范围的车辆速度、车辆密度的交通变化。仿真结果表明, SaDAGR增强了网络的连通性, 降低了重传, 减少了时延, 提高了数据转发效率。

关键词: 车联网; 行驶行为预测; 动态信标调节; 机会权重转发; 目的方向预测; 车前密度感知

中图分类号: TN915.05-34

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2020)07-0017-04

Environment self-adaptive dynamic vehicular network routing based on opportunity-weight

YU Jiawei, WANG Ping, ZHU Jie, WANG Shuai

(College of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201600, China)

Abstract: In order to meet the quality of the vehicular network data forwarding, it is very important to ensure the reliability of the communication connection. On the basis of the analysis of the traffic environment complexity such as the dynamic topology of vehicular network, vehicle behavior change, vehicle density change and high-speed movement of vehicles, the SaDAGR (scenario-adaptive dynamic awareness greedy routing) based on opportunity weight is proposed. The vehicle behavior prediction model is introduced by SaDAGR routing to design the dynamic-beacon-period adaptive adjustment mechanism. The opportunity-weighted forwarding mechanism is designed in the forwarding strategy, in which the vehicle destination direction prediction and the vehicle forward density sensing are introduced. The SaDAGR can adapt to vehicle speed in large dynamic range, vehicle density and traffic changes in the complex traffic environment. The simulation results show that the SaDAGR can enhance network connectivity, reduce retransmission time delay, and improve data forwarding efficiency.

Keywords: vehicular network; vehicle behavior prediction; dynamic beacon adjustment; opportunity weight forwarding; destination direction prediction; vehicle forward density sensing

0 引 言

随着5G移动通信、移动互联网、人工智能等技术的发展,车联网不仅成为5G研究的重要场景之一,也是未来智能交通系统的重要组成部分^[1]。研究车载自组织网络动态路由技术,对安全消息的实时转发及实现交通安全预警等功能具有重要意义^[2]。车载自组织网络具有车辆行驶行为变化较快、网络拓扑结构变化较快以及交通环境复杂等问题,给车联网中可靠通信带来了困难^[3]。

典型的车联网路由协议是基于拓扑结构的路由协议,主要有表驱动的路由及按需式的路由^[4]。但是基于

拓扑结构的路由不能适应网络拓扑结构的快速变化,而基于贪婪转发的GPSR路由不需要网络的全局拓扑信息^[5],只需要根据车辆的位置信息做路由决策,具有很好的动态适应性^[6]。

文献[7]将对GPSR转发链路的研究归类为NWL(B) (Neighbor Wireless Link Break)问题,详细分析了信标分组间隔、车辆速度、车辆密度及通信范围等问题对GPSR路由的影响。文献[8]根据上一时刻收到的Beacon中所携带的周边车辆位置及速度信息,以及通过电子地图获得的目的地车辆位置及速度信息,建立了一个线性位置预测方法,计算邻居位置表中的车辆与目的车辆相遇的概率,提出了V-GPSR协议。文献[9]通过实测得到车辆的加速度近似服从正态分布,因此,利用线性

回归方程在信标的分组间隔内对车辆的转弯行为进行预测,并且采用反馈机制对结果进行修正。

基于上述文献,本文通过分析通信链路连接的稳定性及复杂城市街区与高速典型交通环境的特点,提出了一种环境自适应动态感知路由(Scene-adaptive Dynamic Awareness Greedy Routing, SaDAGR)。SaDAGR针对车联网中车辆行驶行为多变的特征,以车辆预测位置与真实位置的误差为自适应反馈因子,并根据环境中车流密度及车辆平均速度的特点建立环境函数,两者结合建立了动态信标周期自适应调节机制以实现在不同交通场景中动态调节信标播报周期。并且SaDAGR在转发阶段引入机会权重转发机制以增强网络的连通性,提高路由转发性能。

