

Wireless Vehicular Networks for
Car Collision Avoidance



车载无线网络 与防碰撞技术

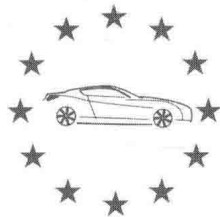
[法] 罗拉·娜迦 (Rola Naja) 主编

金立生 译



化学工业出版社

**Wireless Vehicular Networks for
Car Collision Avoidance**



车载无线网络 与防碰撞技术

[法] 罗拉·娜迦 (Rola Naja) 主编

金立生 译



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

车载无线网络与防碰撞技术/[法] 娜迦 (Naja, R.) 主编;
金立生译. —北京: 化学工业出版社, 2016. 7

书名原文: Wireless Vehicular Networks for Car Collision Avoidance
ISBN 978-7-122-27069-6

I. ①车… II. ①娜… ②金… III. ①汽车-无线电通信-通信
技术-应用-汽车-碰撞(力学)-安全性 IV. ①U462

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 102429 号

Translation from the English language edition:
Wireless Vehicular Networks for Car Collision Avoidance by Rola Naja
ISBN 978-1-4419-9562-9

Copyright ©2013 Springer New York.
Springer New York is a part of Springer Science+Business Media.
All rights reserved.

本书中文简体字版由 Springer New York 授权化学工业出版社独家出版发行。
未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分, 违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2015-0142

责任编辑: 陈景薇 刘琳
责任校对: 战河红

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装订: 三河市宇新装订厂
710mm×1000mm 1/16 印张 15 字数 285 千字 2016 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 88.00 元

版权所有 违者必究

想象力比知识更重要，因为知识是有限的，而想象力概括了世界的一切，推动着进步……

阿尔伯特·爱因斯坦

自 1886 年汽车诞生以来,驾驶安全问题一直是汽车制造商、经销商、保险公司、各国政府、相关研究机构等关注的重点和焦点问题。由于世界范围内公路网络的持续延伸、汽车保有量的不断增加以及驾驶人的非专业化等原因,交通事故已然成为“世界第一害”。世界卫生组织发布的数据表明,全球范围内道路交通死亡人数每年超过 124 万人。各种交通事故中,碰撞事故占绝大多数。面对如此严峻的交通安全形势,碰撞事故发生后做出响应的传统碰撞安全系统(如安全气囊等)已不能满足汽车消费者、相关政府部门对汽车安全的要求,研发能够避免事故发生的汽车主动安全防碰撞系统已成为各国政府、汽车研发机构亟待解决的问题。

随着车载无线网络的发展,实现车-车、车辆-道路基础设施间的通信已成为可能,这也为新型基于车-车、车辆-道路基础设施通信或两者结合的主动智能防碰撞系统的研发奠定了基础。与一些现有的汽车防碰撞系统相比,新型智能防碰撞系统通过车载无线通信、传感器等技术获取相关信息,并通过车-车、车辆-道路基础设施间的无线网络实现信息的交互与共享,从而避免碰撞事故的发生,同时亦可缓解交通拥堵问题,提高道路利用率。

在上述研究领域内,我国的研究起步较晚,为此,需要一本在这一领域内的高水平论著。本书由交通运输、交通安全等领域内的多位专家、学者共同编写而成。书中既涵盖了关于车载无线网络及其通信标准、碰撞事故类型及成因等一些基础知识的概述,也有许多如协同式汽车防碰撞系统等最新研究成果的介绍和实例的讲解,深入浅出,通俗易懂。

本书的读者群体包括汽车制造商、经销商、政府交通部门、电信部门等一些机构的相关工作人员,也包括车辆工程、交通运输工程、通信工程、自动化等专业的在校学生以及其他一些对智能交通系统、车载无线通信、汽车主动安全技术感兴趣的人。

本书的译编工作由吉林大学交通学院的金立生教授主持,参与相关翻译具体的人员:第 1 章,咸化彩;第 2 章,李科勇;第 3 章,杨诚,张昊;第 4 章,管信;第 5 章,高琳琳;第 6 章,陈梅;第 7 章,高琳琳,郑义;第 8 章,程蕾,刘辉。此外,吉林大学交通学院的李世武教授也对本书的译编工作给予了一定的支持和帮助。

