

文章编号: 1002-0268 (2011) S1-0071-06

全球车载通信 DSRC 标准发展及应用

张令文, 刘 留, 和雨佳, 陶 成

(北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要: 研究了新一代车车、车路之间通信标准协议, 即专用短程通信 (Dedicated Short Range Communications, DSRC) 和车载环境下的无线接入协议。调研了欧洲、日本、美国和中国车载通信标准的最新发展情况, 阐述了 DSRC 系统架构、技术原理以及通信标准, 重点分析了 DSRC 物理层和 MAC 层关键技术, 比较了 IEEE 802.11 和 IEEE 802.11p 异同点, 最后展望了 DSRC 技术在汽车工业、汽车通信上的发展前景。本文全面深入讲述 DSRC 技术特点, 为下一步我国制定车载通信发展战略提供参考依据。

关键词: 专用短程通信; 车载环境下的无线接入; 车载通信

中图分类号: U491

文献标识码: A

Development of DSRC Standards for Global Vehicular Communication and Their Application

ZHANG Lingwen, LIU Liu, HE Yujia, TAO Cheng

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: This paper studied vehicle to vehicle and vehicle to infrastructure communication protocols, i. e., Dedicated Short Range Communication (DSRC) and Wireless Access in a Vehicular Environment (WAVE). It investigated the latest development of global vehicular communication standards of US, EU, Japan and China, revealed DSRC system architecture, fundamentals and standards, analyzed the key techniques of DSRC physical layer and MAC layer, and discussed the difference between IEEE 802.11a and IEEE 802.11p. Finally, it foresaw the future development prospect of DSRC in automobile industry and communication, and gave a deep insight into technical characteristics of DSRC communication, which provided a reference for working out the vehicular communication development strategy in China.

Key words: DSRC; WAVE; vehicular communication

1 V2V/V2I 的起源

车载通信系统提出的主要目的是提高行驶安全性和减小交通事故产生的过度花费。根据世界卫生组织 (WHO) 调查, 每年发生的交通事故会导致全球大约 120 万人死亡, 1/4 的死亡是由受伤引起的, 大约有 5 000 万人在交通事故中受伤。如果不采用预防措施, 交通事故将在 2020 年成为第 3 大死亡原因, 而在 1990 年它只在死亡原因中排第 9 位。

美国每年由于机动车碰撞而产生的交通事故,

大约有 600 万。仅仅在 2003 年, 这些事故就占到了受损财产的 2300 亿美元, 288 900 非致命性伤害和 42 643 死亡数。司机的驾驶行为被认为是 90% 事故产生的主导原因。在遇到紧急情况时, 司机反应时间的不及时经常为连环撞车埋下了隐患^[1]。

我们举一个形象的例子^[2]: 在紧急情况下, 一个司机主要是依据正前方汽车的刹车尾灯来决定自己的刹车动作。在典型的路况环境下, 由于各种各样的原因, 这并不是最好的碰撞回避策略。在许多情况下, 发现一个处于自己车辆之前紧急状况的能

力,是受自己看不到它们前面的车辆而限制的。如果司机们选择过紧的跟随前一辆车,若在这种情况下,他们可能没有足够的时间来刹车和在看到前辆车的刹车灯亮后停车。司机的反应时间(从事件发生到司机采取实际刹车动作之间的间隔时间)一般是从0.75~1.5 s。当汽车速度为113 km/h,这就意味着,在司机的所有反应动作发生之前,汽车已经行驶了23~45 m。在密集交通环境下,由反应时间的累积而产生的后果,可能会加剧情形的严重性。其结果是,仅仅一个紧急情况也经常可以导致一系列二次碰撞的产生,从而造成一个拥有多辆车的连环事故。