1 系统模型

SaDAGR由运动感知、动态信标周期自适应调节以及机会权重转发三部分组成,通过车联网Beacon消息帧动态控制网络的连接状态。作为V2V通信网络的控制消息^[10],Beacon消息帧的设计如图1所示,其包含邻居车辆ID、时间戳(TimeStamp)、车辆位置(NodePosition)及速度(NodeVelocity)信息。其中,TTL(Time to Live)是指每个车辆信标的广播周期,每辆车的广播周期是不同的;而DenFac是车前密度值,作为机会权重函数中的一个参数,用来计算邻居车辆的权重。

运动感知模型通过Beacon消息帧获取邻居车辆的历史位置及速度信息,并实时感知信道环境,预估通信覆盖范围。邻居位置表中每个车辆有 $v_1 \sim v_4$ 四条历史速度信息及一条位置信息,采用三次插值算出未来一个Beacon周期内车辆轨迹方程,如图1中所示,Track_F与Track_G为运动感知预测所得轨迹方程。

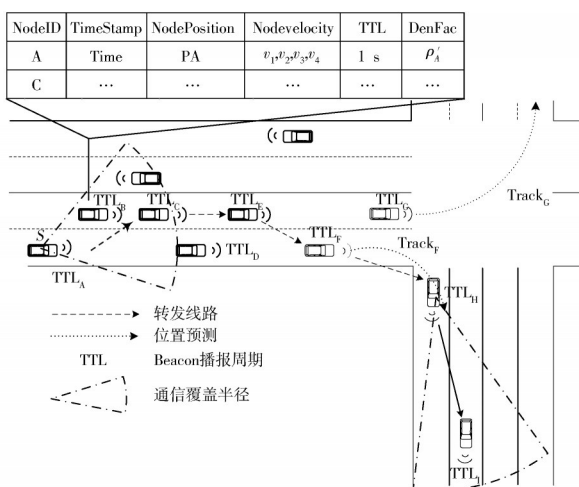


图1 SaDAGR系统模型

SaDAGR中动态信标周期自适应调节通过对车辆

周边的车流密度及车辆平均速度的感知,结合自适应反馈因子动态修正信标周期TTL,如图1所示,车辆的TTL值不同,在车辆较为密集的区域,如车辆A,B,C所在区域,其TTL值会较大,而在车辆H,I所在区域TTL值会较小。

2 SaDAGR设计

2.1 动态信标周期自适应调节

有较多的文献研究车辆的行驶速度与车辆密度的关系^[11],从目前的研究结果来看,无论车辆速度和车流密度的具体关系如何,两者具有相反关系这一趋势是不变的。本文以预测位置与车辆真实位置之间的统计误差为自适应反馈因子 δ , δ 的计算如式(1)所示:

$$\delta = \sum_i P_i / N \quad (1)$$

式中: P_i 为车辆 i 的位置预测误差; N 为邻居位置表中车辆个数。

考虑车辆密度值 ρ 和平均速度值 \bar{v} 的影响,定义环境函数 $f(x)$ 。当密度的影响大于平均速度时, $f(x) > 0$;相反,当平均速度的影响大于密度的影响时, $f(x) < 0$;当密度的影响和平均速度的影响达到平衡状态时, $f(x) = 0$ 。采用初始化因子 σ ,保证初始化时 $\rho - \sigma\bar{v} = 0$ 。根据上述设计,环境函数关于 ρ 与 \bar{v} 的关系为:

$$f(\rho - \sigma\bar{v}) = \begin{cases} \ln(\rho - \sigma\bar{v} + 1), & \rho - \sigma\bar{v} \geq 0 \\ e^{\rho - \sigma\bar{v}} - 1, & \rho - \sigma\bar{v} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

结合式(1)和式(2),定义TTL自适应调节修正值 Δ 的计算式如下:

$$\Delta = \frac{\delta}{2R} f(\rho - \sigma\bar{v}) \quad (3)$$

环境函数 $f(\rho - \sigma\bar{v})$ 在 $\rho - \sigma\bar{v} = 0$ 时有连续的一阶导,可以对TTL的修正值 Δ 进行平滑调整。

播报周期自适应调节机制流程图如图2所示,每个车辆有一个消息帧播报计时器,当计时结束时启动播报周期计算,TTL的修正值通过式(3)计算。随着自适应调节机制不断迭代,位置预测结果与邻居车辆真实位置之间的误差不断缩小,当 $\delta \leq \varepsilon R$ 时,结束自适应反馈调节,其中, ε 为阈值因子, R 为通信半径。

