

车载自组织网络通信协议

李彤, 牛敏杰, 吕军

装甲兵工程学院信息工程系, 北京 100072

摘要 车载自组织网络(VANET)被认为是未来智能交通系统(ITS)的重要组成部分,可有效提高行车效率、安全性和舒适性。VANET属于移动自组织网络(MANET),不依赖固定设施,其节点高速移动、网络拓扑变化频繁,具有与MANET不同的构架、特征、应用和挑战。本文综述了VANET网络构架、通信协议、建模与仿真、信息管理和云计算等方面的研究进展,展望了未来的发展方向。

关键词 车载自组织网络;路由协议;仿真工具;车辆云计算

汽车数量的爆炸性增长在方便出行的同时也产生了行车安全、交通拥堵等问题,车载自组织网络(vehicular ad-hoc network, VANET)有望解决现有交通面临的诸多难题,推动智能交通早日实现^[1]。如图1所示, VANET能实时准确地将重要信息通过车-车(vehicle-to-vehicle, V2V)和车-路(vehicle-to-infrastructure, V2I)通信安全传输,有效避免事故发生,提升出行效率和驾驶体验,也可利用4G、IEEE802.11等无线接入技术与外部网络连接,进一步丰富VANET的信息内涵和应用范围^[2]。

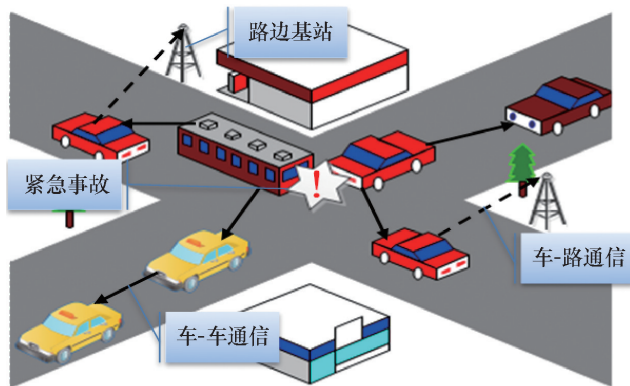


图1 车载自组织网络

Fig. 1 Vehicular ad-hoc network

得益于通信技术的快速发展,车辆通过车载总线实现全球定位系统GPS、无线收发器、防撞雷达、摄像头等传感器信息的互联互通,车载存储能力、计算能力和通信性能大幅提升,车载系统变得愈发复杂^[3]。VANET综合了新型无线网络

技术并应用于车辆通信,致力于实现车辆移动时车-车和车-路之间持续且有效地连接,其本质是移动自组织网络(mobile ad-hoc network, MANET)的一种特殊形式,具有自组织、自我管理、低带宽、无线共享的特征^[4]。传统的MANET设计无法满足节点高速移动和拓扑快速变化的VANET,大量研究致力于解决车辆高速移动时网络可靠链接问题^[5]。随着接入VANET车辆、传感器的不断增多,对车载单元和路边基站信息管理和处理能力都提出更高要求,研究人员近期提出利用先进的信息管理和车辆云计算高效处理海量的交通信息,提高效率的同时避免了对车载单元和基站的频繁升级^[6]。

由于VANET接入对象广泛、技术复杂、社会接受度等方面的因素,尽管已经取得很多成果,但目前依旧处于实验阶段,面临诸多挑战,例如复杂道路链路可靠性、信息安全、高额的通信建设费用^[7]。主要从车载自组织网络结构、通信协议、建模与仿真、信息管理和云计算等方面综述了最新的研究成果,最后展望了VANET发展前景和面临的挑战。

1 车载自组织网络结构

由于网络和通信技术的不断革新,处于研究阶段的VANET内涵和结构没有明确定义, VANET的主要目的在于行车更加安全、高效和舒适,作为MANET在车辆上的特殊应用,提供了灵活的车与车、车与道路基站间的通信,车辆可以看作是移动节点,节点没有优先级划分。

VANET结构可以分为3种类型:蜂窝局域网、自组网、混合结构(图2)。蜂窝局域网中, VANET利用路边固定的无线网络接入基站(road side unit, RSU),收集交通信息并与车载电子单元(on board unit, OBU)交互,这种结构即车-路通信,一般采用3G、4G、IEEE802.11和IEEE802.16等无线通信标

收稿日期:2015-11-23;修回日期:2016-10-11

作者简介:李彤,教授,研究方向为计算机网络与通信工程,电子信箱:13601187076@163.com;牛敏杰(共同第一作者),博士研究生,研究方向为车载自组织网络,电子信箱:minjieniu@139.com

引用格式:李彤,牛敏杰,吕军.车载自组织网络通信协议[J].科技导报,2017,35(5):73-81;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.05.009

准^[8]。自组网结构中不需要固定基站,当车辆遇到危险时可直接或多跳路由的方式向周围车辆传播重要的告警消息,即车-车通信,节省了建设和维护基站的费用。混合结构综合

了车-车、车-路通信的特点,信息可以在车辆与基站、车辆与车辆间传输,增大了信息传输范围和信处理力,因此混合结构最有可能成为VANET的主要结构形式。

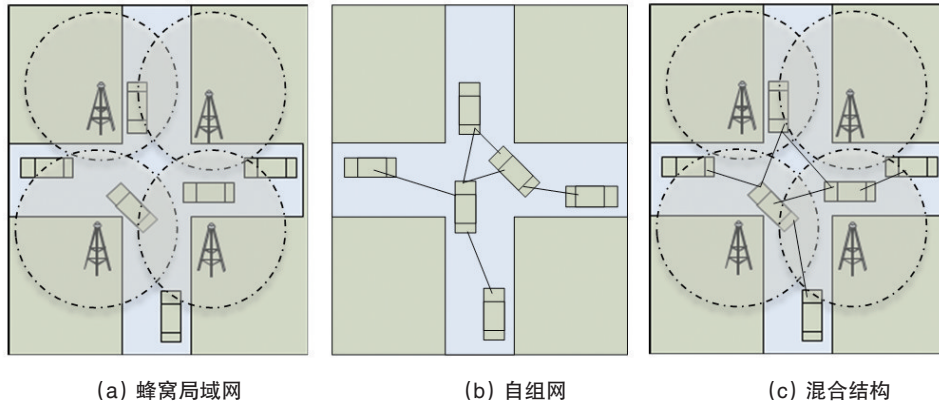


图2 车载自组织网络结构

Fig. 2 VANET network architectures

混合结构的主要优势有:1) RSU可以通过服务器和网关与外网,如交通信息网、因特网连接,提供诸如互联网、交通新闻、娱乐信息等丰富的资源;2) 随着车辆密度增大和传感器增多,RSU也可将繁重的计算任务通过交由远程数据中心处理,减少基站建设成本,更有利于大数据和云计算在VANET上的应用;3) RSU之间可以保证通信的持续性,扩大消息的传输范围和可靠性(图3)。