然而,由于汽车相撞所导致的死亡事故在原则上是可以被避免的^[3-4]。V2V通信允许车辆之间紧急情况信息的快速传播,为司机提供更多反应时间,这比根据前辆车的刹车灯来进行反应的时间迅速的多。离开高速公路的汽车可以通知其他汽车自己即将离开高速公路,到达路口处的汽车可以对经过这个路口的汽车发送警告信息。尽管车载网络的主要优点是提高行车的安全性,但是也带来了其他很多的收益。车载网络对避免交通阻塞可以提供帮助,可以通过处理实时数据来发现最佳路径。这些最终节省了时间和能源,有着重要的经济优势。

基于通信的主动安全性被认为是下一个符合逻辑的步骤,即我们所称的积极主动安全性系统。这些系统提供了一个扩展信息的视野,在一个更早的阶段给处于危险处境的司机或汽车系统发出警告。

2 国内外发展情况

随着无线通信技术的迅速发展,车载通信网络逐渐成为了重要的无线网络研究领域,受到学术界和工业界的瞩目。美国交通部强有力的推进DSRC技术和应用。其中一个主要的初始项目,汽车智能一体化(VII),通过专用短程通信为汽车与汽车和汽车与路边设施之间提供通信来增加行驶安全性。许多大学也在从事相关方面研究,发展汽车ad hoc网络。例如,加利福尼亚大学、伯克利大学参加了加利福尼亚的PATH项目。欧洲政府通过许多大型项目的实施,例如SAFESPOT、COOPERS、CVIS,强有力地推动着V2V/V2I通信网的建设和测试。例如SAFESPOT项目,它创造了一个动态的交互网络,汽车和路边设施进行通信来进行信息的共享,从而增加了司机对汽车周围环境的了解的。建立了意大利测试区、西欧测量区、德国测试区、荷兰测试区和

瑞典测试区,V2V和V2I解决方案都进行了评估。这些测试区都装备了现有的基础设施,具体来说是雾临界道路段,也包括了SAFESPOT的基础设施。日本在98年左右,就建成了基于UMTS系统的VICS(车辆信息通信系统)服务,这项服务由政府免费提供,市民只需要支付导航器的费用,就可以享受到无偿的交通信息服务。目前,日本政府以及相关产业正着手研发下一代的智能交通系统SMARTWAY,计划用5年的时间在重要道路上覆盖路况认知传感器,构建智能汽车系统、智能道路系统、车路间协调系统,并通过光纤网络与互联网连通,实现交通信息的实时发布。

汽车制造商和通信公司也在车载通信领域进行了研究:它们其中有Kapsch、通用汽车、戴姆勒克莱斯勒公司、福特汽车、西门子、本田汽车、丰田汽车、宝马汽车和奔驰汽车。集成汽车设备如OnStar已经在美国市场上出现,汽车制造公司如通用汽车将它们作为汽车的可选部件为顾客供应。代理公司用这些设备来为顾客提供类似于方位和紧急援助的服务。尽管这些设备可能提供了一个额外的安全性,但是他们并为给司机带来互相交流的自由。

我国车载通信研究和测试也正在开展之中。在“九五”、“十五”、“十一五”国家科技攻关计划关于智能交通项目实施基础上,在城市道路交通方面,北京实施了“科技奥运”智能交通应用试点示范工程,广州、中山、深圳、上海、天津、重庆、济南、青岛、杭州等作为智能交通系统示范城市也各自进行了有益的尝试;在高速公路方面,我国内地大多数省区实现了省区内不同范围的收费系统联网。同时,一批涉及城市和城间道路管理的智能交通关键技术及共性技术研究以及车载信息装置、交通信息采集设备、车辆安全辅助驾驶、专用短程通讯设备以及RFID技术等进行了不同程度的开发和应用。

鉴于目前国际DSRC标准发展趋势和国内ETC系统应用现状,1998年5月,交通部ITS中心向交通部无线电管理委员会提出将5.8 GHz频段分配给智能运输系统技术领域的短程通信(包括ETC收费系统)。具体技术指标见表1。

