



# 中国自动化学会通讯

COMMUNICATIONS OF CAA

主办：中国自动化学会

<http://www.caa.org.cn>

e-mail: [caa@ia.ac.cn](mailto:caa@ia.ac.cn)

## 中国智能车未来挑战



2011年6月

第2期

第32卷 总第163期

ISSN 2151-335X



6 915920 700067



# 2011中国自动化大会暨钱学森

2011 Chinese Automation Congress

大会顾问委员会主席：宋健

大会主席：戴汝为 孙优贤

执行主席：王飞跃

## 2011中国自动化大会

**大会主题** 不断提升自动化与信息、智能科学技术，积极献身建设创新型国家的伟大事业

2011年是国家“十二五”的开局之年，是向建设创新型国家奋力迈进的一年。以加快转变经济发展方式为主推动科学发展，坚持把科技进步和创新作为加快转变经济发展方式的重要支撑。2011年中国自动化大会（CAC 2011）的目的是从学术、技术、应用、企业、市场、产品等多方位、多层次、立体式地，为自动化领域的研究者和工程师们提供该领域内原创性科学思想的创新发展的机会，更好地发挥好自动化领域“服务企业、服务经济、服务社会”的良好作用，抓住关系国计民生的大项目，为国家科技进步、自主创新做出更大的贡献。

**征文范围** 2011年中国自动化大会欢迎自动化领域内各个研究方向的文章。录用的论文将编入2011中国自动化大会论文集光盘，会议优秀论文将以专题汇集成册，由IEEE Intelligent Systems, IEEE Transactions on Neural Networks, IEEE Transactions on Transportation Systems, 《自动化学报》，《模式识别与人工智能》，《控制与决策》，《控制理论与应用》，《机器人》，《控制工程》，《信息与控制》等国际国内权威杂志将出专刊形式出版，部分优秀论文EI检索。

## 庆祝中国自动化学会成立50周年大会

**大会主题** 继往开来，引领创新，迎接自动化新世纪

中国自动化学会成立于1961年11月27日，在庆祝建会50周年之即，中国自动化学会将汇聚为学会建设辛勤工作的新老工作者代表，以及为促进学会发展做出贡献的领导和部门代表，畅谈中国自动化学会的发展及未来。届时还将对学会建设做出杰出贡献的科技工作者以及一批先进学会工作者和优秀集体进行表彰和奖励，同时进行中国自动化学会优秀博士论文奖等表彰活动。

**主办单位：**中国自动化学会

**承办单位：**中国科学院自动化研究所

# 诞辰一百周年和五十周年会庆纪念

2011年11月26-29日 中国，北京

## 纪念钱学森诞辰100周年大会 暨钱学森教育思想研讨会

**大会主题** 学习钱学森伟大科学精神，践行钱学森创新教育思想，探讨我国创新型科技领军人才培养新理念

钱学森先生是一位德高望重的科学大师，是新中国火箭、导弹、航天事业的重要组织者和创业奠基人，中国自动化学会的创始人，是我国控制和自动化、系统工程等领域的先驱和领袖。为了全面贯彻落实好中共中央以及《中国科协关于广泛深入开展学习宣传钱学森同志活动方案》的通知精神，更好的弘扬钱学森的爱国精神，颂扬他杰出的科学成就，学习他勇攀高峰的创新思想。中国自动化学会将于钱学森先生诞辰100周年之即，邀请部分全国各高校、科研院所的专家学者，针对我国教育发展的现状，举行学习钱学森创新思想研究活动，挖掘、探讨钱学森教育思想理念，探索我国创新型科技领军人才培养的新模式。

**征文范围** 围绕钱学森先生提出的“大成智慧教育”构想、思维（认知）科学、社会思维与群体智慧、“现代科学技术体系”理论、科学技术与哲学的统一结合、品德情感与智慧能力并重、培养高尚品德和科学精神等创新的教育思想，以及在学习、继承、发扬钱学森践行大成智慧学，实践钱学森教育思想活动中的体会和经验等，挖掘、探讨钱学森教育思想理念和杰出人才培养模式的改革。

### 征文重要日期及联系方式

**论文截止日期：2011年6月30日；**

**论文接受通知日期：2011年8月15日；**

**终稿截止日期：2011年9月15日。**

联系单位：中国自动化学会办公室

联系电话：010-62544415

E-mail: [caa@ia.ac.cn](mailto:caa@ia.ac.cn)

通信地址：北京市海淀区中关村东路95号 自动化大厦509室 (100190)

最新信息请参阅中国自动化学会网站：[www.caa.org.cn](http://www.caa.org.cn)

**协办单位：清华大学、北京理工大学、西安交通大学、北京交通大学**

# Contents



第32卷 第1期 总第162期 2011年3月

www.caa.org.cn

主办单位：中国自动化学会



## 主编的话

如果有人问我过去都做过哪些科研项目,自己会感到无从说起;但如果有人问我我最喜欢哪些做过的项目,回答会很快:因为十余年前我主持的自主车VISTA的研制、测试和现场实验演示会立即映入脑中。这个项目对我而言,就像小孩喜欢自己心爱的玩具一样。也正是因此,二十多年来,我对各种各样的关于智能车或自主车的研发一直非常感兴趣。

本期是《中国自动化学会通讯》的第二个专刊,关注的恰好是中国智能车自主车研发之现状和发展。非常感谢郑南宁院士、王成红教授给予指导,感谢陈慧岩教授和汤淑明研究员负责主编这一专刊,并向为本刊贡献文章的各位专家学者深表感谢。

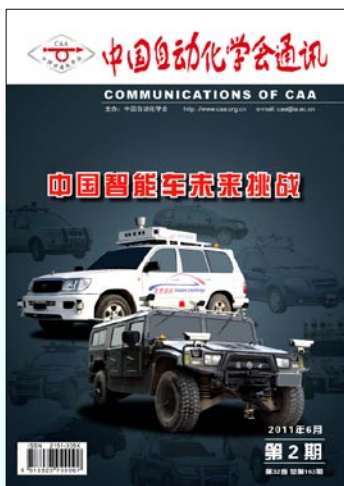
智能车自主车的研发是国家自然科学基金委“视听觉认知科学”重大项目的核心组成部分,也使这一计划成为一项深具特色的基础研究课题。智能自主车作为一个移动应用认知平台,可以开发、测试、集成,并最终应用各种各类视听觉认知算法。由于智能车的加入,原本抽象“摸不着”的研究,变得具体、形象,成果也在一定程度上可度、可视、更可比较,“是驴是马,可以拉到场上试一下”。结果研究不单基础,而且科普,不仅促进认知科学的发展,同时也能够扩大科研在社会大众中的影响力。

“智能车未来挑战赛”正是在此背景下于2009年在西安起步,而本期的文章就是来自参加2010年第二次西安比赛的十个智能车研究团队。去年Google和意大利两家自主车研发团队之

间在国际媒体中展开的科技影响之争,应给我们一个警示。希望“智能车未来挑战赛”能够坚持下去,并发展壮大,成为在国内外加强扩大我国科技影响力的一个著名品牌。

在此,盼望有兴趣的学者向《通讯》提交更多的专刊建议!

张发



## 专 题

- 1 《中国智能车未来挑战》序言
- 2 智能车辆的现状与思考
- 7 城市综合环境无人驾驶路面探测技术
- 12 乡村道路下基于主动视觉的道路检测
- 16 基于时空滤波的智能车辆运动显著性区域检测
- 22 基于地图特征点匹配的无人自主车辆定位方法研究
- 30 基于参数化运动模型和改进PSO算法的ALV运动规划
- 35 基于ASIFT的多视角交通标志识别
- 39 两种自动泊车系统算法和实验研究
- 43 An Autonomously Driving Vehicle for Urban Environment
- 53 “飞车时代”还是太远

## 译 文

- 55 工程界的诺贝尔奖——德雷铂奖

## 新 闻

- 57 平行管理系统在齐鲁石化等企业应用
- 58 程代展研究员荣获国际自动控制联合会《自动化》刊物最佳论文奖

## 本 刊 声 明

为支持学术争鸣,本刊登载学术观点彼此相左的不同文章。来稿是否采用并不反映本刊在学术分歧或争论中的立场。每篇文章只反映作者自身的观点,与本刊无涉。

# 录

Chinese Association of Automation

中国自动化学会通讯  
Communications of CAA

## 会员园地

### 59 学会动态

- 《自动化学报》编委会完成换届
- 第十届《自动化学报》编委会组成名单
- 第二届杨嘉墀科技奖评审会结束
- 院士院校行—戴汝为院士在西华大学举行专场报告会
- 我会开展2010年度 CAA科学技术奖励推荐工作
- 我会完成2010-2011控制科学与工程学科发展研究项目
- “2011中国自动化产业世纪行”活动隆重举行
- 第十二届中国（成都）自动化与仪器仪表学术交流会暨国际展览会在蓉城举行
- 学会党支部组织全体党员开展学习钱学森精神活动
- 第八届中国企业自动化与信息化(西部区域)建设论坛在成都举行

### 65 地方学会活动

- 成都自动化研究会走访调研7家会员单位
- 山东省自动化学会组织“企业科技创新研讨会”活动

### 67 工作计划

- 中国自动化学会“十二五”发展规划纲要

## 活动预告

### 封2 CAC2011活动预告

### 封4 第三届全国平行控制会议、全国平行管理会议、全国社会计算会议预告

刊名题字：宋 健

编辑出版：《中国自动化学会通讯》编辑部

编辑部主任兼执行编辑：李显强

编辑部副主任：吕爱英

地址：北京市海淀区中关村东路95号 邮编：100190

电话：(010) 6254 4415 E-mail: caa@ia.ac.cn

传真：(010) 6252 2248 http://www.caa.org.cn

## 编辑委员会

### 荣誉主编

戴汝为 CAA理事长、中国科学院院士、中国科学院自动化研究所研究员

孙优贤 CAA理事长、中国工程院院士、浙江大学教授

### 主 编

王飞跃 CAA副理事长兼秘书长、中国科学院自动化研究所研究员、社会计算与平行管理研究中心主任

### 专题栏目

#### 主 编

周东华 CAA常务理事、副秘书长、清华大学教授

#### 编 委

蒋昌俊 CAA常务理事、同济大学教授

戴国忠 CAA理事、计算机图形学与人机交互专业委员会主任委员、中国科学院软件研究所研究员

张丽清 CAA理事、生物控制论与生物医学工程专业委员会主任委员、上海交通大学教授

### 观点栏目

#### 主 编

孙彦广 CAA理事、副秘书长、冶金自动化研究设计院教授级高工

#### 编 委

范 铠 CAA理事、仪表与装置专业委员会主任委员、上海工业自动化仪表研究院教授级高工

陈宗海 CAA理事、系统仿真专业委员会主任委员、中国科技大学教授

张文生 计算机图形学与人机交互专业委员会秘书长、中国科学院自动化研究所研究员

### 新闻栏目

#### 主 编

陈 杰 CAA常务理事、副秘书长、北京理工大学教授

#### 编 委

熊范纶 CAA理事、农业知识工程专业委员会主任委员、中国科学院合肥物质科学研究院研究员

李艳华 CAA理事、遥测遥控专业委员会主任委员、中国航天科技集团公司第704研究所研究员

郝 宏 系统复杂性专业委员会秘书长、中国科学院自动化研究所高级工程师

### 译文栏目

#### 主 编

田 捷 CAA常务理事、副秘书长、中国科学院自动化研究所研究员

#### 编 委

刘 民 CAA理事、名词委员会主任委员、清华大学教授

王庆林 CAA理事、青年工作委员会主任委员、北京理工大学教授

刘德荣 系统复杂性专业委员会主任委员、中国科学院自动化研究所研究员

### 会员栏目

#### 主 编

张 楠 CAA专职副秘书长、办公室主任

#### 编 委

苏剑波 CAA理事、青年工作委员会主任委员、上海交通大学教授

柯冠岩 平行控制与管理专业委员会秘书长、国防科学技术大学工程师

薛成海 清华大学博士后联谊会会长、清华大学博士后

## 《中国智能车未来挑战》序言

研制具有自然环境感知与智能行为决策能力的无人驾驶车辆验证平台是国家自然科学基金委员会“视听觉信息的认知计算”重大研究计划的总体目标之一。为了推动和促进视听觉信息认知计算模型、关键技术与验证平台研究的创新与发展，确保实现该重大研究计划的总体科学目标，国家自然科学基金委员会相关学部与重大研究计划指导专家组决定自2009年开始每年举办一届中国“智能车未来挑战”比赛。比赛秉承以智能车辆为载体，交流和验证我国视听觉信息认知和计算的研究工作成果为宗旨。至今为止，已举办两届中国“智能车未来挑战”比赛，中国科学院自动化研究所均为承办单位之一，相关工作也得到了中国自动化学会的大力支持。在参与单位的共同合作、努力之下，特别是在国家自然科学基金委员会领导和重大研究计划指导专家组的高度重视和指导下两届赛事均取得了圆满成功。2010年中国“智能车未来挑战”比赛，中国科学院自动化研究所和北京理工大学共同承担赛事的技术评测和裁判工作，根据2010年参与比赛单位的具体情况，反映我国在智能车辆上的部分最新研究成果，特举办本期智能车辆专刊。

无人驾驶车辆技术的研究最早开始于上世纪八十年代美国国防部启动的战略计算（SCI）计划。在欧洲，1986年启动了名为欧洲高效与安全交通规则（PROMETHEUS）计划。几乎在同时期，德国慕尼黑联邦国防大学开发出了VAMORS自主车辆；日产与富士通联合推出了PVS自主车辆。上世纪九十年代，无人驾驶车辆技术进入快速发展阶段。亚利桑那大学研发的VISTA智能车辆就是当时典型的代表。值得一提的是，现为中国科学院自动化研究所（简称中科院自动化所）王飞跃研究员正是早期主持VISTA智能车辆项目的负责人和主要研发人员，于1999年VISTA智能车辆项目作为中科院自动化所和亚利桑那大学的联合研发项目继续开展，并于2003年提出数字试车场的概念。目前，中科院自动化所正与意大利帕尔玛大学开展中欧智能车联合研发项目。

与美国、欧洲、日本等发达国家和地区相

比，我国在无人驾驶车辆技术研究方面起步较晚，且研究单位主要集中在高校和科研院所。在国家“八五”、“九五”计划支持下，由南京理工大学、国防科技大学、清华大学、浙江大学和北京理工大学联合研制的“军用地面无人驾驶车辆ATB”代表了早期国内从事无人驾驶车辆技术研究的水平。“十五”期间，西安交通大学研制了SpringRobot无人驾驶车辆；清华大学和国防科技大学分别推出了THMR和CITAVT无人驾驶车辆系列。“十一五”期间，武汉大学、军事交通学院、装甲兵工程学院、中科院合肥物质研究院先进制造技术研究所、湖南大学、上海交通大学等高校和科研机构也陆续加入到无人驾驶车辆技术的研发队伍中来。更可喜的是，我国自主品牌的汽车制造厂商也开始逐渐关注无人驾驶车辆技术的研发。可以说，我国无人驾驶车辆的研究进入了一个蓬勃发展的阶段。恰逢此时，国家自然科学基金委员会（National Natural Science Foundation of China, NSFC）重大研究计划“视听觉信息的认知计算”启动，该计划以无人驾驶车辆平台为载体，将更加有力地推动相关技术的研发和进步。

展望未来，由于人们对出行需求的增加以及个性化的追求、交通法律法规的不断完善，相信随着无人驾驶车辆技术的深入研发，未来一旦进入实用阶段，可以肯定的是：1）无人驾驶车辆必将人们从长时间疲劳驾驶的状态中解放出来；2）可帮助残疾人方便实现自己驾车的梦想，使驾驶由满足人们的出行需求变成一种生活乐趣；3）有助于培养驾驶员良好的驾驶行为和习惯，使交通系统更加有序，减少交通堵塞，降低能源的消耗，减少碳排放；4）通过更智能的车载传感器更快感知周围环境变化，减少交通事故率，降低人们生命财产的损失；5）推进无人驾驶车辆技术在国家安全领域中的应用。可以相信，随着“中国智能车未来挑战比赛”的日渐成熟与规模化，中国无人驾驶车辆技术的发展必将快速赶超世界先进水平！



陈慧岩、汤淑明

# 智能车辆的现状与思考

徐友春<sup>1</sup> 舒 飞<sup>2</sup>

1. 军事交通学院汽车工程系

2. 军事交通学院研究生管理大队

**摘要** 本文分析了智能车辆在军事及民用领域的潜力,介绍了美国与我国智能车辆发展现状,指出了我国智能车辆研究存在的问题,并对发展我国智能车辆研究进行了思考。

**关键词** 智能车辆 思考

智能车辆(Intelligent Vehicle, IV),也称作无人地面车辆(Unmanned Ground Vehicle, UGV),是一个集环境感知、动态决策与规划、智能控制与执行等多功能于一体的综合系统<sup>[1]</sup>。

上世纪80年代以来,随着电子信息技术的飞速发展,智能车辆以其潜在的军事和民用价值,受到世界各国,特别是发达国家的高度重视。他们投入了巨大的人力物力,将智能车辆作为一种未来战略技术加以重视,通过30多年的努力,智能车辆已经接近实用,有的甚至走上战场。本文从智能车辆潜在的军事和民用价值以及国内外发展现状出发,对智能车辆的未来发展及其对我国相关研究的启示进行了初步探讨。

## 1 智能车辆的潜在价值

### 1.1 智能车辆潜在的军事价值

2005年,美国国防部在“21世纪战略技术”报告中讲道“20世纪的主战武器是坦克,21世纪的主战武器将是无人战车”<sup>[2]</sup>。该报告中提到的无人战车便是一种智能车辆。近年来,智能车辆在军事领域所展示出来的强大能力引起了各国政要和军事专家的高度重视。其军事价值主要表现在以下几个方面:

1)能够成倍地提高武器装备的性能。智能车辆由于不受乘员的制约,其加速度、转向速度等参数仅受限于机械本身,另外传统作战车辆所围绕人员防护目标所进行的大部分设计可以省略,原来用以人员的空间可以存贮更多的弹药,安装更强大的火炮,因此可以极大地提高车辆的机动能力、生存能力和攻击能力。

2)能够有效的节省人力,减少伤亡。随着“非传统”军事威胁的增多,以及在城市、水面、山地条件下执行反恐任务的增加,士兵和有人装备面临的威胁更突然、更直接、更致命。但是智能车辆能够代替参战人员完成部分作战任务,降低人员伤亡,并可以在诸如核生化污染区之类的恶劣环境下遂行任务,它不会疲倦,能够实现长时间、不间断作业。

3)能够更好地进行战场态势感知。在当今的城市反恐作战中,士兵进入建筑物时常遭到伪装炸弹、简易爆炸装置和武装分子出其不意的攻击。利用士兵随身携带的小型或微型智能车辆可以在士兵前方侦察各种危险情况:例如,小型或微型的智能车辆可以进入各种人员无法进入的狭小空间,侦察各种有毒气体或爆炸物等危险情况。再如,在一些能见度很低的(如烟、雾、尘)环境中,智能车辆可以很容易地利用其车载传感器获得周围环境中的各种危险情况,及时通知后方的作战人员。

### 1.2 智能车辆潜在的民用价值

智能车辆的开发不仅可以用于军事目的,而且在民用方面也具有广泛的应用价值。智能车辆技术在现阶段的民用领域主要用于汽车安全行驶,其民用价值主要表现在以下几个方面:

1)能够提供碰撞报警功能。它利用雷达或机器视觉,时刻监测前方障碍(车辆)的情况,发现危险就以声音或振动的方式提醒驾驶员,从而提高车辆行驶安全性。

2)能够提供自适应巡航功能。它利用雷达或视觉感知车辆行驶前方的车辆(障碍),并实时对车辆进行加

减速或制动控制,防止车辆发生追尾事故。

3)能够提供车辆偏离报警功能。它采用机器视觉作为道路的识别手段,通过实时检测驾驶的操作状态,当发现驾驶员没有操作意向而车辆行驶具有偏离正常行驶车道的趋势的时候,发出报警,用以提醒过度疲劳或解决长时间单调驾驶引发的注意力不集中等情况。

这些功能是目前世界发达国家正在大力实施的智能交通系统(Intelligent Transportation Systems, ITS)对车辆的具体要求。利用这些功能,可有效预防和减少交通事故,提高汽车的主动安全性。世界主要的汽车厂家都非常重视在汽车上的应用技术,智能车辆技术的应用将大大增加汽车市场的竞争力。

## 2 美国智能车辆的发展现状

目前,世界很多国家都在开展不同水平的智能车辆研发计划。但迄今为止,只有美国在此技术领域取得了突破性进展。美国最早提出智能车辆技术概念是从上世纪80年代开始,1983年美国国防高级研究项目署(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)成立战术技术办公室(Tactical Technology Office, TTO)负责自动陆地车辆(autonomous land vehicle, ALV)研究开发工作。到90年代中后期,美国陆军提出未来战斗系统(Future Communications Commission, FCS),该系统所列出的多项核心武器里都涉及到智能车辆技术<sup>[3]</sup>。在这个计划的促进下,美国已经明确了智能车辆的发展路线和发展方向,成立了由国防部、研究所、大学、企业等构成的技术研究联合体,并投入了大量的资金,开始了全面的、系统的智能车辆研究。现阶段美国智能车辆技术主要应用于军事领域,现已能够执行诸如侦察、巡逻、监视、扫雷破障、战斗突击、物资运输、紧急抢修与救险等多种任务。

美军的智能车辆主要规划为轻型、中型、重型和大型。其中轻型一般用于侦察和监视,配合士兵作战;中型种类很多,能够完成多种任务,包括侦察、巡逻、监测、攻击等;重型智能车辆定位于重型武器,如坦克、导弹车等;大型智能车辆定位于工程机械,用于工程作业或扫雷<sup>[4]</sup>。美军部分智能车辆相关情况如表1所示。

## 3 我国智能车辆的发展现状

与美国相比,我国在智能车辆方面的研究主要集中在

民用方面,但是起步较晚,规模较小,目前的研究机构主要集中在大学,属自发性研究。

吉林大学是我国最早智能车辆研究的单位之一。王荣本教授带领的智能车辆课题组从80年代后期开始智能车辆自主导航的研究,在环境感知、导航技术以方面有较为深入的研究,研发出的智能车辆具有人工手动遥控驾驶和自动行驶两种工作方式,可在无人操作的情况下自己按照驾驶标识路线前进,同时已具备单环境的直线、弧线行驶,自动报站等功能<sup>[5]</sup>。

清华大学计算机系智能技术与系统国家重点实验室在视觉导航系统和临场感遥控系统等方面有较深入的研究,研制出的清华移动机器人(Tsinghua Mobile Robot V, THMR-V)智能车在结构化道路上自动驾驶跟踪车道的平均速度已达到100km/h,最高时速可达到150km/h<sup>[6]</sup>。同时清华大学汽车工程系在李克强教授的领导下,主要进行汽车主动安全研究,在视觉导航、主动避障、离线报警等方面取得了较突出的研究成果,目前正在进行智能巡航控制系统、前碰撞预警系统等技术的实用化工作。

上海交通大学机器人研究所的杨汝清教授主要开展城市环境中的智能车辆研究,2007年研制出的样车最高时速为27km/h,能实现直道和弯道超车、路口多车协调等功能,该车计划2年内在上海世纪公园进行示范运营。

国防科技大学的贺汉根教授带领的智能车课题组也是我国较早进行智能车辆研究的单位,该课题组参与了1995年国防科工委和2005年军队相关项目的智能车辆关键技术研究,2003年与中国第一汽车集团联合研制的智能车CA7460在长沙试验成功,高速公路最高稳定自动驾驶速度为130km/h,自动驾驶的最高时速可达170km/h,并具备安全超车功能<sup>[7]</sup>。

浙江大学智能与通信系统研究所所长顾伟康教授曾承担国防科工委“军用地面智能机器人”项目,所研发的智能车直线跟踪速度达到20km/h,避障速度达到10km/h。

此外还有北京理工大学、武汉大学、湖南大学、军事交通学院、合肥中科院研究所近年来都开始了智能车辆的研究,并取得了一定的研究成果。

## 4 智能车辆的发展趋势

美国在智能车辆发展和应用领域一直都保持着最活跃的发展态势,美国智能车辆的发展基本上代表了未



表1 美军智能车辆研究情况统计表

类型	序号	名称	功能	特点
轻型	1	Dragon Runner	侦察	体积小, 机动性好
	2	MATILDA	武器投放、排爆	拥有机械臂
	3	T3	运输	强大机动性
	4	TALON	侦察, 运输, 拆弹, 核生化监测	可昼/夜运行, 具有两栖能力
中型	5	MULE	运输、排雷、攻击	能装备单兵
	6	GTUGV	侦察、监视、攻击	机动性好
	7	MDARS	自动化入侵检测	探测距离远
	8	MDARS-Exterior	检验、核查身份	检测精度高
	9	Autonomous UAV Launch Recovery Payload	提供无人机发射, 回收和加油的机动平台	节约时间, 并减少人员需求
	10	RCSS	探清路线, 排雷和排除电线障碍	安全, 高效, 可无线遥控和手动操作
	11	REDCAR	侦察、监视、目标跟踪	可配合其它智能车辆
	12	RONNS	爆炸物处理、侦察	可在不同环境执行任务
	13	SARGE	替代士兵完成一些危险的任务	辨认精度高
重型	14	RAAS	攻击、远程侦察, 监视和目标捕获	载重大
	15	ARTS	排雷, 回收未爆弹药	坚固、可靠
	16	CAT	攻击	多任务能力
	17	COUGAR	提供火力支援	多种无人系统综合
	18	DEMO III	能够在越野环境中自主道路规划	高度灵活, 越野性能好, 半自主运行
	19	Robotic Follower	载人运输, 跟随保障	较强机动性
大型	20	AOE	挖掘掩埋弹药	保障安全
	21	A-AOE	挖掘掩埋弹药	安全, 高效
	22	Panther	开路, 扫雷	能适应各种车辆
	23	M60 Panther	扫雷	灵活
	24	M1 Abrams Panther II	扫雷	安全, 高效

来智能车辆的发展趋势。

#### 4.1 向多军种、系列化、车族化发展

结合2009年美国陆军训练与条令司令部(Training and Doctrine Command, TRADOC)和坦克机动车研发工程中心(Tank-Automotive Research, Development and Engineering Center, TARDEC)联合发布的《机器人战略白皮书》, 分析当前美军智能车辆的发展规划, 综合考虑未来的装备需求, 可以发现智能车的发展将更加重视多军种、系列化和车族化的发展理念。美军目前所研发的智能车辆分别针对各军兵种不同的需求进行研

制, 如适应于海军陆战队要求的角斗士(Gladiator)无人战车, 适应于阿富汗排雷需要的微型连枷(Mini-Flail)扫雷车; 适应于城市环境的侦察、巡逻、监视等任务龙腾(Dragon Runner)小型智能车辆等。同时一部分智能车辆又发展出多种变型车, 以适应多样化的任务需要。例如美军发展的多功能通用/后勤装备车辆(Multifunction Utility/Logistics Equipment Vehicle, MULE)就是一个典型的代表, 它共包括3种变型车, 分别为: 运输型、扫雷型和轻型突击型<sup>[8]</sup>。

#### 4.2 总体技术上从专用型向通用型发展

现阶段所研究的智能车辆一般都是针对某种专门的任务而研制的，但是为达到最优的性价比，在总体技术上将逐步向平台的模块化、运载子系统的通用化方向发展，智能车辆的通用技术将是未来的研究重点。例如，由美国通用动力公司机器人系统公司为FCS研发的自主导航系统（Autonomic Navigation System, ANS）就是一种通用的智能车辆控制软件系统，现可以适用于美军所有的智能车辆。根据需求经过不同配置后，该系统可以实现不同的功能。着眼未来，这种方式将成为下一代智能车辆的主要研发方式。

### 4.3 以军事应用为牵引，以民间应用为推力，协调发展

军用技术与民用技术之间往往是交叉的，虽然智能车辆技术最初应用于军事领域，但也不能忽视其在民间的应用，它是一种军民通用的技术。例如美国的阿波罗登月计划、互联网、全球定位系统等最初都是军事项目，但这些项目发展起来之后转向民用，对社会经济的发展起到了巨大的推动作用，同时也促进了这些军事项目的进一步深入发展。智能车辆技术的发展在军事方面，重点应是发展智能车辆在越野道路、无路环境、核生化环境中的感知及控制技术；而民间应用则集中在车辆的主动安全、道路规划、辅助（自动）驾驶等技术。智能车辆的发展需要大量的投入和长期的研究，仅靠军事投入显然是不够的，然而将这种军事应用的技术孕育于民间应用中，则能够充分利用民间巨大的资源，极大地加快智能车辆技术的发展。