2.2 机会权重转发

SaDAGR的转发策略考虑三个权重因素,距离目的车辆的欧氏距离、车辆目的方向预测以及车前密度。车辆的欧氏距离以及车辆的速度方向已经有过详细的研究^[12],但是基于车辆目的方向预测及车辆周边密度的研究较少。机会选择权重函数如式(4)所示:

$$WF_i = \alpha D_{is} + \beta \cos(V_i, P_{s,d}) + \gamma \rho' \quad (4)$$

式中: α, β 及 γ 为权重值, $\alpha + \beta + \gamma = 1$; WF_i 为邻居位置表中每个邻居车辆的转发权重值; D_{is} 表示邻居位置表中车辆*i*距目的车辆的欧氏距离与车辆自身*s*距目的车辆的欧氏距离的比值; V_i 为车辆预测位置与邻居位置表中最近时刻的位置之间的方向矢量, $P_{s,d}$ 为转发车辆自身距目的车辆的单位矢量, $\cos(V_i, P_{s,d})$ 值越大表明两车相遇的概率越大; ρ' 为车前密度值,采用车前方扇形区统计车辆密度信息。选取与车辆行驶方向左右相差 90° 共 180° 范围内的车辆进行统计计算。

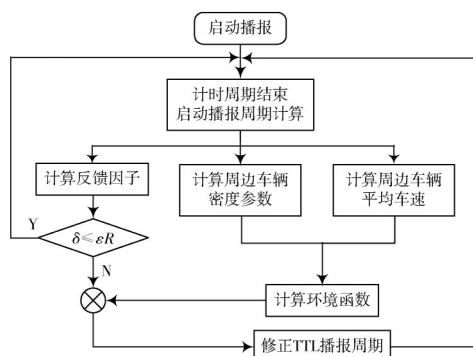


图2 动态信标周期自适应调节机制

2.3 路由机制及数据包转发流程

SaDAGR动态信标实现过程中的两个 Beacon 间隔及 TTL 的修正方法如图3所示。车辆的启动时刻为0,此后每隔一个时间间隔 T , 车辆启动反馈因子计算,如图3所示,0-1为一个时间间隔,1-2为下一个时间间隔。

在0-1时间间隔内一共有 $N_1 \sim N_5$ 五个 Beacon 消息帧,每个消息帧带有一个 TTL,1-2时刻之间的时间间隔 T_{1-2} 通过0-1五个车辆的 TTL_{N_i} 计算得到。当收到车辆 N_1 的消息帧时, T_{1-2} 为 $TimeStamp_{N_1} + TTL_{N_1}$;当收到车辆 N_2 的消息帧时,将 $TimeStamp_{N_1} + TTL_{N_1}$ 与 $TimeStamp_{N_2} + TTL_{N_2}$ 进行对比,选取最大的值作为 T_{1-2} ,以此类推,直到从五个车辆中选取最大的时间间隔,并在此时间间隔后启动反馈因子计算,如式(5)所示:

$$T_2 = \max_{N_i} (TimeStamp_{N_i} + TTL_{N_i}) \quad (5)$$

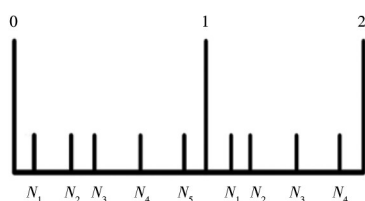


图3 自适应反馈因子计算间隔

3 仿真分析

3.1 仿真场景

为了验证 SaDAGR 在不同交通场景中的自适应性,

本文设计了两个典型场景:城市街区场景及高速公路场景。仿真中车辆的行驶服从 GaussMarkov 模型^[13]。物理层采用 802.11p 协议,调制方式为 OFDM,MAC 层采用基于 DSRC^[14]的 Wave 协议。每次实验选取不同的随机种子进行 30 次迭代,取平均值作为实验结果。

