



汽车先进技术译丛

 Springer

# 车联网通信技术

## Vehicular-2-X Communication

[德] 拉都·波佩斯库-泽雷廷 (Radu Popescu-Zeletin)  
伊尔贾·拉都什 (Ilja Radusch) 著  
米哈伊·阿德里安·里贾尼 (Mihai Adrian Rigani)  
电信科学技术研究院无线移动创新技术中心 组译  
高卓 房家奕 李凤 译

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



汽车先进技术译丛

# 车联网通信技术

[德] 拉都·波佩斯库-泽雷廷 (Radu Popescu-Zeletin)

伊尔贾·拉都什 (Ilja Radusch)

米哈伊·阿德里安·里贾尼 (Mihai Adrian Rigani) 著

电信科学技术研究院无线移动创新技术中心 组译

高 卓 房家奕 李凤 译



机械工业出版社

本书以DSRC为写作对象，主要介绍了车联网的体系架构、应用场景和通信机制，其中通信部分讲述了物理层和高层协议的基本工作原理，并重点介绍了ad hoc网络中常用的路由协议。最后对信息安全问题进行了讨论。尽管本书内容简短、精练，但融入了作者多年来在车联网理论研究和实践方面的丰富经验，可作为车联网相关研究人员快速了解DSRC工作原理的理想参考资料。

Vehicular-2-X Communication.State-of-the-Art and Research in Mobile Vehicular Ad hoc Networks

by Radu Popescu-Zeletin, Ilja Radosch and Mihai Adrian Rigani

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010

Springer is part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved.

版权所有，侵权必究。

This title is published in China by China Machine Press with license from Springer.This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan.Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act.Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体版由Springer授权机械工业出版社在中国境内（不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2016-0085号。

## 图书在版编目（CIP）数据

车联网通信技术 /（德）拉都·波佩斯库-泽雷廷（Radu Popescu-Zeletin），（德）伊尔贾·拉都什（Ilja Radosch），（德）米哈伊·阿德里安·里贾尼（Mihai Adrian Rigani）著；高卓，房家奕，李凤译. —北京：机械工业出版社，2016.10

（汽车先进技术译丛）

书名原文：Vehicular-2-X Communication

ISBN 978-7-111-54540-8

I .①车… II .①拉… ②伊… ③米… ④高… ⑤房… ⑥李… III .①汽车-通信技术 IV .①U463.67

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 190174 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：孙 鹏 责任编辑：孙 鹏

责任校对：张 力 封面设计：鞠 杨

责任印制：常天培

北京联兴盛业印刷股份有限公司印刷

2016 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·6.25 印张·2 插页·113 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-54540-8

定价：69.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

## 译者的话

行车安全问题自汽车诞生之日起就成为交通领域最受关注的问题之一。降低交通事故伤亡率通常从两个方面入手，其一称为被动安全，典型技术包括安全带、安全气囊等，旨在降低事故发生时的人员伤亡概率；其二称为主动安全，典型技术包括制动辅助系统、电子稳定控制系统等，旨在降低事故发生的概率。传统的主动与被动安全技术已逐渐成为主流车型的标准配置，在降低事故伤亡率方面发挥了显著的作用。随着车载传感器技术的快速发展，近年来又诞生出了一系列主动安全类技术，比如盲区检测技术、车道偏离检测技术、前向碰撞预警技术等，部分技术已经在高端车型上应用。然而，传感器的探测范围通常与驾驶人的视觉范围相当，并且其测量精度和可靠性均有一定局限性，遭遇恶劣天气或周围车辆存在异常反射时，性能会显著下降。为了解决传感器的不足，汽车和通信工程师正在全力研究车联网技术，利用车车（V2V，Vehicle to Vehicle）、车路（V2I，Vehicle to Infrastructure）之间交互信息，可以极大提升车辆的环境感知能力，进一步降低事故发生率。V2X技术可认为是在主动安全技术基础上发展起来的预防式安全技术，除解决行车安全问题外，还将在提升交通通行效率、缓解拥堵、减轻环境污染等方面发挥显著的作用。该技术近年来已经成为国内外的研究热点，欧美等国家已经基于802.11a协议开发出了专用短距通信（DSRC），即802.11p协议，而我国企业主导的LTE-V标准也已经在3GPP成功立项，2016年9月将推出V2V版本。