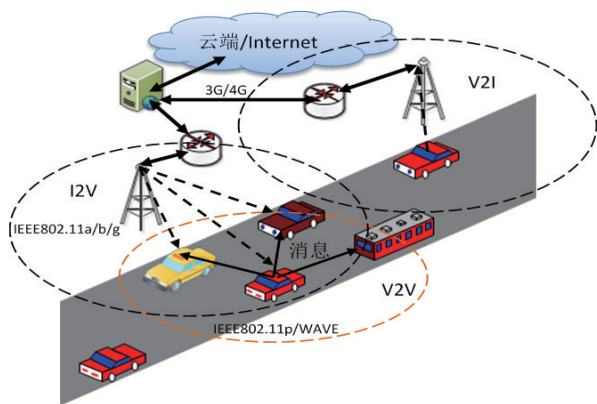


图3 VANET 混合结构信息传输

Fig. 3 Information transmission of VANET hybrid architecture

2 车载自组织网络通信协议

应用场景的差异决定了需选择不同的无线通信协议,VANET研究热点主要有物理层协议、MAC层协议、路由协议。与MANET相比,VANET的特点有:1) 适用于节点高速移动,拓扑快速变化时能提供可靠接入;2) 分布式网络结构,支持多跳路由链接;3) 物理层与VANET的MAC层协议相匹配;4) 最好使用免费频段进行通信。

2.1 物理层协议

目前VANET物理层主要是对IEEE802.11协议的改进,1999年,美国联邦通信委员会(US FCC)为车辆间通信分配了5.850~5.925 GHz频段的专用短距离通信协议DSRC(dedicated short range communication),日本和欧盟相继在5.8 GHz划出了车间通信的专用频段^[9]。DSRC通信技术基于IEEE802.11p,75 MHz的频段分为7个信道用于通信控制和安全传输,能适应车辆高速移动和对延迟的苛刻要求。车载环境无线接入(wireless access in vehicular environment, WAVE)是最新的DSRC技术,支持200 km/h高速移动车辆的V2V和V2I数据通信,采用OFDM传输技术能以27 Mbit/s速率覆盖300~1000 m的传输距离,包含了IEEE802.11p、IEEE1609.1和IEEE1609.2等标准协议,且兼容IPv6。其他协议如3G、4G、WLAN/Wi-Fi和WiMAX等在车载自组织网络上的应用研究也在进一步探索,例如WLAN技术可以提供V2V和V2I的短距离高速数据传输^[10]。

2.2 MAC层协议

VANET中MAC层主要向网络节点提供物理寻址和信道接入控制,为网络层提供快速、可靠的报文传输支持,除了考虑接入的公平性、隐藏终端、暴露终端等自组织网络的普遍问题外,还需要满足VANET拓扑变化快、报警消息低延迟等特点,MANET网络的很多MAC协议难以直接应用,需要针对VANET特征设计相应协议。MAC层协议按照资源分配模式分为:1) 预先决定分配资源的专用信道模式;2) 根据使用者请求进行分发资源的需求模式;3) 传输数据包时信道竞争资源的随机接入模式。3种模式都有各自优缺点,不能适用所有VANET场景需求,如专用信道模式能提供持续的交通信息,但无法满足对突发事件的交通信息快速广播。

针对VANET的多信道MAC协议,克服了单一信道带宽低的限制,增加了带宽并减小时延,但该协议簇的管理策略

复杂,实现成本高^[11];方向天线MAC协议,降低了传输干扰和能量消耗,提高了信道利用率,但技术复杂、实现难度大、拓扑变化快时方向天线覆盖范围有限^[12];基于分簇和风险预警的C-RACCA协同避免碰撞协议,将车辆的媒体接入延迟与事故等级建立函数,有效降低了碰撞事故概率^[13];基于频分多址理论的改进FAMA-NCS协议,控制包和数据包采用不同频段传输,有效降低了不同车辆CTS包碰撞^[14];基于情境感知MAC协议,利用加权竞争网络决定节点的信道接入,在车流密度大时,依旧保持低碰撞率和高可靠性^[15];采用时分复用的异步接入机制实现节点分时段接入控制信道,从而减少并发接入控制信道节点数目,降低碰撞概率的ATMP协议^[16]。

2.3 路由协议

由于VANET拓扑变化频繁和节点的快速移动,高效路由协议设计面临巨大挑战,路由协议的主要需求是传输速率高、丢包率小和低时延,主要分为车-车和车-路通信路由协议。车-车通信主要体现为车辆之间的自组织网络通信,不关注与路边基站之间的交互,主要有以下协议类型。

1) 基于拓扑的路由协议。最初VANET研究沿用传统的自组网路由协议,主要基于网络拓扑结构,节点通过周期性的交互路由表,得到其他节点路由信息,按照路由发现策略的不同分为按需路由协议、主动路由协议和混合路由协议3种类型。主动路由协议没有初始路由的发现延迟,但消耗带宽用于经常性更新拓扑结构路由信息,不适合大规模节点高速移动网络。主要的主动路由协议有节点序列距离矢量协议(DSDV)、鱼眼状态路由协议(FSR)、全局状态路由协议(GSRP)和最优链路状态协议(OLSR)。

按需路由协议定期更新路由表,由于持续更新自身与邻节点路由信息,适合节点高速移动的VANET,但由于该类协议使用泛洪方式发现路由,不利于VANET安全应用。常见的按需路由协议有临时按序路由算法(TORA)、按需距离矢量路由协议(AODV)等。

混合路由结合了主动路由和按需路由的特点,通信范围大、效率高,大多是基于区域分割方法将节点数目分成不同区域,路由发现和传输更为高效,但该路由不适合节点高速移动的VANET,如区域路由协议(ZRP)。