为了分析 SaDAGR 的性能,选择传统的 GPSR 路由,以及具有线性位置预测的 V-GPSR^[8]路由进行仿真对比。在路由的设置中,车辆具有缓存机制,当不能找到转发车辆时数据包被缓存,传输层使用 UDP 协议,没有差错重传机制。选择数据包分组投递率 PDR(Packet Delivery Ratio)和端到端平均时延 E2E-Delay(End-to-End Delay)作为路由性能指标。

3.2 仿真结果及分析

3.2.1 城市街区场景仿真

城市街区仿真主要验证 SaDAGR 在不同车流密度下的自适应调节,车辆的平均速度值为 60 km/h。

不同密度值下,数据包分组投递率的对比分析图如图4所示。从图4中可以看出,SaDAGR 可以明显提升 PDR。三种路由协议的起始 Beacon 播报周期都是 3 s, V-GPSR 与传统 GPSR 路由的时效性较差导致链路不稳定从而转发失败,致使 PDR 过低。在车辆密度值低于 70 veh/km²时,SaDAGR 相较于另外两种路由协议有近 50% 的 PDR 提升;当车辆密度高于 70 veh/km²时,依然能保证超过 10% 的性能提升。

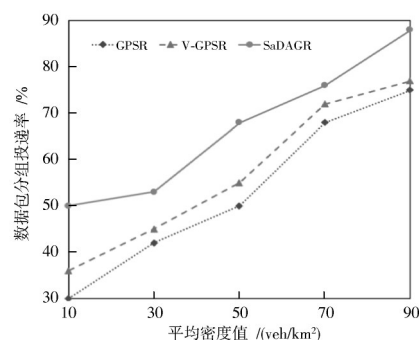


图4 不同密度值 PDR

不同密度值下对应的 E2E-Delay 如图5所示。随着车辆密度值增加,网络的连通性更好,转发数据包被缓存的时间更短,所以时延整体呈现下降趋势。当车辆密度值较小时,SaDAGR 相比另外两种路由具有近 15% 的性能提升,这可以证明 SaDAGR 在车辆密度较低时具有较好的适应性;当车辆密度值升高超过 60 veh/km²后,SaDAGR 的时延高于另外两种 10 ms 左右,此时较高的车辆密度会带来较好的网络连通性。对比图4可以看出,SaDAGR 的 PDR 较高,因此,会有转发次数较多的数据包造成平均时延升高。

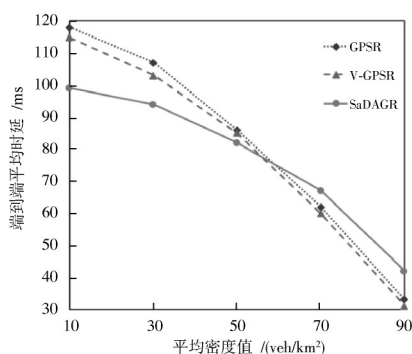


图5 不同密度值 E2E-Delay

3.2.2 高速公路场景仿真

高速公路场景仿真实验中密度值取中位数 50 veh/km², 改变平均速度值。

在不同平均速度值下, 数据包的分组投递率如图6所示。从图6中可以看出, SaDAGR 随着速度的增大, PDR 下降幅度要明显小于另外两种路由。由仿真结果可知, 此时 Beacon 的播报周期已经下降到 1 s 以内, 但是没有自适应调节机制的另外两个路由的 Beacon 依然保持 3 s 的 Beacon 播报周期。在 150 km/h 车速时, 3 s 内车辆行驶距离约为 125 m, 并且此时的车辆密度值并不高, 所以网络的拓扑结构已经发生了很明显的变化, 导致 PDR 出现近 80% 的下降。

