



车联网中的 V2R 通信

马小婷¹, 赵军辉^{1,2}, 王传云², 徐义国³

(1. 北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044;

2. 华东交通大学信息工程学院, 江西 南昌 310033;

3. 信智慧通科技(北京)有限公司, 北京 100176)

摘要: 无线通信技术的发展对智能交通系统提出了更高的要求。单纯的 Ad Hoc 网络或者 V2V 通信不具有可靠性, 很多应用不能实现, 而 V2R 通信对于提高可靠性、安全性及舒适度具有重要意义。V2V 通信与 V2R 通信的相互协作可以实现车辆、人和道路间的信息交换, 以方便快捷地获取实时道路交通信息, 提高旅途的便利性和舒适度。首先分析了 V2R 通信的特点, 对网络的体系结构进行了介绍, 然后重点对 V2R 通信的连通性进行了研究, 最后探究 V2R 通信技术面临的挑战。

关键词: V2R 通信; 网络架构; 连通性

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016229

V2R communication in internet of vehicles

MA Xiaoting¹, ZHAO Junhui^{1,2}, WANG Chuanyun², XU Yiguo³

1. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

2. School of Information Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 310033, China

3. XinZhiHuiTong Technology Company, Beijing 100176, China

Abstract: With the tremendous advantages of wireless technologies, it has been put forward higher requirements for intelligent transportation systems(ITS). Pure Ad Hoc network or V2V communication is not reliable and sufficient for many applications. V2R communication is reliable, safe and comfortable. It can easily and quickly obtain real-time traffic information, because of the cooperation between V2V communication and V2R communication which can achieve the exchange of information between vehicles, drivers, and roads, and improve the convenience and comfort of the trip. Firstly, the characteristics of V2R communication were studied, then the network architecture was introduced. In addition, the connection for V2R communication was analyzed. Finally, the challenges of V2R communication were explored.

Key words: V2R communication, network architecture, connectivity

收稿日期: 2016-07-12; 修回日期: 2016-08-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No.61471031); 江西省交通厅科研基金资助项目(No.2016D0037)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China(No.61471031), Science and Technology Project of Jiangxi Provincial Transport Bureau (No.2016D0037)



1 引言

车联网能够通过提供安全和非安全的相关应用及服务来提高车辆用户的安全和舒适度。根据 2015 年公安部交通管理局公布的机动车和驾驶人数数据,车辆保有量的增长速度远高于交通基础设施的建设速度^[1],因此缓解交通压力,保障交通安全,减少环境污染以及实现全方面的车辆服务,实现绿色、高效、安全的交通环境成为了人们关注的焦点。近几年来,随着无线通信技术的发展,人们对车联网的要求日益提高,对车联网的研究提出了新挑战,各高校和企业纷纷投入相关项目的研究中,致力于从“互联网+”到“车联网+”的研究,构建一个互联网+汽车+交通信息+汽车销售+服务平台+金融+汽车维修保养+汽车用品+车险+救援+N 的全面的车联网生态体系,打造新的产业格局^[2]。

单纯的 Ad Hoc 网络或者 V2V(vehicle to vehicle,车对车)通信不具有可靠性,很多应用不能得以实现。为了保证交通安全、运输效率以及娱乐等相关应用的可靠运行,车联网提供两种专用的通信方式:V2V、V2R(vehicle to roadside unit,车对路侧单元)通信方式,并通过卫星、无线通信网络、3G/4G 等技术对道路中的车辆和路况信息进行感知,通过对整个交通系统的全面监控,服务于人车位置信息,同时提供安全紧急信息服务和娱乐信息服务等,以确保用户在出行时达到安全、娱乐体验一体化。其中,V2R 通信有助于获取实时道路交通信息,降低网络时延,提高网络的传输能力,即 V2R 通信对于提高网络的可靠性、安全性及用户的舒适度具有重要意义。