2) 基于地理位置的路由协议。该类协议没有路由发现环节,所有节点只需通过定位系统确认自身与邻车位置,进而确定下一跳节点,节点间不进行路由表信息交互。此类协议适合障碍物较少的高速公路环境,不需要源节点到目的节点的全部路由信息,但对GPS依赖过大,限制了在建筑物内、隧道等环境下的使用。基于地理位置的路由协议分为:(1) 无延迟容忍路由协议,例如适用于城市环境下的地理位置源路由(GSR)^[17]、基于电子地图的贪婪周边协作路由(GPCR)^[18];(2) 延迟容忍网络路由协议,例如基于知识的可扩展车辆路由(SKVR)^[19];(3) 混合路由协议,例如GeoDTN+Nav协议^[20]。

3) 基于广播的路由协议。基于广播的路由协议主要用于VANET广播共享信息,如车流、紧急情况、广告等。利用

泛洪的方式向通信范围内每一辆车广播消息,适用于节点较少的情况,节点密度太大会导致广播消息碰撞,且易收到重复性消息。例如高速公路场景的分层结构BROADCOMM协议^[21]、城市环境的城市多跳广播路由协议(UMB)^[22]。

4) 基于簇的路由协议。车辆车速相当且方向一致时,可在网络层对节点分簇。每个簇有一个簇头用于簇内管理和簇间通信,簇内节点通过路由直接连接,簇间通过簇头通信。基于簇的路由协议适合大范围网络,但在拓扑变化快时容易出现延迟,例如基于簇方向路由协议(CBDRP)^[23]、基于地理位置的稳定分簇路由协议PSCR^[24]。

5) 基于区域多播的路由协议。区域多播路由协议是一种基于地理位置的多播路由,消息在规定区域内所有车辆间进行传播,将源节点的包广播给区域内所有节点。相比简单泛洪,减少了消息开销和网络拥堵,缺点是由于网络分割和节点异常,可能存在消息盲区和延迟。如基于时间和空间因素相结合的Mobicast协议^[25]、控制包广播而数据包单播的ROVER协议^[26]。

6) 基于多播的路由协议。VANET中多播指从单一源节点向多个目的节点的传输,与传统多播不同的是需要考虑高动态拓扑、节点高速运动的情况,MANET中适用的多播路由协议,有些同样适用于VANET。根据路由结构,多播路由协议分为:树状多播路由协议,如MAV-AODV协议^[27];网状多播路由协议,如目的驱动的D-ODMRP协议^[28]。

仅有车-车通信无法满足高速移动车辆在车流稀疏或过密时大范围消息传输,结合车-路通信的混合结构方式具有更稳定的传输效果。车-路通信即利用路边部署RSU增大通信范围和可靠性、降低时延,可分为基于静态基站的路由协议和基于移动基站的路由协议。

1) 基于静态基站的路由协议。RSU精确的位置信息可为VANET提供位置参考,RSU的数量和分配由路由协议确定,如一些协议要求在全路段设置固定基站,有些协议则仅需要在路口、弯道等特殊地域设立基站。该类协议的优点在于,基站上较高的天线和较大的发射功率能极大提高通信范围和可靠性,RSU连接到主网和服务器上便于云计算和大数据在VANET上的应用。例如适用于城市道路基于顶点的预测贪婪路由协议(VPGR)^[29]、稀疏车流时低延迟且能随交通密度变化的节点静态自适应路由协议(SADV)^[30]。

2) 基于移动基站的路由协议。固定的RSU能显著降低通信时延和扩大传输范围,但部署大量RSU费用昂贵,覆盖范围外的区域得不到相应的信息服务,出现信息不均。移动基站克服了RSU地理区域的限制,用移动车辆代替了RSU的功能,降低成本的同时更为灵活方便。如利用公共汽车作为移动基站的基于位置反应式路由协议(MIBR)^[31]、用移动网关代替RSU的基于GPS和电子地图移动网关路由协议(MGRP)^[32]。

综上所述,对VANET各层主要涉及的通信协议进行简单分类(图4)。

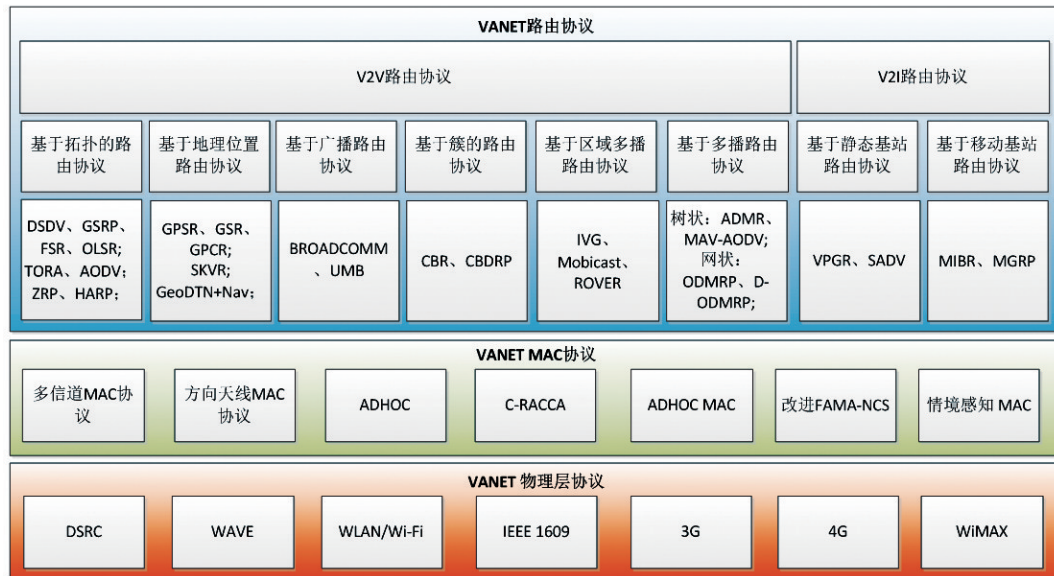


图4 VANET通信协议分类

Fig. 4 Taxonomy of VANET communication protocols

3 车载自组织网络建模与仿真

VANET实测费用过高,且难以进行大范围多节点特殊场景测试,计算机仿真则是唯一能有效评估不同协议和网络结构的方法。VANET目前没有统一的仿真标准,与MANET相比具有节点高速移动、严格的道路约束、交通规则等特点,为了得到准确的仿真结果,建立精确的仿真模型尤为重要。VANET仿真主要分为2个步骤,首要任务是建立车辆移动模型,生成移动轨迹,进而分析网络性能。