本书以DSRC为写作对象，主要介绍了车联网的体系架构、应用场景和通信机制，其中通信部分讲述了物理层和高层协议的基本工作原理，并重点介绍了ad hoc网络中常用的路由协议，最后对信息安全问题进行了讨论。尽管本书内容简短、精练，但融入了作者多年来在车联网理论研究和实践方面的丰富经验，可作为车联网相关研究人员快速了解DSRC工作原理的理想参考资料。

本书译者均来自大唐电信创新中心车联网产品线，大唐自2011年启动车联网领域的研究工作，基于TD-LTE技术设计完成了满足车联网短距通信需求的解决方案，于2013年5月17日业内首次提出LTE-V概念，并于2015年在南京和上海成功开展了LTE-V道路演示活动。大唐电信的车联网技术开发人员也非常乐于参与车联网技术的推广与传播工作。书中翻译难免有不当之处，敬请读者指正。

译者  
2016.5

# 目 录

## 译者的话

参考文献 ..... 39

## 第1章 介绍..... 1

## 第4章 车联网中的信息..... 40

- 1.1 概述 ..... 2
- 1.2 为何引入车用通信 ..... 2
- 1.3 体系架构 ..... 3
- 参考文献 ..... 4

- 4.1 信息精度 ..... 41
- 4.2 时间敏感信息 ..... 41
- 4.3 制动时间与距离 ..... 42
- 4.4 超车时间与距离 ..... 48
- 4.5 主动安全应用的时间区域 ..... 49

## 第2章 车用通信应用... 5

- 2.1 安全 ..... 6
  - 2.1.1 关键交通情形 ..... 8
  - 2.1.2 安全应用分类 ..... 16
  - 2.1.3 正常传输机制 ..... 18
  - 2.1.4 双向通信机制 ..... 20
  - 2.1.5 非自主系统 ..... 21
  - 2.1.6 快速警告提醒 ..... 23
- 2.2 资源效率 ..... 27
  - 2.2.1 自主系统 ..... 27
  - 2.2.2 正常交通提醒 ..... 28
- 2.3 信息娱乐 ..... 29
  - 2.3.1 ad hoc 服务 ..... 30
  - 2.3.2 供应商服务 ..... 31
- 2.4 应用需求总结 ..... 31
- 参考文献 ..... 33

- 4.5.1 数据要求 ..... 50
- 4.5.2 网络要求 ..... 51
- 4.5.3 合作式避撞系统 ..... 52
- 参考文献 ..... 55

## 第5章 路由..... 57

- 5.1 多跳路由协议 ..... 59
  - 5.1.1 ad hoc 按需距离矢量路由 (AODV) ..... 59
  - 5.1.2 网格位置服务 (GLS) ..... 61
  - 5.1.3 贪婪周边无状态路由 (GPSR) ..... 63
  - 5.1.4 地理源路由 (GSR) ..... 64
  - 5.1.5 基于竞争的转发 (CBF, Contention-Based Forwarding) ..... 65
  - 5.1.6 Octopus (八爪鱼) ..... 68
  - 5.1.7 高级贪婪转发 (AGF, Advanced Greedy Forwarding) ..... 69

## 第3章 通信机制..... 34

- 3.1 双向通信机制 ..... 35
- 3.2 基于位置的通信机制 ..... 37
- 3.3 基于位置的多跳通信机制 ..... 38

5.1.8 首选分组广播 (PGB, Preferred Group Broadcasting).....	69
5.2 安全多跳路由 .....	71
5.2.1 ad hoc 网络认证路 由 (ARAN) .....	71
5.2.2 安全 ad hoc 按需矢量 (SAODV, Secure ad hoc on Demand Vector) .....	72
5.2.3 安全链路状态路由协议 (SLSP, Secure Link State Routing Protocol) .....	73
5.2.4 安全位置辅助 ad hoc 路 由 (SPAAR, Secure Position Aided ad hoc Routing) .....	73
参考文献 .....	74

## 第 6 章 车用通信媒质 接入..... 76

6.1 概述 .....	76
6.2 支持双向通信的 MAC 协议 .....	76
6.3 基于位置的通信机制 .....	77
参考文献 .....	83

## 第 7 章 物理层技术..... 84

参考文献 .....	86
------------	----

## 第 8 章 安全..... 88

8.1 概述 .....	88
8.2 安全架构 .....	89
参考文献 .....	91

# 第1章 介绍

通用车用通信有望在以下领域提供诸多改进：事故避免和缓解；更好地利用道路、时间、燃油等资源；为信息娱乐类应用提供新机遇。然而在被普遍接受之前，车用通信与早先的交通信号灯被初次引入时一样，面临着种种麻烦和人们的置疑。1868年，世界上第一台交通信号灯在伦敦面世，作为铁路指示灯。1912年，第一台红-绿电气化交通信号灯被发明。在第一个交通信号灯出现约50年后的1920年，出现了第一个类似于现代交通信号灯的四路交通信号灯。