R 代表路侧单元(roadside unit,RSU),具有数据存储和运算能力及网关功能,是能够采用 DSRC 技术直接与车辆中的车载单元(on board unit, OBU)进行信息交互的无线收发装置,可以独立地部署于道路两旁,用于大面积传感与通信。RSU 不仅可以通过无线网络与车辆进行通信,还可以接入互联网,扩展车联网的应用服务,在车载网中占有很重要的地位。

V2R 通信属于移动车辆与固定 RSU 间的通信,车辆与 RSU 间可以通过单跳或多跳的方式进行通信:当车辆位于 RSU 覆盖范围内时,可以直接与固定的 RSU 通信,从而通过 RSU 接入网络;当车辆离开 RSU 覆盖范围时,该源车辆可以将其覆盖范围内的车辆当作中继车辆,通过多跳通信保持与 RSU 的连接。V2R 通信的主要特点^[3]为:路侧单元只

在其覆盖范围内进行广播;车辆与路侧单元间只需进行一跳便可完成数据传输,减少消息转发次数,并简化消息确认机制,起到了增加网络吞吐量的作用;路侧单元可以快速、准确地探测道路、车辆与交通灯,并对这些信息进行过滤、处理、排序、预测,再发送给其他车辆。从上述 3 方面可看出,路侧单元的部署可以提高通信时消息传输的可靠性和实时性,因此,对 V2R 通信进行研究具有重要意义。

欧洲于 2005 年启动了 CVIS 与 Coopers 项目,其中, CVIS 侧重于基础设施与车辆通信的实际研究与测试, Coopers 关注于使用 CALM (communication access for land mobile,陆地移动访问通信)标准进行车路通信。美国为实现人车路一体化,启动了 IntelliDrive/VII、CICAS、SafeTrip21 等项目。2010 年中国开展了“智能车路协同关键技术研究”国家“863”计划项目,2011 年科技部启动了“车路协同系统设计信息交互和集成验证研究”项目。路侧单元设施目前主要应用于高速公路和车场管理中,如在电子不停车收费(electronic toll collection,ETC)系统中,可以实现车辆身份识别和电子扣分等用途。日本到 2008 年为止,74.1% 的高速公路和城市 81.1% 的车辆安装了 ETC 设备。我国自 2013 年起,所有军车均完成了车载单元(OBU)的安装。虽然我国车联网研究起步较晚,但发展势头势不可挡。

2 网络的体系结构

2.1 IEEE 802.11p 协议

因为车联网提出的应用具有不同的性质,往往需要非标准通信协议,目前支持车联网中无线接入的主要协议标准是 IEEE 802.11p 标准和 IEEE 1609 协议簇^[4-6]。IEEE 802.11p 的工作频率为 5.85~5.925 GHz 的通信波段下,也是智能交通系统频段,IEEE 802.11p 采用了 IEEE 802.11a 的正交频分复用技术,可以克服相对速度太快以及快速的多径效应,可以使通信范围高达 1 000 m,在媒体访问控制(media access control, MAC)层,采用 IEEE 802.11e 的增强分布式信道接入协议来支持服务质量(quality of service, QoS)协议。而 IEEE 1609 标准协议簇除了 IEEE 1609.0、IEEE 1609.1(资源管理)、IEEE 1609.2(安全服务)、IEEE 1609.3(网络服务)和 IEEE 1609.4(多信道操作)外,又增添了新的标准,如 IEEE 1609.5(通信管理)、IEEE 1609.6(设备)以及 IEEE 1609.11(电子支付服务)。

IEEE 802.11p 在短距离(300 m 左右)无线电传输中可提供的数据速率为 6~27 Mbit/s,在车联网中支持无

线车载网络的关键技术是专用短程通信(dedicated short range communication, DSRC)技术,其工作频率为 5.8 GHz (5.795~5.815 GHz),上行链路为 500 kbit/s,下行链路为 250 kbit/s。DSRC 结构体系包括 3 部分:车载单元、路侧单元以及专用短程通信协议,大容量、高速率和低时延为 DSRC 的显著特点。在智能交通系统中,DSRC 技术不仅可以进行实时信息的传输,而且还可以对保密信息进行加密处理。