3.1 车载自组织网络移动建模

VANET移动模型可对各种通信协议进行较为准确和直观地评估,构建逼真的移动模型需要综合考虑各种约束条件,如街道地图、车流密度、城市环境以及障碍物等的影响。车辆移动模型依据研究对象分为3个层次:1)宏观模型。不关注单个车辆运动特征,利用流体力学理论宏观上对车流密度、车流平均速度进行分析。2)中观模型。详细描述单个实体的运动,不考虑和周围车辆之间的交互。3)微观模型。对单个实体和周围车辆的通信都进行详细描述,车辆的行为往往受到周边车辆、交通环境和驾驶员等因素的影响,目前研究VANET主要使用微观模型,图5为微观模型构建时各要素之间的关系。车辆移动轨迹的生成决定网络仿真结果的有效性和真实性,获取移动轨迹的模型主要有以下几种。

1) 调查模型。该模型基于对真实交通数据和人为行为数据分析,包含通勤时间、休息时间和出行距离等。例如对城市移动无线网络节点的仿真模型UDel,将移动节点和人的行为在城市地图上进行标识^[33]。

2) 事件驱动模型。通过分析人和车辆的运动得到运动轨迹,其轨迹来源分为2种,用仿真器仿真或实际测量得到,该模型的不足在于只考虑移动节点中接入节点的特征,而忽

视了节点之间的联系^[34]。

3) 软件仿真模型。交通仿真软件种类较多,满足多种场景需求,著名的交通仿真器如NISIM和CORSIM可以生成详细的市区交通轨迹。

4) 综合模型。该模型主要基于数学方程获取逼真的移动模型,综合模型分为5类^[35]:随机模型,纯粹基于随机运动模型;车流模型,利用流体力学理论分析车流;跟车模型,监测车-车通信状况;排队模型,将车辆看成队列且道路看成序列缓冲;行为模型,考察群体交互对移动的影响。随机移动模型无法模拟真实交通状况,建模时需要将跟车模型、行为模型等综合考虑^[36]。

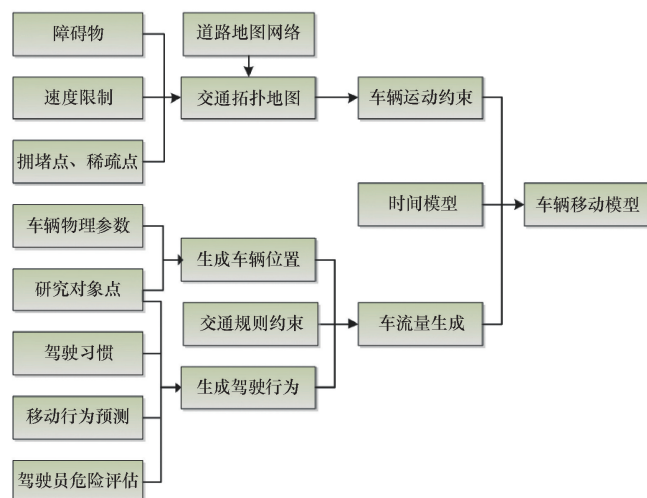


图5 VANET微观移动模型各要素关系
Fig. 5 Relationship between elements of VANET micro-mobile model

车辆运动的复杂性决定 VANET 移动建模面临诸多挑战:1) 微观模型中车辆和驾驶员本身的特征对建模复杂度的影响,如车长、加速极限、刹车性能和驾驶员反应时间等。2) 车辆产生模型的建立,最简单方法将车辆随机分布,但不符合实际;另一种方法是利用宏观车流模型给每一辆车赋予起点和终点,工作量大。3) 大场景仿真需要建立数以万计的节点,对模型建立、仿真时间、存储能力和计算性要求很高。

3.2 车载自组织网络仿真工具

利用车辆运动轨迹进行 VANET 性能评估对网络结构设计和协议开发尤为重要。首先,采用真实的车辆运动轨迹进行网络仿真,优势在于只需简单的移动模型并节省额外计算开销,但真实行车数据难以获取,即便获取也不能用于复杂交通场景研究^[37]。其次,采用交通仿真软件模拟,优势在于可以提供不同场景下的数据,通过与网络仿真模块的交互,实现对不同交通场景下 VANET 性能评估,这也是目前研究主流方法。

1) 网络仿真工具。NS-2/3 是最常用的网络仿真工具,包含很多重要的无线传输协议,但对车辆通信支持还不足;QualNET 是一款高速公路无线网络仿真软件,可以仿真数千节点,具有强大的图形用户界面;OMNet++ 是开源的离散事件网络仿真器,具有完善的图形用户界面,但主要研究对象是 MANET;JiST/SWANS 主要用于离散事件网络仿真。

2) 交通仿真工具。交通仿真软件主要用于生成车辆移动轨迹,一般不能与通信协议直接交互。CORSIM 是一款强

大的车辆移动仿真软件,具有高速公路和城市交通微观模型;VISSIM 作为主流的仿真软件,允许用户通过图形界面自定义地图和场景,该软件基于跟随模型可加入驾驶员特征;此外还有模拟驾驶员特征的 SUMO、专门针对车辆通信的 VanetMobiSim、宏观车辆移动仿真软件 VERGILIUS。

3) 连接工具。连接工具实现了交通仿真软件和网络仿真软件之间的交互,如 TraNS,该软件首次提出交通仿真和网络仿真闭环反馈机制,将 NS-2 和 SUMO 连接起来,尽管该软件表现并不完善,但提出了将两者仿真相结合的概念;iTetris,将 SUMO 和 NS-3 通过中心控制模块相连接,看作是 TraNS 的延续;Veins,通过 TCP 实现了 SUMO 和 OMNeT++ 连接,网络仿真器可以发送控制指令改变车辆移动速度和道路。