交通信号的引入来源于汽车的迅速流行——人类历史上第一辆汽车，一辆木制的摩托车，建造于1885年。不久，交通环境变得复杂起来，引发“路权”概念的出现，进而促成了后续第一个交通信号灯的出现。

就像交通信号灯是为了规范早期汽车生活，保护驾驶人、乘客、行人以及道路基础设施中其他参与者的必要手段一样，车用通信也是适应未来交通量进一步增长、显著降低事故数量的必要手段。

车用通信不仅可以提供扩展的虚拟信息范围，将前方危险情况警示驾驶人，从而避免事故的发生，还可以通过涉事车辆之间的近距离通信，降低那些不可避免的事故造成的损失程度。进一步地，当系统稳定后，车用通信可以演进为类似于合作式驾驶这样的范式，这就像交通信号灯从早期的手动控制演进到自动交通管理系统一样。当前文献已经显示，合作驾驶是更加有效的驾驶方式，可以提供更好的安全保障，提高交通流的稳定程度。合作行为非常有助于改善现有的应用，例如自动调整车速与前车保持一致（每辆车都由人驾驶），或者自动跟随前车从而构成车队（仅领头车辆由人驾驶）。但是合作驾驶可以进一步发展，第一次为碰撞避免或高速公路自动并线等应用提供可能的解决方案，而这类应用离开车用通信的支撑纯粹是梦想。截止到今天，合作驾驶的目标都是纠正危险状况下驾驶人的行为错误或偏差。

## 1.1 概述

本书将描述车用通信多个方面的内容，例如媒质接入控制、路由、安全以及伴随 ISO OSI 参考模型的车用通信标准。进一步地，本书将介绍并详细描述一些未来的车辆应用，例如利用车用通信的合作驾驶操作。此外，在上述技术性介绍之外，本书还将介绍一种结合现有交通及网络仿真的新型测试和仿真方法，它可以用于验证所介绍的车辆应用。本书也将概述车用通信相关的研究和开发项目。基于以下原因，我们坚信这些成果将很快被应用：

- 交通量爆发。
- 事故引发的损失（人员损失和财产损失）。
- 更强烈的环境保护需求。

交通量爆发指的是全球范围内所有工业化国家中正在增长且仍将增长的交通量，这将导致事故数量增加。

为了最大程度上获取车辆新技术带来的安全效益，应该把重点同时放在创新和执行两个方面。

## 1.2 为何引入车用通信

在汽车产业发展初期，道路和各类车辆被视为各个自治系统。后来，它们彼此之间仅存在体积尺寸上的影响，但分享共同的资源。虽然相关的道路法规已经出台，但是汽车仍作为自治系统。如今事故数量和交通拥堵与日俱增，这源自汽车数量的持续增长以及有缺陷的资源共享方式。接下来，人们需要采用新的方式来控制系统。新方式指的是新型应用，它可以支持车辆的完全自动驾驶。当前的重点在于特定困难情况下驾驶人操作的自动化。这些操作如果没有自动化支持，会导致事故数量的增加。此类应用的例子有：高速公路上车速自适应跟随头车、自动驶入高速公路、自动泊车。基于车用通信获取并以合作的方式使用周边环境感知信息，将是完成上述任务过程中向前迈进的一大步 [1, 2]。

智能交通系统的研究始于 20 世纪 80 年代末 90 年代初。开始时，研究方向从自动公路（AHS）转向智能车辆计划（IVI），试图提升安全性（驾驶人和其他道路使用者）、资源效率（道路的使用和燃油的使用）以及信息娱乐 / 高级驾驶人辅助系统（ADAS）。

在智能交通系统的研究早期，有三个方面的可能得到改善：车辆（如自适应巡航控制、碰撞避免系统）、道路（自适应速度控制、高级交通管理）和驾驶人（例如提供高级交通信息、碰撞警示）。当然，大多数研究项目采用了混合方式，即尝试改进上述所有三个方面。

此外，自适应巡航控制的通用可行性和技术成熟度也得到了汽车制造商的重



视，因为它们本来就已经将“检测前方车辆”“保持适当的距离”“支持停-走交通”这样的功能集成在其豪华车系中。然而，这些技术对道路安全和交通效率的长期影响仍然需要通过大规模的现场测试进行验证。目前的研究显示了车辆间通信如何提高主动安全性，接下来将对其进行详细介绍。