车联网要求车辆间数据链路具有高速度、低时延,由于车辆的高移动性、服务质量的时变性和人们对信息多样化的要求,IEEE 802.11p 仍面临着一些挑战。欧洲启动 SAFESPOT 项目,研究采用 IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11p 通信协议设计基于 V2R 和 V2V 通信的安全协作系统。

2.2 LTE 协议

信息技术的高速发展推动着 4G 技术的不断完善,4G 通信技术拥有更快的传输速度和更广的传输范围。在 LTE 协议中,下行峰值速度为 300 Mbit/s,上行峰值速度为 75 Mbit/s,传输时延小于 5 ms,传输范围长达 1 000 km。4G 网络系统架构如图 1 所示。

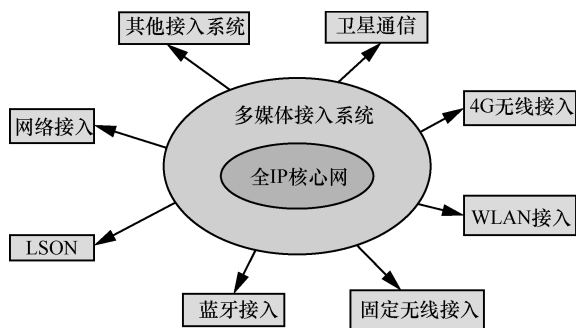


图 1 4G 网络系统

4G 通信技术已经逐渐融入人们的日常生活中,实践证明,4G 技术可以为用户提供便捷、安全、高效、具有独特性的服务,而将 4G 技术融入智能交通系统,可以为用户提供更加优质、高效、安全的服务^[7-9]。4G 技术的高速性可以为交通提供更加流畅的视频服务,其移动定位系统有利于精确地进行某时间段道路状态信息的收集,可视电话服务可以提高网络系统的服务质量与服务水平等。将 4G 与智能交通系统相结合,不仅可以为用户提供高效、实时的路况信息,进行危险预警,避免交通拥堵,提高行驶效率和旅途趣味性,还可以及时地将违规停车、交通事故等方面的信息上传到相关部门,对道路车辆进行有效管理。4G 使交通系统更加智能化。

参考文献[10]中将 LTE-V 与 DSRC 进行了对比,指出 LTE-V 可以利用现有的基站,频谱成本比 DSRC 低,而且支持更高的车速,反应时间、传输速率、传输距离以及信道性能等关键指标均优于 DSRC 技术。LTE 在车联网中具有良好的使用价值和广泛的应用前景。

2.3 混合结构体系

将蜂窝技术应用到车联网中,可以精确地定位并将精准地理位置处的信息有效地传输给更多的用户。优点是速度高、时延低、传输范围广、可靠性强;缺点是由于车辆的高移动性,车辆与基站间的通信成本较高,基站的越区切换发生频率较高等。参考文献[7-9]都在探讨蜂窝技术与交通系统的结合。

参考文献[11]中提出了一种基于 IEEE 802.11p 和 LTE 的混合体系结构 VMaSC-LTE,该体系中使用了 IEEE 802.11p 中的多跳分组,在构建的簇中,簇头会启动 LTE 接口实现车联网与 LTE 的连接。该结构的优点是可以在保持簇头数量最小且最大限度保持簇稳定性的基础上,维持蜂窝技术的最小使用限度,从而实现最低的时延和最高的数据分组投递率。在混合结构中,簇头间通信使用蜂窝技术,而簇头与簇成员间的通信使用 IEEE 802.11p,如图 2 所示。在该体系结构中使用了高效聚类的方法,该方法在保证开销最少的簇拓扑结构稳定性的基础上,减少簇头的数量、蜂窝技术的使用成本、与基站的通信量和越区切换频率。因为 LTE 具有很高的安全性,该体系结构采用了自适应法,即当应用程序的可靠性要求提高时,簇成员的数量减少,提高了 LTE 的使用率。