4) 专业仿真工具。针对 VANET 开发的仿真工具具有更强的交通场景适应性,GrooveNet 不仅可以模拟车辆间通信,还能与实车进行交互,提供了强大的图形界面,可对 MAC 层和网络层通信协议进行仿真;NCTUns,也可以实现实车交互,包含最新的 WAVE 标准纳入其中,强大之处在于可以直接使用 TCP/IP 协议包;还有可仿真地理分簇 MoVES、防撞警告系统仿真 IWIS 等。

图 6 所示为 VANET 仿真工具分类,不同工具性能表现和适用场景各不相同,针对不同研究对象和目的选择合适的仿真软件才能达到预期的效果,如研究目的是开发新路由协议,可选择 iTetris 结合 NS-3 或 TraNS 结合 NS-2,对很多路由协议可直接进行仿真^[38]。

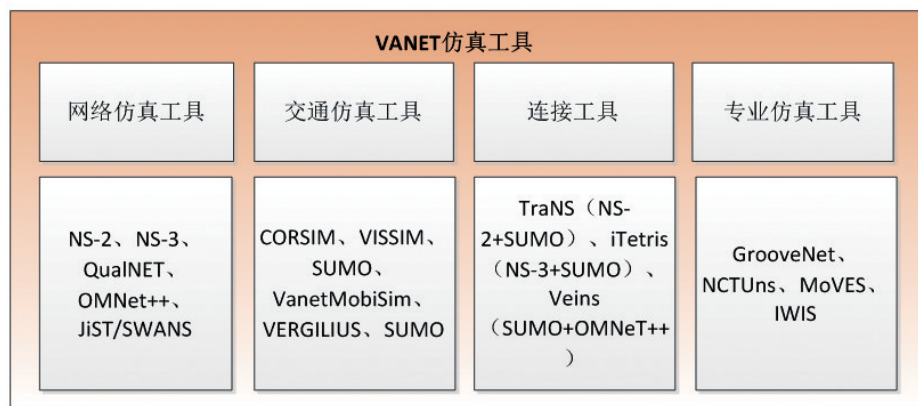


图6 VANET仿真工具分类

Fig. 6 Taxonomy of VANET simulation tools

4 车载自组织网络信息管理与云计算

随着车辆的增加和应用服务的多样化,VANET需要对海量信息进行有效管理和高效处理。信息管理涉及到信息的通信、存储、编码、验证和传播等多种技术领域,这对车载信息处理能力提出了较高的要求,近几年提出的云计算为处理海量信息提供了新方向,有望在提升处理能力的同时减少设备升级成本。

4.1 VANET 信息管理

目前大多车辆都装有信息感知和收集装置,如车辆位置、速度、车流、防撞雷达等传感器,车辆自身的传感信息和从其他车辆接收到的复杂多样信息需要通过信息聚合剔除冗余,聚合后的信息必须验证确保实时、可靠、可信,通过信息聚合和验证后的安全信息才会被 VANET 应用及分发给其他车辆。VANET 信息流可以概括为 4 个过程:信息收集、信息聚合、信息验证和信息传播(图 7)。

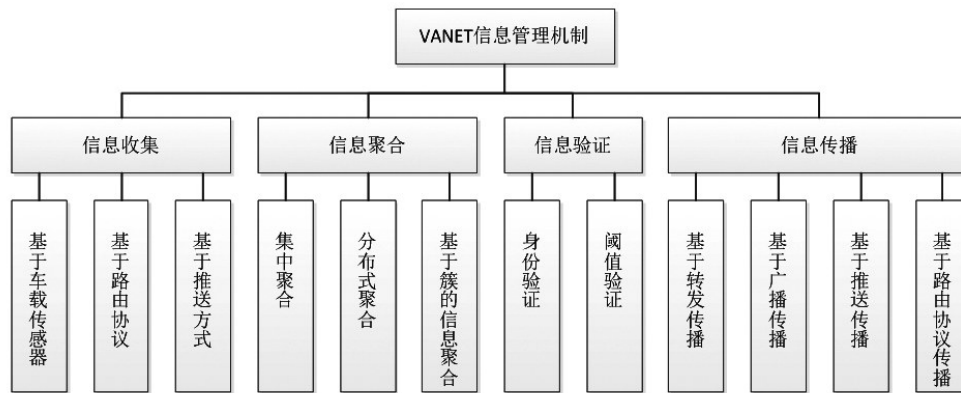


图7 VANET信息管理过程

Fig. 7 Management process of VANET

1) 信息收集。车辆利用各种传感器采集驾驶环境信息, 自动或辅助驾驶员调节行车状态, 提供舒适、安全、高效的驾驶体验。VANET中信息收集不能受到网络干扰, 且要收集最新的准确信息, 即使单一车辆故障不能影响整体信息收集过程。信息收集方式主要有: (1) 基于车载传感器, 如通过RFID协助定位, 利用DGPS降低GPS误差, 提高定位精度^[39]。(2) 基于路由协议, 通过提出和改进协议提高特殊环境信息传输效率, 具体协议在第3节详细介绍了; (3) 基于推送方式, 推送方式允许用户向其他车辆发送请求获取信息, 问题在于VANET拓扑快速变化时如何准确推送信息, 该方法对带宽消耗过大^[40]。

2) 信息聚合。车辆将消息分发给通信范围内的其他车辆, 其他车辆继续转发, 随着车辆增多, 消息数目急剧上升, 增大了相似信息的转发频次, 通过信息聚合整合同一事件的相似信息, 可有效减少重复开销。主要聚合方法有: (1) 集中聚合, 将收集到的信息传输至一个节点集中处理。例如通过有限延迟减少安全应用消息开销的SLMA算法, 利用多级并行信息融合方法在保证可靠性的前提下集中聚合信息, 减少包交换次数^[41]。(2) 分布式聚合, 各个节点完全分布式聚合信息, 对周期性广播的非安全应用消息具有很好的鲁棒性, 但通信开销也会随着节点数目迅速增长。(3) 基于簇的信息聚合。分簇可减少信息处理负荷, 基于簇的信息聚合机制中, 信息在各簇间聚合, 减少了数据通信开销^[42]。