## 5 我国智能车辆研究存在的问题

近年来，国内智能车辆的研究正在不断扩大和深入，在多方面都取得了相应的成果，但仍然存在一些问题：

1) 决策层尚未充分认识到智能车辆的重要性。到目前为止，我国尚缺少成系统的智能车辆研究与应用发展规划，只是零散地进行一些与智能车辆相关的研究，而且项目经费很少，1995年到2010年间，国家直接投入智能车辆研究经费不到1000万元。而到2007年为止，美国已经在智能车辆领域资助超过100个项目，每个项目投入经费约50—500万美元，总经费超过10亿美元。

2) 研究机构条件简陋。直到2008年，国家科学技术委员会才开始资助人工智能方面的研究。在此之前，我

国的智能车辆研究一般都是高校所进行的自发性研究。这种研究仅仅停留在智能车辆某一方面技术的理论探讨式研究。如研究某种机器视觉算法，很大程度上只是进行理论仿真，只有少部分条件稍好些的能够进行一些简单的验证性实验。

3) 国内外相关技术差距明显。20世纪90年代智能车辆领域进行了多次具有代表意义的公开试验。德国慕尼黑联邦国防大学的VaMP实验车进行了从德国慕尼黑到欧登塞的道路试验，其中95%是自动驾驶<sup>[9]</sup>。同年美国宾夕法尼亚大学的Navlab系列自主车从美国宾夕法尼亚州开始的到加拿大的圣地亚哥的道路试验中很好的实现了道路跟踪<sup>[10]</sup>。然而从2009年和2010年我国举办的“中国智能车未来挑战赛”比赛情况上可以清楚看到，当时国外在公开实验中所表现出来的技术水平，我国到现在都还没有达到。我国的智能车辆整体水平还处于国外80年代末，90年代初的水平，相关技术差距非常明显。

4) 国内汽车公司还没开展相关研发。与国外汽车公司争先恐后投入重金研究智能车辆技术不同，我国的汽车公司还在延续着拿来主义的思想，对于智能车辆这样的原创性研究，目前还没有引起我国汽车公司的重视，这也是我国智能车辆与国外差距不断加大的重要原因。

## 6 对我国智能车辆研究的思考

从世界汽车发展史来看，曾经历了两次大的发展机遇。一次是从手工制造向机器大工业转化的机遇；第二次是机器大工业向精细化生产转化的机遇。这两次机遇我国都没有抓住，只处于跟踪模仿状态，不具有与国外汽车行业竞争的实力。从20世纪末开始，随着信息技术的广泛应用，汽车工业进入到从代步工具向智能机器人的转变的第三次发展机遇，智能车辆就是这次转变的标志。2009年起，以谷歌公司为代表的一批IT行业精英宣布开发智能汽车，这标志着智能车辆的研究已经超出了纯工业范畴，正在或即将变成以信息为主导的行业。那么在这种背景下，我国智能车辆的发展应该何去何从？

从军事的角度来看，智能车辆的出现意味着一种新的作战模式的出现，意味着新的作战理念、作战思维、作战手段的变革。如果不能充分认识智能车辆技术所带来的变化，就不可能应对未来的战场，忽视智能车辆对未来战争的影响，将会给我军带来灾难性的后果。因

此,必须重视智能车辆的军事潜力,下大力研制智能车辆的相关技术。

从民用的角度来看,我国的汽车工业不仅要在机械与电子领域继续追赶发达国家的技术水平,同时还应该更加重视信息技术所带来的汽车技术的变革。汽车工业的未来是以信息技术为代表的智能车辆的竞争,而智能车辆最核心的技术是集感知、决策、控制于一体的人工智能技术,也叫“汽车大脑”技术,目前美国制定的无人系统联合构架(Joint Architecture for Unmanned System, JAUS)其实质就是一种“汽车大脑”。目前JAUS已经发展到第4代,安装有JAUS的智能车辆将在未来的5-10年内开始实用,并在20年内进入民用车辆<sup>[11]</sup>。倘若我国不开发研制具有自主创新的“汽车大脑”,而只是跟踪模仿和引进,安装有美国“汽车大脑”的汽车随时会威胁到我国的安全,这种危险将比计算机操作系统的非国产化更为严重。

开发智能车辆是一个复杂的系统工程,它涉及到机械、电子、计算机、信息业、人工智能、传感系统等多个专业领域,任何一个领域研究的脱节都可能拖延智能车辆的研发进程。因此,必须把智能车辆的研究纳入国家的整体发展规划,有计划、有步骤地制定相应的发展战略。只有这样,才能将智能车辆所涉及的各项相关技术有效地整合起来,逐步缩小与世界先进技术的差距,使智能车辆在我国得到迅速的发展。



**徐友春** 军事交通学院汽车工程系教授. 主要研究方向为智能车辆。



**舒飞** 军事交通学院研究院理大队硕士研究生. 主要研究方向为装备建设与发展。

## 参考文献

- [1] Bishop, R. Intelligent Vehicle applications worldwide. IEEE Intelligent Systems and Their Applications, 2000, 15 (1) : 78-81
- [2] Chen Zhi-Cai. Summary of the U. S. Army' s Century Strategic Technology in the 21st. Modern Defence Technology, 1995, 1: 1-6(in Chinese)

(陈志才, 美国陆军21世纪战略技术概要. 战略防御, 1995, 1: 1-6)

- [3] Future Combat Systems (FCS) [Online], available: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/fcs.htm>, February 22, 2011
- [4] Committee on Army Unmanned Ground Vehicle Technology. Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles. The National Academies Press, 2002
- [5] Wang Rong-Ben, Zhang Rong-hui, Jin Li-Sheng, Guo Lie. Research on Steering Control Technology of CyberCar[J]. Transactions of the Chinses Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(7) : 39-42(in Chinese)  
(王荣本, 张荣辉, 金立生. 区域交通智能车辆导航控制技术[J]. 农业机械学报, 2007, 38(7) : 39-42)
- [6] Zhang Zheng-Wu, Ding Dong-Hua. The Design of Road Detection Algotirhm on THMR-V. Robert Technology, 2005, 21(12) : 115-117(in Chinese)  
(张振武, 丁冬花. THMR-V道路检测算法设计. 机器人技术, 2005, 21(12) : 115-117)
- [7] Deng Lian-Wen, An Xiang-Jing, He Han-Gen. ALV vision navigation based on road structure characteristic[J]. Journal of Jilin University(Inf ormationScienceEdition), 2004, 22(7) : 419-425(in Chinese)  
(邓剑文, 安向京, 贺汉根. 基于道路结构特征的自主车视觉导航[J]. 吉林大学学报(信息科学版)2004, 22(7) : 419-425)
- [8] Multifunction Utility/Logistics Equipment Vehicle [Online], available: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/fcs-mule.htm>, February 22, 2011
- [9] Bertozzi M, Broggi A, Fascioli A. Vision-based intelligent vehicles: State of the art and perspectives. Robotics and Autonomous Systems, 2000, 17(9) : 1-16
- [10] Shladover S, et al. Automated vehicle control developments in the PATH program. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 1991, 40(1) : 114-130
- [11] Carl P. Evans, Development of World Modeling Methods for Autonomous Systems Based on the Joint Architecture for Unmanned System, M. S. Thesis, University of Florida, 2009

# 城市综合环境无人驾驶路面探测技术

陈龙<sup>1,2</sup> 李明<sup>1</sup> 李清泉<sup>1,3</sup> 张亮<sup>1,3</sup>

1. 武汉大学时空数据智能获取技术与应用研究中心; 2. 武汉大学电子信息学院;  
3. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室

**摘要** 本文提出一种基于低成本传感器融合的综合路面场景可行驶车道检测方法,用于适应无人车辆从单一路面环境走向综合交通场景的路面探测需求,解决现有城市环境中存在的包括结构化和非结构化道路的多种路面情况、交叉路口和大曲率弯道时路面形态变化导致现有算法失效的问题。本文的融合算法分为数据集融合和决策级融合两个层次。检测算法用到安装俯仰角度不同的3个单线激光器得到的点云数据较准确的检测出路面范围,然后通过安装在车身左右的两台相机分别定位车身两边的可行驶车道线或道路边缘。实验表明,此方法能够快速准确的在多类路面中提取车道线或可行驶车道边缘,对存在大弯道的路面情况也有很好的效果。在智能车挑战赛综合赛段4公里的测试时,平稳通过校园道路和高速道路以及多个弯道,最高时速到达35km/h,用时最短、干预次数最少第一个抵达终点。

**关键词** 无人驾驶, 车道线识别, 数据融合

## 1 引言

车辆可行驶区域探测一直以来都是无人驾驶的研究热点,目前有许多检测系统和算法用于高速公路、城市道路以及乡村校园等道路环境,如AWSTM、AutoVue<sup>[1]</sup>、RALPH<sup>[2,3,4]</sup>、AURORA<sup>[5]</sup>、SCAR<sup>[6]</sup>、GOLD<sup>[7,8]</sup>、LOIS<sup>[9]</sup>。然而这些算法针对的场景都较为单一,在遇到路面环境变化的时候不能自动适应,因此为了考察无人驾驶技术的最近进展,2010年的未来挑战赛的综合测试就要求在不使用GPS定位和其他人工干预的手段下,一次通过包括校园和试车场两种截然不同的道路情况,不仅可以测试各个车队对单一行驶环境的认知能力(如车道线检测、路面范围检测),更可以考察无人车对道路环境变化的自适应,充分体现了考察多信息感知融合的认知能力。

从上面几种常用的传感器的对路面场景的不同视图的分析可以看出,采用单一的传感器单一视图可以处理一种场景。但对于要处理综合场景则必须实现多视图数据的融合。首先不同的传感器探测路面的信息差别很大,如Sick激光雷达探测的是路面的几何信息,但是只是一个断面的,IBEO的四线雷达探测也只是四个断面,对路面的精细尺度的分析不足。单目相机的探测是一个物体反射的成像结果,清晰度分辨率方面比较高。但易于被光线等外部条

件干扰。立体视觉,可以在单目视觉的基础上,获得视差信息,从而得到场景的几何信息,但这种几何信息的精度较低,而且随着距离的变大,误差很大。

融合可以从两个不同的层面进行,最简单的就是决策级融合即几种传感器的数据同时都通过识别处理,利用道路场景的模型,融合识别的结果,分别检测车道线和道路边缘,通过GIS的路段信息,优先选择检测结果是用车道线还是道路边缘。其次是数据级融合即在数据上进行融合,将激光雷达数据、单目图像都投影在一个平面坐标系下,分别提取几何、反射强度、视差、等特征,综合成为地面的起伏模型、车道位置、障碍物位置信息,通过训练判断,如果激光雷达从几何特征上确认是障碍物的样本,可以将同样位置的图像信息确认为障碍物,加入到图像识别的训练样本中去,同样图像识别的结果也可以供激光雷达数据处理学习所用。实现不同传感器、数据的不同视图间的协同训练,以保证训练后的路面检测分类器的泛化性(即有更强的适应不同环境的能力)。同时也可以减少人工标记道路样本的工作量,更好的实现对综合道路环境的适应性。从中得到最后的可通行道路范围。

基于该问题,本文提出了一种基于多层数据融合的多场景可行驶道路边缘的检测算法。本文算法通过3台

俯仰角度不同的单线激光器较准确的限定车辆可行驶的道路区域，之后通过安置在车身左右两侧一定角度的相机分别探测车体左右可行驶的车道的边缘信息。在结构化车道上行驶时视频数据会给出精确的车道线，在非结构化车道上时激光和图像检测结果同时决定车辆行驶的范围。图1为本算法实验平台武汉大学智能车，红框中的三个SICK激光器和黄圆中的相机是本文采用的传感器。本文方法的特色主要有两点：

1 用低成本传感器协同工作解决多类可行驶路面探测的问题。

2 通过多相机的组合覆盖更全面的视场，保证急弯道探测的准确。



图1 武汉大学智能车以及算法流程

本文的安排如下：第二节简要介绍激光图像数据统一坐标变换；第三节描述基于Z值方差的3台单线激光组合的道路范围检测算法；第四节是基于视觉的路面可行驶车道探测；实验分析在第五节，第六节给出结论。

图2为激光和图像决策级策略，首先3个俯仰角度不同的激光器通过Z值方差的算法探测出三个断面的路面范围，通过激光结果初步判定出车辆坐在位置是路口或是路段，同时大概判断路面宽度即可得知车道个数。根据以上结果可以在平坦路面范围内进行车道线的确认，结构化车道线会有清晰的车道标记，非结构化车道会在激光和图像联合分割的区域边缘。进过以上假设处理，可以简化车道线检测的范围，更精确的锁定目标。最终激光结果会和多视角融合后的车道线检测结果相验证得出车辆应当行使的车道。具体算法分为以下几步：激光图像的路面投影，通过多激光协同进行路面范围探测，多视图的车道线检测。

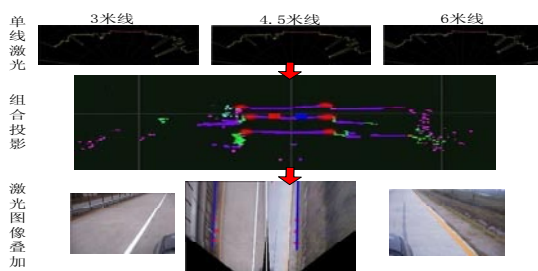


图2. 激光图像融合策略

## 2 激光图像的路面投影

本步骤的目的是将激光和图像统一到车体坐标系下，决策级融合做好准备。本文采用的统一坐标系为车体坐标系，将激光扫描仪空间坐标系以及相机坐标转为车体坐标并投影在地表面上，此时假设车体与地面平行。系车体坐标系（VCS）的定义为：原点0位于车头中间；Y轴与车体中轴线一致，指向车前进方向；X轴垂直于Y轴，且XOY平面平行于车底板；Z轴与X、Y轴构成右手坐标系（图3）。激光扫描仪空间坐标系（LSCS）的定义为：取激光扫描仪扫描中心为原点，第一条光线（扫描基准线）为X轴，扫描平面上与X轴垂直的光线为Y轴，Z轴与X轴、Y轴构成右手坐标系。通过公式1将3台激光点云数据以及图像数据都投影在路面平面上。

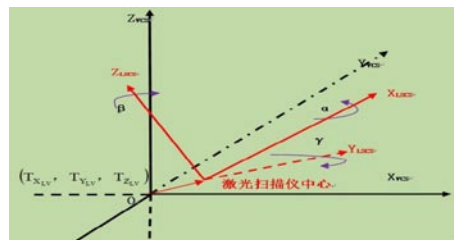


图3车体坐标系与激光空间坐标系之间的相互关系

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_V = \begin{pmatrix} T_{X_V} \\ T_{Y_V} \\ T_{Z_V} \end{pmatrix} + (1 + m_V) \mathbf{R}_3(\beta) \mathbf{R}_2(\gamma) \mathbf{R}_1(\alpha) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_L \quad (1)$$

其中， $[T_{X_V}, T_{Y_V}, T_{Z_V}]$  为激光坐标系原点在车体坐标系中坐标， $\mathbf{R}_3(\beta) \mathbf{R}_2(\gamma) \mathbf{R}_1(\alpha)$  旋转矩阵， $m_V$  为比例因子。图像数据可以通过透视变换完成。我们假设路面是平坦的，此时可以通过一个单映性矩阵来进行变换得到投影到路面上的图像：

$$\begin{pmatrix} \alpha x \\ \alpha y \\ \alpha \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

其中(u, v)为点在原图像上的坐标，(x, y) 为通过透视变换后的坐标。H为单映性矩阵。单映性矩阵矩阵可以通过4个相关点的简单的相机标定得到。标定方法可以在许多机器视觉参考书上得到如[10]

## 3 多激光器协同路肩探测

### 3.1 路肩模型

在智能车感知模型中假设道路扫描模型中如图4所示，道路区域与非路区域如人行道、草皮、隔离栏之间存在

明显的高程变化。当车行进在道路上时，激光器以一定的倾角在180°范围内对道路进行扫描，激光束扫描平面与此模型相交形成连续的线段 ABCDEF，其中，线段 BC与DE代表道路边界。

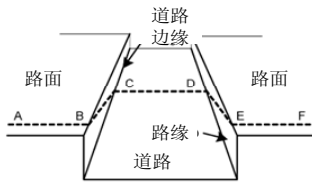


图4 算法流程图

### 3.2 基于Z值方差的路肩探测

基于Z值方差的路缘探测认为路面较为平坦，将所有扫描点先转换到车体坐标系中，第i点的Z值方差计算如下：

$$D_i = \frac{1}{9} \sum_{k=i-4}^{i+4} Z_k \quad (3)$$

由于路面平坦，因此路面上的扫描点Z值方差较小，而路缘处的Z值方差较大。

探测步骤如下：

1. 计算除最前面4个点和最末尾4个点以外所有扫描点的Z值方差；
2. 相邻两个Z值方差大于阈值且X方向距离大于车宽的扫描点构成备选路段；
3. 根据各备选路段的平均高程、中心点距车头的距离以及宽度计算各备选路段的权值；
4. 认为权值最大者即为道路。

三个激光器分别探测车头前方2m、3.5m和5m的范围，通过找出的左右两变分别三个路肩点后通过最小二乘拟合出车道边缘直线，图像分析只在车道范围内进行。如图2，首行从左到右分别为2m、3.5m和5m的激光线扫描结果，第二行为坐标统一后的组合结果，第三行是激光和图像叠加后的结果。中红点为路边缘点，蓝色直线为拟合结果。

## 4 多视图行驶车道边缘探测

为了克服在大曲率弯道下视场丢失的问题，本文采用三台相机分别探测车体左右两边的车道。图5为多相机融合示意图。相机安置时保证一个相机可以覆盖到车头前方15米，垂直车身方向4到10米的范围，这个视场足以保证在大弯道拐弯时不会丢失道路信息。同时为了保证算法对结构化和非结构化车道都有良好效果，引入

了均值漂移算法对图像做分割。图6为算法的流程：对进行单映性变化后的图像进行高帽变换去来减弱外界光线变化以及复杂道路背景对车道线检测的影响。对高帽变换后的图像做边缘提取并二值化，将结果图像与原始图像经均值漂移算法得到的分割线图做与运算保留下可能为车道边缘的所有点。最后对次图做行扫描得到控制点通过分段拟合成最终车道线。

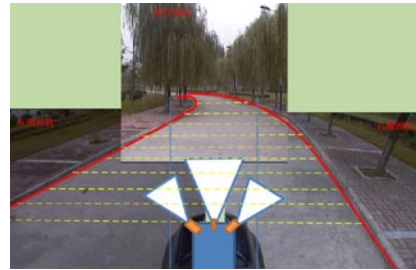


图5 多视图融合车道线探测

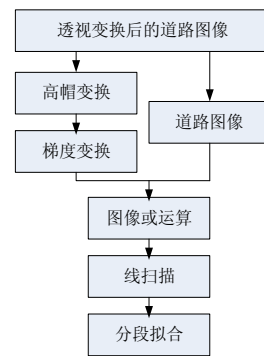


图6 车道线检测流程图

### 4.1 高帽变换预处理

本文提出利用数学形态学中的高帽变换，对车道图像进行预处理，来减弱外界光线变化以及复杂道路背景对车道线检测的影响。高帽变换是数学形态学中一种常用的变换，该运算通过对数学形态学中的基本运算进行组合，利用合适的结构元素，将需要的目标从复杂的背景中提取出来。首先介绍形态学的基本运算：

$$\text{腐蚀: } (f \ominus g)(x, y) = \min_{i, j} \{ f(x-i, y-i) - g(-i, -j) \} \quad (4)$$

$$\text{膨胀: } (f \oplus g)(x, y) = \max_{i, j} \{ f(x-i, y-i) + g(-i, -j) \}; \quad (5)$$

$$\text{开启: } f \circ g = (f \ominus b) \oplus b \quad (6)$$

$$\text{闭合: } f \bullet g = (f \oplus b) \ominus b \quad (7)$$

$$\text{高帽变换: } h = f - (f \circ b) \quad (8)$$

其中， $f$ 代表图像的灰度值， $g$ 代表结构元素的灰度值。高帽变换可以增强对比度，减弱光照影响同时可以去除一些像素和超过结构元素大小的对象，从而去除一些地面非车道线的道路标记。

## 4.2 均值漂移

均值漂移算法是一种无监督、非参数的聚类算法。与传统的k均值、模糊k均值算法相比，快速均值漂移算法无需知道聚类的个数，因此它被广泛地应用于自动分类中。其基本思想大致如下：选择数据样本集  $X = \{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ ，并且  $\bar{x}_i \in R^d$ ，对该样本集进行概率密度估计，得到概率密度函数

$$f_k(\bar{x}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{h^d} K\left(\frac{\bar{x} - \bar{x}_i}{h}\right) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{h^d} k\left(\left\|\frac{\bar{x} - \bar{x}_i}{h}\right\|^2\right) \quad (9)$$

式中： $h$ 为概率密度估计时窗口的宽度； $K(x) = k(\|x\|^2)$ 为核函数，一般采用高斯核，其表达式为  $K(\|x\|^2) = \beta \exp(-\delta \|x\|^2)$  对式(6)求梯度，可以得到  $m(\bar{x}) = C \frac{\hat{\nabla} f_k(\bar{x})}{\hat{f}_G(\bar{x})}$  式中： $C$ 为常数； $\hat{\nabla} f_k(\bar{x})$ 为核密度估计梯度； $\hat{f}_G(\bar{x})$ 为由核函数  $G(x)$ 得到的概率密度函数，其中  $G(x) = c'g(\|x\|^2)$ 为核函数，且  $g(x) = -f'(x)c'$ 为常数。 $m(\bar{x})$ 又可以表示为

$$m(\bar{x}) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{h^{d+2}} x_i g\left(\left\|\frac{\bar{x} - \bar{x}_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{h^{d+2}} x_i g\left(\left\|\frac{\bar{x} - \bar{x}_i}{h}\right\|^2\right)} - \bar{x} \quad (10)$$

$m(\bar{x})$ 则被称为快速均值漂移向量。由式(3)可以看出，均值漂移向量在  $\bar{x}$  点处指向概率密度函数最快增长方向。因此，均值漂移算法的迭代公式为

$$\bar{x}^{(k+1)} = \bar{x}^{(k)} + m(\bar{x}^{(k)}) \quad k = 1, 2, \dots \quad (11)$$

将该算法应用于图像分割中，选取像素的灰度值作为样本点的特征。设  $\{x_i | j = 1, 2, \dots, N\}$ 为整幅图像的像素灰度值构成的集合，其分个步骤如下：

(1) 选择存储的第一个像素灰度值为  $c_1$ ，这时  $C = \{c_1\}$ ；

(2) 计算  $x_i$  与  $c_j \in C$  的欧氏距离，如果  $\|x_i - c_j\| < T$ ，则将该像素分为  $<T$ 类，继续下一个像素的计算；

(3) 如果  $\|x_i - c_j\| < T$ ，则把  $x_i$  定义为新的聚类中心，继续下一个像素的计算；

(4) 分类结束是，按照式(7)更新  $c_j$ ；

(5) 对  $c_j \in C$ ，由式(8)开始迭代，其中  $c_j^{(0)} = c_j$ ，最后将迭代后的收敛点记为  $\mu_j^C$

$$c_j^{(k-1)}(\bar{x}) = \frac{\sum_{p=1}^m n_p c_p g\left(\left\|\frac{c_j^{(k)} - c_p}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{p=1}^m n_p g\left(\left\|\frac{c_j^{(k)} - c_p}{h}\right\|^2\right)} \quad (12)$$

(6) 最后对聚类收敛点进行合并  $\forall \mu_a^C, \mu_b^C, (1 \leq a, b \leq m, a \neq b)$ ，如果  $\|\mu_a^C - \mu_b^C\| \leq r$ ，则将  $a, b$  两类合并，其中  $r$ 为合并阈值。

## 4.3 分段扫描拟合

将经过均值漂移得到的边缘线图像与通过高幅变换并梯度运算后的图像经过或运算保留下可能为车道分界线的所有点的图像，对此图像进行从车身向两边的线扫描，将保留点进行分段最小二乘集合得到最终车道线。

## 5 实验结果

程序基于VC++6.0开发，运行环境为Windows XP，CPU Intel Pentium (R) 2.5GHz，RAM 2G。处理帧率为15帧/秒。实验结果表明本算法对于结构化和非结构化车道线都有很好的稳定性和准确性。实验了10000帧数据，平均错误率低于10%。本算法也在无人驾驶智能车大赛中经过了包括校园道路及高速道路以及多个弯道的复杂道路情况的检测，取得了很好的成绩。算法中没有复杂的处理实时性很高。其准确性和实时性很好的满足了智能车的无人驾驶车道线识别的要求。

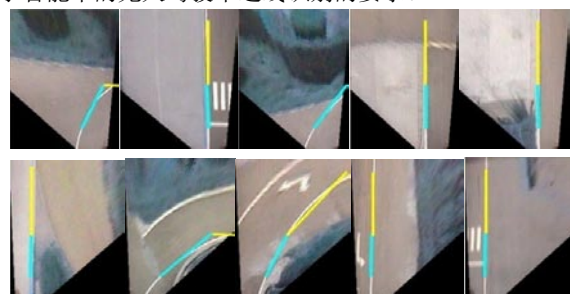


图7 车道线检测实验结果

图8为SmartVII参加的无人驾驶智能车综合挑战赛介绍，智能车挑战赛道分为校园道路和高速道路，园区道路中道路宽度随时变化，车道线时有时无，高速道路上有明显的车道线，比赛中还有几个曲率很大的弯道。在本算法的指导下，本车队在干扰次数最少用时最短的情况下第一个抵达终点。在园区道路时速到为5-10km/h，在高速道路上时速为20-35km/h。同时本车顺利通过了环岛等多个弯道。



图8 综合比赛过程介绍

## 6 总结

本文提出一种基于低成本传感器融合的综合路面场景可行驶车道检测方法，用于适应无人车辆从单一路面环境走向综合交通场景的路面探测需求，解决现有城市环境中存在的包括结构化和非结构化道路的多种路面情况、交通路口和大曲率弯道时路面形态变化导致现有算法失效的问题。实验表明，此方法能够快速准确的在多类路面中提取车道线或可行驶车道边缘，对存在大弯道的路面情况也有很好的效果。在智能车挑战赛综合赛段4公里的测试时，平稳通过校园道路和高速道路以及多个弯道，最高时速到达35km/h，用时最短、干预次数最少第一个抵达终点。

### 参考文献

- [1] Iteris' Lane Departure Warning System Now Available on Mercedes Trucks in Europe. The Source for Intelligent Vehicle News, IVsource. June, 2000:71~75
- [2] Parag H. Batavia, Dean A. Pomerleau, Charles E. Thorpe. Predicting Lane Position for Roadway Departure Prevention. Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. October, 1998:245~251
- [3] Parag H. Batavia. Driver Adaptive Warning Systems, tech. report CMU-RI-TR-98-07, Robotics Institute, Carnegie

Mellon University, March, 1998:5~25

- [4] Massimo Bertozzi, Alberto Broggi, etc. Artificial Vision in Road Vehicles. Proceedings of the IEEE. 2002, 90 (7):1258~1271
- [5] Mei Chen, Todd Jochem, Dean Pomerleau. AURORA: A Vision-Based Roadway Departure Warning System. IEEE Conference on Intelligent Robots and Systems. Human Robot Interaction and Cooperative Robots. 1995:243~248
- [6] Dean Pomerleau, Charles Thorpe, Lloyd Emery. Performance Specification Development for Roadway Departure Collision Avoidance Systems. Proc. Of 4th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Berlin, Germany, 1997:21~24
- [7] M. Bertozzi, "Vision-Based Vehicle Guide" IEEE, 1998.
- [8] M. Bertozzi, "Gold: A parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection," IEEE Transactions on Image Processing, vol.7, no. 1, pp. 62-81, Jan 1998.
- [9] K. Kluge and S. Lakshmanan, "A deformable-template approach to lane detection," in Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, vol. 1, Jun 25-26 1995, pp. 54-59.