随着移动通信基础设施的不断完善,车联网利用现有设施不仅可以降低数据传输时延、提高系统容量,还可以降低生产成本。现在 5G 通信技术成为热门研究课题,如何使用 5G 技术来扩展车联网的应用,仍是待解决的问题。我国自 2015 年 9 月开始,工业和信息化部先后与浙江省政府、京津冀三地政府、重庆市政府签署合作协议,华为、千万、北汽、长安等几十家大型企业参与其中,共同推动“宽带移动互联网技术”在智慧汽车和智慧交通领域的应用^[10]。

3 V2R 通信的连通性分析

当不知道网络使用何种协议时,很难衡量一个网络的性能。然而,可以通过分析车联网的连接性来解决这一问题,因为不管使用何种协议,网络性能与网络连通性都是

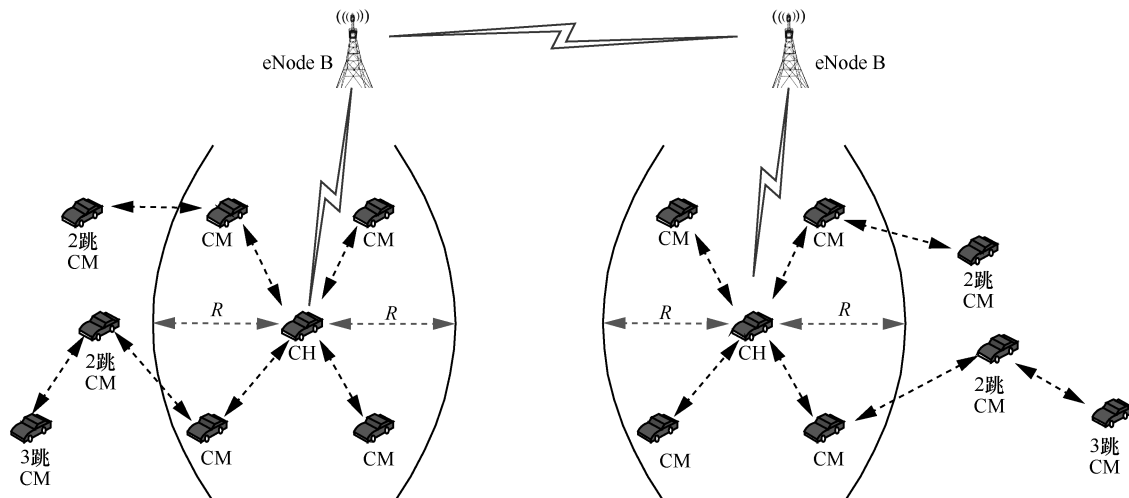


图2 IEEE 802.11p-LTE 体系结构

紧密相关的。在本节中通过研究高速公路情景下的接入模型来分析网络中 V2R 通信的连接概率。通常接入模型包括两种:协议模型和物理模型。协议模型为理想模型,典型代表为单位圆模型;物理模型的典型代表为衰落模型。本文以对数正态阴影衰落模型为例。

3.1 单位圆模型

单位圆模型是在理想无线信道模型下建立的分析模型,属于协议模型,在该模型中传输信号的能量损失仅与空间距离有关,因此信号的传输范围是以节点为中心的圆。

参考文献 [12] 中使用单位圆模型来分析稀疏环境下 V2R 通信网络中车辆通过一跳或两跳方式接入路侧单元的接入概率。在该模型下,路侧单元沿道路两旁部署,假设车辆在路段中服从泊松分布,相邻路侧单元间的距离为 L (单位为 m),在该路段中车辆密度为 ρ (单位为辆/m),路侧单元的无线传输半径为 R (单位为 m),车辆的无线覆盖半径为 r (单位为 m)。使用 MATLAB 进行建模仿真,根据仿真结果可知,网络连接概率与车辆无线覆盖半径、RSU 无线覆盖半径及车辆密度成正比,与相邻路侧单元间的距离成反比。