总之,政府、高校和汽车制造商联合努力鉴定了DSRC提供的安全应用和评估了DSRC无线电性能,一些原型车和应用已经在一些项目中得到了展示。

表 1 中国短程通信技术指标

Tab. 1 Chinese DSRC technical parameters

项目	值
频率用户	智能运输系统技术领域的短程通信
频段 /GHz	5.795 ~ 5.815
调制方式	ASK, BPSK
输出功率 /mW	300
传播距离 /m	10

3 标准化进程

3.1 全球 DSRC 标准比较

尽管 DSRC 在欧洲和美国的应用实例相似, DSRC 的部署策略却由于技术、政治和经济原因而表现出不同。因此, 预测一种可以在经济领域获得利益的共同的商业模式是比较困难的。各国 DSRC 标准及频谱划分见图 1 和图 2。

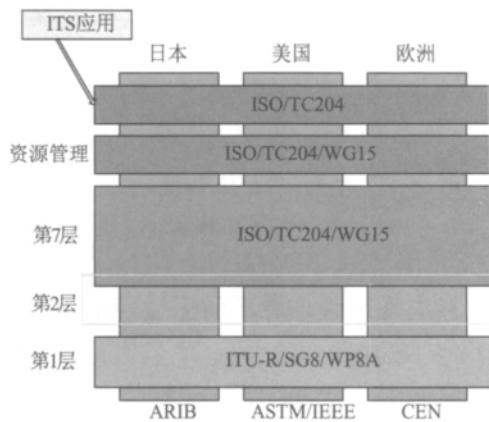


图 1 全球 DSRC 标准比较

Fig. 1 Difference of international DSRC standards

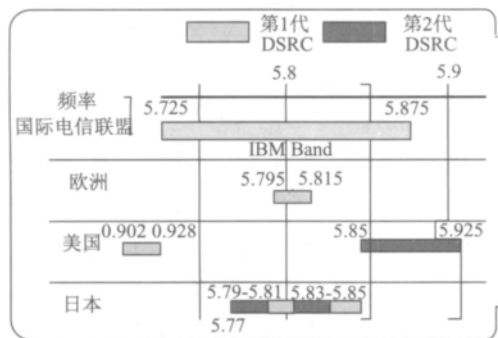


图 2 全球 DSRC 频谱划分 (单位: GHz)

Fig. 2 Worldwide DSRC spectrum allocation (unit: GHz)

3.2 欧洲

欧洲的标准化组织 (CEN, European Committee for Standardization) 与国际化标准组织 (ISO) 制定

了欧洲 DSRC 标准, 包括, EN 12253: 2004 5.8 GHz DSRC 物理层标准; EN 12795: 2002 DSRC 数据链路层: 媒体接入和逻辑信道控制标准; EN 12834: 2002 DSRC 应用层标准; EN 13372: 2004 DSRC RTTT 应用模型; EN ISO 14906: 2004 电子收费接口标准。

3.3 日本

日本已经发展了自己的一系列 DSRC 标准, 发表为 ARIB (Association of Radio Industries and Business) T55, 包括了 L1、L2 和 L7 的标准。ARIB L7 建立在 CEN L7 标准之上, 并且与之保持一致性, 一个新的标准系列即将完成, 将会被命名为 ARIB T75, 如图 3 所示。