**陈 龙** 博士，武汉大学信号与信息处理专业博士，师从李清泉教授，一直从事视觉感知及模式识别方面工作。无人驾驶智能车中负责视觉感知全部工作。

**李 明** 副教授，武汉大学摄影测量与遥感专业博士、副研究员，师从李清泉教授，长期从事车载的多传感器集成、激光雷达数据处理、行驶环境感知的工作。

**李清泉** 教授、博士。国家科技部“十一五”863计划现代交通领域专家组成员、教育部科技委地学与资源环境学部常务副主任。长期从事：GIS-T、车载导航与智能交通技术、激光扫描测量、视觉测量与三维可视化技术、多传感器集成与智能传感器网络技术等相关工作。

**张 亮** 博士，武汉大学摄影测量与遥感专业博士，师从李清泉教授，主要从事车载/机载多传感器集成，激光雷达数据处理。



# 乡村道路下基于主动视觉的道路检测

诸葛程晨<sup>1</sup> 唐振民<sup>1</sup> 刘济林<sup>2</sup>

1. 南京理工大学计算机科学与技术学院; 2. 浙江大学信息科学与工程学院。

**摘要** 乡村道路环境下, 被动视觉导航受到非结构化道路的限制以及气候影响, 增大了道路边界提取的难度, 这时主动传感器仍能较好的检测出道路周围障碍物信息. 本文利用这一特点, 提出了一种基于道路两边障碍物信息进行道路边界检测的算法, 该算法利用OTSU方法对障碍数据进行分类. 该算法能有效利用雷达数据求取道路边界, 并且有较好的运行效率。

**关键词** 乡村道路, 主动传感, 最大类间方差法

## 1 引言

随着计算机和控制技术的发展, 智能车辆在军事、民用和科学研究等诸多方面得到了广泛应用。军事上, 智能车辆可以代替人类在危险场所按照设计者的意图自动行驶至目的地, 并代替人类完成侦查、排雷等军事任务<sup>[1,2]</sup>; 民用方面, 智能车辆主要任务是提高汽车行驶的智能性和安全性; 科学研究方面, 智能车辆还可以代替人在高危环境甚至外星上从事探索和勘探工作<sup>[3]</sup>。

在非结构化道路下智能车辆的导航任务是目前相关研究人员关注的热点问题。其中乡村道路也是属于非结构化道路, 其环境十分复杂, 道路表面覆盖物多种多样, 可能是泥土、沙石、沥青和水泥; 道路边界变化多样, 大多是人工铺设路面与自然景物(植物)相交形成的道路边界, 并且会随着季节变化等, 再加上气候, 光照等影响, 移动机器人导航所使用的被动式传感器受到了一定程度的限制。如在有阴影、水坑的道路上, 基于可见光的道路检测就变得很难处理, 而红外光的道路检测也因为路面与植被之间的温差受到影响。

在上述情况下, 主动式传感器(如激光雷达)仍能正常工作, 并且较好地检测出道路两旁障碍物, 由此想到依靠道路两旁的障碍物作为道路边界的标志进行道路检测。首先, 使用主动式传感器检测移动机器人前进道路两旁的障碍物, 并获取障碍物的距离信息, 然后测算出相对于移动机器人的距离, 最后依靠这些信息描述出道路的边界。

本文主要组织结构如下: 第2章介绍了实验系统, 以

及障碍物信息获取流程; 在第2章获取的障碍物信息的基础上, 第3章介绍了基于OTSU算法的道路检测算法; 第4章给出了实验结果; 第5章是结论和展望。

## 2 障碍检测

### 2.1 实验系统



图2.1 实验车辆

见图2.1, 实验车辆是一辆改装的SUV, 上面配置了激光雷达、摄像机、GPS、惯导等传感器。其中雷达是64线高清激光雷达(Velodyne HDL 64E LIDAR)。工作频率为5 - 15 Hz, 最远距离50m(0.1的反射率) / 120m(0.8的反射率), 最大水平扫描角度360°, 最大垂直扫描角度26.8°, 角分辨率为0.09°, 误差-2cm~2cm。

### 2.2 64线激光雷达标定

64线激光雷达的标定, 采用K. P. Horn提出的四元组估算算法<sup>[4]</sup>。具体算法如下:

假设已知一组三维点  $P_i(i=1..n)$  在世界坐标系和车体坐标系中的坐标分别为  $X_{Li} \in \mathbb{R}^3$  和  $X_{Vi} \in \mathbb{R}^3$ , 其中  $X_{Li} = RX_{Vi} + t$ , 那么 $R$ 和 $t$ 可以通过最小化测量值和计算值之间的误差  $E(R, t)$  得到。其中,

$$E(R, t) = \sum \|X_{Li} - (RX_{Vi} + t)\|^2 \quad (2-1)$$

1) 估算 $t$ ; 求  $E(R, t)$  相对于  $t$  的偏导并令其为0, 得到:

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n X_{Li}}{n} - \frac{R \sum_{i=1}^n X_{Vi}}{n} = \bar{X}_{Li} - R \bar{X}_{Vi} \quad (2-2)$$

2) 估算: 将等式(2-2)代入(2-1), 得到:

$$E(R, t) = \sum_{i=1}^n ((X_{Li} - \bar{X}_{Li})^2 - 2(X_{Li} - \bar{X}_{Li})R(X_{Vi} - \bar{X}_{Vi}) + R^2(X_{Vi} - \bar{X}_{Vi})^2) \quad (2-3)$$

令  $X'_{Li} = X_{Li} - \bar{X}_{Li}$  和  $X'_{Vi} = X_{Vi} - \bar{X}_{Vi}$ , 那么, 通过观察等式(2-3), 知道最小化  $E(R, t)$  等价于最大化

$$E'(R, t) = \sum_{i=1}^n X'_{Li} R X'_{Vi} \quad (2-4)$$

在此引入与  $R$  表示同一旋转的四元组  $q = [q_0 \ q_1 \ q_2 \ q_3]^T$  及其共轭  $q^*$ , 其中  $R$  与  $q$  的关系如下:

$$R = \begin{bmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 2(q_1q_3 + q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 + q_0q_3) & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2(q_2q_3 - q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 - q_0q_2) & 2(q_2q_3 + q_0q_1) & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

此外,  $R$  与  $q$  的一个特性是, 对任何一个三维点, 满足

$$RX = qXq^* \quad (2-6)$$

将(2-6)代入(2-4), 得到:

$$E'(R, t) = q^T \left( \sum_{i=1}^n X'_{Li} X'_{Vi} \right) q \quad (2-7)$$

至此, 最大化式(2-7)可以转化为一个求线性方程的特征值和特征向量的问题, 其中  $q$  的解是与矩阵  $\sum_{i=1}^n X'_{Li} X'_{Vi}$  的最小特征值相对应的特征向量。

因此, 整个标定的过程为: 在地面上放置若干障碍物(如纸箱子等)并测量出其距离车体坐标原点的位置; 同时找出障碍物在64线激光雷达中的对应坐标. 其中一组标定的实验数据及结果如下:

表2-1: 障碍物坐标点

障碍物点	( $X_V, Y_V, Z_V$ ) cm	( $X_L, Y_L, Z_L$ ) cm
1	(-60 500 0)	(-71.26 692.4 -191.76)
2	(60 500 0)	(48.86 694.5 -191.82)
3	(-100 1000 0)	(-121.1 1191 -184.86)
4	(100 1000 0)	(79.64 1191 -184.37)
5	(-100 800 0)	(-115.4 996.7 -189.41)
6	(100 800 0)	(79.61 998.5 -189.05)
7	(100 700 0)	(83.07 896.4 -193.35)

标定结果为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.999834 & -0.015961 & 0.008847 \\ 0.016091 & 0.999761 & -0.014822 \\ -0.008608 & 0.014962 & 0.999851 \end{bmatrix} \pm \begin{bmatrix} 0.0001 & 0.002 & 0.005 \\ 0.003 & 0.0001 & 0.003 \\ 0.005 & 0.003 & 0.0001 \end{bmatrix}$$

$$t = [-3.7389 \ 197.9680 \ -201.2825] \pm [1.5848 \ 2.0020 \ -2.1525] \text{cm}$$

### 2.3 障碍物检测算法

本实验主要针对静态障碍物, 且没有考虑负障碍物的处理. 为了实时处理数据和检测障碍, 采用了基于网格的算法, 其流程见算法2-1。

#### 算法2-1 基于单次扫描的静态障碍检测算法

输入: Velodyne 64线雷达的单次扫描数据.

输出: 描述障碍物的四个边界点.

算法:

1. 将激光雷达坐标系中的点转换到车体坐标系;
2. 将车体坐标系中的三维点映射到400×400的二维网格中

(注1), 每个网格代表20cm 20cm的地面范围;

3. 根据以下规则搜索、检测障碍物并得到二值网格图:

在一定的搜索范围(注2)内, 与邻近的扫描线相比较; 若在该搜索范围内找不到扫描线, 则在本网格内部比较, 计算

- a. 如果, 则为坡面;
  - b. 如果 并且, 则为疑似障碍;
  - c. 如果 并且, 则为悬挂障碍物, 且车辆可通行.
4. 对二值网格图按5:1的比例进行降采样;
  5. 在降采样后的网格图中根据四连通规则搜索连通区域;
  6. 将初步聚类的障碍物点转换为链表并聚类;
  7. 对每个障碍物找出极坐标系中的最左、最右、最远和最近的四个边界点;
  8. 输出障碍物的四个边界点坐标.

注1: 在将车体坐标系中的点映射到二维网格时, 采取了一些去除错误点和冗余点的措施: 将网格划分为三个区域, 网格中心为车体区域, 之外为激光雷达的盲区, 再之外为未知区域. 且认为出现在车体区域内的点是可以忽略的错误点. 对于每一个输入的点, 如果是Velodyne的数据, 则映射到车体区域以外的区域.

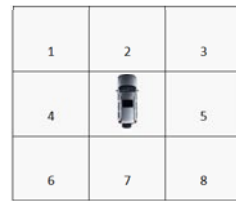


图2.2 搜索范围

注2: 将搜索范围划分为8个区域, 如图2.2所示, 同时假设车体附近为默认的可通行区域. 其搜索距离通过公式(2-8)和(2-9)计算得到:

已知雷达激光束的发射范围是, 如图2.3设雷达安装高度为 $[2^\circ \ -24.8^\circ]$ , 雷达距离车头的位移为  $H_{lidar}$ , 地面的坡度为  $T_{lidar}$ , 则第  $n$  条激光射线到达地面的径向距离满足以下方程:

$$r = \frac{H_{lidar}}{\tan(24.8^\circ - \frac{24.8^\circ + 2^\circ}{64}n + \tan(\theta_{slope}))} \quad (2-8)$$

其中  $r = \sqrt{x^2 + (y + T_{lidar})^2}$   
对n求导数得

$$dr = \frac{\frac{26.8^\circ}{64} H_{lidar} \sec^2(24.8^\circ - \frac{26.8^\circ}{64} n)}{(\tan(24.8^\circ - \frac{26.8^\circ}{64} n) + \tan(\theta_{slope}))^2} dn \quad (2-9)$$

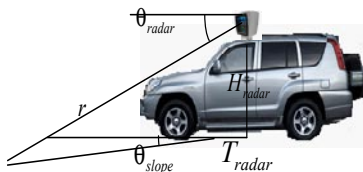


图2.3 搜索距离

图2.4是静态障碍检测的结果.图a)中是实验车在一个十字路口的64线雷达的一次扫描数据;图b)是图a)中数据处理的结果,图中不同颜色的点为不同的障碍类,最终以四个边界点的形式输出.为了减少噪声对数据的影响,在每个网格中,舍弃了Z方向最大的10%和最小的10%的点,统计意义上减少外点对障碍物判定的影响.如图中所示,在车体的后方有一些区域被检测为障碍物,这是因为,这些区域有悬在空中的树叶,而且未达到一定的高度,同时坡度的突然下降,对于障碍物的判定产生了一定的影响,造成了一定的虚警。

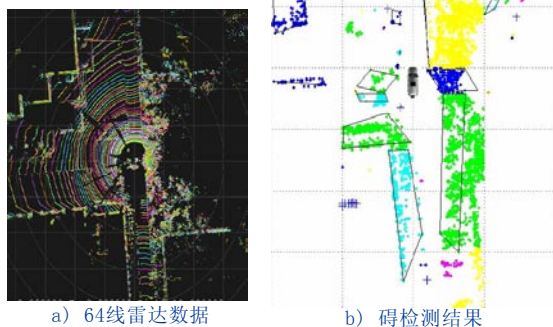


图2.4 静态障碍检测结果

### 3 基于障碍信息的道路检测

#### 3.1 二值栅格化

为了降低数据处理量,将障碍物数据再投影到150\*100的栅格中,每个栅格边长为20cm,也就是说只使用车体左右各20m,前方30m的这样一个范围内的障碍

物栅格数据.有障碍值为1,否则为0.见图3.1。



图3.1 雷达栅格数据

从图3.1中可以看到,在雷达栅格数据中存在着明显的道路边界,但这是肉眼分辨出来的,要对雷达栅格数据进行一系列的处理来提取出其中道路边界信息。

#### 3.2 膨胀与腐蚀

图3.1的雷达栅格数据此时完全可以作为一幅二值图像.因此,要从其中提取道路信息可以转变为图像处理的工作.由于道路两边的树木、石块等障碍分布不均匀,导致二值图像中存在很多零散的点,继而采用形态学滤波的方法,对图像进行膨胀和腐蚀,得到连通区域。

因为考虑到使用过大的窗口进行膨胀、腐蚀工作会使得边界发生明显的变化,从而使得道路宽度发生变化,所以使用了最小的3\*3的窗口.其结果如图3.2,可见有很好的效果,零散的区域连结到了一起,并且整体障碍分布构成并没有太大发生变化,如中间道路部分,并没有变窄或变宽。



图3.2 膨胀腐蚀后的雷达栅格数据

#### 3.3 基于OTSU算法求取道路边界

将膨胀腐蚀之后的数据向X轴投影,得到图3.3中的投影数据,从图中可以明显看到道路两边的障碍物形成的两类目标,道路位于两类目标之间,这里可以借助OTSU<sup>[5]</sup>(最大类间方差法)求取最佳分割阈值t,结合道路宽度的经验值约束来求出道路边界。

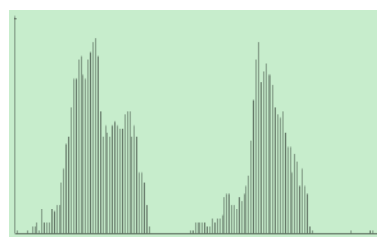


图3.3 投影数据

OTSU的原理是求取一个最佳阈值将原图像分成前景,背景两个图像。对于图3.3中投影数据来说,道路左边障碍和道路右边障碍正好分别当做前景和背景。当取最佳阈值时,两边障碍投影数据差别应该最大,在OTSU算法中,衡量这个差别的标准使用的就是最大类间方差。

记 $t$ 为两类目标的分割阈值,左边为目标1,右边为目标2,目标1点数占总体的比例为 $w_1$ ,平均值为 $u_1$ ;目标2点数占总体的比例为 $w_2$ ,平均值为 $u_2$ 。

则总平均值为:  $u = w_1 * u_1 + w_2 * u_2$

目标1和目标2的方差:

$$g = w_1 * (u_1 - u)^2 + w_2 * (u_2 - u)^2 = w_1 * w_2 * (u_1 - u_2)^2$$

当方差 $g$ 最大时,可以认为此时两类目标差异最大,也就是此时的 $t$ 是最佳阈值。算法流程如下:

(1) 低精度按不同方向旋转雷达栅格数据,然后往 $x$ 轴投影;

(2) 将每组投影数据,按照OTSU算法求取一个最佳阈值 $t$ 以及方差 $g$ ;

(3) 记录方差值最大的那组阈值 $t$ 和方差 $g$ ,以及旋转角度 $angle$ ;

(4) 高精度在 $angle$ 附近旋转雷达栅格数据,然后重复步骤(2)和(3);

(5) 最后得到的 $t$ 和 $angle$ 分别是,道路中心和道路方向,根据道路宽度的经验值求得道路边界。

## 4 实验结果

采用上述整个算法流程,对实验车辆在一段乡村道路上采集回来的数据进行了实验,如下图所示:



图 4.1 左拐道路

图4.2 右拐道路

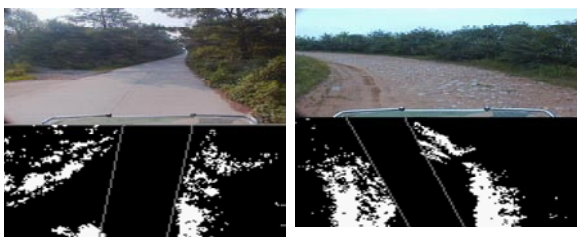


图4.3 岔路口

图4.4 左拐道路

图4.1、4.2、4.3、4.4分别是4个不同时刻不同地点

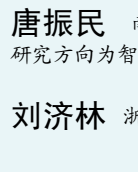
采集到的数据。每组图片上部分为摄像头采集的实际场景图,下部分为在实际场景处使用上述算法求得的道路边界结果图。从图中可以看到测试了实验车左拐和右拐以及经过岔路口的情况,白色亮点是检测到的障碍物,灰色的直线就是最终求取得两条路边。总的来说本算法求取的路边还是比较可靠的。

## 5 结论与展望

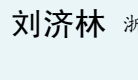
本文论述了一种乡村道路环境下,基于OTSU的主动传感器导航算法,在道路两边覆盖了各类障碍的情况下,对乡村道路进行道路边界的检测,本算法不受光照,气温等影响,能可靠稳定的提供可道路区域边界。目前只是处理单帧的数据,下一步要考虑多帧数据融合处理,可以使得结果更加准确合理。



**诸葛程晨** 南京理工大学计算机科学与技术学院模式识别专业博士研究生。目前主要从事智能机器人导航技术研究,参与国家自然科学基金(90820306)《乡村道路环境下无人驾驶车辆关键与集成验证平台研究》的研究。



**唐振民** 南京理工大学计算机科学与技术学院教授。主要研究方向为智能机器人系统技术。



**刘济林** 浙江大学信电系教授。主要研究方向模式识别。

## 参考文献

[1] Jaczkowski, J.J. Robotic Technology Integration for Army Ground Vehicles. in The 20th Conf. on Digital Avionics Systems, pp. 1-8, 2001

[2] Schwartz, I. PRIMUS: autonomous driving robot for military applications. in Proc. SPIE on Unmanned Ground Vehicle Technology II, pp. 313-323, 2000.

[3] Wilcox, B., et al. Robotic Vehicles for Planetary Exploration. in Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation, pp. 175-180, 1992

[4] Berthold K. P. Horn. Closed-form Solution of Orientation Using Unit Quaternions. Journal of the Optical Society of America A, Vol. 4, page 629. 1987.

[5] Nobuyuki Otsu. "A threshold selection method from gray-level histograms". IEEE Trans. Sys., Man., Cyber. 9: 62 - 66. doi:10.1109 TSMC. 1979. 4310076

# 基于时空滤波的智能车辆 运动显著性区域检测

张雪涛<sup>1</sup> 王飞<sup>1</sup> 郑南宁<sup>1</sup> 何永健<sup>1,2</sup>

1. 西安交通大学人工智能与机器研究所; 2. 西安通信学院

**摘要** 交通场景中的运动信息获取是智能车辆研究中的一个重要方面。本文首先采用时空滤波技术, 考虑视频数据在时间维度上的特点, 利用统计显著性模型生成自底向上的运动显著性图。然后, 利用外极平面图像分析技术, 滤除由于遮挡等原因被标记为具有显著性的场景中的静止区域。该算法分别在合成图像序列和实际场景图像序列上进行了测试, 结果表明该算法能够捕获交通场景中于智能车辆行驶相关的显著性运动区域。

**关键词** 运动显著性, 时空滤波, 外极平面图像, 智能汽车

近年来, 借鉴人类视觉系统对视觉信息的处理机制发展起来的视觉注意算法已经成为计算机视觉中一种非常有用的工具。由于这类算法能够让系统仅处理那些与视觉任务最相关的图像或视频数据, 从而在许多应用领域中极大的提高了计算机视觉系统的效率和鲁棒性。视觉注意计算模型的发展在传感器数据收集和感知解释之间引入了一个基本的认知过程。这一过程对于一个需要在动态环境中导航, 并与其他对象交互的智能系统来说至关重要。

为了减轻一些高层处理的计算负担, 完整的视觉系统应该引入注意机制。如果注视区域能够很好的表示输入数据的特点, 那么将避免大量搜索工作。目前, 控制这一视觉选择过程的注释机制主要有两种, 一是自底向上的注视选择, 是一个非常快速的由视觉激励驱动的无意识过程。另一种是一个自顶向下的过程, 由更高级别的认知过程来驱动, 有倾向的选择某些特征。

当前的研究工作大部分集中在静态图像中的显著区域检测, Itti的视觉注意模型<sup>[1]</sup>是其中的代表性工作。Itti模型中也包含了对运动特征的提取和分析, 但其与人类视觉系统的运动感知功能还存在差异。Belardinelli等最近也提出了一种基于时空滤波的运动显著图产生算法<sup>[7]</sup>。

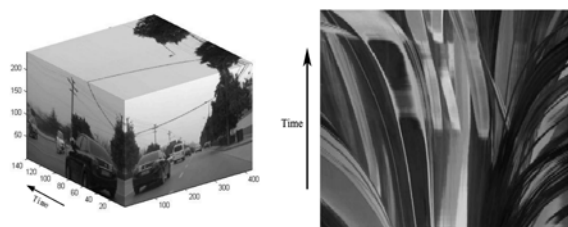
运动敏感性对于大多数生物来说在发现天敌和捕获食物的过程中非常重要。在灵长类动物的脑皮层中有特定区域用于检测特定的模式和速度的运动。同样, 在无人驾驶汽车行驶的过程中, 对于路面上的运动对象, 包

括其他车辆和行人等都应保持高度警惕, 其中包含有可能和本车发生碰撞或者干扰本车行驶的目标。传统的做法包括利用光流场来检测场景中的异常运动, 也有很多工作是基于特征点匹配的。然而这些方法或者需要大量的计算, 比如计算光流场; 或者存在较为困难的计算过程, 比如特征点对应。而且, 传统方法通常仅对前后两帧进行比较, 容易受到噪声的干扰。另外有一类基于人类生理物理学的运动感知模型利用了时空滤波器。Adelson和Bergen<sup>[2]</sup>展示了这种模型在利用时空有向能量检测运动和方向选择上的能力。

视觉搜索是研究人类视觉系统基本特征的心理实验手段。和其他基本特征, 比如颜色、对比度等一样, 运动同样可以引起目标的快速搜索。如Rosenholtz所指出<sup>[3]</sup>, 一个单元与其周围单元的速度差异越大, 这个单元就越显著。据此, Rosenholtz提出一种统计显著性模型。这一模型采用马氏距离来测量目标单元和干扰单元之间的速度差异, 能够解释许多典型的速度搜索实验。比如在静止的干扰单元中寻找运动单元要比在运动单元中寻找静止单元要容易很多。这一模型本质上也是一种中央周围区域差分, 当相对于其他类似模型<sup>[1][4]</sup>来说, 这一模型可以处理多维特征, 并且其较少的计算量也更适合在实际场景中使用。

本文提出一种基于时空滤波器的动态场景中运动显著区域提取算法, 将其应用在无人驾驶车辆视觉系统中, 为后续高层处理提供简洁有效的输入数据。其中显著性

区域的提取采用统计显著性模型来测量中央一周围差异。本文将按照以下内容进行组织：第1节介绍用于基于时空能量的运动检测算法。第2节介绍采用统计显著性模型提取运动显著区域。第3节利用外极平面图来滤除非异常运动引起的显著区域。第4节分别给出在合成的和实际视频上进行试验的结果。最后是对这一算法的讨论。



(a) 视频序列的  $x-y-t$  空间表示 (b)  $y=100$  处的  $x-t$  切片

图1 视频序列的空间体积表示示意图

## 1 基于时空能量的运动检测

如前言中所述，许多运动感知方面的研究工作已经采用了时空滤波进行运动分析。这一过程是将图像序列放在  $x-y-t$  这个三维空间中进行的，其中  $x$  和  $y$  是两个空间维度，即与视频序列中每帧图像的两个维度对应， $t$  是时间维度。直观上看，就是将视频序列中的每幅图像沿着时间顺序摆放进这一空间。从另一个角度看，这一空间也是由一组垂直摆放的  $x-t$  切片或者水平摆放的  $y-t$  切片组成。一个图像点的运动会在这些切片中形成倾斜的条纹，而这些条纹的斜率则与物体的运动状态相关。图1(a)给出了一个视频序列在  $x-y-t$  空间中表示的示意图。该视频是由安装在车辆上的朝前方观测的相机拍摄得到。图1(b)是取  $y=100$  处的  $x-t$  切片。可以看出切片中有很多条纹向左右两边发散，这也与人对这类视频的感知相符。那么，对于运动的检测问题就转化为在 2D 切片上检测有向边。这一表示就允许在更长的时间上分析数据，而不是在两帧之间。并且，这种方式也能避免特征点匹配这一尚未有效解决的问题。

基于  $x-y-t$  的视频序列表示，Wildes等提出了一组时空结构的基本类型（静态、闪烁、一致运动、不一致运动、晃动和无结构）<sup>[5]</sup>。相比于其他类别，一致运动在交通场景中出现的最为频繁，交通场景中的各种对象的运动几乎都符合一致运动的特点。比如，相邻车道中的车辆，横穿马路的行人等，都在做一致运动。因此，在本文仅对一致运动的情况进行分析。另外，从Wildes等人的结果可以看出，在某些特定方向上一致运动对滤波器的响应比其他种类的运动要显著。于是，本文采用高

斯滤波器的二阶导数  $G_{2\theta}$  和其希尔伯特变换  $H_{2\theta}$ ，其中  $\theta$  是滤波器的朝向。选择这一类型的滤波器，是考虑到其方向调整的能力和计算效率。对每个  $x-t$  和  $y-t$  都进行两个方向的滤波，分别提取向左\向右和向上\向下的运动。通过使用这样一对正交滤波器，可以获得如下的能量表达式，以任一  $x-t$  平面  $y-t$  上的左右运动为例：

$$ER_h(x,t) = (G_{2\theta_1}(x,t) * I(x,t))^2 + (H_{2\theta_1}(x,t) * I(x,t))^2 \quad (1)$$

$$EL_h(x,t) = (G_{2\theta_2}(x,t) * I(x,t))^2 + (H_{2\theta_2}(x,t) * I(x,t))^2 \quad (2)$$

$EL$  和  $ER$  分别表示向左和向右运动的能量。对  $y-t$  进行滤波，能够得到类似的表达式。这里滤波器利用方向可调滤波器<sup>[6]</sup>来实现。为了移除能量中的高频成分，还需要对结果沿着另外一个空间轴做低通滤波。

正如Adelson中指出的，在同一时空点上，人类视觉系统采用相同的频带通过一些独立的通道<sup>[2]</sup>，比如  $x-t$  平面上的左\右运动来提取运动信息的。而且，通常采用相抵消的方式将从这两个通道获得的信息组合在一起。同样，对于一致运动来说，运动相消能量的区别最为明显<sup>[5]</sup>。对  $x-y-t$  体积内的每一点，其水平和垂直方向上的能量如下式给出，

$$E_h(x,t) = ER(x,t) - EL(x,t) \quad (3)$$

$$E_v(y,t) = EU(y,t) - ED(y,t) \quad (4)$$

需要指出的是，本文采用向右\向上和向左\向下之间的算数差分来构建相消能量，而不是采用其绝对值<sup>[7]</sup>。这是因为运动方向对于判断独特运动是一个非常重要的特征，许多心理学实验也证明了这一点。另外，Rosenholtz也指出采用两个分量（水平和垂直）来表示运动特征更符合心理物理学上的观察<sup>[3]</sup>。

## 2 构建运动显著图

生物视觉研究上的很多证据表明，底层显著性是通过中央-周围特征差异获得的。对于一个视觉激励来说，当它具有与其周围区域内的视觉激励不同的特征时，这个激励就比较容易检测到。L. Itti等采用了中央-周围差分方式来度量显著性<sup>[1]</sup>。他们的模型通过比较细尺度上的中央区域和粗尺度上的周围区域之间的差异生成显著图。然而这一模型比较困难做进一步扩展来计算多维特征的显著图。这是由于基于多维特征计算得到的中央-周围差异仍然具有多个维度，很难形成一个描述显著性的数值。针

对这一问题, D. Gao等人采用测量中央和周围区域属于两种类别(即感兴趣区域和背景区域)的概率之间的KL散度<sup>[8]</sup>。最近, V. Mahadevan利用这一模型来测量时空显著性<sup>[9]</sup>。Rosenholtz提出了一种统计显著性模型<sup>[3]</sup>, 该模型测量周围区域特征变化的方差, 进而通过计算中央区域和周围区域特征均值之间的马氏距离来得到该区域的显著性测量。与传统的中央-周围差异不同, 统计显著性模型考虑了特征在周围区域概率分布, 使得这一模型能够预测很多视觉搜索实验, 尤其是非对称实验, 比如在静止单元中寻找运动单元要比在运动单元中寻找静止单元要容易。正是由于其在视觉实验上的预测能力, 加之其计算的简洁性, 本文采用统计显著性模型来生成运动显著图。