在翻译本书过程中,由于语言方面的差异,且翻译水平有限,译文中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

译者

作为欧洲工业的重要组成部分，道路运输承担了内陆货运总量的 75% 以上，对整个欧洲工业以及商业起到至关重要的作用。欧盟针对汽车工业领域的科研投入占整个欧盟科研投入的 30%，足见其重视程度。但同时，上述情况也意味着道路交通部门将要面临许多困难与挑战，其中最为主要的就是车辆的可靠性、安全性、CO₂减排问题以及道路交通系统的安全问题。

道路交通事故已成为妨害公共安全的第一公害。配备车载电脑的新一代汽车能够与其他车辆及智能道路基础设施通信，也就是说，利用车载无线网络降低车祸发生概率已成为可能。

本书对发生在高速公路及街道上不同类型的交通事故场景进行了详细的分析研究，并解决了用于减少交通事故的车载无线网络研究中的难点与挑战。

与其他已出版的车载网络书相比，本书具有以下 5 个创新性特点。

- ① 概括分析了发生在公路上的不同类型的交通事故。
- ② 论述了交通事故发生的主要原因。
- ③ 阐述了车载无线网络及无线通信标准，为实现车辆与基础设施的互联奠定基础。
- ④ 演示了无线网络技术避免交通事故发生的过程，为被动道路安全提供了一种有效工具。
- ⑤ 对具体的事故场景进行了描述，并提出了采用车载网络的实用解决方案。

综上所述，本书列举并分析了道路安全的多个重要技术问题，供汽车公司、智能交通系统、设备制造、电信部门、保险公司等相关从业人员以及对智能交通系统感兴趣的在校研究人员和学生参考阅读。

Samir Tohmé 教授

PRiSM 实验室负责人 (CNRS UMR 8144)

凡尔赛大学圣康丁校区

作 者

AUTHORS

本书是交通运输规划、交通安全以及无线通信领域内的多位专家及杰出学者共同努力的结晶。在书中,这些专家和学者阐述了他们在智能交通系统方面的最新研究成果。

为本书做出突出贡献的合著作者包括:

- Anthony Busson, 教授, 里昂第一大学, LIP 实验室, 法国;
- Bart van Arem, 教授, 代尔夫特理工大学, 交通运输规划专业, 荷兰;
- Claudio E. Palazzi, 教授, 帕多瓦大学, 数学专业, 意大利;
- Klaus David, 教授, 卡塞尔大学, 通信技术协会主席(ComTec), 德国;
- Lisheng Jin(金立生), 教授, 吉林大学交通学院, 智能车辆实验室, 中国;
- Razvan Stanica, 教授, 里昂国立应用科学学院, 法国国立计算机与自动化研究所, 维勒班市, 法国;
- Rola Naja, 教授, PRiSM 实验室(凡尔赛大学), 巴黎高等电子与电工技术工程师学校, 法国;
- Subir Biswas, 教授, 密歇根州立大学, 嵌入式网络和无线系统实验室负责人, 美国;
- Véronique Vèque, 教授, 巴黎第十一大学, 信号与系统实验室, 法国;
- Alexander Flach, 博士, 卡塞尔大学, 通信技术协会主席(ComTec), 德国;
- Francois Dion, 博士, 加利福尼亚大学, PATH(Partners for Advanced Transportation Technologies, 先进交通技术合作伙伴)学会, 美国;
- Jing Bie (别静, 音译), 博士, 特温特大学, 交通研究中心, 荷兰;
- Mahmoud Taghizadeh, 博士, 密歇根州立大学, 电子与计算机工程专业, 美国;
- Maziar Nekovee, 博士, 英国电信公司及伦敦大学学院, 英国;
- Anh Tuan Giang, 硕士研究生(在读), 巴黎第十一大学, 信号与系统实验室, 法国;
- Armir Bujari, 硕士, 博士研究生(在读), 帕多瓦大学, 数学专业, 意大利;
- Mark Roelofsen, 硕士研究生(在读), 特温特大学, 交通研究中心, 荷兰。

