

车联网技术发展现状及展望

杨林瑶^{1,2,4}, 李玉珂^{1,2,4}, 韩双双^{1,2,3}, 王晓^{1,2,3}, 王飞跃^{1,2,5}

- (1. 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京, 100190)
- (2. 青岛智能产业技术研究院, 青岛, 266000)
- (3. 青岛慧拓机器智能有限公司, 青岛, 266000)
- (4. 中国科学院大学, 北京, 100080)
- (5. 国防科技大学军事计算实验与平行系统技术研究中心, 长沙, 410073)

摘要 车联网在提高交通运输的安全性和效率上具有广阔的发展空间, 随着通信技术的发展, 车联网技术已经得到了广泛的研究。车联网研究的重点在于相关的通信技术的研究, 本文详细介绍了车联网中的通信技术的特点及应用, 并对当前车联网面临的主要问题进行了分析, 在此基础上, 介绍了基于平行系统理论的平行车联网系统架构。

关键词 车联网; DSRC; 平行系统; ACP

Internet of Vehicles: the State of the Art, Challenges, and Prospects

Linyao Yang^{1,2,4}, Yuke Li^{1,2,4}, Shuangshuang Han^{1,2,3}, Xiao Wang^{1,2,3}, Fei-Yue Wang^{1,2,5}

- (1. The State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)
- (2. Qingdao Academy of Intelligent Industries, Qingdao 266109)
- (3. Vehicle Intelligence Pioneers Inc., Qingdao 266000)
- (4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)
- (5. Research Center of Military Computational Experiments and Parallel Systems Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract *With the rapid development of communication technologies, Internet of Vehicles (IoV) has become an active field of research because of its tremendous potential to improve traffic safety and efficiency. Recent research efforts have placed a strong emphasis on suitable vehicular communication techniques designs. In this paper, we introduce some recent research results and present a review of vehicular communication standards as well as their characteristics and applications. In addition, we also introduce some of the IoV research challenges and describe a new IoV paradigm based on Parallel Intelligence.*

keywords Internet of Vehicles; DSRC; Parallel Systems; ACP

引言

车联网通过传感、通信、控制等技术的有机融合, 实现车、路、人的实时动态交互, 从而提高车辆行驶的安全性和交通运输的效率。车联网按照信息交互的对象可以分为

车辆之间直接进行通信的 V2V (Vehicle-to-Vehicle) 和车与基础设施等通信的 V2I (Vehicle-to-Infrastructure) [1] 两种类型, 通信过程通过通信单元实现。其中, 车

收稿日期: 2018 年 8 月 30 日

基金项目: 本文由国家自然科学基金项目 (No. 61501461, 61702519, 61533019 and 91720000)、北京市科委项目人机意图智能融合的平行驾驶技术研究及应用验证 (No. Z181100008918007) 及英特尔智能网联汽车大学合作研究中心 (ICRI-IACV) 资助。

作者简介: 杨林瑶, 男, 1995, 中国科学院自动化研究所硕士研究生, 山东青岛, 车联网、社会网络分析, yanglinyao2017@ia.ac.cn
李玉珂, 女, 1992, 中国科学院自动化研究所博士研究生, 河南, 车联网、物联网、智能交通, liyuke2014@ia.ac.cn
韩双双, 女, 1984, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室助理研究员, 无线通信关键技术、智能交通、平行网络, shuangshuang.han@ia.ac.cn
王晓, 女, 1988, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室助理研究员, 社会交通、动态网络组织、人工智能和社交网络分析, x.wang@ia.ac.cn
王飞跃, 男, 1961, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室研究员和主任, 智能系统和复杂系统的建模, 分析与控制, feiyue.wang@ia.ac.cn

内的通信单元称为车载单元，安装在路侧的通信单元称为路侧单元。车联网的系统模型如图 1 所示，网联车辆与其他交通参与者之间交互实时感知、分享交通信息，提高车辆对周围交通信息的掌握^[2]，并加强交通参与者之间的协调调度，从而提高交通的安全性和效率。车联网可以采用多种不同的通信技术实现不同的应用场景，分析不同技术的特点将有助于推动车联网应用的研究部署。