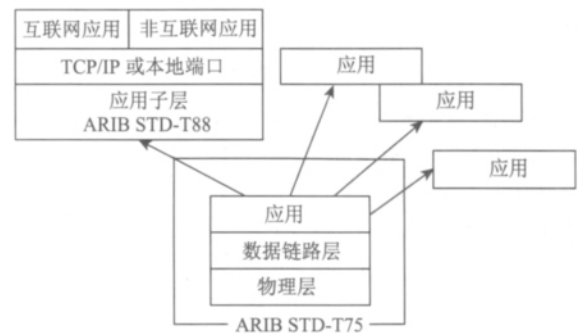


图 3 日本 DSRC 协议栈示意图

Fig. 3 Japanese DSRC protocol stack

3.4 美国

3.4.1 目的和动机

美国有两个标准化小组来支持 DSRC 应用, 每个小组分别在 915 MHz 和 5.9 GHz 频率处制定标准。915 MHz 处的 DSRC 标准在很多年前就已经完成了, 主要应用在商用车辆、电子不停车收费系统和其他应用之中。在 2006 年批准的 5.9 GHz 处的 DSRC 标准系列, 主要是为公共安全应用设想的, 在这个频谱处的 ITS 可能应用包括碰撞避免、先进的车辆控制、旅行信息、增加的货运支持、运输、停车和在修车场处的 ITS 系统上下载的交通管理自动化汽车维修信息、电子不停车收费, 同时也支持了一些其他的私人应用。DSRC 5GHz 标准化工作主要在 ASTM 和 IEEE 委员会上进行, 附加要素由 SAE、AASHTO 和 ISO 研究。ASTM 作为所有参加团体的管理和组织者。

DSRC 5GHz 标准组织制定的标准与 915MHz 带宽处的 DSRC 标准相比, 提供了一个更高的信息容量, 拥有一个更长的通信距离。表 2 比较了两种标准的不同之处。

表2 915 MHz 和 5.9 GHz 标准比较

Tab. 2 Comparison of standards using frequencies of 915 MHz and 5.9 GHz

	915 MHz 系统	5.9 GHz 系统
距离/m	< 30	可至 1 000
数据速率/ (Mbps · s ⁻¹)	0.5	6 ~ 27
应用	电子收费等	安全警示、互联网接入、 电子收费等
信道	单个无牌照信道	7 个有牌照信道
实现	需要特定芯片 和软件	成品芯片和软件。

3.4.2 5.9 GHz DSRC 标准

在 1999 年, 美国联邦通信委员会提议将 5.9 GHz 频谱处的 75 MHz (5.85 ~ 5.925 GHz) 专门用作 V2V 和 V2I 通信。工作范围大约为 1 000 m, 此网络支持私人数据通信和公众通信 (主要是安全类通信), 但是公众通信应当有较高的优先级。如图 4 所示, DSRC 频谱分为 7 个 10 MHz 的带宽。信道 178 是控制信道, 通常只用来进行安全性的通信。处于频谱边缘的两个信道为未来高级事故避免的应用和高功率公众安全应用预留。其他信道是服务信道, 可以提供安全和非安全性应用。DSRC 工作在 5.9 GHz 频带处, 带宽为 75 MHz (5.85 ~ 5.925), 工作范围大约为 1 000 m。此网络应当支持私人数据通信和公众通信 (主要是安全类通信), 但是公众通信应当有较高的优先级。

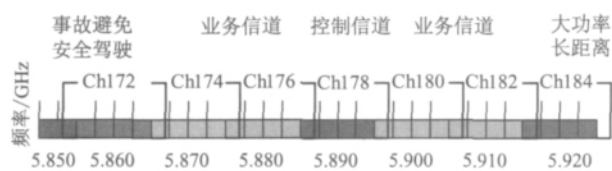


图4 5.9 GHz 信道分配

Fig. 4 5.9 GHz DSRC channel allocation

专用短程通信 (DSRC) / 车载环境下的无线接入 (WAVE) 涉及到了一系列新兴的移动无线通信标准^[5]。DSRC/WAVE 是联邦公路管理机构发起的机动车整合公共建设 (VII) 的一部分, 支持了新兴的智能交通系统 (ITS) 的 V2V 和 V2I 通信。DSRC/WAVE 系统弥补了无线基础设施的低延迟、当地地理、高数据速率和高移动性通信的空白。表 3 将 DSRC/WAVE 和其他无线技术进行了对比。

专用短程通信 (DSRC) / 车载环境下的无线接入 (WAVE) 协议栈物理层标准为 IEEE802.11p, 该标准规定了 MAC 层和物理层的技术方案^[6]。上层通