致 谢

ACKNOWLEDGMENTS

首先，我要由衷地感谢对本书出版起到至关重要作用的评审专家，正是由于评审专家们的耐心和细心，对书中内容的严格把关，才使得书中的内容更为严谨，也更具实用价值。

其次，我要感谢为本书提出了许多建设性意见和独到见解的 Claudio E. Palazzi 教授、Véronique Vèque 教授、Mahmoud Taghizadeh 博士、Alexander Flach 博士、Jing Bie 博士、Maziar Nekovee 博士、Anthony Busson 教授以及 Mark Roelofsen 硕士研究生。

本书之所以能够达到较高的品质，与同行们的帮助和建议是密不可分的。在此，我衷心地感谢以下同行们给予的帮助：

G. Melodie Naja 博士，大沼泽地基金会，佛罗里达，美国；

Nicolas Puech 教授，尼斯瓦尔博纳国际学校，法国；

Zaheer Khan 博士，奥卢大学，无线通信中心，芬兰；

Mourad Gueroui 教授，凡尔赛大学，PRiSM 实验室，法国；

Samer Ammoun 博士，国立巴黎高等矿业学校机器人技术中心，法国。

此外，我还要特别感谢 G. Melodie Naja 博士在本书出版的各个阶段中提出的宝贵建议以及给予的帮助；感谢 Laurent Perroton 教授的支持和专业意见；感谢 Mohamed Akil 教授在本书策划阶段给予的鼓励；感谢我的家人和朋友在本书准备阶段的支持和帮助。同时，我也要感谢参与本书出版工作的所有人员，感谢 Springer 出版社，尤其是 Brett Kurzman 先生。这里，还要特别感谢凡尔赛大学 PRiSM 实验室负责人 Samir Tohme 教授，如果没有您一直以来的帮助和支持，本书很可能不会出版。最后，我要感谢贝鲁特阿拉伯大学的院长、副主席兼工程专业主任。感谢每一个对本书提出修改建议的人。

Rola Naja

r.naja@esiee.fr

缩写词汇

ABBREVIATIONS

ABS	Anti Lock Braking System	防抱死制动系统
AC	Access Category	访问类别
ACC	Adaptive Cruise Control	自适应巡航控制
ADAS	Advanced Driver Assistance System	先进驾驶辅助系统
A-ISS	Advanced Intersection Safety System	高级交叉路口安全系统
AHS	Automated Highway System	自动高速公路系统
AP	Access Point	接入点
AU	Application Unit	应用单元
BEB	Binary Exponential Back-off	二进制指数后退
B-ISS	Basic Intersection Safety System	基础交叉路口安全系统
BR	Backbone Record	骨干记录
BSA	Basic Service Area	基础服务区
BSS	Basic Service Set	基础服务集
C2C-CC	Car to Car Communication Consortium	车-车通信联盟
CA	Cooperative Awareness	协同感知
CALM	Communication Access for Land Mobiles	路面移动式无线电设备通信接口
CAM	Cooperative Awareness Messages	协同式提示信息
CAP	Controlled Access Phase	受控访问阶段
CAS	Collision Avoidance System	防碰撞系统
CCA	Car Collision Avoidance	汽车防碰撞
CCH	Control Channel	控制信道
CCW	Cooperative Collision Warning	协同碰撞预警
CDA	Cooperative Driver Assistance	协同驾驶辅助
CFP	Contention Free Period	无竞争周期
CICA	Cooperative Intersection Collision Avoidance	协同式交叉路口防碰撞
CICAS	Cooperative Intersection Collision Avoidance System	协同式交叉路口防碰撞系统
CICAS-V	Cooperative Intersection Collision Avoidance System-signal Violation	协同式交叉路口防碰撞系统-违反交通信号
CM	Countermeasure Module	对策模块
CoNa	Cooperative Navigation	协同导航
CP	Contention Period	竞争周期