为了促进车联网关键技术及相关应用的研究，本文通过调研相关文献详细阐述当前车联网可用的通信技术的特点^[3-8]及可行的应用，并对现存的问题和挑战^[9-15]进行了分析。为有效解决这些问题，充分利用车联网大数据和多种智能化算法，我们介绍了基于 ACP 智能方法的平行车联网^[16-19]架构。该系统通过构建与实际系统相对的人工车联网系统，在人工系统上进行大量的计算实验，进而寻找实际系统的优化解并与实际系统实时交互，引导实际系统自适应优化，从而有效提升车联网系统的智能化水平。

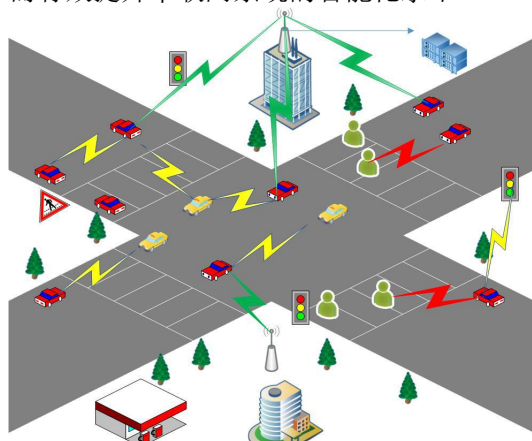


图 1 车联网模型图

本文其他内容的安排如下：第 1 节介绍车联网关键通信技术及其主要应用；第 2 节介绍车联网通信技术研究成果及其主要问题和挑战；第 3 节介绍平行车联网架构及其发展趋势；第 4 节对本文进行总结。

1 车联网关键技术

通信技术是车联网的关键核心技术，是信息交互的媒介。车联网通信技术可以分为非定制无线通信技术即传统无线自组网中常用的通信技术和车联网定制的通信技术即针对车联网场景设计的通信技术。本节将详细介绍它们的特点，并根据它们的性能分析它们在车联网中的应用。

1.1 非定制无线通信技术

蜂窝移动通信网络是一种远距离无线

通信网络，能够将信息以中继的方式传递到任何有基站覆盖的地方。在当前共存的几种蜂窝网络中，4G 拥有最高的传输速率和最低的时延，因此更适于应用到车联网中。蜂窝移动网络具有较为平稳的数据交付和较快的数据传输速率，但是，它需要小区基站的支持，高速移动的汽车容易发生频繁的基站的切换，难以保证其在车辆自组网中的稳定性和数据传输成功率，同时，蜂窝移动网络缺少广播机制且需要支付高昂的使用费。但是，基于其广泛的信号覆盖和较高的数据传输速率，蜂窝移动网络适合于传输非安全类的信息，可以为汽车提供类似便携式移动设备的服务。

蓝牙是爱立信创制的室内短距离无线通信技术标准，覆盖范围通常在十米之内，主要用于移动设备的互联和数据传输等。蓝牙使用 2.4—2.485GHz 的免费工业、科学和医疗（ISM）频段，采用自适应跳频机制对抗信号干扰和衰减^[3]。蓝牙采用高斯频移键控（GFSK）调制，数据传输速率通常不超过 3Mbps，最新发布的蓝牙 LE 最高可以达到 24Mbps，时延相对蜂窝网络也比较低，只有 3ms 左右。蓝牙的突出优点是低功耗，并且可以有效解决多设备数据传输的同步问题，在物联网领域得到了广泛的应用。鉴于其有限的覆盖范围和较低的复杂性，蓝牙很适于车内传感器与控制器之间的数据的传输，同时在汽车信号采集如车流量监测上也有一些应用。

射频识别技术（RFID）采用无线电磁信号非接触地识别目标并读写数据，是物联网的基础技术，近些年来受到了广泛的关注。RFID 具有很好的移动性支持，能够在速度超过 200km/h 的环境下保持稳定工作。目前 RFID 在车联网中的应用主要是汽车身份识别如高速自动收费，停车场收费和识别系统，远程自动开锁等。另外 RFID 在安全领域也可以得到应用，例如，可以为行人设计一个主动式的 RFID 标签以提醒车辆，从而避免车辆在十字路口等地点碰撞到行人。

ZigBee 技术是一种基于 IEEE 802.15.4 标准的低功耗无线自组网协议，它工作在免费的 ISM 频段，对移动性有很好的支持，可以通过接力的方式传递信息，通信效率非常高^[4]。ZigBee 技术的数据率比较低，只有不到 250Kbps，但是由于它的握手时间比较短，吞吐量比较高，所以它在时延上拥有良好的性能表现。ZigBee 被广泛应用于无线传感网，此外，由于它的低