3) 信息验证。信息验证过程保证了消息的准确性和完整性, 可靠的信息交换和用户隐私保护对VANET尤为重要, 验证方法有: (1) 身份验证。将数字签名或证书通过先进加密机制加入到安全应用中进行验证, 如PoR算法通过事件区域内车辆信息协同的方式验证, 虚假信息会因为达不到协同一致的验证被丢弃^[43]; 通过一定区域内获取身份签密资料, 与网络中广播的携带群签名的信息实现匿名认证, 避免了验证消息签发者是否是撤销用户^[44]。(2) 阈值验证。基于阈值的验证方法考虑车辆一组而不是单一消息进行验证, 许多安全应用在验证消息正确性和避免虚警信号上要求传输类似消

息的车辆数目达到一定的阈值^[45]。

4) 信息传播。信息传播指车辆将自身或接收到的消息向其他车辆传播, 信息交换可能发生在车-车或车-路之间, 信息传播机制需要综合考虑传播区域、车流环境等特征, 传播机制主要有: (1) 基于转发传播。数据转发是VANET扩大传播范围的重要途径, 主要挑战是如何在车流密集时通信负荷不超过设计带宽, 在稀疏网络时超距离转发^[46]。(2) 基于广播传播。广播可将信息传播给区域内所有车辆, 安全消息需要保证区域内车辆都能收到广播, 为此需要研究如何减少消息冗余的传播协议^[47]。(3) 基于推送传播。能通过车辆或路边单元高效向目的的车辆传输, 当车辆信号发射功率太弱, 不能达到其他车辆, 推送策略达到传播目的。(4) 基于路由协议传播。开发适应不同传输场景的路由协议, 如不同地理环境、建筑环境和车流环境等, 能有针对性地提高传输效率, 如基于传染病路由方式的数据传播和信息查询模式^[48]。

4.2 车辆云计算

近两年提出的移动云计算(mobile cloud computing, MCC)概念指数据存储和处理都在设备之外, 移动应用将计算能力和存储都交给云端^[49]。车辆云计算(vehicular cloud computing, VCC)属于MCC在VANET中的应用, 可有效解决车载计算、通信和存储限制, 还可以提供安全消息和互联网服务, 丰富信息内容^[50]。车辆将自身的传感信息上传到云端, 其他车辆可以从云端获取所需信息, 极大提高了VANET的传输范围和信息服务能力。

1) VCC结构。VCC结构主要包括车内网络层、通信层和云端处理层(图8)。第1层为车内网络层, 可以对驾驶员身体状况、环境、车况和导航等进行监测, 将传感信息传送到云端存储和使用。第2层是通信层, V2V通信可将驾驶员在某一路段的行车变化, 如转弯、限速、车流、紧急情况上传到云端, V2I通信可通过3G、4G等无线网络将车辆、基站和云端联系起来, 提供驾驶协作或安全应用^[51]。第3层为云端, 主要提供数据存储、计算、实时应用等服务, 云端由云应用、云平台和云端设备组成。云端设备主要由云存储和云计算组成; 云

平台提供云端开发工具;云应用分为实时应用和服务应用,实时应用如能源反馈、健康感知和环境感知等,服务应用是VCC主要的应用模式,包括存储、计算和娱乐等多个方面。

2) VCC主要服务应用。主要应用模式包含:(1)网络即服务(NaaS)。车辆有时需要接入互联网,VANET可以通过云端提供互联网服务,更充分的利用车载网络资源。(2)存储即服务(STaaS)。车辆具有多余的车载存储能力时可通过

VANET利用云端提供存储服务,既可以在云端备份数据也可以共享资源^[52]。(3)协作即服务(CaaS)。云端可以提供安全驾驶、交通信息、事故通知、天气和道路状况、停车位使用等协作驾驶信息,可在不增加网络设备的情况下大范围整合信息^[53]。(4)娱乐即服务(ENaaS)。随着人们对舒适旅行的需求,广告、电影、音乐和电子杂志等都可能通过VANET云端提供。



图8 VCC网络架构

Fig. 8 VCC network architecture

5 结论与展望

在政府、研究机构和企业的共同推动下,一些发达国家已对VANET进行了标准制定和模型试验,美国和日本相继划分了专用频段。美联邦高速公路管理局资助开发了车辆基站集成项目(vehicle infrastructure integration, VII)以期通过车-路通信提供车辆持续的道路信息提高道路安全性,日本交通厅从2010年起开始在东京拥堵地段设置路边基站向车辆发送信息^[54]。欧洲的先进驾驶辅助系统项目(ADASE)同样研究了车-路通信对道路安全性的影响^[55]。西门子等公司提出CarTALK2000项目设计了车-车通信驾驶辅助系统,博世、西门子等知名车企联合科研机构于2000年启动了FleetNet项目,开发了车辆间通信平台及协同驾驶系统^[56]。福特公司采用云计算技术研发的云平台系统SYNC,综合了车辆动力学、司机健康管理、可提供车辆性能数据分析,网络共享等服务^[57]。

VANET作为将来智能交通系统的重要组成部分,近年来

相关研究发展迅速,本文从网络结构、通信协议、仿真方法、信息管理与云计算几个方面对VANET最新的研究情况进行综述并给出研究建议。由于VANET高动态拓扑、链路不稳定、场景多样和信息量大等特征,可靠的路由协议、高效的仿真工具和安全的信处理能对VANET的应用至关重要,但依旧面临诸多挑战,这也是今后主要的研究方向。

1) 尽管已经提出很多路由协议,但多数无法同时满足VANET拓扑变化快和网络频繁通断的特征,基于地理位置和基于区域多播的路由协议相比其他路由协议更具优势,设计具有稳定网络连通性、高带宽、低延迟和满足VANET应用要求的高效路由仍是今后的研究方向。

2) 车辆微观移动模型需要对各节点特征进行描述,考虑车辆和驾驶员特征,如车长、最大速度、反应时间、刹车时间、视线范围等,节点数目大时仿真难度进一步增大,增加真实性的同时对仿真方法提出了更高要求。

3) VANET信息管理和云计算都面临信息安全的问题,

如隐私保护、访问控制、安全位置验证等,直接关系到行车安全和个人信息安全。

4) VANET对车载单元和交通设施的要求较高,需要升级或更新现有通信设施,成本必然很大,考虑到隐私和安全性,用户普遍认同还需要克服很多困难。

参考文献(References)