CPM	Collision Prediction Module	碰撞预期模块
CRN	Congested Road Notification	道路拥堵提示
CSM	Cooperative Speed Management	协同速度管理
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance Clear to Send	载波监听多路访问/冲突避免
CTS	Clear to Send	清除发送
CVW	Cooperation Violation Warning	协同违规预警
CWS	Collision Warning System	碰撞预警系统
DARPA	Defense Advance Research Project Agency	美国国防部先进研究项目局
DCC	Distributed Congestion Control	分布式拥塞控制
DCF	Distributed Coordinated Function	分布式协调功能
DEN	Decentralized Environmental Notifications	分散式提示
DGPS	Differential Global Position System	差分全球定位系统
DIFS	Distributed(Coordination Function) Inter-Frame Space	分布式协调功能帧间间隔
DLC	Discretionary Lane Change	酌情换道
DP	Discrimination Power	辨识力
DS	Distribution System	分布系统
DSM	Distribution System Medium	分布系统媒介
DSRC	Dedicated Short-Range Communications	专用短程通信
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	直接序列扩频
DT	Decision Trees	决策树
DVI	Driver Vehicle Interface	人-车交互界面
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access	增强分布式信道接入
EEBL	Electronic Emergency Brake Light	电子紧急制动灯
EIFS	Extended Inter-Frame Space	扩展型帧间间隔
EKF	Extended Kallman Filtering	扩展卡尔曼滤波
ESC	Electronic Stability Control	电子稳定控制
ESP	Electronic Stability Program	电子稳定程序
ESS	Extended Service Set	扩展服务集
ETC	Electronic Toll Collection System	电子不停车收费系统
FCC	Federal Communication Commission	美国联邦通信委员会
FCW	Forward Collision Warning	前向碰撞警告
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	跳频扩展频谱
FHWA	Federal Highway Administration	美国联邦公路管理局
GES	General Estimates System	综合估测系统

GIDAS	German In Depth Accident Study	德国事故深入研究中心
GIS	Geographical Information System	地理信息系统
GPRS	General Packet Radio Service	通用分组无线业务
GPS	Global Position System	全球定位系统
GSM	Global System for Mobile Communications	全球移动通信系统
HC	Hybrid Coordinator	混合协调器
HCCA	HCF Controlled Channel Access	HCF 控制信道接入
HCF	Hybrid Coordination Function	混合式协调功能
HMI	Human Machine Interface	人机界面
HR/DSSS	High Rate Direct Sequence Spread Spectrum	高速直接序列扩频
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	高速下行链路分组接入
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access	高速上行链路分组接入
HUD	Head Up Display	平视显示器
IBSS	Independent Basic Service Set	独立型基础服务集
IC	Intersection Controller	交叉路口控制器
ICA	Intersection Collision Avoidance	交叉路口防碰撞
ICAS	Intersection Collision Avoidance System	交叉路口防碰撞系统
ICU	Intersection Control Unit	交叉路口控制单元
ICWS	Intersection Collision Warning System	交叉路口碰撞预警系统
ID-Code	Identity Code	识别码
IEEE	Institute Electrical and Electronics Engineers	电气与电子工程师协会
IFS	Inter-Frame Space	帧间间隔
ITS	Intelligent Transportation System	智能交通系统
IVC	Inter Vehicle Communication	车间通信
KNN	K-Nearest Neighbour	最临近 K 值
LCA	Lane Change Assistance	换道辅助
LC-L/R	Lane Change to the Left/Right	向左/右换道
LDWS	Lane Departure Warning System	车道偏离预警系统
LK	Lane Keeping	车道保持
LLC	Logic Link Control	逻辑链路控制
LTE	Long Term Evolution	长期演进
MAC	Medium Access Control	媒介访问控制
MANET	Mobile Ad-hoc Network	移动自组织网络
MFD	Maximum Following Distance	最大跟车距离

MIH	Media Independent Handover	媒介独立切换
MLC	Mandatory Lane Change	强制换道
MSDU	MAC Service Data Unit	MAC 服务数据单元
MSS	Minimum Safety Space	最小安全空隙
MUTCD	Manual on Uniform Traffic Control Devices	美国交通控制设施手册
NAV	Network Allocation Vector	网络分配矢量
NBM	Next Backbone Member	下一代骨干成员
NCSA	NHTSA's National Center for Statistic and Analysis	NHTSA 国家统计与分析中心
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration	美国国家公路交通安全管理局
OBU	On Board Unit	车载单元
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用
PAN	Parking Availability Notification	停车可行性提示
PCF	Point Coordination Function	点协调功能
PCN	Post Crash Notification	事故后提示
PIFS	Point Coordination Function Inter-Frame Space	点协调功能帧间间隔
POV	Principle Other Vehicle	原则其他车辆
PSD	Passing Sight Distance	超车视距
PSL	Parking Spot Locator	停车位定位器
QoS	Quality of Service	服务质量
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	正交相移键控
RADAR	Radio Detection and Ranging	无线电探测和测距
RFN	Road Feature Notification	道路特征提示
RHCN	Road Hazard Condition Notification	危险路段提示
RHCW	Road Hazard and Collision Warning	危险路段及碰撞预警
ROC	Receiver Operating Characteristic	受信者操作特性
ROI	Region of Interest	感兴趣区域
RSU	Road Side Unit	路边单元
RTS	Ready to Send	等待发送
RVM	Relevance Vector Machine	相关向量机
SBL	Sparse Bayesian Learning	稀疏贝叶斯学习
SCH	Service Channel	服务信道