功耗、可靠的性能和较低的成本，使它在工业和消费电子中也有广泛的应用。因此，ZigBee 可以被用于汽车之间的传感器信号的传输，形成灵活的汽车自组网，也可以用于车辆节点与路侧单元之间通信，典型的应用为汽车自动识别。

红外线通信是利用红外线传递信号的高度定向的信号传递方式，因此更适合于某些固定方向的信号传输应用。红外线通讯有两种常见的标准，SIR (Slow Infrared) 和 FIR (Fast Infrared)，SIR 最大传输速率为 115Kbps，而 FIR 的最大传输速率为 4Mbps，因此，红外线通讯可以提供较高速率的信息传输，且其介质难以被截获和破解，具有较高的安全性和可靠性。红外线通信的传输距离只有不到 100m，但是具有非常小的时延且没有带宽的限制，目前主要被用于汽车之间的测距和汽车与路侧单元的视线通信。然而，红外线通信易受天气等因素的影响，通信可靠性较差，因此难以用到安全性应用中。

全球微波互联接入 (WiMAX) 是基于 IEEE 802.16 协议^[5]的无线通信技术，其中，IEEE 802.16d 适用于固定节点通信，IEEE 802.16e 定义了移动节点通信过程，该协议适用于移动车辆场景下通信。WiMAX 能够覆盖 10km 范围的通信距离，并且在车辆移动速度超过 100km/h 时也能提供高达 10Mbps 的数据传输速率。基于较快的传输速率和相对较低的部署成本和使用成本，WiMAX 适合于传输数据量较大的影音、文本等数据，为娱乐性应用提供高速支持。

毫米波通信技术是一种超高频的电磁波通信技术，其频谱范围是 30-300GHZ，

主要目的是开发无线电高频波段，解决低频段日益饱和的问题。毫米波传输方式为直射波传输，具有视距传输特性，对移动性的支持较差，在降雨时具有较强的衰减但是对沙尘和烟雾具有较强的穿透能力，相比于红外线和激光具有更好的全天候通信能力。毫米波具有极大的通信潜力，能够提供吉比特/秒的数据传输速率，为用户提供高速上网服务。毫米波通信的时延比较小，同时对它的干扰和截获比较困难，因此毫米波通信比较安全可靠，但是其传输距离比较短，远距离通信需要中继。毫米波通信可以应用到低速大规模数据传输的影音娱乐等舒适性应用。

1.2 车联网定制通信技术

专用短程通信技术 (DSRC) 是一种专门针对高速移动的目标识别和双向通信的短距离通信技术，可以用于车-车、车-路之间的双向通信，传输图像、语音、数据等信息。DSRC 基于两套协议开发，其中 IEEE 802.11(WiFi) 协议的改进版 IEEE 802.11p 协议定义物理层传输标准，而 IEEE 1609 协议用于定义安全性、网络服务和多信道操作^[4]。DSRC 工作在 5.850-5.925GHZ 频段，其频段分为 7 个 10MHZ 的信道，其中 172 号信道是专门负责安全性数据传输的控制信道 (Control Channel, CCH)，其他信道主要负责传输服务性数据，为服务信道 (Service Channel, SCH)。DSRC 为车联网专门定义了一种基本安全信息数据格式，为安全性应用提供了良好的支持^[6]。DSRC 拥有高达 27 Mbps 的数据传输速率，且时延比较低，传输距离通常为数十米，拥有完善的通信

表 1 车联网通信技术对比

通信技术	频率	时延	数据率	覆盖范围	移动性支持
4G	0.8-3.6 GHZ	50 ms	20 Mbps	10 km	良好
蓝牙	2.4 GHZ	3 ms	24 Mbps	10 m	有限支持
射频识别	125 KHZ-2.45 GHZ	-	424 Kbps	10 m	良好
ZigBee	2.4 GHZ	100 ms	250 Kbps	20 m	良好
红外线通信	2.6 GHZ	-	1 Mbps	100 m	不支持
WiMAX	5.8 GHZ	50 ms	75 Mbps	50 km	良好
毫米波通信	30-300 GHZ	150 μ s	1 Gbps	10 m	有限支持
DSRC	5.8-5.9 GHZ	200 μ s	3-27 Mbps	1 km	良好
CALM	5-6 GHZ	200 μ s	6 Mbps	1 km	良好