如第1节所述,  $x-y-t$  空间内的每一点的运动特征采用一个二维向量表示, 即水平运动能量和垂直运动能量。有了这样的表示, 在每一时刻, 每帧图像内, 对于每个图像位置, 在其领域内选取一定大小的区域作为目标区域, 目标区域内的运动特征的均值用  $\mu_T$  表示。然后再选择一个较大的邻域, 并将除去目标区域后的剩余部分作为周围区域。周围区域内的特征均值和协方差分别用  $\mu_D$  和  $\Sigma_D$  表示。那么, 在这一时刻, 这个图像位置的显著性就用目标区域的运动特征均值和周围区域的特征均值之间的马氏距离来度量,

$$S = \sqrt{(\mu_T - \mu_D)' \Sigma_D^{-1} (\mu_T - \mu_D)} \quad (5)$$

直观上看, 这一数值就是目标特征均值和邻域特征均值之间相差的标注差的个数。图2 给出了这个模型的示意图, 二维坐标系的两个坐标轴分别表示水平和垂直方向上的能量。蓝色圆圈表示背景单元的运动特征均值, 红色和橙色圆圈分别表示两个目标单元的运动特征均值。图中画出了两个协方差椭圆, 分别表示两个标准差椭圆和红色目标项所在的协方差椭圆。

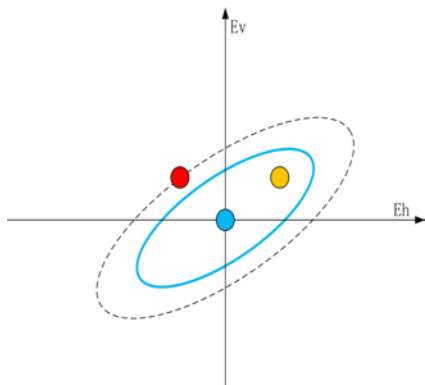


图2 统计显著性模型示意图

从图中可以看出, 红色圆圈代表的目标单元比橙色椭圆代表的目标单元距离背景单元的马氏距离更大, 因此也更容易辨认。虽然, 从总的运动能量来说, 两个目标单元几乎相同, 但其在实际试验中却有着不同的效果。

### 3 基于外极平面图的几何约束

上一节生成的运动显著图, 完全是根据底层运动特征产生的。虽然这一模型可以解释很多心理物理学实验, 但在实际环境中却并不实用。一方面这是由于实际场景非常复杂, 图像采集过程中也存在噪声, 使得对运动特征的估计产生偏差, 从而导致该区域与其周围区域相比具有明显不同的运动特征。但更重要的是, 很多标记为显著的区域都位于物体间相互遮挡的边界。这是由于实际环境中景深变化很大, 不同深度的物体, 其在图像上的运动也不同。反映到  $x-y-t$  时空体内的时空切片上, 也可以看出, 不同深度的物体, 虽然都是静止的, 但其产生的条纹的斜率有较大的差异。因此, 我们需要滤除掉场景中的这类区域。

最常用的方法就是利用外极几何约束, 但这种方法是在特征点匹配的框架下, 而且一般指对两帧或三帧连续图像进行操作。Bolles等提出了采用外极平面图可以将三维的时空数据转到的多个二维平面上进行分析<sup>[10]</sup>, 极大地简化了数据分析的过程, 尤其是场景深度估计方面得到了广泛的应用。随后, 许多学者对外极平面图的使用做了改进和扩展, 放松了对相机运动和朝向的限制<sup>[11-13]</sup>。由于场景中静止物体对应的图像点的运动应该位于外极平面图上, 即满足外极约束。对于行驶中大部分时间都是在保持车道, 而且在小范围内, 车道基本上可以近似为直线, 也就是说在这样的情况下, 车辆在做平移运动。这样, 如果我们以正视前方的姿态安装相机, 那么相机也在做平移运动, 而且运动方向与相机光轴方向一致。做这样的假设可以极大地减少计算量。

Bolles等给出了相机做线性运动时, 场景中一点  $(x_w, y_w)$  和其在极图像上坐标间  $(x_c, y_c)$  的关系<sup>[10]</sup>,

$$\begin{aligned} vx_c t \cos \theta_w + (y_w \sin \theta_w - x_w \cos \theta_w) x_c + \\ vy_c t \sin \theta_w - y_c (x_w \sin \theta_w + y_w \cos \theta_w) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

其中下标  $w$  表示该变量是世界坐标系下的变量。式中  $v$  表示相机运动速度 (不失一般性假设相机做匀速运动),  $t$  代表时间,  $\theta$  是相机光轴朝向和相机运动方向之间的夹

角。在本文所考虑的车辆运动情况下，该夹角应该是 $0^\circ$ 。而且， $y_c$ 轴与相机光轴重合，那么对于所有点来说这一距离是固定的，即等于相机焦距 $f$ 。于是，这一关系可以简化为，

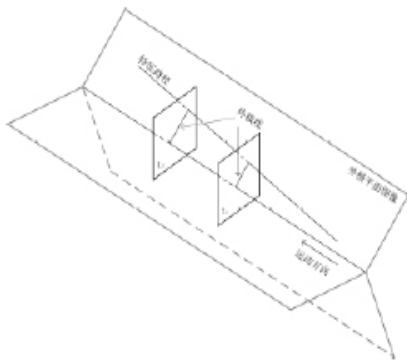
$$(vt - x_w)x_c - y_c y_w = 0 \quad (7)$$

然而，式(7)仅给出了水平方向上的位置变换关系。在相机光轴和运动方向一致的情况下，外极平面应该是 $x-y-t$ 体积内的倾斜切面，因此还需考虑垂直方向上的位置变换关系。与式(7)类似，可以得到，

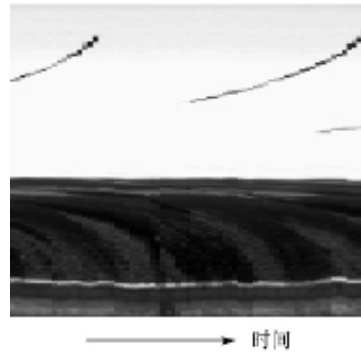
$$(vt - z_w)z_c - y_c y_w = 0 \quad (8)$$

其中 $z_c$ 和 $z_w$ 分别是相机坐标系和世界坐标系的另一个坐标轴。虽然，式(7)和式(8)都不是 $x_c$ （或 $z_c$ ）和 $t$ 的线性方程，但通过比较这两个式子，可以看出 $x_c$ 和 $z_c$ 是具有线性比例关系， $x_c/z_c = (vt - z_w)/(vt - x_w)$ 。这就表明，在外极平面图上，静止场景点的运动轨迹是一条直线。

本文假设相机的光心位于图像中心，根据前述的相机运动的特点，可以推断图像的膨胀中心和图像中心基本重合。视频序列中所有图像的中心位于一条直线上，那么外极平面一定通过这条直线。于是，所有图像的外极线都位于图像上同样的位置，于是外极平面图就是将这些外极线组合在一起。如前所述，对于静止的场景点，其在外极平面图上的轨迹一定是条直线。基于此就可以排除掉那些被标记为具有运动显著性的静止的场景点了。图3(a)给出了外极平面图像分析过程的示意图，图3(b)是一个外极平面图像的示例，可以看出，路灯所形成的运动轨迹在外极平面图像上接近一条直线。由于存在相机抖动，车辆调整方向等情况，该轨迹不可能是一条理想的直线。但是这对于排除静止目标产生的显著区域已经足够。



(a) 外极平面图像分析示意图



(b) 外极平面图像示例

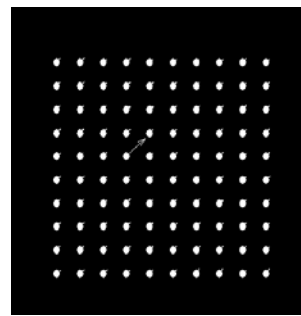
图4 合成的图像序列及其运动显著性

## 4 实验结果及分析

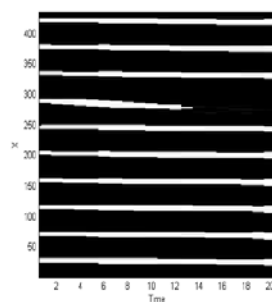
为了便于深入分析所提算法的效果，本文首先在合成的实验数据上生成自底向上的运动显著图。随后，在实际交通场景的图像序列中提取具有运动显著性的区域，以验证算法的有效性。

### 4.1 仿真视频序列的运动显著性检测

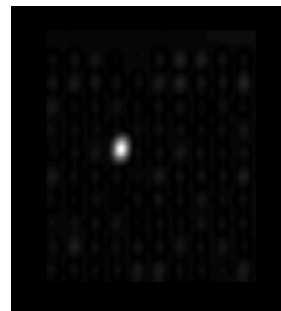
为了测试本文所用的运动显著图生成算法，我们根据常用的心理物理学上的运动感知实验合成了20帧图像。实验中共有100个运动单元，其中有一个是目标单元，其他的都是背景单元。这些单元的运动方向基本一致，但目标单元要比背景单元运动迅速，如图4(a)所示。



(a) 合成的图像序列



(b)  $y=163$ 处的  $x-t$  切面



(c) 运动显著图

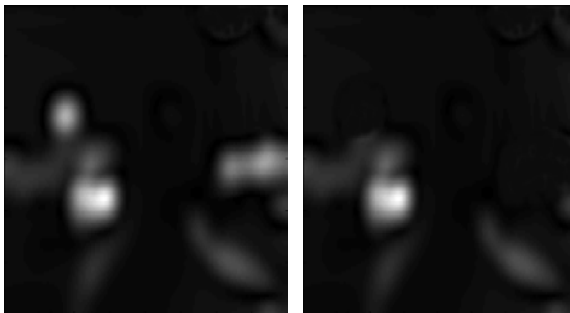
图4 合成的图像序列及其运动显著性



图4(a)给出了场景中各个单元的运动状态,运动方向如箭头所指,幅度与箭头长度成正比。图4(b)给出了目标单元所在处的 $x-t$ 切面。可以看出,由于目标单元以较大的速度向右运动,于是反映到 $x-t$ 切面上就可以看出,对应于目标单元的条纹比其他背景单元的条纹的斜率要大。由于合成图像序列中,目标单元在水平和垂直方向的运动速度都比背景单元的速度大,因此目标单元在向上和向右这两个方向都具有较强的运动能量。那么,由统计显著性模型就能很好的标记出目标单元。合成图像序列上的实验结果表明了,本文所提出基于时空滤波的运动显著性的计算方法是有效可行的。



(a) 超车视频图像



(b) 运动显著性 (c) 外极平面图分析结果

图5 超车视频运动显著性及外极平面图分析结果

## 4.2 实际场景图像序列的运动显著性检测

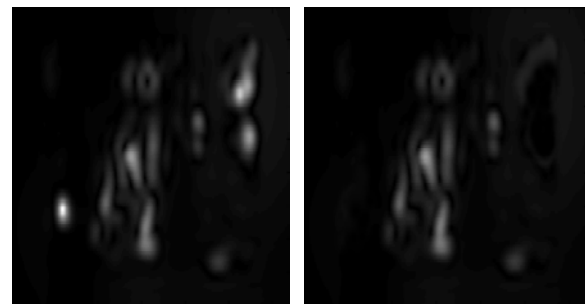
用于测试的实际场景的图像序列由智能车辆车载相机拍摄获得。在拍摄过程中,车辆始终保持到当前行驶的车道内,这也就保证了相机的运动是线性的。并且相机光轴基本与车辆行驶方向平行。这样的情况在智能车辆行驶中是很常见的,这也满足我们利用外极平面图像进行分析的先决条件。这里分别展示在两段视频上运动显著性区域的检测结果,一段视频是车辆在正常行驶过程中,有其他车辆从后面超过本车并切入本车所行驶的车道;另一段是车辆行驶过程中,有行人在本车前方横穿马路。

从图5和图6可以看出,通过自底向上方式生成的运动显著图中包含了很多干扰区域,这些区域有可能是噪

声,也可能对应着场景中静态物体相互遮挡的地方,因为这些地方存在景深,所以感知到的运动也诧异较大。从而在用统计显著模型计算时,这些区域就有可能被标记为显著区域,比如,图5中的路灯、路边的树丛和图6中图像右上角的树干和其后面的广告牌。由于这些区域是相对场景静止的,他们中的点的运动轨迹在外极平面图像中形成一条直线。



(a) 行人横穿马路视频



(b) 运动显著图

(c) 外极平面图分析结果

图6 行人横穿马路视频运动显著图及外极平面图分析结果

如果能在外极平面图像中提取通过这个点的直线,那么就可以确认这个点是场景中静止的点,就可以从显著性图中滤除。为了降低计算量,我们只针对运动显著图中具有较高显著性区域的点进行处理,即首先找到运动显著图上的局部极大点,然后提取通过该点的外极平面图,然后在图中寻找通过该点的较长的直线段。如果能找到符合条件的直线,那么这个显著点就对应着场景中的静止点。考虑到空间的平滑性,位于同一个显著区域内的点通常具有相同的物理属性。因此,如果一个极大点是场景中的静止点,那么其周围与其连接的就都可以从显著图中去掉,图6(b)中画面左侧的显著区域在图6(c)中被滤除掉了,这个区域在图6(a)中对应着前面左侧车道的一辆车的尾部。由于拍摄这段视频时车流较慢,因此前方车辆在图像上并没有明显的运动能量。图5和图6中的最终结果表明,通过在外极平面图像中进行处理,能够在一定程度上排除静止的场景点对应的显著区域。

## 5 结论

本文针对智能车辆行驶过程中交通场景中显著运动区域的提取提出了一种基于时空滤波的运动显著图产生方法，并利用外极平面图来滤除与场景中静止区域相对应的显著区域。自底向上的运动显著性的计算是利用了统计显著性模型，从而更加符合人类视觉系统的特点。仿真和实际数据的实验结果表明，本文所提算法能够准确地提取环境中与智能车辆行驶相关的显著运动目标。今后基于本文的工作，可以结合其他图像特征，比如对比度、方向、颜色等，在多个空间尺度上来生成显著图。另外，也可以利用统计或者机器学习的方法来判断与智能车行驶任务相关的显著运动目标。



**张雪涛** 西安交通大学人工智能与机器人研究所博士研究生。2009年6月-2009年9月，在美国麻省理工大学脑与认知科学系感知科学小组做访问学生。主要研究

领域为计算机视觉、模式识别和人类视觉建模，包括：物体检测与识别，交通环境感知和视觉搜索计算模型。

**王 飞** 西安交通大学人工智能与机器人研究所副教授。主要研究方向为计算机视觉和计算机图形学。

**郑南宁** 西安交通大学人工智能与机器人研究所教授。主要研究方向为模式识别、机器视觉与图象处理和智能信息处理系统。

**何永健** 西安交通大学人工智能与机器人研究所博士研究生。主要研究方向为计算机视觉。

## 参考文献

- [1] Itti L, Koch C, and Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 2002, 20(11):1254-1259
- [2] Adelson E, Bergen J. Spatiotemporal energy models for the perception of motion. *Journal of the Optical Society of America A*, 1985, 44(3): 284;299
- [3] Rosenholtz, R. A simple saliency model predicts

- a number of motion popout phenomena. *Vision research*, 1999, 39(19):3157;3163
- [4] Gao D, Mahadevan V, Vasconcelos N. On the plausibility of the discriminant center-surround hypothesis for visual saliency. *Journal of Vision*, 2008, 8(7): 13, 1;18
- [5] Wildes R, Bergen J. Qualitative spatiotemporal analysis using an oriented energy representation. In: Vernon D, (ed.) *ECCV 2000, Part II. LNCS*, 1843: 768-784
- [6] Freeman W, Adelson E. The design and use of steerable filters. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 2002, 13(9): 891-906
- [7] Belardinelli A, Pirri F, Carbone A. Motion saliency maps from spatiotemporal filtering. *Attention in Cognitive Systems*, 2009, 112-123.
- [8] Gao D, Vasconcelos N. Decision-theoretic saliency: Computational principles, biological plausibility, and implications for neurophysiology and computation, 2009, 21(1): 239;271
- [9] Mahadevan V, Vasconcelos N. Spatiotemporal saliency in dynamic scenes. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 2010, 32(1): 171-177
- [10] Bolles C, Baker H, Marimont D. Epipolar-plane image analysis: An approach to determining structure from motion. *International Journal of Computer Vision*, 1987, 1(1): 7-55
- [11] Baker H, Bolles R. Generalizing epipolar-plane image analysis on the spatiotemporal surface. *International Journal of Computer Vision*, 1989, 3(1): 33-49
- [12] Li Y, Tang C, Shum H. Efficient dense depth estimation from dense multiperspective panoramas. In: *Computer Vision, 2001. ICCV 2001. Proceedings. Eighth IEEE International Conference on*, 119-126
- [13] Feldmann I, Eisert P, Kau P. Extension of epipolar image analysis to circular camera movements. In: *Image Processing, 2003. ICIIP 2003. Proceedings. 2003 International Conference on*, 697-700

# 基于地图特征点匹配的 无人自主车辆定位方法研究

苏奎峰<sup>1,2</sup> 邓志东<sup>1</sup> 黄振<sup>1</sup>

1. 清华大学计算机系      2. 装甲兵工程学院

**摘要** 本文提出了一种新的基于地图特征点匹配的自主车辆定位方法。该法通过计算自主车辆历史轨迹和参考轨迹的曲率积分特征及其相关性,可以有效地消除因航迹推算(DR)传感器标定参数和航向角估计偏差而引起的错误匹配问题。文中首先采用扩展卡尔曼滤波器融合惯导系统,转向角和4个ABS传感器以估计自主车辆的位姿,并据此选择匹配的候选路段。然后利用本文提出的曲率空间特征匹配算法实现路段匹配,并根据曲率和航向角变化确定匹配点,最后将其作为无迹卡尔曼滤波器的观测值,以实现高精度的位姿估计。现场道路实验结果表明,该法能够有效地实现地图匹配,并可以消除自主车辆DR产生的累积误差,能够在GPS信号失效情况下,实现长距离精确定位。

**关键词** 自主车辆; 地图匹配; 尺度不变特征; 无迹卡尔曼滤波

## 1 引言

近20年来,智能交通系统、自主车辆和野外移动机器人一直是智能系统领域研究的热点之一。在上述研究中,可靠地获得高精度的位姿信息是实现系统大多数功能的基础。针对自主车辆的精确定位问题,目前已有多种方法,例如GPS, GPS/INS, GPS/DR等<sup>[1-3]</sup>。GPS可以提供高精度的全局绝对位置信息,而单独使用GPS,则容易受卫星信号遮挡、信号衰减、多径传输的影响,定位信息会存在较大偏差。为此,一般采用GPS与惯性测量单元(IMU)、里程计、速度传感器、方向传感器等多传感信息进行融合,从而提高整个系统的鲁棒性和定位精度。但无论采取哪种方式实现定位,测量误差都是不可避免的,且每种定位方法都会有受环境的制约而影响定位精度,此时需要采取多种措施对定位误差进行修正。地图匹配算法就是针对结构化道路环境的一种较为典型的方法。

在地理信息系统(GIS)中,由于地图路网包含绝对位置信息,在结构化环境,使用此类数据校准位置估计的漂移是非常有前景的解决方法<sup>[4]</sup>。道路网络既可以作为一种位置传感器,也可以作为一种虚拟基站为差分GPS系统或组合导航系统提供校准信息。利用地图网络信息实现位置校准的最直接方式就是地图匹配,地图匹配是一种基于软件技术的定位修正方法,其基本思想是

将车辆行驶轨迹与地理信息系统中的路网信息相关联<sup>[19]</sup>,从而确定车辆在地图网络中的位姿。地图匹配技术的应用需要满足两个前提假设:1)车辆始终行驶在道路网络内,2)用于匹配的数字地图具有足够高的精度。因此,地图匹配算法主要用于路网数据相对比较清晰的环境,尤其是结构化道路环境。

目前地图匹配的算法比较多,从简单的搜索技术到复杂的扩展卡尔曼滤波、模糊逻辑、证据理论等<sup>[5,6]</sup>。综合起来匹配算法可以分为四类:几何法<sup>[1-4]</sup>、拓扑法<sup>[7-10]</sup>、概率法<sup>[2,12]</sup>和其他匹配法<sup>[6,13-16]</sup>。常用的几何匹配算法包括点-点匹配、点-线匹配和线-线匹配,主要采用路网的几何信息,仅考虑连接的形状信息<sup>[9]</sup>,而不考虑彼此的连接方式。拓扑分析法利用地图的几何信息和拓扑关系实现地图匹配算法<sup>[9,10,18]</sup>。概率算法需要在导航传感器提供的定位点周围定义一个椭圆或方形置信区域,如果在置信区域内包含多个路段,则采用航向、连通性、速度和距离等标准评估候选路段。除了上述三种算法外,近年来很多学者采用如卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波、D-S证据理论、状态空间模型、粒子滤波<sup>[21]</sup>、交互式多模型、模糊逻辑模型<sup>[22,23]</sup>以及贝叶斯推理等算法实现地图匹配。

本文提出了一种新的基于地图特征点匹配的自主车辆定位方法。首先采用扩展卡尔曼滤波器融合惯导系

统, 转向角和4个ABS传感器以估计自主车辆的位姿, 并据此选择匹配的候选路段。然后利用本文提出的曲率空间特征匹配算法实现路段匹配, 并根据曲率和航向角变化确定匹配点, 最后将其作为无迹卡尔曼滤波器的观测值, 以实现高精度的位姿估计。现场道路实验结果表明, 该法能够有效地实现地图匹配, 并可以消除自主车辆DR产生的累积误差, 能够在GPS信号失效情况下, 实现长距离精确定位。

## 2 基于地图特征点匹配的自主车辆定位方法

地图匹配算法实质上就是在路网中确定车辆所处的位置, 传统的匹配算法大多采用距离标准度量车辆行驶轨迹与路网路段的相近程度, 在候选路段中选择匹配路段。此类方法受度量距离的选择、传感器参数标定等因素影响较大, 且大多数匹配算法投影过程中只能计算定位点与路段的侧向偏差, 而无法确定纵向偏差。为此本文提出采用基于曲线特征匹配的方式实现地图匹配, 该匹配方法可以分为两步, 首先提取比例不变特征, 克服轮速标定系数, 航向角偏差等因素对匹配精度的影响, 然后利用提取的特征实现匹配。

特征提取的具体步骤包括:

(1) 对待匹配的路段及历史轨迹进行降噪处理, 然后将离散的点击采用3次B样条曲线参数化描述;

(2) 对参数化的曲线进行等弧长间隔采样;

(3) 离散采样后的曲线曲率的绝对值求和, 求取无符号曲率相对弧长的积分:

$$K = \int |\kappa(s)| ds \quad (1)$$

(4) 在无符号曲率积分轴上等弧长间隔点采样, 求取各点处的曲率, 从而得到曲线的特征。

### 2.1 一种基于地图特征点的地图匹配方法

(1) 一种地图与轨迹特征的提取方法

无符号曲率积分定义如下, 参数化曲线

$X(s): (x(s), y(s))$  上任意弧段上的曲率定义为<sup>[24]</sup>:

$$|\kappa(s)| = \left\| \ddot{X}(s) \right\| \quad (2)$$

曲线上 $s_1$ 和 $s_2$ 两点之间的无符号曲率积分定义为:

$$K(s_1 : s_2) = \int_{s_1}^{s_2} |\kappa(s)| ds \quad (3)$$

式中,  $K(s)$  表示曲线点上的曲率, 其定义由式(1)给出。需要说明的是, 采用有符号曲率积分也满足积分不变的性质。之所以采用无符号曲率积分主要是有符号积分在转换点处的积分值非常小, 容易产生数值计算问题, 而无符号积分则可以保证运算的合理范围。定义 $K(s_1 : s_2)$  的相

似变换的不变性, 其中 $s_1$ 表示曲线上的任意起点。

**定理1:** 曲线进行相似变换后, 无符号绝对值积分具有不变性。

**证明:** 曲线经过旋转和平移后, 曲线的曲率和弧长不变。对于给定的弧长为 $l$ 的曲线, 无符号曲率积分和 $K$ 为:

$$K(0:l) = \int_0^l |\kappa(s)| ds \quad (4)$$

对曲线进行伸缩变换, 变换系数为 $\alpha$ , 得到新的弧长为 $\alpha l$ 的曲线 $\bar{x}(\bar{s})$ , 对于伸缩后的曲线有:

$$\bar{K}(0:\alpha l) = \int_0^{\alpha l} |\bar{\kappa}(\bar{s})| d\bar{s} \quad (5)$$

由于曲率的变化和曲线伸缩变化程反比, 因此有

$$|\bar{\kappa}(\bar{s})| = \frac{1}{\alpha} |\kappa(s)| \quad (6)$$

且 $d\bar{s} = \alpha ds$ , 将其代入积分方程, 可得

$$\bar{K}(0:\alpha l) = \int_0^{\alpha l} \frac{1}{\alpha} |\kappa(s)| \alpha ds = \int_0^l |\kappa(s)| ds \quad (7)$$

$$\bar{K}(0:\alpha l) = \int_0^l |\kappa(s)| \alpha ds = \int_0^l |\kappa(s)| ds \quad (8)$$

**定理2:** 对于任意两段曲线 $s:(s_1:s_2)$ 和 $\bar{s}:(\bar{s}_1:\bar{s}_2)$ , 如果 $K(s_1:s_2) = \bar{K}(\bar{s}_1:\bar{s}_2)$ , 则 $(s-s_1)/(\bar{s}-\bar{s}_1) = m$ 。

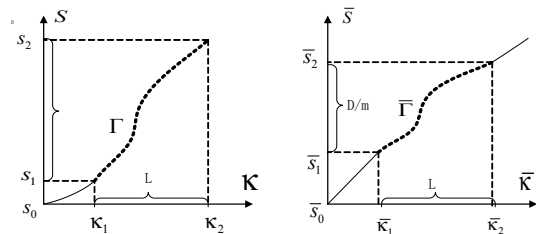


图1 路段特征的尺度不变性

**定理3:** 假定第一条曲线延 $\Gamma$ 的 $[\kappa_1, \kappa_2]$ 段与第二条曲线延 $\bar{\Gamma}$ 的 $[\bar{\kappa}_1, \bar{\kappa}_2]$ 之间的比例系数为 $m$ , 则

$$(1) \quad \kappa_2 - \kappa_1 = \bar{\kappa}_2 - \bar{\kappa}_1$$

(2) 对于任何 $[\kappa_1, \kappa_2]$ 之间的点 $\kappa$ 和 $[\bar{\kappa}_1, \bar{\kappa}_2]$ 之间的点 $\bar{\kappa}$ , 如果 $\kappa_2 - \kappa_1 = \bar{\kappa}_2 - \bar{\kappa}_1$ , 则有 $\dot{\Gamma}(\kappa) = m \dot{\bar{\Gamma}}(\bar{\kappa})$ , 其中 $\dot{\Gamma}$ 表示相对 $\int |\kappa|$ 的微分。

**证明:** 从上面的分析知, 如果两个线段匹配, 则从起点开始的曲率的积分应该相同。此外, 我们有

$$\begin{aligned} \Gamma(\kappa + \Delta\kappa) - \Gamma(\kappa_1) &= m(\bar{\Gamma}(\bar{\kappa} + \Delta\bar{\kappa}) - \bar{\Gamma}(\bar{\kappa}_1)) \\ \Gamma(\kappa - \Delta\kappa) - \Gamma(\kappa_1) &= m(\bar{\Gamma}(\bar{\kappa} - \Delta\bar{\kappa}) - \bar{\Gamma}(\bar{\kappa}_1)) \end{aligned} \quad (9)$$

将上述两式互减并除以  $\Delta k$ ，且当  $\Delta k \rightarrow 0$  时有：

$$\lim_{\Delta k \rightarrow 0} \frac{\Gamma(\kappa + \Delta\kappa) - \Gamma(\kappa - \Delta\kappa)}{2\Delta\kappa} = m \lim_{\Delta k \rightarrow 0} \frac{\bar{\Gamma}(\bar{\kappa} + \Delta\kappa) - \bar{\Gamma}(\bar{\kappa} - \Delta\kappa)}{2\Delta\kappa} \quad (10)$$

即满足  $\dot{\Gamma}(\kappa) = m\dot{\bar{\Gamma}}(\bar{\kappa})$ 。

弧长相对曲率积分的微分消除了起始点对匹配的影响。

由于  $\dot{\Gamma} = dS / (d\int|\kappa|)$ ，取逆可得  $\dot{\Gamma} = 1 / (d\int|\kappa|/dS) = 1/|\kappa|$ ，且  $\rho = 1/|\kappa|$  为曲率半径。因此本质上是曲率的逆或曲率半径。对于匹配部分，两者的曲率半径—曲率积分曲线符合线性比例关系，曲率—曲率积分曲线也同样符合一定的比例关系。因此可以直接对曲率采样而不用对弧长再次进行微分。