信协议栈为 IEEE 1609 系列, 如图 5 所示。

表3 DSRC/WAVE 和其他无线技术对比

Tab. 3 Comparison of DSRC/WAVE with other wireless communication systems

	DSRC/WAVE	Wi-Fi	Cellular	WiMAX
数据速率/ Mbps	3 ~ 27	6 ~ 54	< 2	1 ~ 32
延迟	< 50 毫秒	秒	秒	待定
距离/km	< 1	< 0.1	< 10	< 15
移动速度/mph	> 60	< 5	> 60	> 60
带宽/MHz	10	20	< 3	< 10
频段/GHz	5.86 ~ 5.92	2.4, 5.2	0.8, 1.9	2.5
IEEE 标准	802.11p	802.11a	无	802.16e

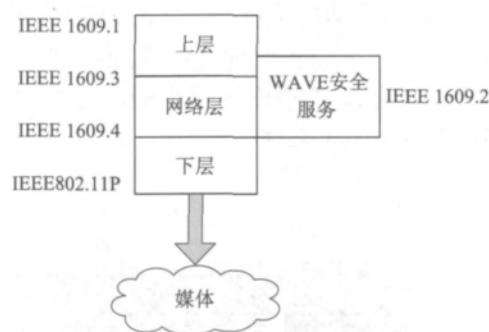


图5 WAVE 标准

Fig. 5 WAVE standards

802.11p 标准已于 2010 年 7 月 15 日颁布, 该标准将目标锁定在车载环境下的无线通信, 主要用于车上用户与路边目标之间、汽车之间等的通信。IEEE 802.11p 是一个由 IEEE 802.11 标准扩充的通讯协定^[7-8]。这个通讯协定主要用在车载通讯 (或称专用短距离通讯, Dedicated Short Range Communications, DSRC) 系统中。它设定上是从 IEEE 802.11 来扩充延伸, 来符合智慧型运输系统 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 的相关应用。应用的层面包括高速率的车辆之间以及车辆与 5.9 kHz (5.85 ~ 5.925 GHz) 波段的标准 ITS 路边基础设施之间的资料数据交换。802.11p 对传统的 802.11 无线网络技术加以扩展, 可以实现一些对汽车非常有用的功能: 更先进的转递机制 (handoff scheme)、移动操作、增强安全、识别 (identification)、对等网络 (peer-to-peer) (特别) 认证, 最重要的是, 在分配给汽车的 5.9 GHz 频率上进行通讯。

IEEE 1609 标准则是以 IEEE 802.11p 通讯协定为基础的高层标准^[9]。IEEE1609 标准由 IEEE 汽车技术学会智能运输系统委员会发起, 它主要为支持

美国运输部的汽车基础设施活动和智能运输系统项目提供无线通信组件。这些试用标准计划将根据实验结果进行更新, 并于 2008 或 2009 年成为正式使用的标准。在 IEEE1609 系列标准中, 目前已经获得批准的标准是: IEEE1609.1 “汽车环境中无线存取 (WAVE) 试用标准 – 资源管理”, 其中规定了多个远程应用和资源管理间的控制互换流程; IEEE1609.2 “汽车环境中无线存取 (WAVE) 试用标准 – 应用和管理信息的安全服务”, 其中包括了 WAVE 信息安全抵制窃听、电子欺诈和其他袭击的方法; IEEE1609.4 “汽车环境中无线存取 (WAVE) 试用标准 – 多渠道运行”, 其中规定了通信协议栈媒体接入控制接口和 IEEE802.11p 的多渠道运行对单渠道运行。第 5 项标准 IEEE1609.0 作为一项架构

文件正在筹备中, 其中将对 WAVE 系统和其组件及运行进行整体的介绍。同时它还能帮助业内人士更好地理解其他 WAVE 标准和 IEEE802.11。

3.4.3 IEEE802.11p 和 IEEE802.11 (a, b, g, j, n) 异同点比较

802.11p 是 802.11 – 2007 的修正案。它的物理层基于 OFDM, 与 IEEE802.11a 设备使用的 PHY 相同, 但是对 PHY 与 MAC 做了一个很小的改变, 为移动车辆提供了一个更加强有力和快速的连接。