加密机制,可以提供安全的数据传输。DSRC 是专门的车联网通信标准,相对比较统一,产品之间的互换性和兼容性强^[7]。DSRC 为车联网设计了多种应用场景,包括前车碰撞避免、盲点警告、路口转弯辅助等,具有广泛的应用前景。中长程空中接口技术(CALM)是国际标准化组织(ISO)通过的包交换通信框架,它试图通过结合一些通信技术为中长程的汽车通信提供接口协议,以解决不同地区车联网通信技术不统一及不同应用对通信的需求不一致的问题。CALM 引入的技术主要有蜂窝移动网络、红外线通信、毫米波通信、蓝牙和 WiMAX 等传统无线通信技术及基于 IEEE 802.11p 协议的中程通信接口规范^[8],CALM 能够为包括车联网、多跳通信及点对点通信等大量的通信场景提供服务,同时还具有兼容下一代互联网协议 IPv6 的设计。CALM M5 基于 DSRC 技术设计,主要面向车与车之间的通信,能够用于多数车联网应用场景中。

上述各通信技术的主要特性如表 1 所示。由上述可知,蜂窝移动网络具有较高的速率和通讯范围,但是时延较大,可靠性较低;蓝牙具有较低的复杂性,能够降低网联汽车的信息传递复杂度;射频识别是物联网的基础技术,在无线识别上具有较大的优势;红外线通信具有较快的传输速率和极低的时延,但是只能用于视线传输;ZigBee 是一种优良的自组网通信技术,能够以较低时延在组网车辆间传递小规模数据;全球微波互联接入和毫米波技术是两种高速的高频通信技术,可用于传输大量的娱乐数据;专用短程通信和 CALM 是专为高速移动的网联汽车场景设计的通信技术,能够在高速移动的交通场景中提供较高速率和低时延的通信服务。

2 问题与挑战

车联网与一般的移动自组网的区别在于:车联网的节点具有较高的移动速度,拓扑结构改变比较快且频繁,节点移动在某种程度上可预测,网络节点密度变化比较大,信道条件复杂多变等。因此,车联网通信系统面临着更严峻的挑战,主要包括:1)连接性问题,由于汽车高速行驶和拓扑结构的快速改变,要保证信息可达是一项严峻的挑战。(2)带宽限制问题,通信系统中带宽资源总是有限的,车联网中缺乏控制资源分配的中心控制节点,容易引起节点之间发生

信道争用问题。(3)安全和隐私问题,要确保信息收发双方安全可靠需要有效的认证,但是这在一定程度上会损失隐私性。

2.1 路由协议

车联网的传输环境与普通网络有很大的不同,端到端的拓扑路径很容易改变,因此,当前的路由协议很难直接运用到车联网中。目前,已经有很多研究评估传统的路由协议在车联网中的表现,并尝试改进它们以适用于车联网。车联网中的路由协议按机制可以分为基于拓扑的路由协议、基于位置的路由协议、分簇路由、多播路由、广播路由等^[9],其中,基于拓扑的路由协议可以进一步分为主动式和被动式的路由协议。

主动式的路由协议在网络中动态查找所有的节点,并且令所有的节点都维持到其他所有节点的相同的路由表,路由更新按照固定的时间间隔执行。它需要维持一个庞大的路由表,加重了网络的负载,容易造成网络过载,因而难以有效运用到车联网中。

被动式的路由协议只在需要的时候进行路由发现,每个节点只维持当前在通信的路由表。因而此类协议在任何时间都只有小规模的路由在使用,能够有效降低网络负载,避免信道拥塞,相比于主动式路由协议更适合于只需要少量路由的车联网场景^[11]。

基于位置的路由协议根据位置信息判断节点的分布,位置信息可以通过向周围节点发送位置查询信标获取,并将信息传递给距离目的节点更近的节点^[11],从而将信息逐步以较短的时间传递到目的节点。因此,基于位置的路由协议不需要节点维持到其他节点的路由表,比较灵活方便。

在分簇路由协议中,节点被组织成簇,每一个簇由一个簇头和簇内成员组成,小的簇进而组合成较大的簇,簇内的成员之间可以直接进行通信,簇间的节点则需要通过簇头的传递进行通信。由于车辆移动速度较快,簇的结构变化非常快,因此此类协议在车联网环境下是不稳定的^[11]。