根据道路的车辆密度和设施的无线覆盖能力合理部署路侧单元,不仅可以保证网络的连接概率,还可以节约生产成本。当道路上的车辆密度发生改变时,在保证网络连接概率的情况下,可以适当增加或减小 RSU 的发射功率,以起到节能的作用。但当道路上的车辆密度增大到一定程度时,网络连接概率不会再变化,此时车辆密度的增加不仅不会提高网络的连接概率,反而还会出现信息拥堵等问题。参考文献[13]说明在密集交通情况下,网络吞吐量

会降低,因此当车辆密度增大到一定程度时,网络连接概率不适合作为评估标准,需要寻找合理的评估参数,如传输时延、数据分组成功投递率等。

当车辆位于多个路侧单元覆盖范围的重叠区时,参考文献[14]提出了基于博弈论的接入方式,合理利用信道资源,避免出现信息拥塞或信道空闲现象。

3.2 组模型

由于车联网中的车辆处于高速移动状态中,车辆与 RSU 间的通信链路维持时间很短,在理想状态下仅能维持 13~16 s,所以提高车辆与 RSU 间的连接概率很重要。因为车辆具有聚集性,在道路上车辆容易紧随前面的车辆,速度和方向会受到一定的限制,所以可以将一定距离内的连续车辆看成一个小队,从此点出发,使用基于组的模型分析。参考文献[15]验证了组模型可以提高道路的通信能力和能源效率,参考文献[16-18]将组概念引入单位圆模型中,对单位圆模型进行优化。

在公路上一组连续的车辆可以形成一个小队,组中包括一辆排头的车辆和多辆紧随其后的车辆,在组中的车辆都拥有相同的行驶方向和恒定的速度,而且要求排头车辆拥有较高的无线覆盖范围,足以覆盖一组中的所有车辆成员。组的形成不仅可以提高行驶安全性,还可以减少能源损耗。一旦车辆形成组,紧随排头车辆的司机可以得到一定的放松,而且组中车辆间的相互合作可以提高数据的利用度,降低数据访问时延。组模型对于车联网研究具有重要意义。

在组模型下道路段中包括两种车辆:组车辆和普通车辆^[19],每一组车辆可以看成一辆大型车辆,组内的排头车

辆装备的无线装备具有较高的无线覆盖范围,可以覆盖组内的所有车辆,而且组内车辆间可以彼此连接通信,且可以直接与排头车辆连接。假设路段中共有 N 辆车,其中包括 K 辆普通车辆和 M 辆组车辆,车辆按照泊松分布在道路段中运动,用 r 表示网络中组车辆的比率,即 $r=M/N=M/(K+M)$,所以普通车辆的比率为 $1-r$ 。分别用 R_1 和 R_2 表示普通车辆和排头车辆的无线传输范围($R_1 < R_2$),而且 R_2 可以覆盖组中的所有车辆。

假设普通车辆的无线覆盖范围 R_1 为 300 m,组车辆的无线覆盖范围 R_2 为 500 m,RSU 的无线覆盖范围 R 为 1 000 m,组比率 r 为 0.4。仿真结果如图 3 所示。通过图 3 可知,连接概率随着相邻 RSU 间距离的增加而减少,并且通过使用组的单位圆模型,可以提高网络的连接概率。如当 RSU 间的距离为 3 000 m,车辆密度 $\rho=1/50$, $\rho=1/5$,组比率为 0 时,连接概率分别为 0.833 4、0.865 9,而组比率为 0.4 时的连接概率分别为 0.886 7、0.916 7,与组比率为 0 时相比,连接概率分别提高 6.4% 与 5.9%。观察图 3 可发现,当车辆密度为 $\rho=1/50$ 辆/m 时,基于组模型的连接概率大于车辆密度为 $\rho=1/5$ 辆/m 时的无组模型的连接概率。综上所述,通过仿真可以得出结论,基于组的单位圆改进模型可以提高网络的连接概率。