SIFS	Short Inter-Frame Space	短帧间间隔
STA	Station	工作站
SV	Subject Vehicle	目标车辆
SVA	Slow Vehicle Advisor	慢车提示
TLSA	Time-to-Last-Second-Acceleration	最大剩余加速时间
TLSB	Time-to-Last-Second-Brake	最大剩余减速时间
TP	Traffic Probe	交通流量探测器
TS	Traffic Stream	交通流
TSPEC	Traffic Specification	流量规范
TTC	Time to Collision	碰撞时间
TTL	Time to Live	生存时间
TXOP	Transmission Opportunity	传输机会
UDM	Ubiquitous Data Mining	普适数据流挖掘
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	通用移动通信系统
UP	User Priority	用户优先级
USDOT	United States Department of Transportation	美国交通部
V2I	Vehicle to Infrastructure Communication	车辆-基础设施通信
V2R	Vehicle to Road Communication	车-路通信
V2V	Vehicle to Vehicle Communication	车-车通信
VANET	Vehicular Ad-hoc Network	车载自组织网络
VM	Vision Module	视觉模块
WAVE	Wireless Access for Vehicular Environment	车载环境无线接入
WLAN	Wireless Local Area Network	无线局域网
WM	Wireless Medium	无线媒介
WME	WAVE Management Entity	WAVE 管理实体
WSMP	WAVE Short Message Protocol	WAVE 短消息协议

目录

CONTENTS

绪论	1
Rola Naja	
第 I 部分 车载无线通信基础	9
第 1 章 智能交通系统通信调查	10
Rola Naja	
第 2 章 车载无线网络的服务质量——机制和挑战	37
Rola Naja, Razvan Stanica	
第 3 章 VANET 中的信息传播——协议和性能	64
Anh Tuan Giang, Anthony Busson, Véronique Vèque	
第 II 部分 不同类型碰撞的成因与防碰撞技术	85
第 4 章 追尾碰撞	86
Maziar Nekovee, Jing Bie	
第 5 章 连环碰撞事故	104
Mahmoud Taghizadeh, Subir Biswas, Francois Dion	
第 6 章 换道和超车碰撞	123
Jing Bie, Mark Roelofsen, Lisheng Jin, Bart van Arem	
第 7 章 交叉路口碰撞	162
Armir Bujari, Claudio E. Palazzi	
第 8 章 人-车碰撞	196
Alexander Flach, Klaus David	
索引	223

PROLOGUE

绪论

Rola Naja

最先进的科技往往与魔法毫无二致。

亚瑟·查尔斯·克拉克

《未来的轮廓：探究极限的可能》(1982年)



从自主式汽车到协同式智能通信基础设施

随着辅助驾驶系统的发展，近十年来汽车研究工作更加偏重于对道路安全方面的关注。总体来说，辅助驾驶系统依靠一些自主传感技术来实时感知车辆周围的环境。这些传感器技术能适时地提醒驾驶人注意危险，进而避免了许多交通事故，提高了道路安全。然而，由于传感器探测范围的限制，辅助驾驶系统工作能力是有限的。

尽管自主传感技术能够实时感知车辆周边情况，但要检测出潜在的危险则需要车辆和基础设施之间的协同，这种协作方式是基于以下条件开展的。

① 配备有车载协同系统的智能车辆。

② 智能化的基础设施，包括路边单元。

③ 安全中心或交通中心能够收集或发送来自智能车辆和智能基础设施的相关安全信息。

作为自主智能系统的扩展，协同式基础设施旨在改善获取安全相关信息的范围、质量和可靠性。事实上，分散分布和自控的路边智能车辆网络通信设备，能够在为驾驶人提供重要信息的同时，对安全临界条件也做出及时准确的判断。