如果在曲率绝对值积分上采用等间隔采样，如图1所示，即便是比例不同的匹配曲线，匹配的曲线的曲率绝对值积分跨度也相同。且曲率与曲线的平移和旋转无关，其积分也符合此特点。因此经过上述参数化后可以方便曲线匹配。

(2) 一种基于地图特征点的地图匹配方法

地图匹配算法最终目的是从数字地图或参考轨迹中找到最好的匹配路段，为此可以分成两部完成：

a) 根据定位位置和定位精度在数字地图或参考轨迹中选择候选道路；  $K = \int |\kappa(s)| ds$

b) 从多个候选路段中选择匹配最佳的路段作为匹配段。

利用道路或参考轨迹的连通性、道路方向、车辆当前位置、航向等信息很容易找到候选道路，为了保证真实匹配路段一定在候选路段集内，可以适当放宽选择阈值。应用候选路段和车辆行驶轨迹的曲率特征实现匹配路段搜索，该算法的特点是对匹配曲线的缩放系数不敏感。为了检测两段匹配曲线的相似性，可以采用归一化的相关系数进行判定。

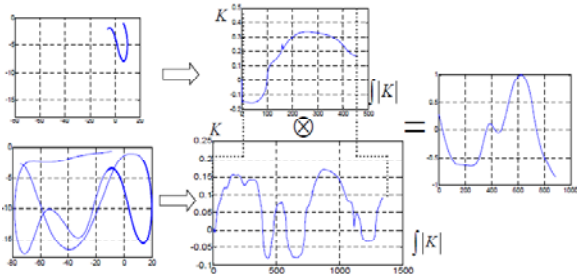


图2 匹配路段和轨迹特征曲线及其相关系数曲线

对于车辆行驶轨迹与地图数据匹配实质是历史轨迹的一部分与匹配区域内候选道路的所有路段匹配，因此称

之为whole-to-part匹配，可以确定匹配的一条曲线（车辆轨迹）必定在另外一条曲线（地图或参考轨迹）内，因此只需要找到车辆轨迹在候选路段中的位置。此外，由于采用曲率积分参数化曲率特征，需要匹配的两条曲线之间只存在收放系数之间的区别，由于曲率与收放系数成反比，因此曲线匹配问题就转换成了模板匹配的问题，为此采用标准化的相关系数处理，从而消除收放系数的影响，如图2所示，分别给出了两个匹配线段、相应的曲率积分—曲率特征曲线和特征曲线之间的相关系数。计算两条曲线之间的标准化相关系数的公式如下：

$$v(u) = \frac{\sum_{i \in \Omega} [f(i) - \bar{f}][t(i) - \bar{t}]}{\sqrt{\sum_{i \in \Omega} [f(i) - \bar{f}]^2 \sum_{i \in \Omega} [t(i) - \bar{t}]^2}} \quad (11)$$

其中， $t$  是第一条曲线延第二条曲线  $f$  滑动的模板窗口， $u$  是一条曲线相对另外一条曲线的偏移量。 $\bar{t}$  为整个模板的均值， $\bar{f}$  为第二条曲线滑动窗口的均值。 $v$  是范围为  $[-1, 1]$  之间的值， $v(u)$  的值越大匹配的越好。一旦求得  $u$  最大值位置，可以得到两条曲线对准的位置。为了保证地图匹配的可靠性，根据实际道路情况设定一个阈值，也可以设定一个阈值判定曲线上不存在相似线段。

(3) 算法复杂度分析

简单曲线匹配算法的计算时间复杂度为  $O(N^3)$ ，而 Lewis 提出的和表技术 (sum table techniques)，可以预先处理式 (11) 的分母，其时间复杂度为  $O(N)$ ，空间复杂度为  $O(N)$ 。式 (11) 的分子项计算的时间复杂度为  $O(N \log N)$ ，空间复杂度为  $O(N)$ 。文献<sup>[1, 14]</sup>在 Lewis 原有方法的基础上进行了改进，其计算结果和标准化相关系数近似。因此总体上匹配算法的时间复杂度为  $O(N \log N)$ 。

## 2.2 一种基于地图特征点匹配的自主车辆定位方法

(1) 基于UKF和地图匹配的组合导航算法

在对车速传感器和方向盘转角传感器进行标定的基础上，首先需采用EKF计算UGV在定位解算周期内的行驶里程增量  $\Delta_k$  和航向角增量  $\omega_k$ <sup>[8,9]</sup>。整个组合导航系统的结构框图，如图3所示。其中  $v_{rr}$ ,  $v_{rl}$ ,  $v_{fr}$ ,  $v_{fl}$  分别是CAN总线获得的右后轮、左后轮、右前轮和左前轮

的ABS传感器测量的轮速值， $\delta$ 为方向盘转角传感器， $[\Delta_k, \omega_k]$ 为EKF滤波器根据四个轮速、方向盘转角和IMU估计的行驶里程增量 $\Delta_k$ 和航向角增量 $\omega_k$ 。

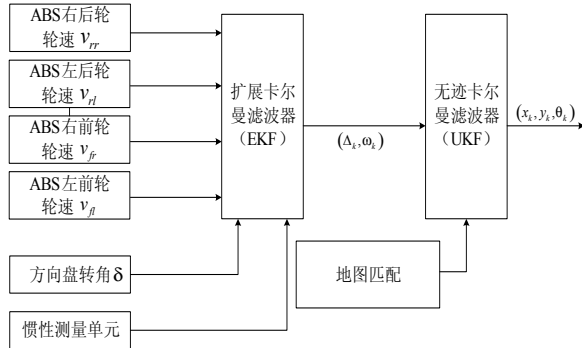


图3 组合导航系统结构框图

由于UGV在行驶过程中不可避免地存在打滑和建模误差，因此可利用多传感数据来估计状态向量  $\xi_k = [\Delta_k, \omega_k]^T$ ，以充分利用冗余测量来减少噪声对系统的影响。考虑到上述量测方程为非线性方程，我们采用了EKF方法来实现对状态的最小方差估计。

以车体坐标原点位置描述的状态方程为：

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + \Delta_k \cos(\phi_k + \omega_k / 2) \\ y_{k+1} = y_k + \Delta_k \sin(\phi_k + \omega_k / 2) \\ \phi_{k+1} = \phi_k + \omega_k \end{cases} \quad (12)$$

其中， $(x_k, y_k)$ 表示k时刻UGV的位置， $\phi_k$ 为航向角。在二维地面环境中，UGV的位姿可用状态向量  $X_k = [x_k, y_k, \phi_k]$ 表示。

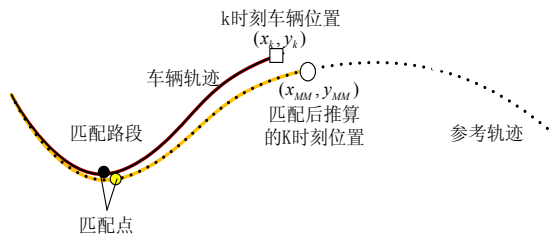


图4 地图匹配位置观测

采用基于曲率特征的地图匹配方法在参考轨迹中确定匹配路段，并根据航向角及其变化曲线的极值点确定匹配点，然后以轨迹中的匹配点为基点重新计算当前时刻车辆在参考轨迹中的位置，如图4所示，从而得到基于地图匹配的量测方程：

$$z_{MM} = h(X) = \begin{bmatrix} x_{MM} \\ y_{MM} \end{bmatrix} + v_{MM} \quad (13)$$

其中， $(x_{MM}, y_{MM})$ 表示k时刻地图匹配观测到的车辆位置， $v_{MM}$ 为量测噪声。由于地图匹配算法及匹配点在弯道处相对比较准确，但很难保证此时车辆航向角与车道方向偏差较小，因此在弯道处只实现位置更新。在车辆行驶过程中，可以根据历史轨迹实时统计航向角的方差，判定车辆行驶在参考轨迹的直线段时，再更新车辆的航向角，其方法和位置更新类似。

由于导航系统的状态方程为非线性方程<sup>[25-27]</sup>，为此采用UKF滤波器实现自主车的姿态估计。UKF滤波器属于sigma-point Kalman滤波器<sup>[14]</sup>，本质上是利用无迹变换对随机量进行非线性映射后，将统计信息的估计嵌入到Kalman滤波算法中，下面给出了UKF算法。

### UKF算法流程

初始条件： $P_0^+ = E[(x_0 - \hat{x}_0^+)(x_0 - \hat{x}_0^+)^T]$

$\hat{x}_0^+ = E(x_0)$  For  $k=1, 2, \dots$  do

预测： $X_{k-1} = [x_{k-1}, y_{k-1}, \phi_{k-1}]$

sigma-point点： $\hat{x}_{k-1}^+ = x_{k-1}^+ \pm (\sqrt{np_{k-1}^+})^T$

时间更新： $\hat{x}_k^- = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{2n} [f_{k-1}(x_{k-1}^+)]$

$P_k^- = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{2n} [f_{k-1}(\hat{x}_{k-1}^+) - x_k^-][f_{k-1}(\hat{x}_{k-1}^+) - x_k^-]^T + Q_{k-1}$

sigma-point点： $\hat{x}_k^- = x_k^- \pm (\sqrt{np_k^-})^T$

预测的量测值： $\hat{y}_k = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{2n} [h_k(x_k^-)]$

协方差矩阵：

$P_k^{yy} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{2n} [h_k(\hat{x}_k^-) - y_k][h_k(\hat{x}_k^-) - y_k]^T + R_{k-1}$

$P_k^{xy} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{2n} [\hat{x}_k^- - x_k^-][h_k(\hat{x}_k^-) - y_k]^T$

更新： $K_k = P_k^{xy} (P_k^{yy})^{-1}$

$\hat{x}_k^+ = x_k^- + K_k (\tilde{y}_k - y_k)$

$P_k^+ = P_k^- - K_k P_k^{yy} K_k^T$

end for

其中，n表示系统状态向量的维数， $\sqrt{np_{k-1}^+}$ 是 $np_{k-1}^+$ 的矩阵方根，即 $(\sqrt{np_{k-1}^+})^T (\sqrt{np_{k-1}^+}) = np_{k-1}^+$ ，可以采用Cholesky分解

求得，且  $Q_k$  为加性系统噪声的协方差矩阵， $R_k$  为加性量测噪声的协方差矩阵。

(2) DR参数校准

在DR导航系统中，一旦收不到可靠的GPS信号，陀螺仪和里程计的标定参数则很难实现在线校准。本文提出基于地图匹配的参数校准方法，里程计和陀螺仪的标定系数<sup>[28]</sup>分别定义为  $K_{gyro}$  和  $K_{Odo}$

$$\Delta\phi = K_{gyro} \cdot S \cdot \Delta T + \Delta_{drift} \quad (14)$$

其中， $\Delta\phi$  表示在采样时间间隔  $\Delta T$  内车辆的航向角变化； $\Delta_{drift}$  表示陀螺仪的采样值； $S$  表示陀螺仪在时间间隔  $\Delta_{drift}$  内的角度漂移；且  $K_{gyro}$  为陀螺仪的标定系数。

同样，在采样时间间隔  $\Delta T$  内车辆行驶的距离可表示为：

$$S_{curve} = K_{Odo} \cdot V_{sensor} \quad (15)$$

这里， $S_{curve}$  为车辆在采样时间间隔  $\Delta T$  内行驶的距离， $V_{sensor}$  里程计的输出值。

为了准确计算里程计标定系数，在路段匹配过程中首先对匹配路段和车辆行驶历史轨迹采用三次样条基于等弧长插值，然后在匹配良好的路段（匹配的相关系数大于0.99）上根据航向角变化找到两个转换点  $P_1$  和  $P_2$ ，采用地图或参考轨迹路径的曲线长度和车辆轨迹传感器的输出计算里程计标定系数。图5和图6给出了匹配良好路段及相应的转换点。当车辆从  $P_1$  点运动到  $P_2$  点时，参考轨迹与行驶轨迹之间的历程比既是里程计标定系数的修正参数。

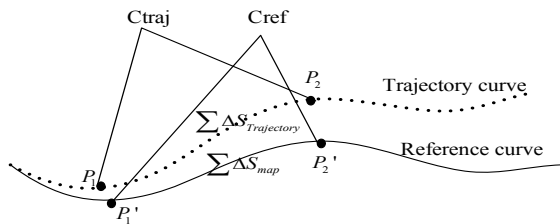


图5 匹配良好路段及相应的转换点

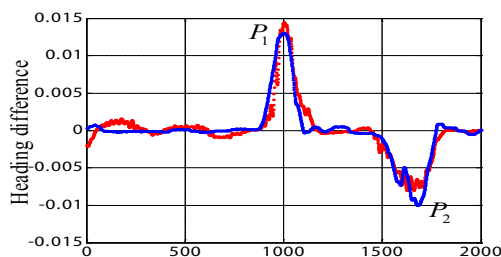


图6 匹配路段和航向角等间隔弧长上的差分

$$K'_{Odo} = \frac{\sum \Delta S_{map}}{\sum \Delta S_{Trajectory}} K_{Odo} \quad (16)$$

其中， $K_{Odo}$  是里程计原来的标定系数， $K'_{Odo}$  为修正后的标定系数。

而航向角的校准通常包含标定系数和漂移偏差，标定系数的校准和里程计标定系数类似，在确定转换点  $P_1$  和  $P_2$  后，根据两点的航向角变化确定。而漂移偏差则选择直线路段（航向角差分方差小于0.02度）内的均值偏差作为漂移补偿。

惯性导航系统（INS）具有相对独立，不受工作环境、气候条件等外在因素影响的特点，得到广泛的关注和应用。航位推算系统则是根据传感器量测的行驶距离和方位进行位置推算，解算误差会随着时间或距离的推移而累积，因此单纯依赖INS/DR很难满足长距离导航应用。为此，必须采用绝对定位方式，如GPS、路标匹配等进行绝对位置修正以消除误差的累积。由于基于地图特征的地图匹配算法能够准确实现车辆行驶轨迹与参考轨迹的精确匹配，且可以根据匹配路段的航向角变化极值点确定车辆确定位置和航向，因此可以将地图特征匹配作为虚拟路标对系统进行修正，从而消除了累积误差实现了DR长距离导航应用。

### 3 试验结果与分析

为验证算法的有效性，基于清华大学新一代智能车THIV-I平台，如图7所示，惯性测量单元（IMU）安装在车辆的后轴中心，采用四元数法根据IMU的姿态输出，解算出车辆的姿态角。组合导航子系统可以通过车辆本身的CAN总线直接获得ABS传感器输出的四个车轮的车速和方向盘转角。首先利用传感器的量测信息并采用扩展卡尔曼滤波估计每个采样时间间隔内自主车辆的行驶弧长和航向角变化，在此基础上利用无迹卡尔曼滤波（UKF）实现地图匹配与DR的数据融合，实时自主车辆位置的解算。



图7 清华大学新一代智能车THIV-I

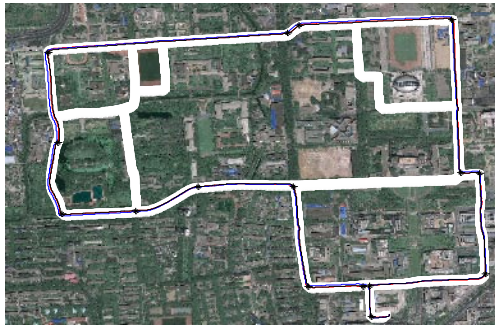


图8 清华大学校园内测试环境

首先利用Novatel公司的高精度Span/DGPS组合导航系统在清华校园采集地图数据，然后通过与Google卫星图片匹配对被偏离道路点离线修正，生成准确的参考轨迹，校园内Google卫星图片每个像素分表率在 $0.25 \times 0.25$ 米以内，能够满足自主车参考轨迹修正的需求，如图8所示。

自主车辆在行驶过程中，利用行驶的历史轨迹和参考轨迹实时匹配，其中参考轨迹的特征可以离线产生，而自主车辆行驶的历史轨迹则根据定位精度、匹配效果、航向角变化量等因素选取，为了保证匹配的可靠性，选择曲率大于0.05前后50米长度的历史轨迹进行匹配。一旦匹配完成，则根据曲率变换极值点和航向角确定行驶轨迹和地图的匹配点。并将其作为观测值给UKF滤波器提供观测信息，实现滤波器的量测更新。图9和图10分别给出了整个测试轨迹匹配和典型匹配点的轨迹图。

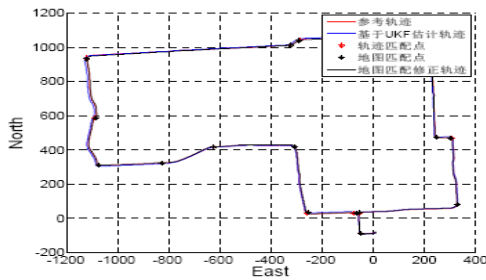


图9 参考轨迹、UKF轨迹和MM修正轨迹比较

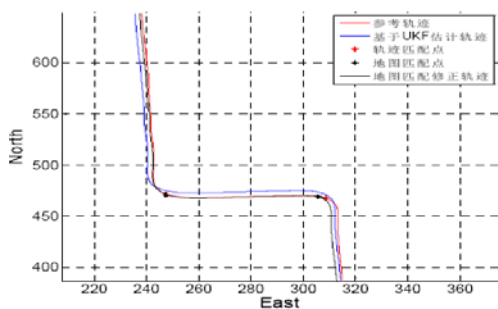


图10 典型匹配修正路段

为了实现DR参数和航向角的在线修正，根据两个相邻匹配点之间的自主车辆DR量测的累积距离和参考轨迹的累积距离进行计算修正，由于原标定参数以离散修正，相对校准。为了提高系统的可靠性防止错误修正，修正参数需要设置2%以内的阈值，一旦超出此范围则保持原有标定系数。而航向角则直接根据行驶轨迹曲率变化和方向盘转角判定直线行驶路段，在累积直线超过20米，则根据自主车辆解算航向和参考轨迹航向进行综合修正。图11给出了经过DR标定系数修正后的位置误差。

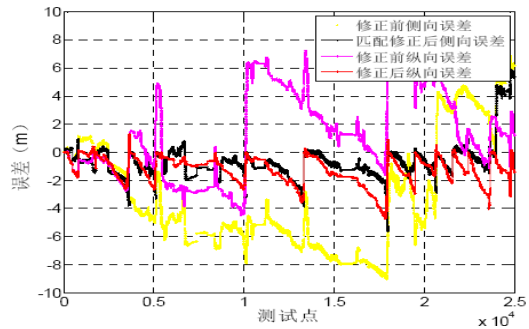


图11 纵向和侧向定位误差比较

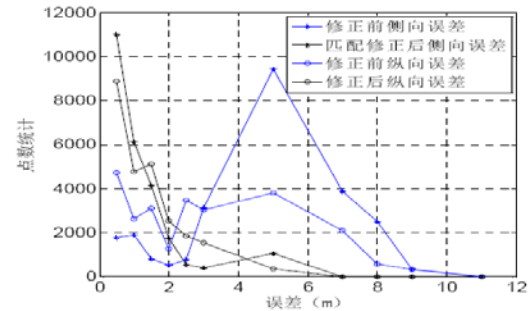


图12 匹配修正误差精度统计

在图10中，基于UKF独立估计自主车DR的位置的侧向和纵向最大误差分别为8.9948和8.9407米，而融入MM观测更新后侧向和纵向最大误差分别为5.8820和4.6961米。图11给出了采用地图特征匹配修正前后的所有测试点的精度统计，匹配修正前后详细对比参数如表1所示，除基本误差指标外，还给出了侧向和纵向偏差均小于1.0米、2.0米和5.0米时的累积里程占整个测试道路的比例。

表1 匹配修正前后详细对比参数

	定位误差平均MSE (米 <sup>2</sup> )	最大定位误差 (米)	小于1.0米比例	小于2.0米比例	小于5.0米比例
UKF 侧向	25.648	8.9948	7.7%	12.5%	52.6%
UKF 纵向	12.5491	8.9407			
UKF+MM 侧向	2.1754	5.8828	54.9%	70.8%	99.2%
UKF+MM 纵向	2.4639	4.6961			



## 4 结论

本文提出了基于地图或参考轨迹曲率特征的地图匹配方法,该匹配算法在地图特征点上实现地图与车辆行驶轨迹之间的曲率积分的相关性判定。通过清华校园内5.5公里长度(行驶时间30分钟)的实验,表明该算法匹配精度高,具有一定的鲁棒性,尤其适合类似的码头、公园、校园等自主车辆运行环境。此类环境能够获得详细道路信息或行驶轨迹,通过匹配可以实现定位修正,消除累积误差。同时该方法可以克服因DR传感器系数标定误差、航向角偏差而引起的地图错误匹配问题,并能够实现DR传感器和陀螺仪标定系数的修正,从而提高系统的定位精度。



**苏奎峰** 清华大学计算机系在读博士,讲师。主要从事自主车辆导航与控制,机器人,数字信号处理、多传感器信息融合等领域教学研究工作。

**邓志东** 博士,教授,博士生导师。清华大学计算机系,智能技术与系统国家重点实验室,研究领域:机器人,自主车辆,计算智能,计算神经科学,无线传感器网络等。

**黄振** 清华大学硕士生,研究领域:无人自主车,机器人,数字图像处理,人工智能,无线传感器网络等。

## 参考文献

- [1] Greenfeld J S. GPS Matching Observations to Locations on A Digital Map[C]. Proc of 81th Annual Meeting the of the Transportation Research Board, Washington D C, 2002.
- [2] Zhao Y. Vehicle Location and Navigation System[M]. Artech House, Inc, MA. 1997.
- [3] Zhang Q S, Wu J P, Yang D.K. Intelligent vehicle positioning navigation system and its application[M], Scientific Publishing House, 2002.
- [4] Su J, Zhou D F, Yue C S. The real-time map-matching algorithm in GIS in GPS vehicle navigation. Mapping Journal [J], 30 (3),2001: 252-256.
- [5] Kim J S, Le J H, Kang T H, Lee W Y, Kim Y G. Node based map-matching algorithm for car navigation system[C], Proceedings of the 29th ISATA Symposium, Florence, 1996, 10.: 121-126.
- [6] El Najjar, Bonnifait M E. A Road-matching method for precise vehicle localization using Kalman filtering and belief theory [J]. Autonomous Robots, 2005, 19 (2): 173-191.
- [7] White, C E, Bernstein, D, Kornhauser, A.L. Some map-matching algorithms for personal navigation assistants. Transportation Research Part C 8 [J] , 2000.: 91-108.
- [8] Joshi RR. A new approach to map-matching for in-vehicle navigation systems: The rotational variation metric[C]. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 2001: 33-38.
- [9] Greenfeld J S. Matching GPS observations to locations on a digital map[C]. In proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, January, Washington D.C. 2002.
- [10] Quddus, M A, Ochieng, W Y, Zhao L, Noland R B. A general map-matching algorithm for transport telematics applications[J]. GPS Solutions , 2003, 7 (3): 157-167.
- [11] LI Zhihua, CHEN Wu. A New Approach to Map-matching and Parameter Correcting for Vehicle Navigation System in the Area of Shadow of GPS Signal[C], Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2005: 425-430.
- [12] Quddus M A, Noland R B, Ochieng W Y. Validation of map-matching algorithm using high precision positioning with GPS[J]. Journal of Navigation,

- 2004, 58: 257 - 271.
- [13] Pyo J, Shin D, Sung T. Development of a map-matching method using the multiple hypothesis technique[C]. IEEE Proceedings on Intelligent Transportation Systems, 2001: 23-27.
- [14] Yang D, Cai B, Yuan Y. An improved map-matching algorithm used in vehicle navigation system[C]. IEEE Proceedings on Intelligent Transportation Systems, 2003, 2: 46-1250.
- [15] Quddus M A, Noland, R B, Ochieng, W Y. The effects of navigation sensors and digital map quality on the performance of map matching algorithms[C]. Presented at the Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C: January 2006.
- [16] Quddus M A, Noland R B, Ochieng W Y. A high accuracy fuzzy logic-based map-matching algorithm for road transport[J]. Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations, 2006, 10 (3): 103-115.
- [17] Phuyal B. Method and use of aggregated dead reckoning sensor and GPS data for map-matching[C]. In: proceedings of the Institute of Navigation (ION) annual conference, Portland, OR, September, 2002: 20-27.
- [18] Yin H, Wolfson O. A weight-based map-matching method in moving objects databases[C], Scientific and Statistical Database Management. In: Proceedings of the International Working Conference, 2004, 16: 437-438.
- [19] Ochieng W Y, Quddus M A, Noland R B. Map-matching in complex urban road networks [J]. Brazilian Journal of Cartography (Revista Brasileira de Cartografia), 2004, 55 (2): 1-18.
- [20] Kim W, Jee G, Lee J. Efficient use of digital road map in various positioning for ITS[C]. IEEE Symposium on Position Location and Navigation, San Diego, CA. 2000.
- [21] Gustafsson F, Gunnarsson F, Bergman N, Forssell U, Jansson J, Karlsson R, Nordlund P. Particle filters for positioning, navigation, and tracking[J]. IEEE Transactions on Signal Processing 50, 2002: 425-435.
- [22] Syed S, Cannon M E. Fuzzy logic-based map-matching algorithm for vehicle navigation system in urban canyons[C]. In proceedings of the Institute of Navigation (ION) national technical meeting, California, USA, January 2004: 26-28.
- [23] Fu M, Li Jie, Wang, M. A hybrid map-matching algorithm based on fuzzy comprehensive Judgment[C]. IEEE Proceedings on Intelligent Transportation Systems, 2004.: 613-617.
- [24] Cui M, Femiani J, Hu J, Wonka P, Razdan A. Curve Matching for Open 2D Curves [J], Pattern Recognition Letters, 2009, 30 (1) : 1-10.
- [25] 邓志东, 孙增圻, 一种对成片连续野值不敏感的鲁棒Kalman滤波, 清华大学学报(自然科学版) [J]. 1994, 34(1): 55-61.
- [25] DENG Zhidong, SUN Zengqi, Robust Kalman Filtering insensitive to continuous outlier[J], Journal of Tsinghua university, 1994, 34(1): 55-61.
- [26] 邓志东, 孙增圻, 自学习自适应INS/Doppler组合导航系统[J]. 宇航学报, 1994, 15(3): 55~63.
- [26] DENG Zhidong, SUN Zengqi, INS/DOPPLER integrated navigation system based on learning adaptive Kalman filtering[J], Journal of Astronautics, 1994, 15(3): 55-63.
- [27] 胡恒章, 邓志东, 组合导航系统的连续-离散Kalman滤波 [J]. 惯性技术, 1988(2): 1-5.
- [27] HU Hengzhang, DENG Zhidong. Continuous-discrete Kalman Filtering for integrated navigation system [J], Journal of inertial technology, 1988(2): 1-5.