- [1] Saif Ai Sultan, Moath M, Al Doori, et al. A comprehensive survey on vehicular ad hoc network[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, 37(1): 380-392.
- [2] Zarifneshat M, Khadivi P. Using mobile node speed changes for movement direction change prediction in a realistic category of mobility models[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2013, 36(3): 1078-1090.
- [3] Fleming B. Smarter and safer vehicles[J]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2012, 7(2): 4-9.
- [4] Baraa T, Raed A, Mahamod I. Vehicular communication ad hoc routing protocols: A survey[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, 40(2): 363-396.
- [5] Jakubiak J, Koucheryavy Y. State of the art and research challenges for VANETs[C]//2008 IEEE 5th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). Las Vegas: IEEE CCP, 2008: 912-916.
- [6] Whaiduzzaman M, Mehdi S, Abdullah G, et al. A survey on vehicular cloud computing[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, 40(4): 325-344.
- [7] Akbari Torkestani J. Mobility prediction in mobile wireless networks[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2012, 35(5): 1633-1645.
- [8] Sharef Z T, Alaradi A E, Sharef B T. Performance evaluation for WiMAX 802.16e OFDMA physical layer[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks (CIC-SyN). Phuket: IEEE, 2012: 351-355.
- [9] Toor Y, Muhlethaler P, Laouiti A. Vehicle ad hoc networks: Applications and related technical issues[J]. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 2008, 10(3): 74-88.
- [10] Moustafa H, Zhang Y. Vehicular networks: Techniques, standards, and applications[M]. Boca Raton Florida: CRC Press, 2009.
- [11] Mo J, So H W, Walrand J. Comparison of multichannel MAC protocols [J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2008, 7(1): 50-65.
- [12] Lin Liang, Xiang Yong, Chang Cuyu, et al. Performance observations on MAC protocols of VANETs in intelligent transportation system[C]//WRI International Conference on Communications and Mobile Computing 2009(CMC 2009). Yunnan: IEEE, 2009: 373-379.
- [13] Taleb T, Benslimane A, Letaief K B. Toward an effective risk-conscious and collaborative vehicular collision avoidance system[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2010, 59(3): 1474-1486.
- [14] Yu Jianfa, Yin Chengguo. An improved MAC protocol in mobile vehicular ad-hoc networks[C]//ICEES 2011. Singapore: Elsevier, 2011: 1992-2000.
- [15] Xu Qiu, Fan Haikuan, Guo Shuangfei, et al. A context-aware MAC protocol for VANETs[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2013, 7992(1): 151-162.
- [16] 唐伦, 王晨梦, 陈前斌. 车载自组织网络中基于时分复用的异步多信道MAC协议[J]. *计算机学报*, 2015, 38(3): 673-684.
Tang Lun, Wang Chenmeng, Cheng Qianbin. An asynchronous multi-channel MAC protocol based on TDMA in vehicular ad hoc network [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2015, 38(3): 673-684.
- [17] Lochert C, Hartenstein H, Tian J, et al. A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments[C]//Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Meguro-Ku: IEEE, 2003: 156-161.
- [18] Lochert C, Mauve M, Füllner H, et al. Geographic routing in city scenarios[J]. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2005, 9(1): 69-72.
- [19] Ahmed S, Kanere S S. SKVR: Scalable knowledge-based routing architecture for public transport networks[C]//Proceedings of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks. Los Angeles: ACM, 2006: 92-93.
- [20] Cheng P C, Weng J T, Tung L C, et al. GeoDTN+Nav: A hybrid geographic and DTN routing with navigation assistance in urban vehicular networks[C]//MobiQuitous ISVCS. Dublin: IEEE, 2008: 61-82.
- [21] Durrresi M, Durrresi A, Barolli L. Emergency broadcast protocol for inter-vehicle communications[C]//Proceedings of the 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems. Fukuoka: IEEE, 2005: 402-406.
- [22] Korkmaz G, Ekici E, Ozgüner F, et al. Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems[C]//Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks. New York: ACM, 2004: 76-85.
- [23] Tao Song, Xia Weiwei, Shen Lianfeng, et al. A cluster-based directional routing protocol in VANET[C]//Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Communication Technology. Nanjing: IEEE, 2010: 172-175.
- [24] 秦华标, 肖志勇. 基于位置信息的稳定分簇路由协议[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2010, 38(6): 1-5.
Qing Huabiao, Xiao Zhiyong. A position based stable clustering routing protocol[J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2010, 38(6): 1-5.
- [25] Chen Y S, Lin Y W, Lee S L. A mobicast routing protocol in vehicular ad-hoc networks[J]. *Mobile Networks and Applications*, 2010, 15(1): 20-35.
- [26] Kihl M, Sichert M, Ekeröth T, et al. Reliable geographical multicast routing in vehicular ad-hoc networks[C]//Proceedings of the 5th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications. Berlin: Springer-Verlag, 2007: 315-325.
- [27] Souza A B, Celestino J, Xavier F A, et al. Stable multicast trees based on ant colony optimization for vehicular ad hoc network[C]//Proceedings of International Conference on Information Networking (ICOIN'13). Bangkok: IEEE, 2013: 101-106.
- [28] Yiton Y, Tian K, Huang K, et al. D-ODMRP: A destination-driven on-demand multicast routing protocol for mobile ad hoc networks[J]. *IET Communications*, 2012, 6(9): 1025-1031.
- [29] Shrestha R K, Sangman M, Ilyong C, et al. Vertex-based multihop vehicle to infrastructure routing for vehicular ad hoc networks[C]//Proceedings of the 43rd Hawaii International Conference on System Sciences. Honolulu: IEEE, 2010: 1-7.
- [30] Yong Ding, Chen Wang, Li Xiao. A static-node assisted adaptive routing protocol in vehicular networks[C]//Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks. Montreal: ACM, 2007: 59-68.
- [31] Luo Jie, Gu Xinxing, Zhao Tong, et al. A mobile infrastructure based VANET routing protocol in the urban environment[C]//Proceedings of the 2010 International Conference on Communications and Mobile Computing (CMC). Shenzhen: IEEE, 2010: 432-437.
- [32] Pan H Y, Jan R H, Jeng A A K, et al. Mobile-gateway routing for vehicular networks[C]//IEEE VTSI APWCS. Singapore: IEEE, 2011: 2-10.
- [33] Jain R, Puri A, Sengupta R. Geographical routing using partial information for wireless ad hoc networks[J]. *IEEE Personal Communications*, 2001, 8(1): 48-57.
- [34] Yoon J, Noble B D, Liu M, et al. Building realistic mobility models