车用通信为诸如以下应用带来了好处：提供不同的警示的应用（关于道路事故或者交通警示），对传统的应用加以改进如自动调整车速与前车保持一致（合作式自适应巡航控制），高速公路上辅助车辆并线（合作式并线），辅助跟随头车（合作式车队），辅助碰撞避免（合作式避撞）。上述应用中，“合作式”一词表示车辆间以车间通信的方式交换信息从而相互合作。这种通信提供的功能例如：车辆周围 360° 情况感知，其可靠度远高于本车传感器，且能提供所有方向上更远的覆盖区域，对不同的隐藏危险（例如事故或者弯道后的障碍物）进行警示。与基于雷达的传感器等现有技术相比，这些功能是无与伦比的。传感器的一大缺点是受天气条件、泥浆和灰尘的影响。

车用通信开辟了新的功能，下面来看这一技术具体是如何实现的。在下一章中，我们将给出此系统的一个基本设计。

### 1.3 体系架构

针对不同的应用，车用网络中信息的传输可以采用多种方式。我们定义三种通信机制：双向通信、单跳通信和基于位置的多跳通信。每种机制都被设计用于特定的通信。双向通信是经典的双方向通信。另外两种机制是单向通信。单跳通信速度快，而多跳通信速度慢。这三种通信机制详见 3.1 节，3.2 节和 3.3 节。

为了发送应用层所使用的各个车载信息，我们需要一个协议来处理产生的消息并且尽量避免消息冲突。这被称为媒质接入控制（MAC）层。

为了在车用网络中发送消息，我们也需要物理信道以及专用的频率资源。这被称为物理层（PHY）。这里我们给出未来车用通信使用的协议，其名称为专用短距通信（802.11p）。

为了将一个数据包从源节点移动到目的节点，我们需要一个路由层。

架构，是“一个系统内各组件的基本组织方式，包括组件之间的关系，组件与环境的关系，以及指导该系统设计和演变的原则”[3]。

图 1-1 中给出了车用通信架构的概述。

图中顶层是应用层，它们是基于新的通信系统所诞生的应用；接下来是通信系统中从上至下的各个协议层。这里最上方我们给出了通信机制，然后是剩下的协议层：路由层、媒质接入控制（MAC）层和物理层（PHY）。与这些并列的是安全层。

首先，我们将介绍车用通信中的应用。

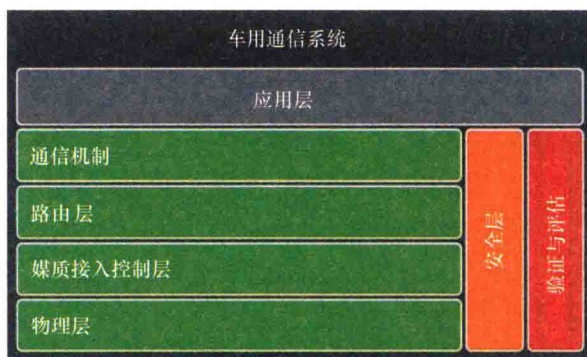


图 1-1 通信协议层架构

## 参考文献

1. L. Andreone and M. Provera, Inter-vehicle communication and cooperative systems: local dynamic safety information distributed among the infrastructure and the vehicles as “virtual sensors” to enhance road safety, <http://www.car-to-car.org>
2. B. van Arem, C.J.G. van Driel, and R. Visser, The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics, 2006
3. IEEE, IEEE standard 1471-2000: IEEE recommended practice for architectural description of software-intensive systems, 2000

## 第2章 车用通信应用

基于最新的分类方法（如 Car-2-Car CC 组织采用的），本书将应用分为如下扩展的三个顶层领域（图 2-1）：

- 安全。
- 资源效率（包括交通效率和环境效率）。
- 信息娱乐和高级驾驶人辅助服务（ADAS）。

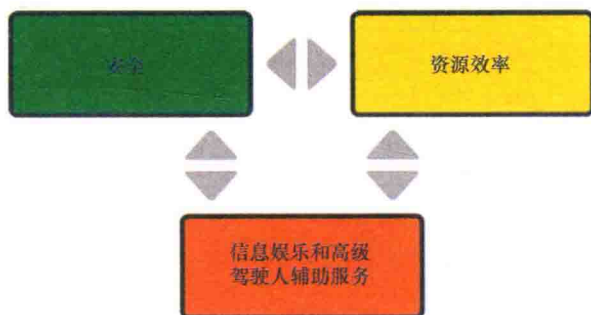


图 2-1 应用领域

安全领域，是指那些用于增强对车载乘员和车辆自身保护的应用或系统。该系统通过避免或减少事故影响来挽救生命。

资源效率领域，是指提升交通通畅程度，在今天和未来都有极大的意义，因为交通拥堵正在成为一个日趋严峻的问题。更高的交通效率将减少拥堵并降低燃油消耗，有助于降低对环境和经济的影响。