# 基于参数化运动模型 和改进PSO算法的ALV运动规划

王珂珂 赵汗青 张蔚

装甲兵工程学院控制工程系

**摘要** 自主地面车辆在障碍物环境下的运动规划问题是一个包含非完整约束条件的全局优化问题。针对该优化问题，提出了一种基于参数化运动模型和改进粒子群优化算法的运动规划方法。该方法将车辆运动模型解耦为参数化弧长-曲率模型和速度模型，并采用混沌映射方法对粒子群优化算法进行了改进，将改进的粒子群优化算法应用于弧长-曲率模型中的参数优化问题。仿真结果证明了该方法的有效性，是自主地面车辆运动规划的一种较好方法。

**关键词** 自主地面车辆，运动规划，参数化模型，粒子群优化

## 1 引言

自主地面车辆（ALV）是一种能够通过多种传感器感知局部环境信息和自身状态，实现在有障碍物的环境中向目标点自主运动的智能系统。在复杂环境下的运动规划是目前挑战性最大的问题。传统运动规划算法，如基于几何构造的规划方法、图搜索算法和基于随机采样的运动规划方法等<sup>[1]</sup>，仅仅考虑了位形空间的几何约束，忽略了车辆的运动学和动力学特性，因而规划结果不一定是可行的，尤其阿克曼结构的轮式车辆存在最小转弯半径，且运动规划受到光滑约束条件的限制。因此，运动规划除了要在障碍空间找到一条无碰撞、代价优化的路径之外，重点强调规划的路径能够满足车辆的运动约束和动力约束，同时需要保证规划算法的实时性。

Thomas M. Howard<sup>[2][3]</sup>等为保证运动规划结果满足运动约束，设计了模型预测轨迹生成器，使用3参数2阶样条描述弧长-曲率模型，并采用梯度投影法进行参数优化。该方法有以下缺点：其一、由于3参数2阶样条函数对平面坐标系下轨迹的构造能力有限，该方法在多数情况下需采用分段规划、轨迹拼接的方法完成运动规划；其二、基于梯度投影的参数优化方法需要离线生成大量的参数参考值作为数据表，优化计算根据目标点信息通过查表方式获取适当的待优化参数的初始值，以提高优化速度和精度。

本文从轮式地面车辆的运动学建模入手，利用弧长-

曲率的曲线微分关系对车辆的运动约束和动力约束进行了分析，给出了完整的参数化运动模型，包括参数化弧长-曲率模型和参数化速度模型。在此基础上进一步对其参数优化方法进行了研究，给出了一种基于改进PSO的运动规划方法。实验结果表明，该方法通过约束分解的策略很大程度上降低了问题空间的复杂度，使得运动规划能够在较短的计算时间内获得满足运动和动力约束的避障路径。

## 2 问题描述

对ALV进行运动规划时，除了要考虑障碍物空间带来的几何约束之外，还要考虑车辆运动特性和动力特性对轨迹和速度的约束。因此，ALV运动规划是一个包含非完整约束条件的全局优化问题。为满足实际工程应用需求，在研究运动规划算法时，需要生成一组参数化的控制量，并满足一组状态约束方程。该问题可以使用一组微分方程表示：

$$\dot{\chi}(\chi, p) = f(\chi, u(p, \chi))$$

$\chi$ 表示车辆的状态， $\chi = [x, y, \theta, v, \delta]$ ， $(x, y, \theta)$ 为车辆位姿状态， $v$ 为车速， $\delta$ 为前轮摆角； $p$ 为需要求解的一组参数； $u(p, \chi)$ 是参数化的控制输入量； $\dot{\chi}$ 是 $u(p, \chi)$ 与 $\chi$ 的一个函数，因为ALV对于某一特定控制输入的响应与当前车辆状态有关系。

$$\chi_T = [x_T, y_T, \theta_T, v_T] \text{表示期望的目标位姿状态。}$$

$\chi_I = [x_I, y_I, \theta_I, v_I, \delta_I]$  表示车辆初始状态，包括初始位姿状态、初始车速和初始前轮摆角。

$$\chi_F(p, \chi) = \chi_I + \int_0^T \dot{\chi}(\chi, p) ds$$

$\chi_F(p, \chi)$  表示从初始状态  $\chi_I$  开始，在控制参数  $p$  的作用下的车辆状态。 $C(\chi, p)$  定义为目标位姿状态约束条件，其表达形式为  $C(\chi, p) = \chi_T - \chi_F(p, \chi)$ 。 $\varepsilon$  为允许最大目标位姿误差。 $C(\chi, p) \leq \varepsilon$  表示规划结果达到目标状态。 $C_{obs}$  是一些不可通行的非法状态组成的集合，即位姿空间中的障碍集合。用  $w = f(p)$  表示目标函数，作为评价优化效果的指标。

对于一组控制参数  $p$ ，产生一组行为控制序列  $u_1, u_2, \dots, u_k$ ，并由此序列导出一个状态序列： $\chi_I, \dots, \chi_F$ 。如果满足约束条件 并且  $\{\chi_I, \dots, \chi_F\} \cap C_{obs} = \phi$ ，那么称参数  $p$  为问题的一个解决方案。可以根据参数  $p$  导出的状态序列  $\chi_I, \dots, \chi_F$  计算目标函数  $w = f(p)$  的值。因此，运动规划问题可以表述如下：

$$\min w = \min f(p),$$

$$s.t. C(\chi, p) \leq \varepsilon \quad \{\chi_I, \dots, \chi_F\} \cap C_{obs} = \phi$$

### 3 参数化运动模型

#### 3.1 运动学模型状态空间描述

地面轮式车辆的位姿空间为  $C = R^2 \times S^1$ ，由三元组  $q = (x, y, \theta)$  表示，其中  $x, y$  表示车辆后轮中心所在的位置， $\theta$  表示车体的方向角。 $L$  表示车辆前后轮轴距。如图1所示。输入空间为车速  $v$  和前轮摆角  $\delta$ ，地面车辆运动的状态空间模型为：

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \theta \\ \dot{y} = v \sin \theta \\ \dot{\theta} = v \tan \delta / L \end{cases} \quad (1)$$

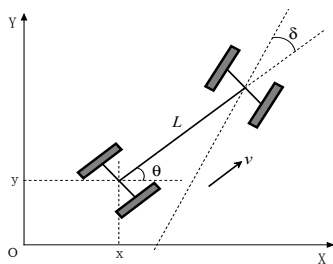


图1 轮式车辆的运动关系描述

地面轮式车辆的输入空间可以解耦为转向角度控制和纵向速度控制。其运动学约束条件描述为：由于车辆转向机构的限制，前轮摆角  $\delta$  满足  $|\delta| \leq \delta_{max}$ 。由于车辆系统特性的限制，其动力学约束的产生可以从两个方面来思考：一方面考虑控制输出量的有界性和控制输出一阶导数的有界性；另一方面考虑地面车辆工作的惯性系中，所有能量的变化都是连续的，即所有控制输出量是连续的。所以，转向角度输出函数  $\delta = f_\delta(t)$  和速度控制输出函数  $v = f_v(t)$  均应为有界且一阶连续可微。

运动规划的结果只有满足上述有界、一阶连续可微的条件，即运动轨迹连续光滑，才能满足实际行驶的需求。

#### 3.2 运动学模型弧长-曲率空间描述

根据弗雷内曲线微分关系，光滑曲线  $\{L: y = f(x)\}$  在  $M_0$  点的曲率定义为：

$$k = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta s} = \frac{d\theta}{ds}$$

曲率表现了曲线上包含点  $M_0$  的弧段偏离直线的程度，也表现了曲线方向变化的快慢。因此，可以用弧长-曲率特征来描述车辆每一时刻的位置变化和角度变化。

对于 (1) 式，可进行如下变形

$$\begin{cases} \Delta x = v \Delta t \cos \theta = \Delta s \cos \theta \\ \Delta y = v \Delta t \sin \theta = \Delta s \sin \theta \\ \Delta \theta = v \Delta t \tan \delta / L = \Delta s \tan \delta / L \end{cases}$$

上式对弧长 进行微分可得

$$\begin{cases} \frac{dx}{ds} = \cos \theta \\ \frac{dy}{ds} = \sin \theta \\ \frac{d\theta}{ds} = \frac{\tan \delta}{L} \end{cases}$$

$$\text{且 } k = \frac{d\theta}{ds} = \frac{\tan \delta}{L}$$

由此可知，在车辆行驶轨迹的曲率由当前车辆前轮摆角决定，与车速无关。

在弧长-曲率空间下，地面轮式车辆的运动学约束为：轨迹曲线有最大曲率限制  $|k| \leq k_{max}$ 。在车辆转向控制过程中，由于  $\delta_{max} \approx \pi/9$ ，曲率  $k$  与转向控制量（前轮摆角） $\delta$  是等价的；当车速  $v$  已知时，由  $S = vt$  可知，时间  $t$  与弧长  $s$  是等价的。因此可以用弧长-曲率关系  $k = f_k(s)$  表征转向控制量  $\delta = f_\delta(t)$ 。因

此其动力学约束可以描述为： $k = f_k(s)$  在  $s \in [0, s_f]$  上一阶连续可微，且  $|\dot{k}| \leq \dot{k}_{\max}$ ；由于车辆速度  $v$  和转速  $\omega$  的极限值产生的对轨迹曲线曲率的限制，即当  $v$  已知，有  $k \propto \omega$   $k < |\omega_{\max} / v|$ 。

### 3.3 参数化弧长-曲率模型

参数化弧长-曲率模型是将转向过程中的  $k = f_k(s)$  曲线用一个3次样条函数描述，通过  $m$  个控制样条形状的特征点  $(k_1, k_2, \dots, k_m)$  来控制  $k = f_k(s)$  曲线的形式， $|k_i| \leq k_{\max}$ ， $i=1, 2, \dots, m$ 。

根据定义可知，3次样条函数所构造的曲线比较光滑，即在给定的区域上（包括节点处）具有一阶导数和二阶导数存在且连续的基本特性，因此可以保证  $\dot{k}$  和  $\ddot{k}$  连续。这意味着能够满足在进行车辆转向控制时，前轮摆角  $\delta$  和前轮摆速  $\dot{\delta}$  的连续性，生成的轨迹符合实际的车辆动力系统变化特征，满足车辆平稳行驶的要求。

考虑到基于3次样条函数的弧长-曲率模型对路径曲线的构造能力，应根据环境特点、起始点与目标点的距离等因素对  $m$  进行适当取值。在参数化弧长-曲率模型中， $k_0$  由车辆当前状态下的前轮摆角  $\delta$  决定，为定值，无需优化。如图2所示，当  $m=4$  时，运动规划需要优化的参数包括  $k_1, k_2, k_3, s_f$ 。

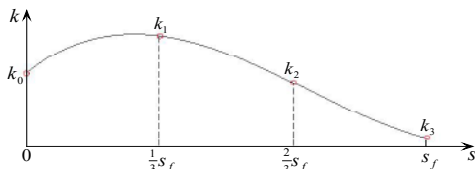


图2 弧长-曲率的3次样条函数

### 3.4 速度规划模型

本文采用线性模型对车辆速度进行规划。规划时，主要考虑路径规划中最大曲率点对车速的限制值  $v_{\max}^k$ 、任务规划层的期望速度  $v_{task}$  和当前车速  $v_0$ 。为此，本文设计了3种不同的线性模型，即匀速模型（ $v_0 = v_{task} < v_{\max}^k$  时）、加速模型（ $v_0 < v_{task}$  或  $v_0 < v_{\max}^k$  时）和减速模型（ $v_{\max}^k < v_0$  或  $v_{task} < v_0$  时）。由于模型的固定性，速度规划时无需进行参数优化。

### 3.5 优化指标模型

构造良好的评价函数对于优化算法非常重要。根据

ALV运动规划的实际需求，评价函数应综合考虑路径的行驶安全性、平稳性、路径长度、行驶速度等。由于本文采用3次样条构造的弧长-曲率模型保证了路径的行驶平稳性，所以优化指标应主要考虑路径长度和行驶安全性。

定义优化指标  $W = \alpha_1 W_{safe} + \alpha_2 W_{len}$ 。 $W_{safe}$  为行驶安全性， $W_{len}$  为路径的长度， $\alpha_1, \alpha_2$  为权值系数。

(1) 规划路径的行驶安全性，即由弧长-曲率模型描述的路径不能与障碍物相交，且应尽量保持一定的安全距离。为此，设计安全性惩罚函数  $W_{safe}$ 。当路径与所有障碍物之间的最小距离  $d_{\min}$  小于设定的安全距离  $D_{safe}$  时，要进行惩罚，且惩罚函数为最小距离的减函数；路径与所有障碍物之间的最小距离  $d_{\min}$  大于设定的安全距离  $D_{safe}$  时，安全性惩罚函数值应与  $d_{\min} = D_{safe}$  时的值连续，以保证最终构造的适应度函数全局最小的唯一性。定义如下安全性惩罚函数：

$$W_{safe} = \begin{cases} 1, & d_{\min} > D_{safe} \\ \exp\left(\frac{D_{safe} + 1}{d_{\min} + 1} - 1\right), & 0 < d_{\min} \leq D_{safe} \end{cases}$$

$$d_{\min} = \min_{o \in C_{obs}} \min_{t \in [0, 1]} \sqrt{(x(s) - o_x)^2 + (y(s) - o_y)^2}$$

式中， $x(s), y(s)$  由弧长-曲率模型确定， $C_{obs}$  为位姿空间中所有障碍物的集合。

(2) 规划的路径应尽量短，即弧长-曲率模型中的弧长越小越好。路径长度惩罚函数与路径的弧长成反比。定义如下路径长度惩罚函数  $W_{len} = S / S_{\min}$ 。式中， $S_{\min}$  为起始点到目标点的欧式距离， $s$  为轨迹的弧长。

## 4 改进PSO算法

对于障碍物环境下的运动规划问题，位姿空间中障碍物约束条件很难用函数解析的形式进行表达，优化问题的自变量必须满足地面车辆系统的状态微分方程，且目标函数在待优化区域内具有多个极值点。由于上述三个因素的存在，大大增加了优化问题的困难程度，传统的优化方法很难凑效。

粒子群优化<sup>[4]</sup> (Particle Swarm Optimization, PSO)，由Kennedy和Eberhart基于一种社会心理学模型中的社会影响和社会学习<sup>[5]</sup>而提出的一种新的全局优化

进化算法，其基本概念源于对鸟类捕食行为的模拟。与其它的进化算法相比，PSO算法简单通用、调整参数少、容易实现，具有较强的全局收敛能力和鲁棒性，且不需要借助问题的特征信息，非常适于对复杂环境中的优化问题的求解。作为一种高效的优化方法，该算法近年来已引起了优化及演化计算等领域的学者们的广泛关注<sup>[6]</sup>。

#### 4.1 基本PSO算法

PSO算法首先生成初始种群，并由目标函数为每个粒子确定一个适应值。粒子将在解空间中运动，其位置的调整依赖于自身的经验以及周围邻居的经验，并由一个速度量决定其下一步前进的方向和距离。

设搜索空间为 $m$ 维，即决策变量的个数；粒子种群中粒子个数为 $n$ ，第 $i$ 个粒子的位置为 $\mathbf{x}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}]^T$ ，其速度为 $\mathbf{v}_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im}]^T$ 。令 $\mathbf{x}_i(t)$ 代表第 $i$ 个粒子在时刻 $t$ 在搜索空间的位置， $t$ 代表离散时间点。粒子的位置变化由加入的速度项 $\mathbf{v}_i(t)$ 引起，即：

$$\mathbf{x}_i(t+1) = \mathbf{x}_i(t) + \mathbf{v}_i(t+1) \quad (2)$$

其中 $\mathbf{x}_i(t) \in U(\mathbf{x}_{\min}, \mathbf{x}_{\max})$ 。第 $i$ 个粒子的个体最优值为 $\mathbf{P}_i = [P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{im}]^T$ ，种群的全局最优值为 $\mathbf{P}_g = [P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gm}]^T$ 。速度向量是驱动整个优化进程的驱动力。按照追随当前最优粒子的原理，第 $i$ 个粒子在第 $j$ 维上的速度 $v_{ij}(t+1)$ 将按照下式计算：

$$v_{ij}(t+1) = wv_{ij}(t) + c_1r_1[P_{ij}(t) - x_{ij}(t)] + c_2r_2[P_{gj}(t) - x_{ij}(t)] \quad (3)$$

式中， $j=1, 2, \dots, m$ ； $i=1, 2, \dots, n$ ； $v_{ij}(t)$ 为惯性项，可以防止粒子大幅度的改变搜索方向，只是对现行飞行方向有所偏向。 $w$ 为惯性权值； $r_1$ 和 $r_2$ 为服从均匀分布于 $[0, 1]$ 之间的随机数，这些随机数将不确定性因素引入到算法中； $c_1$ 和 $c_2$ 是正数的加速度常量，分别用来度量认知成分和社会成分对于速度更新的贡献。

#### 4.2 改进粒子群优化算法

虽然基本粒子群优化算法存在着许多优点，取得了一些成功，但分析表明该算法存在着容易陷入局部最优，进化后期收敛速度慢等缺点<sup>[7]</sup>。为此，本文采用混沌映射方法对粒子群优化算法进行了改进。

混沌运动是确定性系统在非线性的相互作用下，有可能产生的对初始值极为敏感的、貌似无规则的复杂运

动，是局部不稳定与整体稳定的矛盾统一体。混沌运动具有遍历性、轨道不稳定性及分岔、长期不可预测性、分形结构和普适性等特征<sup>[8]</sup>。常见的离散混沌系统有：

(1) 帐篷映射：

$$z_{n+1} = \begin{cases} z_n/a, & 0 \leq z_n < a \\ (1-z_n)/(1-a), & a \leq z_n < 1 \end{cases}$$

(2) 抛物线映射：

如典型的Logistic映射属于抛物线映射。

$$z_{n+1} = \lambda z_n(1-z_n), \lambda \in (0, 4], z_n \in [0, 1]$$

在PSO算法中，初始种群通常为随机选取。当解空间较大时，一般很难保证初始粒子均匀分布整个解空间，减弱了PSO的全局搜索能力。本文采用帐篷映射生成的混沌序列对PSO种群的位置进行初始化，既不改变PSO初始化时所具有的随机性本质，又利用混沌的特性提高了种群多样性和粒子搜索的遍历性。在产生大量初始群体的基础上，从中选择出性能较优的粒子作为初始种群。

“早熟停滞”是粒子群算法面临的重大问题。当粒子在寻优过程中遇到局部极值时，很容易导致所有粒子均飞入该极值点附近，停滞不前，从而使算法陷入局部最优。此时，需要在算法中加入“干扰”，使部分粒子跳出局部极值点，带领整个种群寻找全局最优点。混沌映射具有不重复的遍历整个搜索空间的优良特性，因此，当PSO算法停滞时，在规定的解空间范围内进行混沌迭代，以取代部分种群粒子，帮助惰性粒子逃离局部极值点，增加了种群粒子的多样性。

#### 4.3 算法步骤

Step1 初始化参数。设置种群规模 $N$ 、最大迭代次数 $Gen$ 、替代概率 $P$ 及PSO算法的相关初始参数：惯性权值 $w$ 、加速度常量 $c_1$ 、 $c_2$ 和初始种群的速度。

Step2 采用混沌序列初始化粒子的位置。随机产生一个 $m$ 维（待优化参数的维数）且每个分量数值在 $0-1$ 之间的向量， $\mathbf{z}_1 = (z_{11}, z_{12}, \dots, z_{1m})$ 。根据混沌映射公式。得到 $N^*$ 个向量 $\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_{N^*}$ 。其中 $N^* > N$ 。将 $z_i$ 的各个分量映射到对应待优化参数的取值区间。计算所有粒子的适应值，从 $N^*$ 个粒子中选择性能较好的 $N$ 个作为初始种群，并保存全局最优位置 $\mathbf{P}_g$ 和个体最优位置。

Step3 按照公式(2)(3)，产生新一代的粒子位置，并计算其适应值，找到所有导致路径与障碍物发生碰撞的粒子，并用混沌序列随机产生数量相同的新粒子将其替代，然后更新 $\mathbf{P}_g$ 和 $\mathbf{P}_i$ 。

Step4 判断算法是否停滞。若停滞则执行Step5, 否则执行Step6。

Step5 按照混沌映射公式, 生成 $N'p$ 个 $m$ 维混沌向量, 线性映射到规定的解空间范围内, 随机取代原来的 $N'p$ 个种群粒子; 返回Step3。

Step6 判断是否满足算法终止条件, 若满足则终止算法, 执行Step7; 否则, 执行Step3。

Step7 输出全局最优路径。

## 5 实验结果

为了验证算法的效果, 对提出的基于参数化弧长-曲率模型和改进PSO的运动规划方法进行了大量的仿真实验。各参数设置如下: 待优化参数的个数 $m=6$ , 种群规模 $N=100$ , 学习因子 $c_1=c_2=2.0$ , 惯性权值 $w$ 随着迭代次数的增加从0.9线性减小到0.6, 最大迭代次数 $Gen=50$ , 替代概率 $p=0.4$ , 初始种群的速度均为0。本文以两个仿真环境为例, 其实验结果如图3、图4所示。

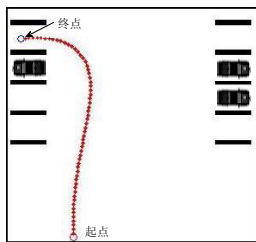


图3 环境1的仿真结果

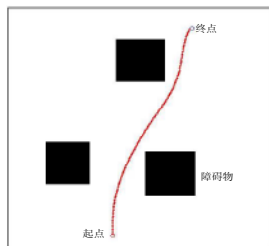


图4 环境2的仿真结果

环境1: 环境地图尺寸为 $30m \times 30m$ , 起点坐标为 $(8, 3)$ , 车体方向角为0, 车辆前轮摆角为0。终点坐标为 $(1.5, 27)$ , 车体方向角为 $-\pi/2$ 。

环境2: 环境地图尺寸为 $60m \times 60m$ , 起点坐标为 $(24, 3)$ , 车体方向角为0, 车辆前轮摆角为0。终点坐标为 $(42, 55)$ , 车体方向角为 $\pi/6$ 。

表1 算法统计结果

	平均最短路径/m	平均运行时间/ms
环境1	28.06	177.03
环境2	55.51	229.34

实验数据证明, 该算法对于一般障碍物环境下的轮式车辆路径规划, 能以很大的概率收敛到全局最优, 并且收敛速度很快, 满足自主地面车辆系统的实时性要求。但是对于大范围复杂环境下的路径规划问题, 算法的收敛速度有所减慢, 但最终也能收敛于全局最优路径, 也是完全适用的。

## 6 结论

本文针对障碍物环境下自主地面车辆的运动规划问题, 将车辆运动模型解耦为参数化弧长-曲率模型和速度模型, 并提出了一种基于参数化模型的改进PSO算法。采用混沌映射方法对PSO算法进行了改进, 有效解决了基本PSO算法容易陷入局部最优, 进化后期收敛速度慢等缺点, 得到了问题最优解, 仿真结果表明了方法的有效性。本文只对静态障碍物环境下的运动规划进行了研究, 将该运动规划方法应用于动态障碍物环境是需要进一步研究的课题。



**王珂珂** 装甲兵工程学院控制工程系博士研究生。专业: 导航、制导与控制。研究领域: 军用自主车辆任务规划、运动规划及轨迹跟踪控制。



**赵汗青** 赵汗青, 博士, 副教授。研究领域: 人工智能、模式识别与军用自主车辆技术。



**张蔚** 博士, 讲师。研究领域: 智能控制技术。

## 参考文献

- [1] 刘华军, 杨静宇, 陆建峰, 唐振民, 赵春霞等. 移动机器人运动规划研究综述[J]. 中国工程科学. 2006, 1:85-94.
- [2] Thomas M. Howard and Alonzo Kelly. Optimal Rough Terrain Trajectory Generation for Wheeled Mobile[J]. The International Journal of Robotics Research, 26(2), 141-166, 2007.
- [3] Dave Ferguson, Thomas M. Howad, and Maxim Likhachev. Motion Planning in Urban Environments[J]. Journal of Field Robotics. 2008, 25:939-960.
- [4] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization [C]. Australia: International Conference on Neural Networks. 1995.
- [5] Kennedy and R. Mendes. Neighborhood Topologies in Fully-Informed and Best-of-Neighborhood Particle Swarms [C]. International Workshop on Soft Computing in Industrial Applications. 2003:45-50.
- [6] Parsopoulos K E, Vrahatis M N. Recent approach to global optimization problem through particle swarm optimization[J]. Natural Computing. 2002, 1(2):235-256.
- [7] 刘玲, 钟伟民, 钱锋. 改进的混沌粒子群优化算法[J]. 华东理工大学学报(自然科学版). 2010, 36(2):267-272.
- [8] 唐贤伦. 混沌粒子群优化算法理论及应用[D]. 重庆:重庆大学博士学位论文, 2007.

# 基于ASIFT的多视角交通标志识别

陈龙<sup>1,2</sup> 李清泉<sup>1,3</sup> 李明<sup>1</sup> 毛庆洲<sup>1,3</sup>

1. 武汉大学时空数据智能获取技术与应用教育部工程研究中心;  
2. 武汉大学电子信息学院; 3. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室。

**摘要:** 针对自然场景图像中交通标志存在多视角难于识别的问题, 本文提出一种基于ASIFT 匹配的交通标志识别算法。该算法利用ASIFT 对视角变化的不变性进行特征点匹配, 通过统计并比较有效匹配点来决定标志种类。实验表明该算法对视角较小的交通标志也有很好的效果。

**关键词:** 交通标志识别; ASIFT; 模板匹配

## 1 引言

交通标志检测和识别是智能驾驶系统和安全辅助驾驶系统中的关键环节。实时准确的检测并识别出交通标志为驾驶员提供准确的预判信息可以有效减少交通违章从而确保安全驾驶。但是, 由于车辆行驶方向不定和交通标志摆放问题, 使得车载相机捕获到的交通标志存在多视角的情况, 使得自动识别交通标志变成一个具有挑战性的任务。

交通标志识别主要分为两部分: 一部分是交通标志检测, 另一部分是交通标志分类。本文主要研究后者。目前为止, 多种交通标志分类技术有很多种。其中最简单的一种方法是模板匹配算法<sup>[1]</sup>。M. Betke等人提出采用计算预处理后所得的交通标志图像与标准交通标志模板之间的相似系数对交通标志的分类方法, 相似系数越大, 则交通标志图像与标准模板的相似性的概率越大, 也即交通标志图像也有可能是标准模板的图像。支持向量机(SVM)广泛应用到交通标志内部的分类<sup>[2]</sup>。

线性SVM和非线性SVM是对交通标志重采样后得到的内部信息的分类。仅仅是内部重要的像素用来做支持向量机的训练, 解决了大量输入信息造成分类困难的问题。主成分分析(PCA)和线性判别分析(LDA)算法也被大量的用来解决此问题<sup>[3]</sup>。Escaleraetal<sup>[4]</sup>研究了一个交通检测和识别系统。此系统包括两个部分: 其一是利用色彩阈值分割图像并利用形状特征定位交通标志, 其二是利用神经网络的方法分类。在本文中神经网络包括输入层、隐层和输出层构成。其中输入层有 $32 \times 32$ 个神经元, 输出层有9个神经元。这个网络训练并识别9类交通

标志。模板跟踪算法(matching pursuit method)<sup>[5]</sup>引进了大量的代表交通标志或者图像的基元——Mp bases (对于不同交通标志)。将待识别的交通标志与不同的交通标志基元做比较, 得到最佳匹配。以上这些算法都没有针对交通标志的多视角问题进行研究, 也并不适合多视角的交通标志分类。

本文针对此问题, 提出了一种基于ASIFT算子模板匹配的交通标志识别方法。利用ASIFT算子可以较好的描述图像的旋转和倾斜不变点的特性, 通过目标标志牌和标准模板标志的ASIFT算子匹配, 统计并比较有效点来进行标志分类。

## 2 基于A-SIFT的交通标志识别

### 2.1 相机仿射模型

图像的形变往往是有视角的改变产生的。在物体边界限是分段光滑的条件下, 视角的改变可由放射平面的改变来模拟。如图1所示。

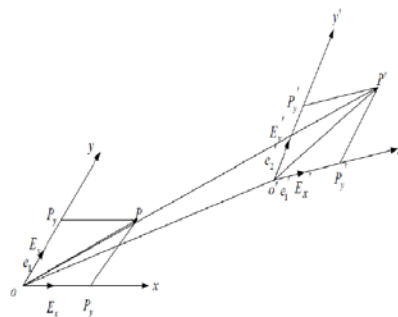


图1 仿射变换



根据向量的加法和向量的坐标表达, 则有:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{op'} &= \overrightarrow{oo'} + \overrightarrow{o'p'} \\ &= (a_{13}e_1 + a_{23}e_2) + (xe'_1 + ye'_2) \\ &= (a_{13}e_1 + a_{23}e_2) + x(a_{11}e_1 + a_{21}e_2) \\ &\quad + y(a_{12}e_1 + a_{22}e_2) \\ \overrightarrow{op'} &= x'e_1 + y'e_2 \end{aligned} \tag{1}$$

由(1)(2)式得

$$\begin{cases} x' = a_{11}x + a_{12}y + a_{13} \\ y' = a_{21}x + a_{22}y + a_{23} \end{cases} \tag{2}$$

其中  $a_{11}, a_{23}, x, y, a_{13}, a_{21}$  为任意的正整数。由  $\overrightarrow{op}, \overrightarrow{op'}$  互

不平行, 知  $\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \neq 0$  因此图在摄像机转动的过程中的形变模型为  $u(x, y) = u(ax + by + e, cx + dy + f)$ , 其中  $A = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} > 0$  是任意的满足行列式为正的平面图, 如图2所示,

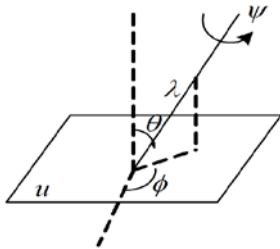


图2 摄像头位置与图像位置关系图

A平面可分解为:

$$A = \lambda \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi \\ \sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \tag{3}$$