多播路由也是一种基于位置的路由协议,它由一个节点将信息传递给区域中的所有节点,通常采用洪泛法实现,能够有效减少分组开销从而减少数据碰撞。此类协议非常适合于某些车对车的广播应用^[13],例如可以用于车辆向周围车辆散布路况警告信息。

广播路由可以用于向车辆广播信息,例如路侧单元向周边车辆广播天气、路况信息。广播路由协议主要采用洪泛法散播信息,每一个节点在接收到信息之后都将其传递给所有路由表中的单元,因而容易造成信

道拥堵和信息碰撞，易造成效率比较低下。



图2 路由协议分类图

车联网通信中主要的路由协议及其分类如图2所示。除了上述的协议，还有很多针对车联网提出的协议改进或新设计的协议，例如，^[14]提出了一种基于AODV协议的改进，它将车辆的位置信息作为参数选择吓一跳的节点传输数据，并进行了仿真实验验证，证明该方法可以有效提高AODV协议在车联网种的性能表现。然而，目前的路由协议在多数车联网场景中的表现并不理想，信道拥塞、时延升高、吞吐率下降、数据碰撞等问题还没有得到有效解决。

2.2 频谱分配

当前，车联网的频谱主要是为DSRC分配的75MHz的带宽，当车辆密度比较大时，DSRC的7个信道可能发生信道拥塞^[12]。为了缓和频谱资源不足带来的问题，IEEE 802.11p明确了多信道的发展方向，同时，基于认知车联网的动态频谱分配方法得到了广泛的研究。认知车联网具有一定的学习能力，能够感知和利用周围空间中其他网络的可用频谱，减少冲突的发生^[13]。认知车联网动态频谱分配就是使车辆节点能够利用其他网络的空闲信道，从而提升信道规模，提高整体的频谱资源利用率。其中，电视空白频段是美国联邦通信委员会规定的优先可用的动态频谱分配频段。

目前，认知车联网的频谱感知存在的困难主要是高移动性使得车辆节点必须尽快完成感知和接入。但是，过短的频谱感知时间容易导致误检测和漏检测。车联网的节点密度在某些场景会非常大，也会造成频谱感知效果不佳或难以操作。

2.3 安全和隐私保护

车联网通信系统面临的安全威胁多种多样，包括DOS攻击、广播篡改攻击、窃听攻击、女巫攻击等^[3]，且可能会对交通安全造成严重的后果。为了提高网络系统的安全性，通常要求对通信双方的身份进行认证，然而，这不可避免地会威胁到用户的隐私性，可能导致通信双方的身份信息发生泄露，因此，在设计车联网系统是必须考虑在隐私性和安全性之间获得一个比较好的平

衡。通常，匿名认证机制是车联网中保护隐私的一个有效手段^[14]，该方法通过由可信的认证中心向节点颁发不包含个人隐私信息的数字认证信息作为通信凭证，从而有效保护用户的私人身份信息。目前，一般化的保护协议和认证机制还没有良好的结果。

3 平行车联网

当前，车联网技术尚不成熟，车联网的通信环境面临着更严峻的挑战和更高的要求，对通信技术的要求更高。传统的通信技术难以直接应用到车联网场景中，频谱资源不足、通信衰退、信道拥塞及安全性问题等是阻碍车联网有效实现的重要难题，因此，需要进一步研究针对车联网的通信技术。但是，车联网系统实验设计复杂，成本较高且难以重复进行^[15]。仿真实验缺乏可靠性，难以在实际系统中得到验证且相应算法设计缺乏数据训练和测试^[16]。为此，可以构建基于ACP（人工系统，计算实验，平行执行）的平行车联网系统，通过大数据描述车联网的状态，通过实验对车联网运行进行预测，并基于虚实互动引导车联网自适应优化。

平行车联网主要由软件定义的人工车联网系统和实际的物理车联网系统两部分及计算实验和平行执行两个过程组成，可以弥补实际车联网系统数据不足，进行大量的现场实验困难的缺陷，能够引导实际车联网系统进行优化，从而实现由基于牛顿定律的可预测车联网系统到基于默顿定律的可引导车联网的转变^[17]。