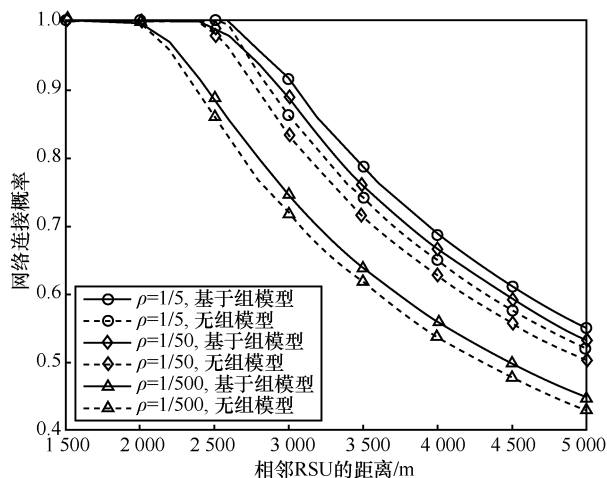


图3 组模型仿真结果

通过对组比率进行仿真分析发现,组比率越大,网络的连接概率越大,组比率的增加可以提高网络的连通性。当组比率为 0 时,模型等效于单位圆模型,即网络中的车辆均为普通车辆;当组比率为 1 时,网络中的车辆均为组车辆。组模型具有现实意义,因为车辆的性能不尽相同,有的车辆无线覆盖性能相对较好,而有些车辆无线覆盖性能较差,因此

可以充分利用各种车辆的无线性能优化网络的连接概率,而如何选择性能优越的组车辆仍是研究的重点工作。

3.3 对数正态阴影衰落模型

单位圆模型忽略了信道损耗,属于理想的协议模型,即其传输信号的能量损耗仅与空间距离有关。然而,在现实生活中衰落是不可避免的,以阴影衰落为例,阴影效应是一种大尺度效应,主要指电磁波在传输路径上受到建筑物等的阻挡而产生的损耗,阴影衰落服从对数正态分布,其变化率比传输信息率慢,也称为慢衰落。因为阴影衰落的存在,导致不同位置即使与发送端距离相同,其接收到的信号强度也可能不同。为了研究阴影效应对 V2R 通信的影响,使用对数正态阴影衰落模型。

在参考文献[20]中,衰落因子越大,短距离链路的连接概率下降幅度越大,远距离链路的连接概率增加,即阴影效应越显著;反之,阴影效应影响越小。衰落因子的增加可以增大传感器的覆盖范围,降低传感器的覆盖精度,因此可以扬长避短充分利用阴影衰落的优势,当对 V2R 通信网络的连接概率要求不是很严格时,即道路段不是事故频发段时,为了提高网络的覆盖度,减少网络中孤立节点的概率,可以引入阴影衰落,起到节约成本的作用^[21]。参考文献[22]中给出了在全覆盖的要求下无线传感器在阴影衰落环境中所需的最小节点数计算式。将阴影衰落引入 V2R 的分析模型中,建立对数正态阴影衰落模型。通过仿真分析,远距离车辆与路侧单元的连接概率明显增加。

参考文献 [13]中指出网络可以通过中继方式提高连接概率,因为基站可以通过中继方式扩大覆盖范围,如当源车辆处于 RSU 覆盖间隙处时,可以通过中继方式与 RSU 连接,源车辆可以提前感知路况,不必行驶进 RSU 覆盖区域,同理 RSU 可以提前感知远距离路况。但是并不意味着跳数越多越好,跳数的增加对设备的要求更加严格,会造成生产成本的增加,并且任意一环出问题都会造成通信链路的中断,降低通信网络的顽健性。因此在对数正态阴影衰落模型中,当源车辆与目的 RSU 间的连接概率较低时,源车辆可以通过双跳方式与 RSU 通信,从而提高通信质量。

4 结束语

RSU 不仅可以缓解信息拥塞问题,还可以增强系统的顽健性,因此 V2R 通信在交通效率、安全以及信息娱乐方面有重要作用,可以促进智能交通的建设。将 LTE 应用到



车联网通信中,充分运用 4G 通信的优势和基础设施,不仅可以扩大系统容量,使信息得到快速传输,还可以节约生产成本。目前我国已经开始了宽带移动互联网技术的研究,开始了 LTE-V 在车联网中的研究。当协议标准未知时,建立分析模型是分析网络连接概率的重要方法,使用分析模型不仅可以合理部署 RSU,尽量避免网络中孤立节点的存在,保证网络连通性,还可以根据分析结果合理调整无线装置的发射功率,起到绿色环保的作用。