信息娱乐和高级驾驶人辅助服务领域，是向驾驶人或者乘客提供娱乐或信息服务。通过提供诸如不停车收费这样的各种服务，可以使得驾驶过程更为舒适。娱乐方面的例子有：通过车载按键、触摸屏或者声控等方式，播放音乐、拨打电话或收听文本消息。信息娱乐和高级驾驶人辅助服务还包括当前已经部署的系统，如导航系统、免提系统，或是提供车辆与智能手机/PDA/iPod 进行连接的智能接口。

2003 年，车辆多媒体接口联盟（AMI-C）提出对汽车相关的研究用例的分类

方法 [1], 该方法后来被 OSGi、ISO TC222、蓝牙、ITU-T 以及 1394 贸易协会所采纳。AMI-C 定义了 18 种一级类别 (以及 1 个额外的“组合”类别)。AMI-C 建议采用的通信技术多种多样, 包括现成的收音机 / 电视机、移动电话, 以及制造商提供的 V2V 通信硬件。

## 2.1 安全

我们通过分析事故统计数据, 定义最频繁发生的导致事故的交通场景。由此可以看出, 相比其他车辆检测和避撞系统, 基于车用通信的避撞系统可以提供意想不到的好处。

根据全世界范围内的车辆事故统计数据, 2004 年全球约 100 万人死亡, 约 4000 万人受伤 [2]。人们试图努力降低事故数目, 但由于车辆数目本身在持续增长, 采用现有技术很难达到这个目标。接下来, 我们将概述以下不同类型的事故 [3~5]:

- 正面碰撞 (与其他车辆)。
- 追尾碰撞 (与其他车辆)。
- 侧面碰撞 (与其他车辆)。
- 车辆与固定物体碰撞 (如树木)。
- 车辆与自行车碰撞。
- 车辆与行人碰撞。
- 车辆与动物碰撞。
- 车辆翻滚 (如弯道车速不当)。
- 平交路口事故 (火车道口)。
- 多车碰撞。

基于交通工具的 2004 年欧洲 (不含德国) 公路死亡人数分布 [6] 如图 2-2 所示。可以看出车辆排在首位 (54%), 接下来是行人 (14%)、摩托车 / 助力车 (20%)、自行车 (5%) 和货车 (5%)。

值得注意的是, 超过 80% 的死亡发生在良好的天气条件下 (图 2-3) [6]。

车载乘员的生命安全取决于驾驶人对例如突然出现拥塞尾端的突发事件的反应速度。其他因素, 诸如恶劣天气条件 (如雾 / 雨) 或者低能见度 (如弯道), 也会导致事故概率的增加。更有甚者, 许多主观因素 (视线差、缺乏经验、疲劳、饮酒) 都会导致驾驶人犯错或者反应过慢。然而即使最有经验的驾驶人也无法战胜自动化系统的反应时间。例如, 常见的失败原因是在紧急情况下未对制动踏板施加足够的力量。为此, 人们引入了半自动制动辅助功能, 它可以根据驾驶人踩踏制动踏板的速度, 及时启动全力制动。