平行车联网的主要过程为^[18]：（1）基于计算机软件和多智能体方法建模人工车联网系统，将车联网中的车、路、人等抽象为智能体并组合成不同的车联网场景子系统。人工系统由实际系统的数据驱动，运行产生大规模的数据，与实际系统的数据一起构成计算实验的完备数据。（2）根据人工系统和实际系统产生的数据，进行大量可重复的计算实验，寻找系统的优化运行方案^[20]，训练测试相关的算法并且在人工系统上验证算法的效果。（3）将优化方案运行到实际系统中，指导实际系统运行，并且获得其反馈进而调整人工系统的模型和参数，使优化训练在线化、持久化。

平行车联网将车联网系统从小数据扩展到大数据，全面综合了人、车、路、通信等交通因素^[19]，结合数据挖掘、机器学习、仿真等分析技术，能够对车联网进行有效的分析和优化，为解决现在车联网系统面临的问题提供了新思路，能够进一步提高未来交

通的智能化水平。

4 总结

车联网是一种复杂的综合性技术,包含传感器、信息处理、通信、控制等多种技术,其中,通信技术能够为车联网的协同运转提供最基础的支持。本文详细阐述了车联网系统常用的通信技术,并对当前车联网通信的主要研究成果和仍然存在的问题进行了介

绍,为有效解决这些问题,充分利用车联网大数据提供的知识,我们介绍了一种新的车联网框架,即平行车联网系统,平行车联网基于人工车联网和实际车联网大数据,通过运用机器学习等方法进行计算实验寻找系统优化解,并通过人工车联网和实际车联网的平行互动,引导车联网系统优化运行,因此可以进一步提高车联网的智能化水平,为解决车联网系统遇到的问题提供新的思路。

参考文献

- [1] Yang F, et al. An overview of Internet of Vehicles[J]. China Communications, 2014, 11(10):1-15.
- [2] Karagiannis G, et al. Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2011, 13(4): 584-616.
- [3] Lin J R, Talty T, Tonguz O. On the potential of bluetooth low energy technology for vehicular applications[J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(1):267-275.
- [4] Gungor V C, Hancke G P. Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, 56(10):4258-4265.
- [5] Ghosh A, Wolter D R, Andrews J G, et al. Broadband wireless access with WiMax/802.16: current performance benchmarks and future potential[J]. IEEE Communication Magazine, 2005, 43(2): 129-136.
- [6] Kenney J B. Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(7):1162-1182.
- [7] Jiang D, Delgrossi L. IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments[C] Vehicular Technology Conference, 2008. Vtc Spring. IEEE, 2008:2036-2040.
- [8] Dar K, Bakhouya M, Gaber J, et al. Wireless communication technologies for ITS applications[J]. IEEE Communication Magazine, 2010, 48(5):156-162.
- [9] Dhamal P, et al. Study of Various Routing Protocols in VANET[J]. 2011.
- [10] Zeadally S, et al. Vehicular ad hoc networks (VANETS): status, results, and challenges[J]. Telecommunication Systems, 2012, 50(4):217-241.
- [11] Jain M, Saxena R. Overview of VANET: Requirements and its routing protocols[C] International Conference on Communication and Signal Processing. 2017:1957-1961.
- [12] Li F, Wang Y. Routing in vehicular ad hoc networks: A survey[J]. Vehicular Technology Magazine, 2007, 2(2):12-22.
- [13] Abedi O, Fathy M, Taghiloo J. Enhancing AODV routing protocol using mobility parameters in VANET[C] IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications. IEEE, 2008:229-235.
- [14] Mejri M N, Ben-Othman J, Hamdi M. Survey on VANET security challenges and possible cryptographic solutions[J]. Vehicular Communications, 2014, 1(2):53-66.
- [15] Chembe C, Noor R M, Ahmady I, et al. Spectrum Sensing in Cognitive Vehicular Network: State-of-Art, Challenges and Open Issues[J]. Computer Communications, 2016.
- [16] 王晓, 要婷婷, 韩双双, 等. 平行车联网: 基于 ACP 的智能车辆网联管理与控制. 自动化学报, 2018, 44(8): 1391-1404.
- [17] Wang F Y. Computational Social Systems in a New Period: A Fast Transition Into the Third Axial Age[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2017, 4(3):52-53.
- [18] Wang F Y. Computational Dissemination: Toward Precision and Smart Impacts for Computational Social Systems[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2017, 4(4):193-195.
- [19] S. Han, X. Wang, J. J. Zhang, D. Cao et al. Parallel Vehicular Networks: A CPSS-based Approach via Multi-modal Big Data in IoV[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2018, 1-1.