V2V 通信与 V2R 通信的相互协作,对车联网的安全与非安全应用具有重要意义,不仅可以降低网络传输时延、优化信道,而且可以提高路途的趣味性。但 V2R 通信仍面临很多挑战,如路侧单元的选择和切换、数据分发、安全信息实时传输、网络安全与隐私以及网络性能的评估等问题^[9]。

2016 年 6 月我国首个无人驾驶汽车试点示范区开园,我国从 20 世纪 80 年代开始无人驾驶汽车的研究,无人驾驶有望极大地缓解交通压力,然而汽车如何快速获取路况信息,从而指定准确的行驶路线对 V2R 通信提出了更高的要求。随着云平台和大数据的出现,车联网面临新的挑战,车辆的剧增使得网络优化成为了必须要解决的问题,路侧单元可以将获得的数据(如车辆行驶参数、路况信息及交通灯情况等)通过互联网传输到云平台进行大数据处理,然后将处理结果反馈到路侧单元。云服务和大数据处理属于智慧交通的重要部分。

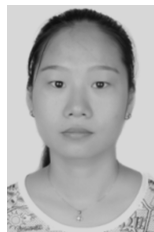
参考文献:

- [1] 公安部交管局公布 2015 年机动车和驾驶人数据[EB/OL]. (2016-01-27) [2016-03-18]. <http://auto.sohu.com/20160318/n441025560.shtml>.
The Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security announced the data of motor vehicles and drivers in 2015[EB/OL]. (2016-01-27) [2016-03-18]. <http://auto.sohu.com/20160318/n441025560.shtml>.
- [2] 2016 中国(广州)车联网大会即将开幕[EB/OL]. (2016-03-23) [2016-07-12]. <http://www.pcauto.com.cn/drivers/789/7898907.html>.
2016 China (Guangzhou) internet of vehicles conference is about to begin[EB/OL]. (2016-03-23) [2016-07-12]. <http://www.pcauto.com.cn/drivers/789/7898907.html>.
- [3] 王艺,邓佳佳,林毅,等.适用于车联网应用的移动通信网络[J].电信科学,2012,28(6): 1-6.
WANG Y, DENG J J, LIN Y, et al. Mobile communication network applied to vehicle communication[J]. Telecommunications Science, 2012, 28(6): 1-6.
- [4] LI Y. Quality, reliability, security and robustness in heterogeneous

- networks[M]. Berlin: Springer, 2010: 544-558.
- [5] BLOESSL B, SEGATA M, SOMMER C, et al. An IEEE 802.11 a/g/p OFDM receiver for GNU radio [C]//The Second Workshop on Software Radio Implementation Forum, August 12-16, 2013, Hong Kong, China. New York: ACM Press, 2013: 9-16.
- [6] 金纯,柳兴,万宝红,等. IEEE 802.11p: 车载环境下的无线局域网[J]. 通信技术, 2009, 42(1): 323-325.
JIN C, LIU X, WAN B H, et al. IEEE 802.11p: wireless access in vehicular environments[J]. Communications Technology, 2009, 42(1): 323-325.
- [7] 杨伟. 论 4G 技术与智能交通系统的融合 [J]. 通讯世界, 2015(12): 39-40.
YANG W. The integration of 4G technology and intelligent transportation system[J]. Telecom World, 2015(12): 39-40.
- [8] 杜呈旭,杨戈. 论 4G 技术与智能交通系统的融合[J]. 数字技术与应用, 2016(3): 32-33.
DU C X, YANG G. The integration of 4G technology and intelligent transportation system [J]. Digital Technology and Application, 2016(3): 32-33.
- [9] 何劲财. 基于 4G 网络的智能小蜂窝系统关键技术研究[J]. 电子世界, 2014, 12(14): 201.
HE J C. Smart small cellular system key technologies based on 4G network research[J]. Electronics World, 2014, 12(14): 201.
- [10] 标准确立+政府支持: V2X 车联网已进入商业化阶段[EB/OL]. [2016-07-12] http://www.askci.com/news/dxf/20160726/16374446828_2.shtml.
Standard established + government support: V2X internet of vehicles has entered the commercial stage[EB/OL]. [2016-07-12]. http://www.askci.com/news/dxf/20160726/16374446828_2.shtml.
- [11] UCAR S, ERGEN S C, OZKASAP O. Multihop-cluster-based IEEE 802.11 p and LTE hybrid architecture for VANET safety message dissemination [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(4): 2621-2636.
- [12] NG S C, ZHANG W, ZHANG Y, et al. Analysis of access and connectivity probabilities in vehicular relay networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2011, 29(1): 140-150.
- [13] ATALLAH R, KHABBAZ M, ASSI C. Modelling of multi-hop inter-vehicular path formation for connecting far vehicles to RSUs[C]//2015 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), March 9-12, 2015, New Orleans, LA, USA. New Jersey: IEEE Press, 2015: 1954-1959.
- [14] 凌艳. VANET 中基于博弈论的 RSU 接入问题[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
LING Y. RSU access problem based on game theory in VANET[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013.
- [15] JIA D, LU K, WANG J. A disturbance-adaptive design for vanet-enabled vehicle platoon[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2014, 63(2): 527-539.