(1) 物理层

802.11p 和 802.11a、g 应用了 OFDM 调制, 802.11b 没有使用 OFDM。表 4 给出了 802.11a/g 调制方案的概述, 包括映射和编码速率。

表 4 802.11 调制方案和映射

Tab. 4 802.11 modulation schemes and mappings

标准	数据速率/ (Mbit · s ⁻¹)	子载波调制	子载波数量	导频数量	编码速率	映射		
						比特数	OFDM 数量	子载波个数
802.11a/g	6	BPSK	48	4	1/2	48	1	48 BPSK
	9	BPSK	48	4	3/4	48	1	48BPSK
	12	QPSK	48	4	1/2	96	1	48QPSK
	18	QPSK	48	4	3/4	96	1	48QPSK
	24	16QAM	48	4	1/2	192	1	48 16QAM
	36	16QAM	48	4	3/4	192	1	48 16QAM
	48	64QAM	48	4	1/2	288	1	48 64QAM
	54	64QAM	48	4	3/4	288	1	48 64QAM

802.11 – 2007 标准定义了 3 个不同的 PHY 层模式。20、10 MHz 和 5 MHz 模式。不同的模式可以通过一个减少的时钟/抽样频率得到。802.11a 通常使用 20 MHz 带宽的全时钟模式。802.11p 通常使用 10 MHz 带宽的半时钟模式。802.11j 标准也使用了半时钟模式。半时钟模式影响了以下参数: 带宽, 在 802.11p 中, 通常使用的是 10 MHz 带宽, 目的是使信号更加有效的对抗衰落; 载波间隔, 与 IEEE802.11a 相比, 减少

了 1/2; 符号长度, 符号长度加倍, 使信号更加有效的对抗衰落; 频带, 5.8 G, 5.9 G, 700 MHz, 900 MHz。

除过时钟频率不同, IEEE 802.11p 的 ACR (相邻信道抑制) 和 SEM (频谱发射屏蔽) 与 802.11 – 2007 相比, 也做出了改变。802.11p 的 ACR 值要求更加严格。

表 5 对 802.11a 和 802.11p PHY 层的参数做了对比。

表 5 IEEE802.11p 和 IEEE802.11a 物理层比较

Tab. 5 Comparison of physical layer implementations in IEEE 802.11a and IEEE 802.11p

参数	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p 半时钟模式	改动
比特率/(Mbit · s ⁻¹)	6 9 12 18 24 36 48 54	3 4.5 6 9 12 18 24 27	1/2
调制方式	BPSK QPSK 16QAM 64QAM	BPSK QPSK 16QAM 64QAM	无变化
编码速率	1/2 2/3 3/4	1/2 2/3 3/4	无变化
子载波数目	52	52	无变化
符号周期	4μs	8μs	2 倍
保护时间	0.8μs	1.6μs	2 倍
FFT 周期	3.2μs	6.4μs	2 倍
导频周期	16μs	32μs	2 倍
子载波间隔	0.312 5 MHz	0.1562 5 MHz	1/2

在 802.11p 标准中, 10 MHz 和 5 MHz 处的额外的 SEMs 也得到了定义。对每个带宽处, 4 个不同功率等级 (功率等级 A、B、C 和 D) 处的 4 个不同的 SEM 都得到了定义, 见表 6。802.11p 功率等级 A 的 SEM (10MHz) 与 802.11j 标准的 SEM 相同。

表 6 802.11p 的功率等级

Tab. 6 Power classes of 802.11p

功率等级	最大输出功率/dBm
A	0
B	10
C	20
D	28.8

802.11p 设备需要一个更加严格的 ACR 需求。表 7 展示了 802.11-2007 标准下 OFDM PHY 的 ACR 规格, 表 7 展示了 802.11p 所提议的 ACR 需求。注意: 这里的提议仍然在草案中讨论, 还未批准。