我们将上式记作:

$$A = \lambda R(\psi) T_t R(\phi) \tag{4}$$

其中  $\lambda > 0, \lambda t$  是A的行列式。  $\phi \in [0, 180)$ ,  $R(\psi)$  表示图像旋转的角度  $\psi$ ,  $T_t (t \geq 1)$  称作相机的倾斜角。  $\phi$  和  $\theta = \arccos 1/t$  表示相机的观测角度,  $\psi$  决定了相机的旋角度, 如图2所示。在这个仿射模型中, 相机在距离平面物体很远的位置。开始相机位于物体的正前方, 接着相机在平行于物体的平面上运动, 同时物体也在原平面上运动。在垂直抽线盒光轴线所在的平面和一个固定的垂直平面成  $\phi$  角, 把这个角叫做经度。光学轴和射到图像所在的平面的垂线成  $\theta$  角, 这个参数叫做纬度。倾斜度  $t = 1/\cos\theta$ 。相机绕着它的光轴旋。最后相机前后移动从而改变参数的值。因此在公式(6)中:

$$u(x, y) = u(ax + by + e, cx + dy + f) \tag{5}$$

当  $\lambda_0 = 1, t_0 = 1, \phi_0 = \psi_0 = 0$  时, 相机在图像的正上方, 随着参数  $\lambda, t, \phi, \psi$  的改变相机发生不同程度的旋转。

## 2.2 图像仿射变换倾斜度变换

定义 1. 已知有两张从不同角度的拍摄的图像如图3,

$u_1(x, y) = u(A(x, y))$  和  $u_2(x, y) = u(B(x, y))$ , 它们的倾斜度转变为  $\tau(u_1, u_2)$ , 旋转度变化为  $\phi(u_1, u_2)$ , 则两幅图像的变换矩阵为  $BA^{-1}$  且  $BA^{-1} = H_\lambda R_1(\psi) T_t R_2(\phi)$ 。

证明: 由已知条件知:

$$u_1(x, y) = u(A(x, y)) \tag{6}$$

$$u_2(x, y) = u(B(x, y)) \tag{7}$$

设

$$A = \lambda_1 R(\psi_1) T_{t_1} R(\phi_1) \quad B = \lambda_2 R(\psi_2) T_{t_2} R(\phi_2)$$

由于  $T_t$  是对角矩阵所以它可以与任意的矩阵交换。又由于

$$\begin{aligned} BA^{-1} &= \lambda_1 \lambda_2 R(\psi_2) T_{t_2} R(\phi_2) R^{-1}(\phi_1) T_{t_1}^{-1} R^{-1}(\psi_1) \\ &= H_\lambda R(\psi_2) T_{t_2} R_2(\phi) T_1^{-1} R_1^{-1}(\psi_1) \\ &= H_\lambda R(\psi_2) R_2(\phi) T_{t_2} T_1^{-1} R_1^{-1}(\psi_1) \\ &= H_\lambda R(\psi_2) R_2(\phi) T_{t_2} R_1^{-1}(\psi_1) \\ &= H_\lambda R(\psi_2) R_2(\phi) R^{-1}(\psi_1) T_{t_2} \\ &= H_\lambda R(\psi_2) R^{-1}(\psi_1) R_2(\phi) T_{t_2} \\ &= H_\lambda R_1(\psi) T_t R_2(\phi) \end{aligned}$$

故结论成立。

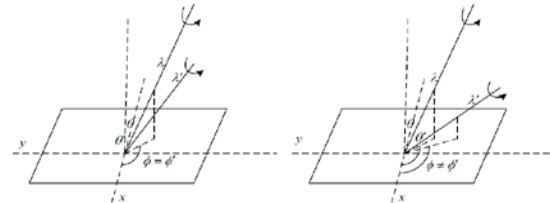


图3 不同角度下的仿射变换图

左边图经度  $\phi = \phi'$ , 纬度  $\theta = 30^\circ$ ,  $\theta = 60^\circ$  绝对倾斜度为  $t = 1/\cos\theta = 2/\sqrt{3}, t' = 1/\cos\theta' = 2$ , 倾斜度转变为:

$$\tau = t/t' = \sqrt{3}$$

$$\phi = \phi + 90^\circ, \theta = 60^\circ, \theta' = 75.3^\circ, t = 2, t' = 4,$$

$\tau(u_1, u_2) = t \cdot t' = 8$  由此可见, 两个很小的绝对倾斜角会产生两幅图像的倾斜角很大变化, 在某些情况下倾斜角的变换可以达到36, 64甚至更大。两幅图像能相互匹配的最大倾斜变化  $\tau_{\max}$  取决于  $t$  和  $t'$  的值。实验证明SIFT的最大倾斜变化  $\tau_{\max} \approx 2$  Haaris-Affine 和Hessian-Affine 最大倾斜变换接近于2.5。MSER 最具鲁棒性, 其  $\tau_{\max}$  为5到10。本文使用的ASIFT最大倾斜变化一般可达36以上, 对图像的匹配点数已经超过了人的技能。

## 2.3 ASIFT匹配

ASIFT的匹配步骤为:

(1) 将每一幅图像模拟所有可能由摄像头方向的变化而引起的形变，组成一堆由不同旋转和倾斜的图像，这里的形变依赖于两个参数经度  $\phi$  和纬度  $\theta$ ，在获得图像的过程中相机经过不同程度的旋转和倾斜。对于数字图像，对于不同倾斜的图像做  $t$  采样，那么需要在  $x$  方向上进行抗锯齿的滤波，即对将图像与高斯函数做卷积，本文用标准差为  $c\sqrt{t^2-1}$  其中  $c=0.8$ 。

(2) 相机的旋转和倾斜模拟大量有限的经度和纬度变换，相机每次变化的角度应该尽量小，这样可以尽量模拟相机可能存在的任意角度。

(3) 所有的模拟图像用尺度不变、旋转不变、平移不变算法（经典的SIFT算法）进行配准。由于SIFT归一化、将平移相机与焦平面平行并围绕着光轴旋转相机，因此相机的6个参数均通过ASIFT进行归一化和模拟。

(4) 模拟经度  $\theta$  是与倾斜  $t=1, a, a^2, \dots, a^n$  其中  $a>1$  相符的。实验证明，当  $a=\sqrt{2}$  是为最佳。 $n$  的数值达到5或者更大，而倾斜转变在  $[1, 32]$  或者更大范围会被探讨。

(5) 对于每一个  $t$  纬度  $\phi$  估计序列为  $0, b/t, \dots, kb/t$  其中  $b=72^\circ$  最佳， $k$  是满足  $kb/t < 180^\circ$  的最小正整数。

(6) 复杂度：每一个倾斜图像经  $t$ -次采样将图像分割成不连通的区域。每次倾斜旋转图像的个数为  $(\frac{80}{72})^t = 2.5t$ ，因此这个方法的复杂度是与相机倾斜的次数成正比的。控制了图像区域的大小就等同于控制了算法的复杂度。确实地，SIFT搜索时间和存储容量是和图像区域的大小成正比的。也就是说，ASIFT复制制度取决于 a) 二次采样和图像的搜索；b) 确定正确的  $(t, \phi)$  对；c) 将在此  $(t, \phi)$  下的图像回归到原始分辨率。

(7) ASIFT的复杂度描述最终以一个实例解释多分辨率搜索策略实际上是得算法的耗费的时间是SIFT的两倍。

假设  $a=\sqrt{2}$ ， $n=5$ ，则每一副图像最大的绝对倾斜为5.7，最大的转化倾斜为达到32，那么模拟图像的区域大小为原始区域的5剩5等于12.5倍。通过对原始图像3×3次采样，这个区域的降低为原来的1.4倍。如果在这个分辨率下，查询和检索图像和SIFT算法的复杂度相比会增加两倍。图5显示了在经度和纬度球面上的相对稀疏采样是由一个完全仿射变换得到的。

(8) 由于交通标志的局部相似性很大，比如静止向左和禁止向右行驶的标志都具有极其相似的箭头符号，对于ASIFT算法来说箭头特征都被认作是不变点。此时

需要进行匹配点筛选工作，由于相同种类标志无论视角如何变化其和标准模板匹配时，匹配点的顺序是一定的，而不同标志与其匹配时匹配点的几何顺序会有交叉，此时统计非交叉匹配点个数作为评判标准可以大大降低相似对相似标志分类的难度，提高该算法在交通标志识别应用时的有效性。

### 3 实验及分析

为了验证算法的有效性，本文准备两套实验数据。一套数据是为了验证ASift对于视角的适应范围，另一套数据实验是对ASift性能做评断。本文实验数据主要包括红色圆形禁令标志、蓝色圆形指示标志、三角形警告标志等三大类32小类交通标志，第一套数据以相机光轴正对实验标志牌，标志牌以自身竖直中线为轴转动，标志左边界和光轴夹角为  $\theta$ ， $\theta$  从10到170每隔10进行一次拍照作为实验数据。一个标志共采集17张图包含17个角度作为一组。如图4。根据颜色形状不通标志被分为警告标志、禁令标志、指示标志等，根据不通进行组内匹配，17个不同角度的交通标志分别和组内的所有标准模板进行匹配，统计匹配有效点的个数以此作为分类的标准。本文选择基于武汉大学智能车为载体的采集系统采集的不同时间不同地点的400副交通标志图进行测试。

从表中可以看出，实验结果可以看出Asift算法对于成30到150间的交通标志都有较好效果。Asift对于角度在之间的目标都有很好的效果，而相比之下Sift, Surf等不变算子对于视角变化的交通标志效果不佳。从实验2表中可以看出，对于红色禁令标志其识别准确率达到了91%，蓝色圆形指示标志有86.5%，黄色三角警告标志为94%，总体的统计准确率为89.8%远好于基于SIFT、SURF的匹配，比常用于分类的LDA算法也有明显的优势，对于其中角度较大的标志基本SIFT、SURF和LDA都无能为力。

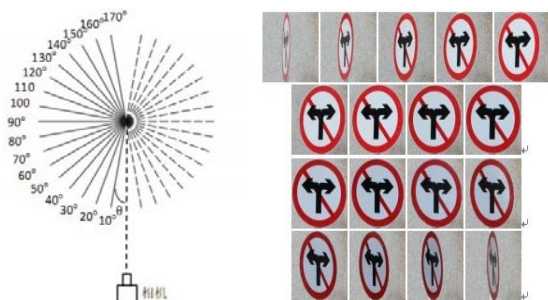


图4 相机视角定义及获取相应角度的标志图片



图5 武汉大学智能车



图6 禁令标志标准模板

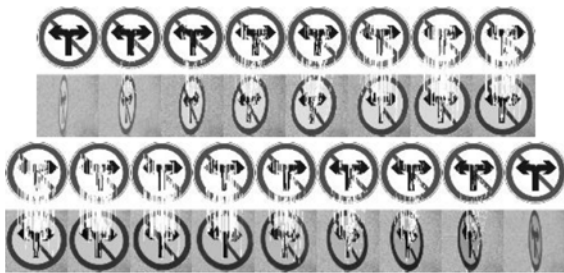


图7 17个角度分别和模板进行ASIFT匹配结果

表1 静止左右转标志的一组图片和标准模板图进行ASIFT、SIFT和SURF匹配的正确匹配点个数统计

角度 (°)	ASift	Sift	Surf
10	0	0	0
20	32	0	0
30	42	4	5
40	68	5	11
50	115	8	16
60	138	16	25
70	128	20	32
80	143	25	33
90	113	31	40
100	134	30	40
110	127	22	40
120	75	19	22
130	70	10	15
140	50	3	5
150	29	0	0
160	10	0	0
170	0	0	0

表2 多角度交通标志识别算法对比

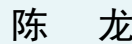
交通标志	ASift		Sift		Surf		LDA		
	个数	正确数	识别率	正确数	识别率	正确数	识别率	正确数	识别率
红色圆形禁令标志	200	182	91%	128	64%	133	66.5%	118	59%
蓝色圆形指示标志	200	173	86.5%	113	56.5%	121	60.5%	109	54.5%
黄色三角警告标志	100	94	94%	75	75%	76	76%	64	64%
以上综合	500	449	89.8%	316	63.2%	330	66.0%	291	58.2%

## 4 结论

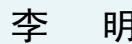
本文针对自然场景中车载相机对交通标志的获取存在多视角的情况，提出了基于ASIFT匹配算法的交通标志识别，通过两组实验数据分别验证了ASIFT对多视角的放射不变性和其应用于多视角交通标志识别的准确性，实验证明在多视角情况下ASIFT比以往一些分类的算法有明显的优越性，然而ASIFT算法的时效性有待提高这是今后进一步需要改进的地方。



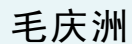
**李清泉** 教授、博士。国家科技部“十一五”863计划现代交通领域专家组成员、教育部科技委地学与资源环境学部常务副主任。长期从事：GIS-T、车载导航与智能交通技术、激光扫描测量、视觉测量与三维可视化技术、多传感器集成与智能传感器网络技术等相关工作。



**陈龙** 博士，武汉大学信号与信息处理专业博士，师从李清泉教授，一直从事视觉感知及模式识别方面工作。无人驾驶智能车中负责视觉感知全部工作。



**李明** 副教授，武汉大学摄影测量与遥感专业博士、副研究员，师从李清泉教授，长期从事车载的多传感器集成、激光雷达数据处理、行驶环境感知的工作。



**毛庆洲** 副教授，武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室博士，长期从事于3S集成与移动测量、公路路面无损检测、车载多传感器集成、激光测量及数据处理、机器视觉与图像测量相关研究。

## 参考文献

- [1] H.M. Yang, C.L. Liu and S.M. Huang, "Traffic sign recognition in disturbing Environments", Proc. of ISMIS'03, Maebashi City, Japan, 28-31 October 2003.
- [2] J.C. Hsien and S.Y. Chen, "Road sign detection and recognition using markov model", The 14th Workshop on OOTA, 2003.
- [3] Aryunto Soetedjo, Koichi Yamada Fast and robust traffic sign detection IEEE Xplore
- [4] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, 2nd ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1993
- [5] S.-H. Hsu and C.-L. Huang, "Road sign detection and recognition using matching pursuit method", Image and Vision Computing, Vol. 19, pp. 119-129, 2001.

# 两种自动泊车系统算法和实验研究

祝辉<sup>1</sup> 梁华为<sup>1</sup> 陈佳佳<sup>1,2</sup> 王道斌<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院合肥物质科学研究院先进制造技术研究所      2. 中国科学技术大学自动化系

**摘 要** 自动泊车系统对验证车辆的智能化水平,缓解交通压力、提高车辆的安全性和驾驶舒适性具有重要意义。在建立车辆的运动学模型的基础上,根据视觉和激光雷达传感器的信息,对两种垂直泊车进行了路径规划,设计了两层多路的闭环控制系统,并进行了实车试验,参加了“中国智能车未来挑战赛”,试验和比赛结果表明,该方法能够有效的进行自主垂直泊车。

**关键词** 自动泊车 系统算法 实车试验

## 1 前言

近年来,随着经济的发展和人民生活水平的提高,车辆保有量的增加使得城市内的可用空间急剧减少,尤其是泊车问题,对于经验不足的驾驶员来说,是一个比较大的困扰,由于不熟练而导致的各种车辆事故也很多。目前,只有数家汽车公司,如丰田,本田,大众等将自动或辅助泊车系统应用到少数中高档轿车中。在2010年10月举行的“中国智能车未来挑战赛”中,自动泊车系统也是一项重要的比赛任务。因此,进行自动泊车系统的研究有重大的学术及经济意义。

自动泊车技术对环境感知,路径规划,控制跟踪等方面技术要求甚高,我国在这方面的研究正处于起步阶段,主要集中在理论仿真验证阶段<sup>[1,2]</sup>。国外的研究开展很早,如Mukherjee等<sup>[3,4]</sup>对泊车系统的非完整约束路径规划问题进行了研究;Paromtchik I等<sup>[5]</sup>对基于模糊逻辑的自动泊车控制进行了研究,Florencio M等<sup>[6]</sup>对平行泊车的连续控制问题进行了研究。在此,本文就两种自动泊车任务设计了两层多路的闭环控制系统,进行无人驾驶车辆的自主垂直泊车。

## 2 汽车运动学模型和参数

### 2.1 模型建立

由于在泊车时,车辆行驶的速度一般较低,因此,

不考虑离心力的作用及轮胎与地面打滑的情况,不考虑车轮侧偏角对转向的影响。建模时,假定轮胎为刚体旋转。图1为车辆在笛卡尔坐标系下的模型:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v \cos\theta \\ \dot{y} &= v \sin\theta \end{aligned}$$

$$\dot{\theta} = v \tan\theta / L$$

式中:

$\theta$  为车辆的朝向角,即车辆的纵轴与x轴的夹角;  $\delta$  为车辆的转向角;  $L$ 为车辆的轴距;  $x, y$ 为车辆后轴中心在笛卡尔坐标系下的坐标。

### 2.2 车辆参数确定

在本项目的自主垂直泊车中,以奇瑞瑞虎3为研究对象,车辆为前轮转向,后轮可以代表车辆运动轨迹,假设车辆速度恒定,部分车辆参数如表2.1所示:

表1 车辆部分参数

整车参数	数值	整车参数	数值
整车质量/kg	2325	车轮轮距 d/m	1.5
车长/m	4.2	车体质心高度 $h_g$ /m	0.5
轴距 L/m	3.025	车宽/m	1.8
质心至前轴距离 a/m	1.430	前悬/m	0.97
质心至后轴距离 b/m	1.595	后悬/m	0.87

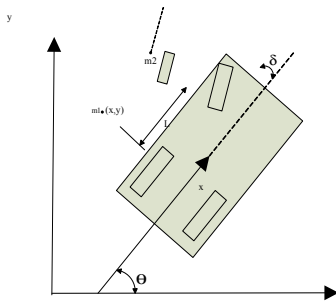


图1车辆在笛卡尔坐标系下的模型

### 3 路径规划

在自主垂直泊车中，有两个任务，一是根据障碍物进行自动泊车，另一个是识别停车位进行自主泊车，分别如图2、3所示。

**有障碍定点泊车：**要求无人驾驶车辆在不刮碰相邻车位内模拟车辆的前提下，将车辆停入指定车位中（图1，将在指定车位的周围设置障碍物以模拟实际车辆）。实际比赛中是用北京吉普232作为障碍物。

**寻位定点泊车：**要求无人驾驶车辆停入指定车位中（图2，停车位为比赛前随机抽签决定），在停车位置前有一个标杆，标杆前有交通标志“停”字。

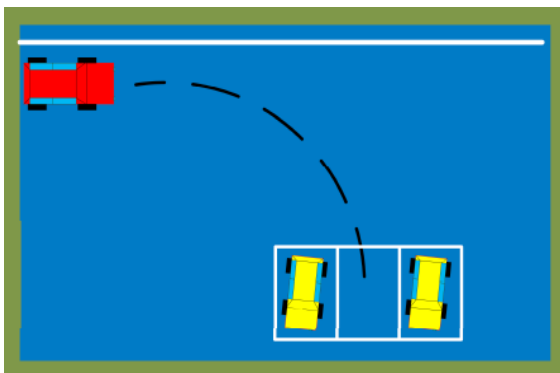


图2有障碍定点泊车

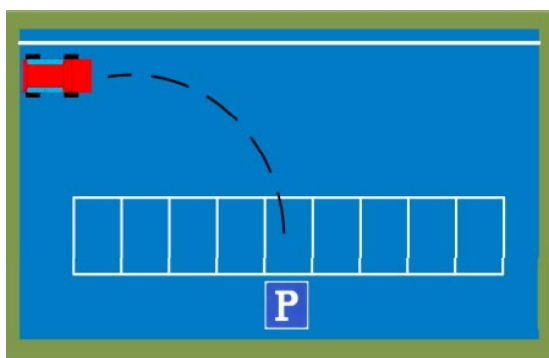


图3 寻位定点泊车

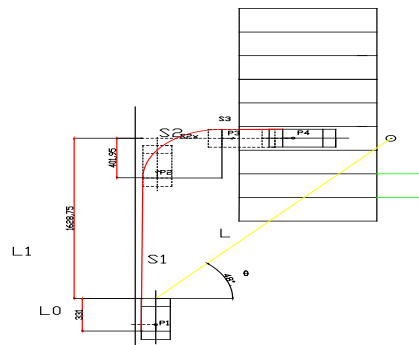


图4 确定停车位的中轴线

#### 3.1 路径规划

为了适应比赛任务的要求，本文对两种泊车任务均采用了三段式自主泊车路径规划，以下以寻位定点泊车为例来说明泊车路径规划我控制算法。

当车辆进入泊车区域后，如图4，在p0点时，分别利用车辆前方雷达和相机测量出特征点数据，根据特征点数据计算车位中轴线距离车辆的横向和纵向距离L1, L2, 此时，可规划出一条三段式泊车轨迹，如图所示。

在p1点的方向盘转角都使得车辆在最小半径下行驶，显而易见，这样对泊车环境的要求最为宽松，更加地节约空间。

#### 3.2 泊车过程

输入：车速（用于计算制动距离）；转向电机转角反馈；制动电机转角反馈；档位电机转角反馈；Sick数据。  
输出：制动电机转角；转向电机转角；档位电机转角；  
泊车的流程：

- 1) 如图4所示：在p1点时，通过雷达测量得到中轴线距离车辆的纵向距离L2，开启轮速传感器，实时计算车辆行驶过距离；
- 2) 当车辆行驶距离等于p1到p2点的距离s1时，制动，轮速传感器清0；方向盘右转一定角度a1，松开制动；
- 3) 当车辆行驶距离等于弧长s2时，制动，轮速传感器清0，方向盘回正，计算需要向左或向右调整的角度，执行转向，松开制动；
- 4) 当车辆行驶距离等于s3时，制动，泊车完成。

### 4 停车位识别和控制算法

#### 4.1 停车位识别和车道线跟踪算法

停车位识别算法：对于有障碍定点泊车，首先由激

光雷达测出障碍车辆特征点（图中的B1, B2）距离当前车辆前端激光雷达的距离L1、L2，然后计算出停车位中心线距当前车辆前激光雷达的距离为 $L = (L1+L2) / 2$ ；对于寻位定点泊车，采用图像标定法识别和计算停车位中心线距离当前车上相机的距离。首先标定特征点所在的“停”标志牌距当前车辆6m处的图像位置，存入到标定图像之中，当车辆行驶时，图像中出现的“停”标志牌与标定的标志牌重合时，即返回一个信号，这个信号即代表当前车上相机距离停车位中心线6米处，此距离即得到的特征距离L。

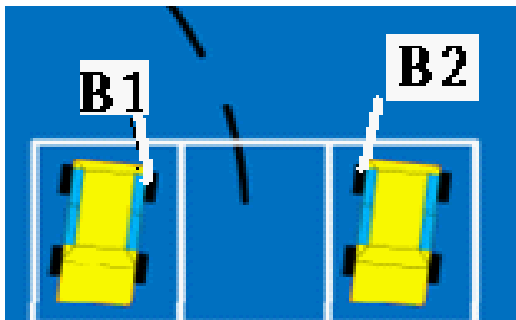


图5 特征点



图6 特征点

车道线跟踪算法：首先，利用相机检测出车道线，如图7所示。



图7 车道线跟踪

然后，在每一个数据帧上，都在车道线上选取与车辆距离为L（L经反复试验确定）的特征点，计算实时的转弯半径，如图所示：

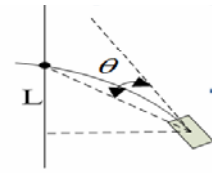


图8 转弯半径求解

车辆的转弯半径R为：

$$R = \frac{\sqrt{2} * L}{\sin\theta} \quad (1)$$

每个时刻，都会计算出一个实时的转弯半径，车辆依此变换方向盘转角，经过实验与比赛的验证，这种方法可以有效地对车道线进行跟踪。

#### 4.2 控制算法

整个自动泊车系统是由两层多路的闭环系统组成，一路是电机控制的闭环系统，控制输入是电机的驱动输入电压，输出为电机编码器值，然后电机的编码器作为反馈和输出进行比较形成误差，其控制结构图如下所示：上层的协调控制器主要用于到达特征点时转向和制动的协调，并向下层控制器输入控制目标，其控制策略即3.2中整个泊车流程。下层的控制器主要用于控制转向和制动的控制电机。本项目采用基于比例切换的滑模变结构控制策略，其中，电机的目标转角为 $\varphi_0$ ，实际编码器反馈转角为 $\varphi$ ，则另

$$\begin{cases} e = \varphi - \varphi_0 \\ \dot{e} = \dot{\varphi} - \dot{\varphi}_0 \end{cases} \quad (2)$$

取切换函数为：

$$s = c \cdot e + \dot{e} \quad (3)$$

根据比例切换控制方法，控制率（电机的控制电压）为

$$U = \Delta M = (\alpha|e| + \beta|\dot{e}|) \text{sgn}(s) \quad (4)$$

其中， $c$ ， $\alpha$ ， $\beta$ 为大于零的常数。经反复调试，对于转向电机的控制，当 $c=0.36$ 、 $\alpha=0.1$ 、 $\beta=0.06$ ，对于制动电机的控制，当 $c=0.24$ 、 $\alpha=0.12$ 、 $\beta=0.1$ ，控制系统能够取得较好效果，且不会出现振荡。

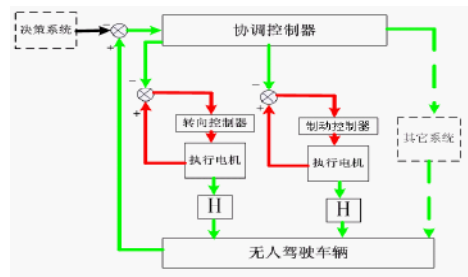


图9 控制结构图

## 5 实车试验

根据上述路径规划和算法,在奇瑞瑞虎3上进行了实车试验,并参加了“中国智能车未来挑战赛”,比赛过程如图所示:

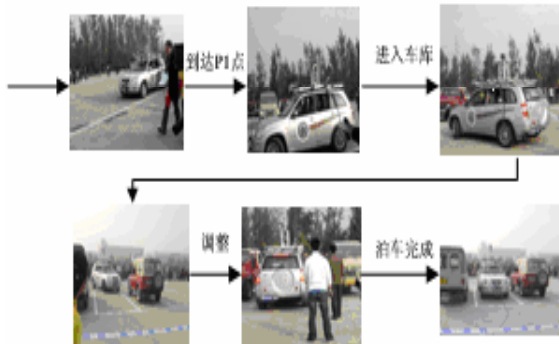


图10 比赛过程图

在有障碍定点泊车中,停车位中心线距离当前车辆前端大约10米,泊车启动后,激光雷达检测出障碍车,然后规划出整条路径;松开制动后车辆行驶,并按照3.1种方法跟踪车道线,随后即按照规划路径行驶。寻位定点泊车方法同理。

试验结果表明,车辆在P1、P2点的位置精度误差在5cm以内,停车时车辆距离左右障碍物的距离误差在10cm以内,准确、有效的完成了自主垂直泊车。

## 6 结论

本文对两种自动泊车任务分别采用三段式自主泊车方法进行路径规划,设计停车位识别算法和转向制动控制算法,并进行了实车试验,参加了“中国智能车未来挑战赛”。结果表明:

1) 该停车位识别算法能够准确、有效、快速的识别出车辆中轴线,为车辆的三段式运动规划提供了可靠的行驶依据。

2) 车辆转向和制动控制算法能够快速有效的控制车辆的转向和制动,使车辆的定点停车的精度达到5cm之内。

3) 试验结果也表明,本方法能够准确有效的听到停车位之中。比赛中无任何违规现象,泊车一次成功,有障碍定点泊车用时24秒,寻位定点泊车用时21s,在参加比赛的车辆中用时最短。



**祝 辉** 博士,中国科学院合肥物质科学研究院先进制造技术研究所助理研究员。分别于2004年和2009年获得合肥工业大学车辆工程专业学士和博士学位。研究方向为车辆动力学与控制。近年来发表论文7篇,发明专利2项。一直在从事智能车辆

的平台改造、车辆转向和制动控制以及轨迹跟踪方面的工作,负责完成无人驾驶汽车自动泊车系统的设计工作。

**梁华为** 博士,中国科学院合肥物质科学研究院先进制造技术研究所研究员,博士生导师,主要研究方向为智能车辆技术,自动控制技术。

**陈佳佳** 中国科学技术大学博士生,研究方向为智能车辆决策系统设计。

**王道斌** 博士生,研究方向为智能车辆控制系统设计、同步定位与地图创建。

## 参考文献

- [1] 徐津津. 双向路径规划在垂直自动泊车系统中的仿真研究[J]. 天津汽车, 2009. (5) 36-39.
- [2] 王芳成. 自动平行泊车系统的研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009.
- [3] Lamiroux F, Laumond J P. Smooth motion planning for car-like vehicles[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2001, 17(4): 498-502.
- [4] Li T H S, Chang S J. Autonomous fuzzy parking of a car-like mobile robot[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2003, 33(4): 451-465.
- [5] Paromtchik I. Steering and velocity commands for parking assistance[C]//Proceedings of the 10th IASTED International Conference on Robotics and Applications. Honolulu, HI, USA, 2004: 178-183.
- [6] Florencio M, Agostinho P, Sequeira J S. Automatic parallel parking of a car-like robots[C]//37th International Symposium on Robotics ISR 2006. Germany, 2006.