- [16] ZHANG W, CHEN Y, YANG Y, et al. Multi-hop connectivity probability in infrastructure-based vehicular networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2012, 30 (4): 740-747.
- [17] SHAO C, LENG S, ZHANG Y, et al. Analysis of connectivity probability in platoon-based vehicular Ad Hoc networks[C]//2014 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Aug 4-8, 2014, Nicosia, Cyprus. New Jersey: IEEE Press, 2014: 706-711.
- [18] YANG Y, MI Z, YANG J Y, et al. A model based connectivity improvement strategy for vehicular ad hoc networks [C]//IEEE Vehicular Technology Conference Fall, Sept 6-9, 2010, Ottawa, ON, Canada. New Jersey: IEEE Press, 2010: 1-5.
- [19] 刘业, 吴国新. 基于 802.11p/WAVE 的车联网连通性模型及其应用研究[J]. 通信学报, 2013(6): 85-91.
LIU Y, WU G X. Connectivity model of internet of vehicles and its application based on 802.11p/WAVE [J]. Journal on Communications, 2013(6): 85-91.
- [20] 栗玉雄, 王东. 阴影衰落环境下传感器网络的点覆盖研究[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(32): 112-114.
LI Y X, WANG D. Point coverage problem of sensor networks in shadow fading environment [J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(32): 112-114.
- [21] 黄晓敏. 阴影衰落环境下无线多跳网络链路传输特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
HUANG X M. Propagation characteristics of the network link under the shadow fading multi-hop wireless environment [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.
- [22] 刘益. 阴影衰落环境下无线传感器网络的覆盖问题研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2010.
LIN Y. Covering issues under the shadow fading environment for wireless sensor networks[D]. Changsha: Hunan University, 2010.

[作者简介]



马小婷(1993-),女,北京交通大学电子信息工程学院硕士生,主要研究方向为车联网中的无线通信。



赵军辉(1973-),男,博士,华东交通大学、北京交通大学教授、博士生导师,主要研究方向为车联网中的无线通信技术、无线和移动通信(MIMO、OFDM、CDMA、合作通信、中继和认知无线电)、射频识别(定位技术、防碰撞技术和安全协议)和应用开发(停车场管理系统、嵌入式车载防盗系统和GPS导航系统开发)等。



王传云(1977-),男,华东交通大学信息工程学院副教授,主要从事无线通信、无线传感网络等方面的研究工作。



徐义国(1975-),男,信智慧通科技(北京)有限公司总经理,主要研究方向为无线通信、无线传感网络、GPS位置服务与系统平台技术、物联网应用解决方案、大数据挖掘分析与智能决策、互联网+服务运营等。