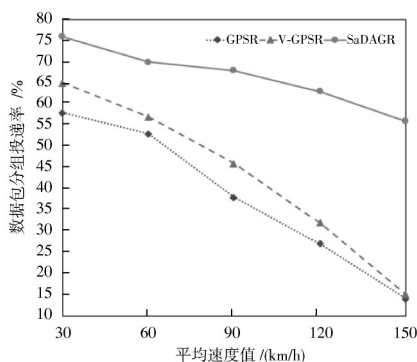


图6 不同平均速度下 PDR

不同平均速度下的 E2E-Delay 如图7所示。可以看出, 随着车辆速度的提升, 时延整体呈上升趋势。当车辆平均速度值小于 60 km/h 时, SaDAGR 的时延较另外两种较低, 此时车辆密度值及车辆平均速度值都比较小, 自适应反馈调节机制有一定优势。当车辆平均速度值大于 60 km/h 时, 可以看出 SaDAGR 的时延开始出现明显的上升并超过另外两种路由, 当平均速度达到 150 km/h 时, 时延出现了 27% 的上升。结合图7分析可以看出, 此时 SaDAGR 的 PDR 保持在较高水平, 而时延的上升是由于较多的中间转发次数及中转过程中所带来的缓存造成的。

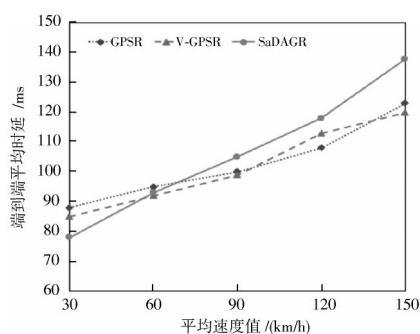


图7 不同平均速度下 E2E-Delay

4 结 论

本文基于对车联网环境复杂性问题的研究, 提出基于机会权重环境自适应动态路由 SaDAGR, 通过车联网 Beacon 消息帧动态控制网络的连接状态, 并根据交通环境的不同自适应调节信标周期, 以缓解网络拓扑结构的快速变化所带来的链路不稳定问题。SaDAGR 所提的机会权重转发机制引入了车辆目的方向预测及车前密度感知, 进一步提高了通信链路的稳定性。实验数据表明, 所提 SaDAGR 能明显提升数据包的分组投递率, 并且在车速较高及车辆密度较低等网络连接不稳定的场景下明显提升路由性能。

注: 本文通讯作者为王萍。

参 考 文 献

- [1] DUAN X, LIU Y, WANG X. SDN enabled 5G-VANET: adaptive vehicle clustering and beamformed transmission for aggregated traffic [J]. IEEE communications magazine, 2017, 55 (7): 120-127.
- [2] LIU J, WAN J, JIA D, et al. High-efficiency urban traffic management in context-aware computing and 5G communication [J]. IEEE communications magazine, 2017, 55(1): 34-40.
- [3] NAGAR J K, SINGHROVA A. A review paper for comparative study of different routing protocols in VANET [J]. International journal of enhanced research in science technology & engineering, 2014, 3(4): 313-320.
- [4] SHAREF B T, ALSAQOUR R A, ISMAIL M. Vehicular communication ad hoc routing protocols: a survey [J]. Journal of network and computer applications, 2014, 40: 363-396.
- [5] KARP B, KUNG H T. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]// Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. [S.l.: s.n.], 2000: 243-254.
- [6] LIU J, WAN J, WANG Q, et al. A survey on position-based routing for vehicular ad hoc networks [J]. Telecommunication systems, 2016, 62(1): 15-30.

(下转第24页)

络修正卡尔曼滤波的效果与标准卡尔曼滤波相似,从第52次测量周期开始,结合了神经网络的室内定位算法比标准卡尔曼的精度明显提高,特别是定位最后阶段,神经网络可以有效地消除滤波误差,预测轨迹几乎与真实轨迹相同。该算法和标准卡尔曼相比有着明显的优势,并且实现定位系统的高鲁棒性,有利于室内定位系统向着更广范的领域发展。

4 结 语

由于卡尔曼滤波算法要求系统误差和测量误差已知,利用标准的卡尔曼滤波算法可能会随着时间的增长滤波效果会很差甚至是发散。这就要求使用其他手段去修正卡尔曼滤波,使其误差尽可能地小,神经网络具有良好的自学习能力,将其与卡尔曼滤波结合即可大大地提高室内定位系统的精度与鲁棒性。仿真实验结果表明,本文所提出的基于神经网络修正的卡尔曼滤波室内定位方法明显优于传统的卡尔曼滤波算法。