道路安全始终是一个问题, 但由于汽车数量在不断增长, 事故总量也随之不断增加, 因此寻求更好的安全系统显得越发重要。汽车为现代世界带来了机动性和

自主性，但它也不幸地引发了如此巨大的人类生命损失。然而这一切是能够得到改变的。

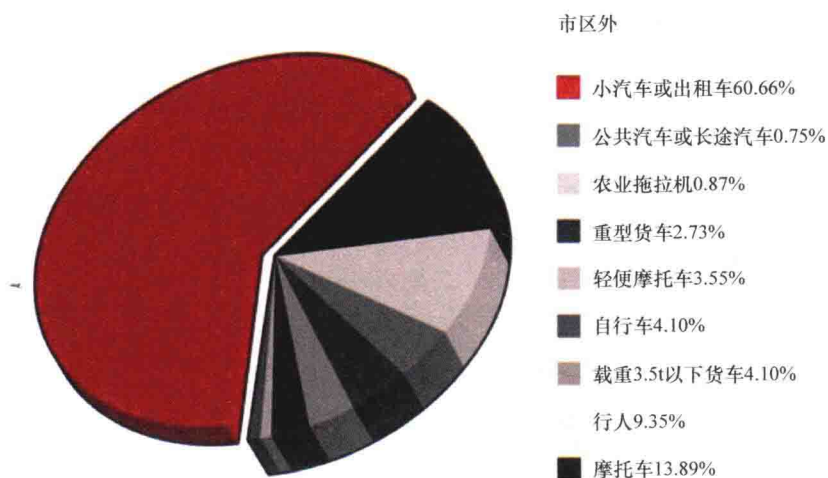


图 2-2 基于交通工具的欧洲全部事故 [6]

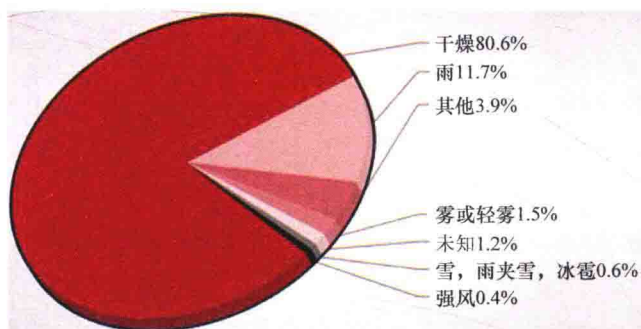


图 2-3 基于天气条件的 2004 年欧洲全部事故 [6]

今天，人们已经着手开展研究和开发工作 [7]，通过开发驾驶辅助系统来解决道路安全问题。该系统基于传感器技术，能够检测车辆周围的交通状况并在危险情况下警告驾驶人。这类系统被称为主动安全应用。这是一个开始，但仅仅依靠本地传感器是不够的。

解决方案是将主动安全技术提升至下一代水平，也就是我们所说的预防式安全，使得车辆之间可以彼此通信和协同，从而避免事故。我们的目标是将道路交通事故降低到与当今飞机失事相当的罕见程度。欧盟委员会在其安全程序中表达的愿景是 2020 年实现“零事故死亡” [8]。为了有效地实现“车辆感知周围状况”，除了车辆间通信外，车辆与基础设施之间的通信也是必要的。

需要为道路基础设施，例如交通信号灯、道路标识等，安装通信对端 [9]。这需要来自汽车制造商或者政府机构的直接投资。车辆到路边单元的功能可以更进一步，例如将车辆位置、速度传输给交通信号灯，使其适应交通需求。例如，在高峰时刻，车辆可以通知交通信号灯改变相位转换的时间。必要的话，交通信号灯可以缩短红灯时间、拉长绿灯时间，从而加快车辆通行速度。

预防式安全应用未来将会像现在的安全带一样普遍，但这可能需要较长的时间。安全带的普及花了几十年时间，最终还是在法律要求下得以实施。

然而，合作式安全应用需要安装比例达到特定程度才能工作。表 2-1 给出了车辆安装比例不同时对安全领域车用通信应用的影响 [9]。

表 2-1 应用的渗透率

应 用	所需渗透率
本地危险警告	低 (约 10%)
合作式驾驶	高 (100%)

可以看出，警告只需很低的渗透率（大于 10%）即可工作，而合作式驾驶则需要高的渗透率（100%）才能工作。这一数字基于仿真和实测结果，代表的是发挥正面作用（提供更多的时间用于避免可能的碰撞）的最低渗透率要求。由于合作式驾驶取消了驾驶人采取特定动作的责任，因此它必须 100% 可靠。这意味着它要求 100% 的渗透率。

基于所需的渗透率，我们首先将应用分为“合作行为”和“警告”，并简单概述“合作行为”的确切含义。安全领域应用的详细分类见 2.1.2 小节。

“合作行为”是指车辆通过通信，了解对方的意图和位置，从而实现彼此间合作的能力。车辆需要共享它们所拥有的信息。“合作行为”能够使用自车传感器以及其他车辆传感器，因此可以提升环境感知能力。合作式应用的例子有：合作式并线、合作式自适应巡航和合作式前向碰撞避免警告（2.1.2 小节描述）。

不同的警告，表示道路事故提升或者交通提示，目的是通过避免事故来提升交通通畅度。警告类应用的例子包括：危险警告，紧急车辆驶近警告，慢速车辆警告，交通拥堵警告。当然，所有这些警告都需要通过车用通信来实现可靠分发。