表 7 802.11-2007 标准的 ACR 值

Tab. 7 ACR values of 802.11p-2007 standards

调制方式	编码速率	邻信道干扰抑制比/dB	非邻信道干扰抑制比/dB
BPSK	1/2	16	32
BPSK	3/4	15	31
QPSK	1/2	13	29
QPSK	3/4	11	27
16QAM	1/2	8	24
16QAM	3/4	4	20
64QAM	2/3	0	16
64QAM	3/4	-1	15

表 8 802.11p 修正案的 ACR 值

Tab. 8 ACR values of revised 802.11p standards

调制方式	编码速率	邻信道干扰抑制比/dB	非邻信道干扰抑制比/dB
BPSK	1/2	28	32
BPSK	3/4	27	31
QPSK	1/2	25	29
QPSK	3/4	23	27
16QAM	1/2	20	24
16QAM	3/4	16	20
64QAM	2/3	12	16
64QAM	3/4	11	15

(2) IEEE802.11a, g, p 包结构

802.11a 标准的包结构与 802.11g, j, p 标准的相同。

(3) MAC 层

802.11p 修正案的 MAC 层也是 802.11-2007 标准的一部分。在 802.11p 中, 一个新的管理信息库 (MIB)。“dot11ocb”被定义为 MAC 层管理实体

(MLME)。当“dot11ocbenabled”为真, 附加的选择/约束条件加入到 802.11p 设备中。这些附加的选择是: 无验证服务和数据保密。MIB dot11ocb Bit 对 802.11 中定义的 PHY 和 MAC 层无影响。

4 前景展望和应用

车载通信具有相当丰富的应用场景^[10], 主要集中在以下几个方面: 安全, 通过安装在汽车上的 DSRC 设备与其他车辆通信, 实时监测周围危险信号; 交通管理, 交通法规的制定, 交通流量管理以及交通堵塞及时处理; 驾驶辅助系统, 路边设备可以帮助驾驶员更好掌握周围可用资源信息; 执法, 警察可以在以下方面应用车载通信网; 电子支付, 例如高速公路使用费、停车费等; 导航和路线选择, 到达目的地有多种路线, 通过搜集相关信息, 可以发现优化驾驶时间或者经济 (高速费、汽油费) 的最优路线; 出行信息提示, 例如 地图、加油站等; Internet 信息服务; 高速公路自动驾驶。

开展车载通信系统的研究和开发, 是当前 ITS 领域研究的前沿热点, 将促进下一代 ITS 的发展, 对改善交通和提高行车安全、实现节能减排、带动产业发展都有着重大的推动作用。美国 ABI 市场咨询公司日前预测, 车载通信每年的市场规模高达 10 亿美元。由于技术要实现真正商用, 不同厂商产品间的互通性至关重要, 因此首先将 802.11p 标准在 IEEE 获得通过必不可少, 现在看来这似乎不是什么难事, 汽车通信标准 IEEE802.11P 已经于 2010.7.15 日发布。再看目前的汽车通信市场, 很大程度上由手机通信所占据, 但客观上说, 蜂窝通信覆盖成本比较高昂, 提供的带宽也比较有限。使用 802.11p 有望降低部署成本、提高带宽、实时收集交通信息等, 而支持身份认证则有望使 802.11p 代替 RFID 技术? 上述的优势有助于刺激厂商将 Wi-Fi 尤其是 802.11p 内置入汽车中, 而为了节省成本和方便起见, 厂商极有可能将 802.11p 与传统的 802.11a/b/g 工作于同一频段之中, 或者干脆是融合这些标准的多模产品。利用 802.11p, 汽车厂商还有可能获得汽车通信的运营权。

总之, 发展 DSRC 技术, 有利于我国交通安全体系建设, 有利于解决汽车堵塞问题, 更好的节约燃料和驾驶时间, 有利于我国在车载通信领域与国外汽车巨头一争高低, 为我国汽车工业的腾飞做出贡献。

(下转第 85 页)