参 考 文 献

- [1] 汪苑,林锦国.几种常用室内定位技术的探讨[J].中国仪器仪表,2011(2):54-57.
- [2] 勾祖超.基于位置指纹的WiFi室内定位技术的研究[D].成都:西南交通大学,2016.
- [3] 田中成,刘聪锋.无源定位技术[M].北京:国防工业出版社,2015.
- [4] ZHOU M, TANG Y, TIAN Z, et al. Semi-supervised learning for indoor hybrid fingerprint database calibration with low effort [J]. IEEE access, 2017, 5(99): 4388-4400.
- [5] 丁承君,字中强,朱志辉.基于信号幅值分布的室内指纹定位算法[J].现代电子技术,2018,41(10):47-50.
- [6] 董哲,吴瑶,孙德辉.室内定位技术的多源数据融合算法研究[J].计算机工程与设计,2014,35(5):1526-1530.
- [7] MU Z, QIAO Z, KUNJIE X, et al. PRIMAL: page rank-based indoor mapping and localization using gene-sequenced unlabeled WLAN received signal strength [J]. Sensors, 2015, 15(10): 24791-24817.
- [8] 陈诗军.一种高精度室内定位仿真系统的研究与实现[J].电子科学技术,2016,3(6):710-715.
- [9] 李伟征,涂秀梅.基于自适应卡尔曼滤波的频偏估计研究[J].控制工程,2017,24(8):1685-1689.
- [10] 焦李成.神经网络七十年:回顾与展望[J].计算机学报,2016,39(8):1697-1716.
- [11] 刘庆元,郝立良,黄书捷,等.神经网络辅助的GPS/MEMS-INS组合导航算法[J].测绘科学技术学报,2014(4):336-341.

作者简介:赵 明(1994—),男,辽宁盘锦人,工程师,主要研究方向为无线定位。

何书前(1978—),男,海南琼海人,博士,教授,主要研究方向为无线通信、视频编码与通信。

石 春(1977—),男,江西鄱阳人,博士,副教授,主要研究方向为无线通信。

蒋文娟(1976—),男,甘肃天水人,硕士,副教授,主要研究方向为无线通信。

(上接第20页)

- [7] ALSAQOUR R A, ABDELHAQ M S, ALSUKOUR O A. Effect of network parameters on neighbor wireless link breaks in GPSR protocol and enhancement using mobility prediction model [J]. EURASIP journal on wireless communications and networking, 2012(1): 171-176.
- [8] BOURAS C, KAPOULAS V, TSANAI E. A GPSR enhancement mechanism for routing in VANETs [C]// International Conference on Wired/Wireless Internet Communication. Malaga, Spain: [s.n.], 2015: 94-107.
- [9] 黎阳,王哲,张楚文,等.面向车载自组织网络路由的轨迹预测算法[J].计算机研究与发展,2017,54(11):2421-2433.
- [10] BAZZI A, MASINI B M, ZANELLA A, et al. On the performance of IEEE 802.11p and LTE-V2V for the cooperative awareness of connected vehicles [J]. IEEE transactions on vehicular technology, 2017, 66(11): 10419-10432.
- [11] 张晓丽,赵谦,张彤.车载自组网中对GPSR路由协议的改进[J].公路交通科技,2016,33(9):106-111.
- [12] GONG Jiayu, XU Chengzhong, HOLLE James. Predictive directional greedy routing in vehicular ad hoc networks [C]// Proceedings of the 27th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. [S.l.]: IEEE, 2007: 2-10.
- [13] MANURUNG R C, PERDANA D, MUNADI R. Performance evaluation Gauss-Markov mobility model in vehicular ad-hoc network with spearman correlation coefficient [C]// 2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). [S.l.]: s.n.], 2016: 351-356.
- [14] KENNEY J B. Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States [J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(7): 1162-1182.

作者简介:于家培(1993—),男,硕士研究生,主要研究方向为车联网路由技术。

王 萍,女,教授,博士生导师,研究方向为车联网技术。

祝 捷,女,硕士研究生,研究方向为面向车联网的广义空间调制技术。

王 帅,男,博士研究生,研究方向为MAC协议关键技术。