前面所述的车用通信应用给驾驶人以极大的好处。总之，它们以一种前所未有的方式创造新的信息或者共享已有的信息。

### 2.1.1 关键交通情形

下面给出可被避免的潜在交通事故的不同情形。可以基于以下因素对这些情形进行分类（图 2-4）：

- 道路 / 地点类型（直线、弯道、交叉路口、直路）。
- “障碍物”类型（汽车、摩托车、自行车、行人、动物、树木、支柱）。
- 参与双方的相对位置（会车、正向行驶、尾随行驶、侧向行驶）。



图 2-4 交通情形分类

下面将详细描述上述第三种分类，因为车用通信在这些场景中能够增强安全性。在该分类下的所有情形中，均要求具备以下检测系统：

- V2V 通信。
- 雷达。
- 摄像头。
- GPS 以及地图。

#### 2.1.1.1 近距离会车（迎面）

此场景必须考虑一些特殊需求，例如最小化将其误判为正向碰撞的虚警概率。另一方面，可能发生的侧向“剐蹭”是必须避免的。为了实现这些，必须维持一套所有运动数据的参数（位置、速率、朝向等）并实时更新。典型场景为：两辆车被迫在窄桥上近距离会车（图 2-5）。

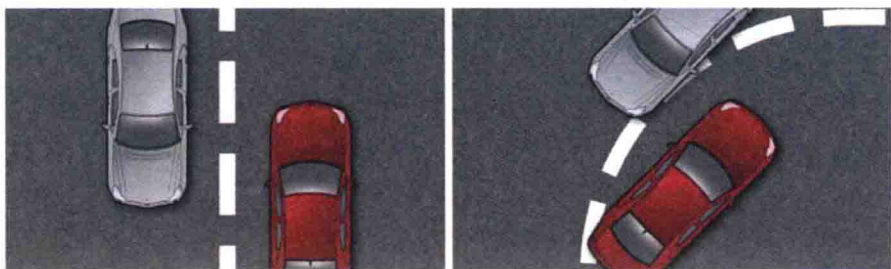


图 2-5 会车

#### 2.1.1.2 迎面车辆碰撞

此情形通常出现在超车中。车辆之间相对速度极高（两车车速之和），因此这类碰撞是最危险的（图 2-6）。

当对向行驶的两车距离达到“最迟制动点 / 制动距离”时，应进行如下分析：

- 如果可以成功完成超车（基于两车参数：加速度，速度，见上）=> 无须干预。
- 如果不能成功完成，那么需要考虑其他解决方案（依次）：
  - 制动并采取适当措施，保证车辆可以重新进入欲超车辆的后方间隙。

- 完全停止，若时间允许也可以掉头（如果上述行动无法完成）。这是一个尽量减少影响的极端解决方案。

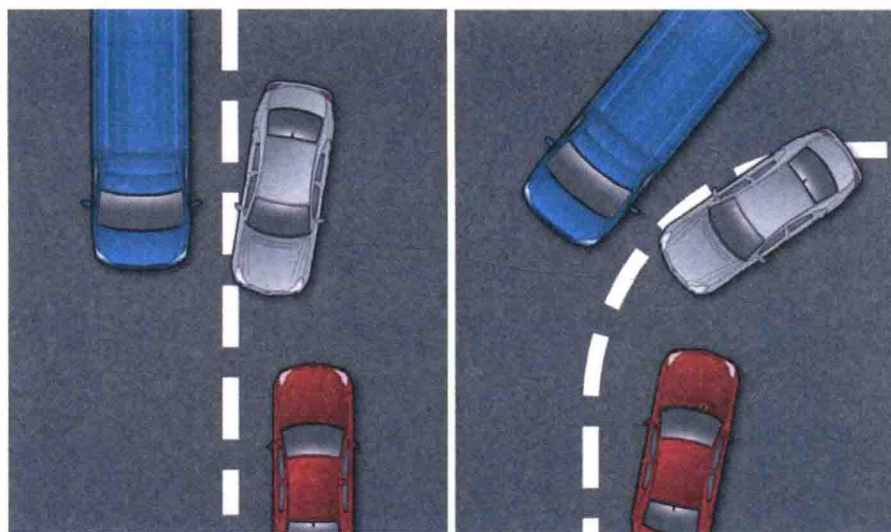


图 2-6 迎面车辆碰撞

在沥青干燥路面上，处于正向碰撞危险的，各自车速 120km/h 的车辆之间的停止距离约为 7s（140m）。超车距离取决于加速度（车型、速度），但可能需要 100m 至几百米，见表 4-4 和 [10]。