- from coarse-grained traces[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services. Uppsala: ACM, 2006: 177-190.
- [35] Fiore M. Mobility models in inter-vehicle communications literature [R]. Torino: Department of Electronics, Polytechnic Institute of Torino, 2009.
- [36] 杨卫东, 冯琳琳, 刘伎昭. 车载自组织网络中网络连通特性研究[J]. 通信学报, 2012, 33(Z1): 48-53.
Yang Weidong, Fen Linlin, Liu Jizhao. Network connectivity characteristics for vehicular ad hoc network[J]. Journal on Communications, 2012, 33(Z1): 48-53.
- [37] Naumov V, Baumann R, Gross T. An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces[C]//Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. Florence: ACM, 2006: 108-119.
- [38] Razvan S, Emmanuel C, André-Luc B. Simulation of vehicular ad-hoc networks: Challenges, review of tools and recommendations[J]. Computer Networks, 2011, 55(14): 3179-3188.
- [39] Leea E, Ohb S Y, Gerlaa M. RFID assisted vehicle positioning in VANETs[J]. Pervasive Mobile Computing, 2012, 8(2): 167-179.
- [40] Kakkasageri M S, Manvi S S. Push-pull based critical information gathering in VANETs: Multi-agent system based approach[C]//Proceedings of the IEEE International Conference In Vehicular Electronics and Safety (ICVES 2009). Pune: IEEE, 2009: 1-6.
- [41] Liu Congyi, Chigan Chunxiao. Structure-less message aggregation (SLMA): Reliably and efficiently improve information precision and certainty for VANETs[C]//Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010). Miami: IEEE, 2010: 1-6.
- [42] Kakkasageri M S, Manvi S S. Safety information gathering and dissemination in vehicular ad hoc networks: Cognitive agent based approach[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Computer Science and Information Technology (CCIT 2011). Bangalore: Springer Berlin Heidelberg, 2011: 254-264.
- [43] Cao Z. Proof-of-relevance: Filtering false data via authentic consensus in vehicle ad-hoc networks [C]// Proceedings of the IEEE INFOCOM Workshops. Phoenix: IEEE, 2008: 1-6.
- [44] 刘雪峰, 张玉清, 王鹤, 等. 一种后向撤销隐私安全的车载自组织网络快速匿名消息认证[J]. 协议电子与信息学报, 2014, 36(1): 94-100.
Liu Xuefeng, Zhang Yuqing, Wang He, et al. An efficient anonymity message authentication with backward secure revocation for vehicular ad hoc networks[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2014, 36(1): 94-100.
- [45] Hsiao H C. Flooding-resilient broadcast authentication for VANETs [C]//Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Las Vegas: ACM, 2011: 19-23.
- [46] Moreno M T. System design for information dissemination in VANETs [C]//Proceedings of the 3rd International Workshop on Intelligent Transportation (WIT). Hamburg: ACM, 2006: 27-33.
- [47] Koubek M, Rea S, Pesch D. Reliable delay constrained multihop broadcasting in VANETs[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2010, 3(4): 1-13.
- [48] 朱欣娟, 周千明. 一种VANET信息查询模式及分析[J]. 电子科技大学学报, 2013, 42(6): 911-915.
Zhu Xinjuan, Zhou Qianming. VANET information query mode and its analysis[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2013, 42(6): 911-915.
- [49] Sanaei Z, Abolfazli S, Gani A, et al. Heterogeneity in mobile cloud computing: Taxonomy and open challenges[J]. IEEE communications surveys and tutorials, 2013, 16(1): 369-392.
- [50] Gerla M. Vehicular cloud computing[C]//Proceedings of the 11th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net). Ayia: IEEE, 2012: 152-155.
- [51] Bordley L, Cherry C R, Stephens D, et al. Commercial motor vehicle wireless roadside inspection pilot test[C]//91st Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington: Transportation Research Board, 2012: 1312-1335.
- [52] Olariu S, Hristov T, Yan G. The next paradigm shift: From vehicular networks to vehicular clouds[C]//Mobile Ad Hoc Networking: Cutting Edge Directions, 2nd. Hoboken: IEEE, 2013: 645-700.
- [53] Mousannif H, Khalil I, Moatassime H. Cooperation as a Service in VANETs[J]. Journal of Universal Computer Science, 2011, 17(8): 1202-1218.
- [54] Ma Y, Chowdhury M, Sadek A, et al. Real-time highway traffic condition assessment framework using Vehicle-Infrastructure Integration(VII) with artificial intelligence(AI)[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2009, 10(4): 615-627.
- [55] Blossville J M. Driver assistance systems, a long way to AHS[C]//2006IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Meguroku: IEEE, 2006: 449-449.
- [56] Fussler H, Schnauffer S, Transier M, et al. Vehicular ad-hoc networks: from vision to reality and back[C]//2007 Fourth Annual Conference on Wireless on Demand Network Systems and Services. Obergurgl: IEEE, 2007: 80-83.
- [57] Ghangurde M. Ford SYNC and microsoft windows embedded automotive make digital lifestyle a reality on the road[J]. SAE International Journal of Passenger Cars-Electronic and Electrical Systems, 2010, 3 (2): 99-105.

A comprehensive overview on vehicular ad-hoc network

LI Tong, NIU Minjie, LÜ Jun

Department of Information Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China

Abstract Vehicular ad-hoc network (VANET) is considered an integral part of the future intelligent transportation system (ITS) that has the potential in improving traffic efficiency, road safety and traveler's comfort. VANET is a subset of mobile ad-hoc network (MANET) and does not depend on any fixed infrastructure. The nodes are highly mobile and the network topology changes rapidly. It differs from MANET in terms of architecture, characteristic, application and challenge. In this paper, the latest research progress in VANET network architecture, communication protocols, modeling and simulation, information management and cloud computing is surveyed; the research methods are briefly discussed; and the directions for future research and development are also provided.

Keywords VANET; routing protocols; simulation tools; vehicular cloud computing

(责任编辑 傅雪)