这样一来，传感器的覆盖范围得以延伸，进而提醒并告知驾驶人所有的危险情况。为防止潜在的危险情况，留给驾驶人反应的时间也要相应的延长。因此，协同式基础设施将会在时空上得到扩展，仅受无线电通信范围的限制。

随后，基于此协作方式可以创建新型的安全应用。利用车载传感器和协作系统信息对驾驶背景和环境进行实时的重建，是这些应用的特征。这些应用将对驾驶人进行实时辅助，同时它们也会阻止一些临界安全情况的发生或在其发生时给予正确的处置。

从被动安全到主动安全

“被动安全”和“主动安全”是汽车安全领域的两个重要术语。被动安全的特征是在交通事故发生时以及发生后对驾驶人和乘客的保护。属于这一类的安全设备有安全带、安全气囊、车体结构以及性能材料。

目前，汽车制造业正将注意力转向同防碰撞技术相关的主动安全领域。值得

注意的是，主动安全现在越来越多地被描述成既能防止碰撞又能减少碰撞损失的安全系统。主动安全系统包括辅助制动系统、牵引力控制系统和电子稳定控制系统，这些系统通过对各种传感器的信号加以处理来帮助驾驶人控制汽车。另外，根据主动安全的定义，碰撞预警系统、防碰撞系统和碰撞损失减轻系统都属于主动安全系统。

主动安全系统的快速发展和传播只有通过对安全功能进行定义，集成为车载系统，并将它们通过无线通信技术连接成车联网。在这种情况下，车联网能够传播与辅助驾驶、预警及信息应用等相关的紧急通知。这些紧急安全通知能够对驾驶人进行提醒并且对驾驶人的行为有重大影响。

图 1 显示，在碰前阶段车载网络通信要优于蜂窝网络通信。在碰后阶段（碰撞之后的阶段），被动安全靠吸能装置、紧急呼救电话、救援系统和服务来实现。而在碰前预警系统中，车载通信在警告前方危险路况、不稳定驾驶、停车标志、紧急刹车、车辆换线、前方碰撞、交会口碰撞等情况中起着至关重要作用。

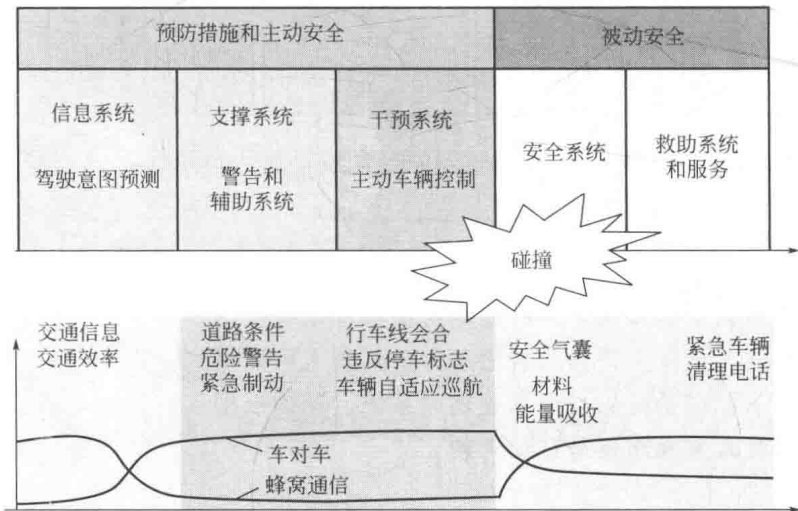


图 1 主动安全和被动安全 (Ref. HitachiEuope, Sophia Antipolits)

本书详细介绍了防碰撞和主动安全在减少碰撞风险中发挥的重要作用。通过本书，我们将会提出新的道路安全机制，以及在不久的将来会出现的创新型车载应用。

汽车自动驾驶和驾驶人自主驾驶

随着汽车变得越来越复杂，根据驾驶人的自动驾驶程度和车辆的自动化系统来决定在何时需要对驾驶过程进行干预，这是一个需要解决的重要问题。