### 2.1.1.3 追尾车辆碰撞

此类碰撞在德国涉及死亡或伤害的事故中占比超过 17%[11]。根据参考文献 [6]，1998 年欧盟内（10 个国家，不含德国）所有事故（受伤和遇难）中的 13.3% 为追尾事故。同样，相比农村和城市，此类事故更常见于高速公路（图 2-7）。

应当基于每辆车的车型和当前速度来设置“最迟制动点”，以此来始终保持停车距离。例如，如果车辆行驶速度为 120km/h，它会知道其停车距离为 90m，而另一辆新车的停车距离可能仅为 60m。在双车道公路上超车时，如果总是要求与前车保持如 90m 这样的距离，那么会产生超车过程延长的问题。但是，如果并非每辆车都安装了碰撞避免系统，那会发生什么呢？此时前车应该同样监测其后车情况，从而确定后车是否无法及时停止（V2V 通信）。

一般而言，基于雷达的传感器（探测距离为 150m）[12, 13] 也许足以让车辆从 160km/h 的车速停下来（如果不叠加人的时延）。如果人为突破了“最迟制动点”（如超车中缩短车间距），以至后车无法及时完全停止，则需要进行分析：



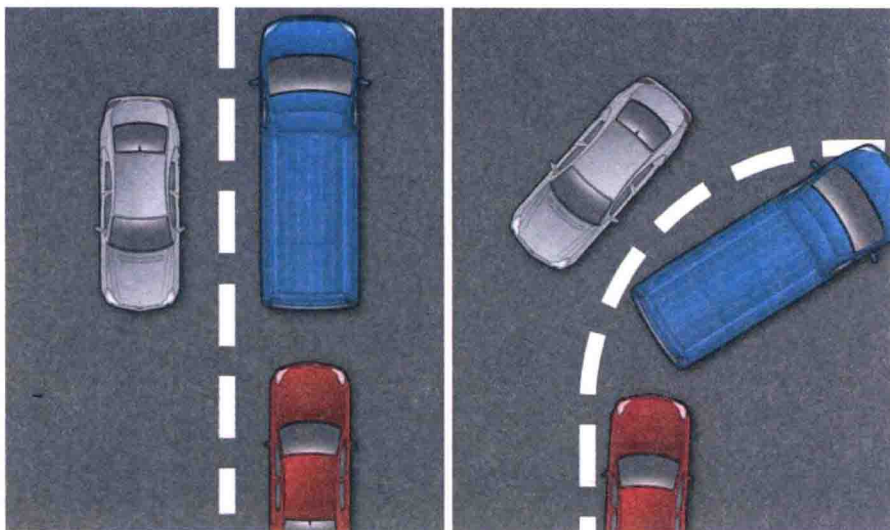


图 2-7 追尾车辆碰撞

- 制动并做出合适的动作以便刚好避开车辆（侧向雷达必须开启以确保可以实施该动作）。必须确定最佳应对方案，例如在本车道相撞速度为 80km/h，而避让到邻车道则相撞速度变为 50km/h，那就应该选择避让（要考虑碰撞中所有车辆的速度）。

#### 2.1.1.4 交叉路口侧向碰撞

交叉路口类型多种多样，侧向碰撞的角度不一定是直角。不考虑任何交叉路口信号而仅基于传感器实现碰撞避免系统一般是不可能的。为了避免在交叉路口碰撞，需要与基础设施（交通信号灯）和其他车辆进行通信——也可能实现采用视觉方式识别交通信号灯。仅基于传感器的碰撞避免系统可以在追尾场景的判决原则下工作，但只能在“一辆车已经进入交叉路口而另一辆车尚未进入且有足够时间完全停止”的条件下成功（图 2-8~图 2-14）。

“合流车道”是交叉路口中的一种特殊场景，可以使匝道车辆无碰撞地加入流动车流中。其中包括两个子场景：

- “换道”碰撞。如果多车平行行驶，其中一辆车需要驶入其他车辆的车道（匝道结束），则需要横向传感器以优先检测盲点（见图 2-15）。仅基于这些传感器将很难做出决定。因此为了在此场景下实现可靠的碰撞避免系统，一套 V2V 通信系统是有益的（为了建立行驶优先权/车辆间达成一致）。
- 如果车辆已经驶入前方，那么此场景将变为 2.1.1.3 小节描述的追尾碰撞避免。