- LIU Weiming, WANG Zheren, ZHENG Xitao. Theory and Method of Expressway Toll System [M]. Beijing: China Communications Press, 2000.
- [4] 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构 C 语言版 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- YAN Weimin, WU Weimin. C - Language Version of Data Structure [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000.
- [5] 李俊利, 过秀成. 交通工程设计 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- LI Junli, GUO Xiucheng. Design of Traffic Engineering Facility [M]. Beijing: China Communications Press, 2002.
- [6] JTJ001-97, 公路工程技术标准 [S].
- JTJ001-97, Technical Standard of Highway Engineering [S].
- [7] 许宏科, 赵祥模, 关可. 高速公路收费系统理论及应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- XU Hongke, ZHAO Xiangmo, GUAN Ke. Theory and Application of Expressway Toll System [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2003.
- [8] 刘伟铭. 道路收费系统的优化模型及算法: 路网收费费率、收费道路网及收费系统的优化 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- LIU Weiming. Optimization Model and Algorithm of Road Toll System: Optimization of Toll Rate of Road Network, Toll Road Network and Toll System [M]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [9] GB/T18277-2000, 高速公路联网收费暂行技术要求 [S].
- GB/T18277-2000, Provisional Technical Regulation for Expressway Network Toll Collection [S].
- [10] 廖固. 高速公路收费站通行能力分析 [J]. 公路工程, 2010 (3): 153-155.
- LIAO Gu. Analysis of Expressway Tollgate Capacity [J]. Highway Engineering, 2010 (3): 153-155.
- [11] 边艳妮. 组合式电子收费系统的研究 [D]. 西安: 长安大学, 2006.
- BIAN Yanni. Study of Composite ETC Application System [D]. Xi'an: Chang'an University, 2006.
- [12] 曹继红. 收费系统升级改造项目综合评价方法探讨 [D]. 四川: 西南交通大学, 2002.
- CAO Jihong. Integrated Evaluation Methods of Toll System Upgrade [D]. Sichuan: Southwest Jiaotong University, 2002.
- [13] 丁创新. 高速公路收费站通行能力研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2005.
- DING Chuangxin. Capacity of Expressway Toll Station [D]. Kunming: Kunming Institute of Technology, 2005.

(上接第 76 页)

参考文献:

References:

- [1] BISWAS S, TATCHIKOU R, DION F. Vehicle-to-vehicle Wireless Communication Protocols for Enhancing Highway Traffic Safety [J]. IEEE Communication Magazine, 2006, 44 (1): 74-82.
- [2] JIANG D, TALIWAL V, ANDREAS M. et al. Design of 5.9 GHz DSRC-based Vehicular Safety Communication [J]. IEEE Wireless Communication, 2006, 13 (5): 36-43.
- [3] PAIER A, BERNADO L, KAREDAL J, et al, Overview of Vehicle-to-vehicle Radio Channel Measurements for Collision Avoidance Applications [C] // IEEE 71st Vehicular Technology Conference. Taipei: IEEE, 2010: 1-5.
- [4] 王荣本, 郭烈, 金立生, 等. 智能车辆安全辅助驾驶技术研究近况 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (7): 107-111.
- WANG Rongben, GUO Lie, JIN Lisheng, et al. Review of the Research of Intelligent Vehicle Safety Driving Assistant Technology [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (7): 107-111.
- [5] MORGAN Y L. Notes on DSRC & WAVE Standards Suites: Its Architecture, Design and Characteristics [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2010, 12 (4): 504-518.
- [6] ZHU Jing, ROY S. MAC for Dedicated Short Range Communications in Intelligent Transport System [J]. IEEE Communication Magazine, 2003, 41 (12): 60-67.
- [7] IEEE 802.11-07/2045r0, Development of DSRC/WAVE Standards [S].
- [8] IEEE 802.11p-2010, Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications -Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments [S].
- [9] WEIL T. Service Management for Its Using WAVE (1609.3) Networking [C] // IEEE GLOBECOM Workshops. Hawaii, USA: IEEE, 2009: 1-6.
- [10] WILLKE T L, TIEN TRAKOOL P, MAXEMCHUK N F. A Survey of Inter-vehicle Communication Protocols and Their Applications [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009, 11 (2): 3-20.