# BIT: An Autonomously Driving Vehicle for Urban Environment

GONG Jian-wei, JIN Xiao-long, JIANG Yan, XIONG Guang-ming, ZHOU Sheng-Yan, ZHAO Xi-jun,  
JIANG Yan-hua, HU Yu-wen, LI Xin, HONG Tao, ZHAI Yong, XI Jun-qiang, CHEN Hui-Yan

**Abstract** Although great progress has been made in autonomous vehicle technology, developing a vehicle being capable of autonomously driving in an urban environment is still challenging. In this paper, we introduce the technology and algorithms to develop an autonomous vehicle named BIT for urban environment. BIT is composed by some unique subsystems including a longitudinal and lateral controller, a model-based lane detection system, a vision-based road detection system with self-supervised online learning structure for automatically selecting the training set, a system for curb detection using 2D Laser Range Finder (LRF) with a method of multi-feature extraction, a system for detecting traffic signs, and a motion planner. This paper will describe these subsystems in details. Then, the discussion of the system's performance in urban environment and the conclusion will be made in the last sections.

**Key words** Autonomous driving, motion planning, environment perception

Autonomous driving using pattern recognition, information processing, artificial intelligence and automatic control, has profound theoretical and practical significance. Over the past few decades, there have been rapid developments in autonomously driving vehicle. The Nav Lab autonomous vehicles based on vision navigation were developed by CMU<sup>[1]</sup>. In the DEMO program, a number of autonomous experimental vehicles were developed to carry out research work on autonomous navigation under a complex environment<sup>[2]</sup>. At the same time, GOLD (Generic Obstacle and Lane Detection) system of ARGO from the University of Parma was tested in a 2000 km long-distance experiment<sup>[3]</sup>. In China, the first intelligent vehicle ATB-1 (Autonomous Test Bed-1) was demonstrated in 1996. In 2000, the testing and demonstration of ATB-2 was carried out with the most high autonomous speed of 74.5 km/h. Since then, many intelligent vehicles such as the Spring Robot<sup>[4]</sup>, the THMR-V<sup>[5]</sup>, the JLUIV<sup>[6]</sup>, and the CITAVT-IV<sup>[7]</sup> were developed in China.

Although there are many outstanding improvements in autonomous vehicle, it is still hard for them to drive in an urban environment due to complex surrounding and traffic rules. Therefore, accurate and robust detection of environment at a sufficient range, efficient path planning, appropriate operation in traffic, as well as obstacles avoidance is expected of the vehicles all through the urban environment. In recent years, a series of driverless challenges all over the world, such as DARPA Urban Challenge<sup>[8]</sup>, European Land-Robot (ELROB) Trial<sup>[9]</sup> and The Intelligent Vehicle Future Challenge in China<sup>[10]</sup>, was organized to promote research and technology in autonomous

vehicles for urban environment.

Taking these factors into consideration, we developed an autonomous vehicle named BIT for urban environment. BIT with two unique features for its robust environment perception and efficient motion planning, participated in the Intelligent Vehicle Future Challenge 2010(FC'2010), and succeeded to complete three of all five tests.

In the following part of this paper, the system structure of BIT is briefly introduced in Section II. Section III demonstrates BIT's hardware integration in detail. Section IV and Section V present a detailed algorithmic description of each major subsystem in BIT. Section VI presents its performance in some experiments and Section VII concludes with lessons and future work.

## 1 System architecture

On the basis of a layered architecture design pattern, we designed the function modules as services that provide specific functions to the overall system. Fig.1 illustrates these function modules and the relations among them. As illustrated, it is consisted of an environment perception module, planning and decision-making module, low layer control module, vehicle data acquisition module, E-Stop (Emergency Stop), a communication module and so on<sup>[11]</sup>.

The environment perception module uses sensors like cameras and LIDARs, to detect lane marking, road, obstacle, traffic signal in real time used for local path planning and decision-making of the vehicle. The navigation sensors include a differential GPS and



an inertial navigation system which can obtain the position and orientation of the vehicle in the global map to complete global path planning and decision-making.

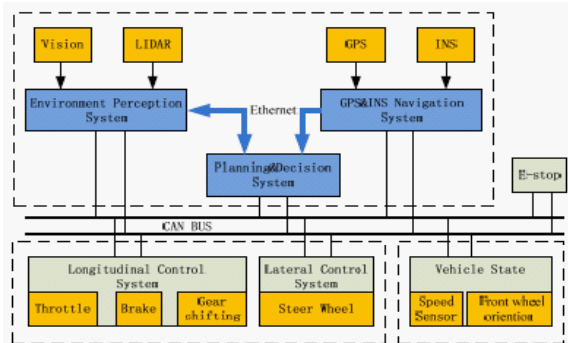


Fig. 1 System architecture of BIT

The planning and decision-making module handles the information including the perception of the environment around the vehicle, vehicle current position, the context of the rule-based road network and the vehicle state data obtained from the front wheel orientation and speed sensors. Based on these information, it creates a path toward the desired goal and then tracks this path by sending speed and heading commands to the lower layer control module through the CAN bus to control the vehicle.

## 2 Vehicle hardware

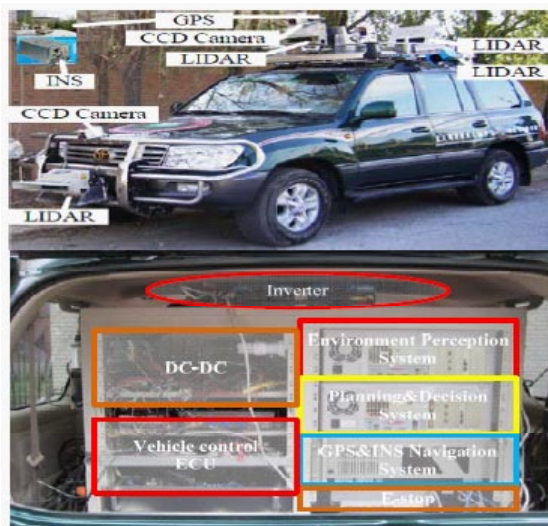


Fig. 2 Hardware components of BIT

The platform of BIT is TOYOTA SUV Land Cruiser modified for autonomous driving. Selection of the TOYOTA and its subsequent modifications was driven by two primary design requirements: responsiveness and reliability. A specially designed drive-by-wire system was integrated into BIT with electric motors to turn the steering column, depress the throttle and the brake pedal, and shift the transmission. BIT uses a combination of sensors to provide the redundancy and coverage necessary to navigate safely in an urban

environment. The configuration of sensors on BIT is illustrated in Fig. 2.

### 2.1 Vision and LIDAR sensor

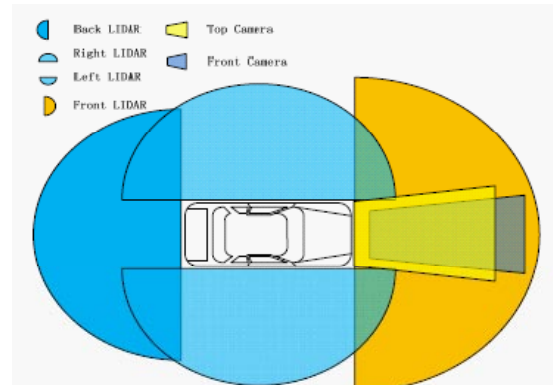
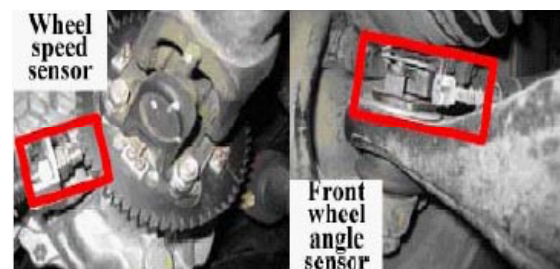


Fig. 3 Vision and LIDAR coverage of BIT

The vision system of BIT is formed by a computer connected to two CCD cameras. The CCD camera at the top of the vehicle has two functions: preceding lane markings detection and traffic signs recognition. The front CCD camera is used to detect the road in front of the vehicle. Its LIDAR system composed of two LMS200 LIDARs mounted on the left and right hand sides, a LMS200 LIDAR installed in the vehicle's back section and a LMS211 LIDAR installed in the vehicle's front section, provides a 360-deg field of view with safety overlaps. Fig. 3 depicts the coverage of the two systems.

### 2.2 Vehicle state sensors



(a) wheel speed sensor (b) front wheel angle sensor  
Fig. 4 Vehicle state sensors

Vehicle state estimation (position, speed, and heading as well as full vehicle attitude) was provided by the GPS/INS navigation system and wheel speed sensor mounted on the propeller shaft (see Fig. 4(a)). The GPS/INS navigation system consists of a dead reckoning system with INS (OCTANSIII) and an integrated real-time kinematic (RTK) GPS receiver. In order to implement feedback control for automatic steering system, front wheel angle sensor is mounted on the linkage of swivel kingpin (see Fig. 4(b)).

### 2.3 Longitudinal and lateral control

Longitudinal and lateral control are the basics of autonomous

vehicle guidance. It consists of five parts, the acceleration control, braking control, E-stop, gear shifter and steering control. As shown in Fig. 5, there are three motors to drive acceleration pedal, braking pedal and steering column respectively.

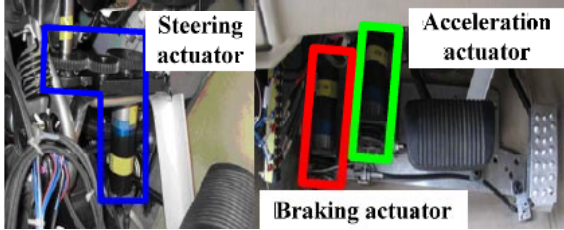


Fig. 5 Longitudinal and lateral control actuators

The longitudinal controller calculates the braking and accelerator set points in order to maintain the desired speed from the planning and decision-making module. In order to switch among forward, backward, and parking states, an automatic lever arm controlled by two stepper motors is attached at the gearshift. For safety reasons, we develop a E-stop system which is allowed to remote command of run, pause, or E-stop.

Because of complexity and nonlinearity between pedal displacement and vehicle speed, it's difficult to model the system. Hence, closed-loop speed control is provided by a proportional-integral-derivative (PID) controller.

It is the main goal of the lateral controller to follow a given trajectory with a minimum of track error. A good lateral control system is essential for autonomous driving. We develop a steer controller using the pure pursuit control law to steer BIT along the desired path. Though it is simple, but the results show it works well.

### 3 Environment perception

Environment perception is one of key systems on BIT. It is responsible for providing the environment information surrounding vehicle, including lane marking, the drivability of the road, obstacle as well as traffic sign to the planning and decision-making system. One of the key challenges for the autonomous vehicle in an urban environment is keeping itself in lane or in road. In that case, this section describes the algorithms used to process the sensor data, specifically the lane marking detector, vision-based road detector, LIDAR-based curb detector, and traffic signs recognizer.

#### 3.1 Lane detection

Detecting lane markings on roads in an urban environment is a difficult but very important task. We develop a robust model-based lane detection algorithm which is composed of three parts, lane geometrical model construction, lane model parameters estimation, and lane model matching. For more details on all

aspects of the lane detection, see Shenyan Zhou<sup>[12]</sup>.

##### 3.1.1 Lane geometrical model construction

The construction of lane geometrical model contains two stages. First, as shown in Fig.6, a 2D lane geometrical model in the road planar coordinates system is constructed by three parameters: $\theta, W, \rho$ . Therefore the 2D lane geometrical model can be represented by the middle line using the following formulas:

$$\begin{cases} (x - x_r - R_r \cos \theta)^2 + (y - y_r - R_r \sin \theta)^2 = R_r^2 \\ (x - x_l - R_l \cos \theta)^2 + (y - y_l - R_l \sin \theta)^2 = R_l^2 \\ R_r = \frac{1}{\rho} \frac{W}{2}, R_l = \frac{1}{\rho} + \frac{W}{2} \end{cases} \quad (1)$$

where  $(x, y)$  is the points on road lanes,  $W$  is the lane width,  $\theta$  is the original orientation,  $(x_r, y_r)$  and  $(x_l, y_l)$  are the starting position on both sides of lane model, and  $R_r, R_l$  are the curvatures of lane model.

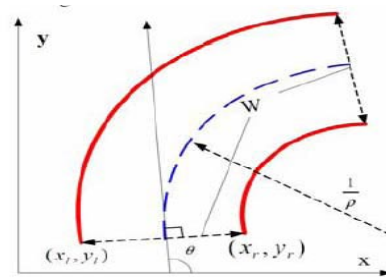


Fig. 6 2D lane geometrical model (Red lines are the paralleled marked lanes on the road. Blue dashed line which is used for the representation of road model is the middle line between those two red lines)

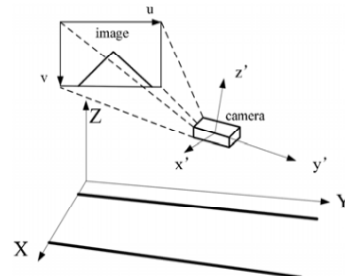


Fig. 7 The projection of lane model (The X-Y-Z is world coordinates. The  $x' - y' - z'$  is camera coordinates. The X-Y is road plane coordinates. The u-v is image coordinates.)

Second, the model needs to be transformed to image coordinate system (see Fig.7) through projection matrix given by camera calibration for parameters estimation and lane model matching. After the middle line models determined, the final lane models only need lane width  $W$  to be constructed.

Second, the model needs to be transformed to image coordinate system (see Fig.7) through projection matrix given by camera calibration for parameters estimation and lane model matching. After the middle line models determined, the final lane models only need lane width  $W$  to be constructed.

### 3.1.2 Lane geometrical model construction

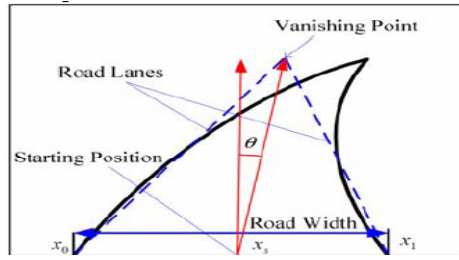


Fig. 8 Lane geometric analysis

As shown in Fig. 8, after the vanishing point and road lanes are detected, we could easily estimate the starting position, lane original orientation and lane width. Fig. 8 Lane geometric analysis.

The vanishing point is the key issue for the model parameter estimation, especially in the initial orientation and road width estimation. Therefore, our approach to lane detecting involves two stages: initial stage and online stage. In the first stage, we use the Group Dominant Orientations algorithm to estimate the location of vanishing point. In this algorithm, the Gabor Filter texture analysis is adopted to estimate orientation in each pixel. Then, the orientations in those pixels vote the final vanishing point. The Gabor wavelet kernels used in this paper are as follows:

$$\begin{cases} G_{im}(x, y, \theta, \lambda, \sigma) = e^{-\frac{1}{8\sigma^2}(4a^2+b^2)} \cos \frac{2\pi a}{\lambda} \\ G_{real}(x, y, \theta, \lambda, \sigma) = e^{-\frac{1}{8\sigma^2}(4a^2+b^2)} \sin \frac{2\pi a}{\lambda} \\ a = x \cos \theta + y \sin \theta, b = x \sin \theta + y \cos \theta \end{cases} \quad (2)$$

where  $x, y$  represent the row and column of the Gabor Wavelet, of which the kernel center of satisfies  $x=y=0$ ,  $\theta$  is the wavelet direction, and  $\lambda$  is the wave length. The actual convolution kernel  $G$  is then obtained by subtracting its DC component (i.e. mean value) from itself and normalizing the result so that its  $L^2$  norm is 1.

Then 345 pixels in ROI extracted in the near field are converted with Gabor filter. At last, we use Gaussian model and maximum likelihood method to estimate the single vanishing point. The results are shown in Fig. 9.

In online stage, the detection region is adjusted according to the result of lane boundary detection (Fig. 10). Then we randomly choose 100 pixels in each region to apply the Gabor Filter to estimate the orientations in those pixels. The voting method which mentioned above is adopted to vote the final vanishing point.

After obtaining the vanishing point, the lane width can not be directly estimated because of the perspective effect. In that case, the road boundary should be first detected. The classical method of Canny edge detection and Hough transform are applied to detect the road boundary. According to the geometrical relation as shown in Fig. 8, the lane width and the lane original orientation can be defined.



Fig.9 Single Vanishing Point Result

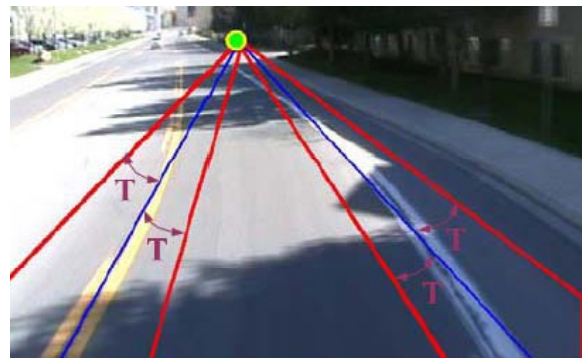


Fig.10 Tracking Region in next frame The regions included in the red lines are defined as tracking region.

### 3.1.3 Lane model matching

The primary purpose of lane model matching is to determine the parameter : lane curvature. Because every lane model candidate has its unique curvature which means different lane models have different orientations along the line. In that case, we use the Gabor filter to filter the image along the line of lane model. The best fitted road model will have the maximum voting value.

The model matching algorithm can be described as following. From (3), the lane model with the maximum voting confidence is selected as the best fitted model.

$$\begin{cases} R_j = \sum_{i=1}^N (I * G^{i_{real}(j)})(u_i^j, v_i^j)^2 \\ \quad + \sum_{i=1}^N (I * G^{i_{im}(j)})(u_i^j, v_i^j)^2 \\ R_m = \max(R_1, R_2, \dots, R_{15}) \end{cases} \quad (3)$$

where  $R_j$  is the voting confidence of the  $j$ -th lane model,  $N$  is the number of equidistance points extracted from the lane model,  $G^{i_{real}(j)}$  and  $G^{i_{im}(j)}$  is the Gabor filter at the direction of the  $i$ -th point on the  $j$ -th lane model,  $(u_i^j, v_i^j)$  is the  $i$ -th point along the  $j$ -th lane model line.

We tested our algorithm in consecutive frames in video file and projected the result to 2D road planar coordinates. Some frames are shown in Fig. 11.

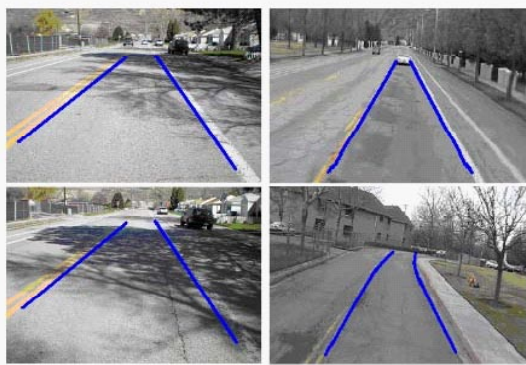


Fig.11 Experimental Result

### 3.2 Vision-based road detection

While driving in urban areas, it is not always having lane mark on road. In that situation, keeping the vehicle on road is typically. So, it is essential to detect the drivability of the road. In this paper, we proposed a novel road detection algorithm which is capable of not only doing online evaluation the quality of last frame classification result which is used for determining the online training process in next frame, but also being self-supervised online learning by automatically selecting the training set which has more contribution in determining the hyper plane. For more details on all aspects of the lane detection, see Shenyan Zhou<sup>[13]</sup>.

As shown in Fig.12, the proposed algorithm is composed of five components.

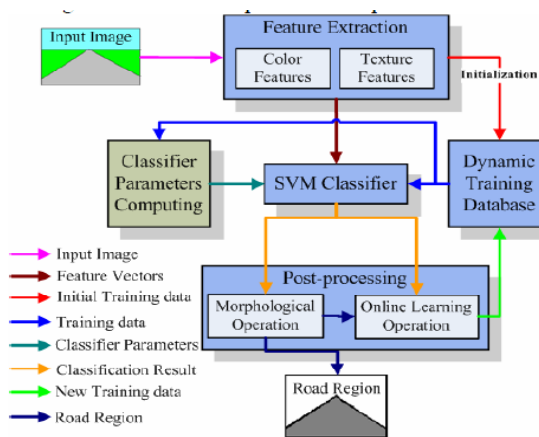


Fig.12 Algorithm flowchart

The first component of feature extraction is to extract a feature vector from each pixel of input image. In our algorithm three color features and five texture features are combined to form an eight-element feature vector.

Second, the component of dynamic training database (DTD) is filled with training set labeled by a human supervisor in initialization and updated by the new training set online.

Third, the component of Classifier Parameters Computing is

used to estimate the parameters in SVM classifier. Obviously, it is impossible to find a linear hyper plane to well separate the two class between road and non-road classes in original feature space. In this paper, a RBF kernel with two classifier parameters  $C$  and  $\gamma$  is used as the SVM kernel function. Then we use cross-validation over the training data from DTD and 'grid-search' on those two classifier parameters. In addition, given the assumption that the environment does not change drastically in a few consecutive frames, we take the classifier parameters computing as a parallel process with all other components to save time and computation.

The fourth component is SVM classifier in charge of training and classification which takes the training data and classifier parameters to train the SVM classifier and use the trained SVM classifier to classify image into road/non-road classes. Figure 13 gives an outline of the road detection classifier training stage and Fig.14 shows an outline of classification stage.

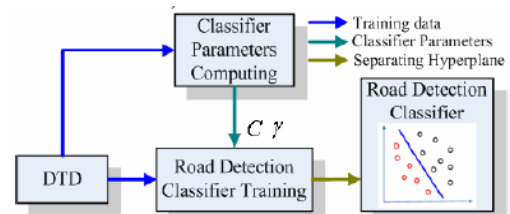


Fig. 13 Road Detection Classifier Training Outline

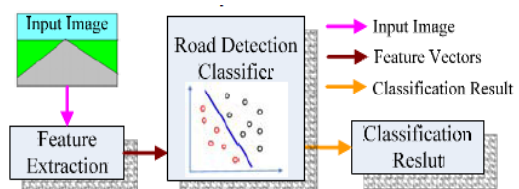


Fig.14 Road detection classifier classification Outline

The last component contains two stages: Morphological Operation and Online Learning Operation. As shown in Fig.15, the process of the former is that the largest connected road region is determined and the holes in that connected road region is eroded, then the largest connected road region is labeled as road region and others are labeled as non-road regions. The latter compares morphological results and classification results to evaluate the quality of current classifier, then select new training set from that comparison and update the DTD.

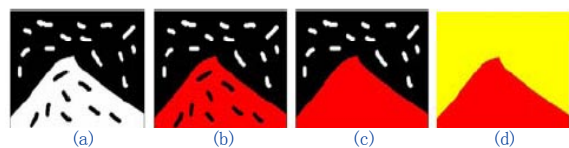


Fig.15 Morphological Operation (a): Classification result (white: represents road; black: represents non-road). (b): Largest connected road region (Red). (c): Erosion operation. (c): Morphological operation result (red is road region and yellow is non-road region)

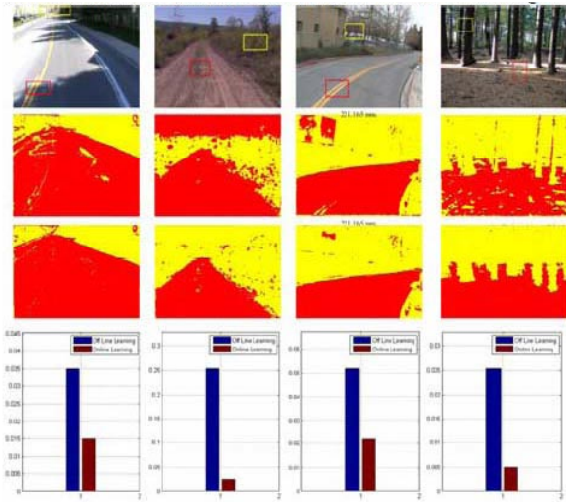


Fig.16 Comparison results between Offline learning and online learning The first row shows original images. The second row shows the classification results of offline learning. The third row shows the classification results of online learning. The fourth row shows the classification error rates

The results in four different conditions shown in the Fig. 16 give a strong proof of the performance of self-supervised online learning process in our algorithm. In each experiment, two small sampling windows are selected on the image to initialize the DTD. This can be seen as offline learning. Then, our algorithm restudies from the poor classification result, then retrains the classifier and reclassifies the road image.

### 3.3 LIDAR-based curb detection

Although vision-based road detection and lane detection have been successfully used to the navigation of autonomous vehicle in urban areas, new problems will occur because there are roads with lane markings in different colors or tall houses casting long shadows. Taking the reliability of detection into consideration, the detection of curb using active sensors is of great help to BIT. In this paper, a method of multi-feature extraction using a single 2D Laser Range Finder(LRF) is proposed to detect curb.

Fig.17 shows the road scan model. In order to obtain obvious and steady features, each frame of the range data is first projected on the horizontal ground plane. The new scanned data are transformed into  $1 \times M$  grid map. Then we employ the Haar wavelet transform algorithm<sup>[14]</sup> to obtain the scaled average slope of height. According to the results of discrete wavelet transform  $\omega_j$  and the number of points  $n_j$  in the  $j_{th}$  grid, each grid can be labeled as curb, road, and non-road.

$$\text{The } j_{th} \text{ grid is } \begin{cases} \text{Curb} & 5 < n_j, |\omega_j| > \omega_{\max} \\ \text{Road} & 1 < n_j < 5, |\omega_j| < \omega_{\max} \\ \text{None} & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

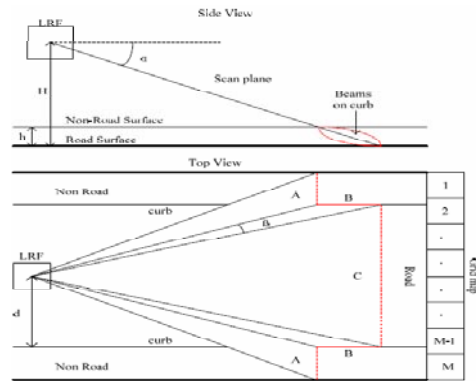


Fig. 17 Road Scan Model (Section A is defined as non-roadsurface, section B is defined as curbs, and section C is roadsurface).

In complex environment, much more curbs are detected and the scan data are divided into different parts. But only one part is the drivable road region we want to get. So the evaluation of the road surface is needed to be implemented to verify the detection results. As the surface of road region is assumed smooth and that the LRF has no rolling angle, the scanned road surface can be presented as a straight line parallel to the x-axis. For each part, the mean value  $E$ , the mean square error  $D$  of range data and the length  $L$  of the part are used to evaluate whether the part is flat enough and wide enough.

$$E_k = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S z_i \quad (5)$$

$$D_k = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S (z_i - E_k)^2 \quad (6)$$

$$L_k = |x_{start,k} - x_{end,k}| \quad (7)$$

where  $S$  is the amount of points in the  $k_{th}$  part,  $z_i$  is the height of the  $i_{th}$  point in this part,  $x_{start,k}$  and  $x_{end,k}$  is the boundary of the  $k_{th}$  part.

Results of the method are showed in Fig. 18. Also the results are tracked by Kalman filtering method to be stable.

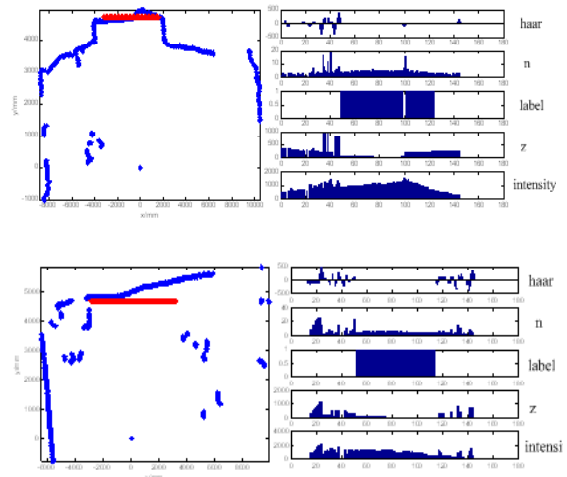


Fig.18 Results of drivable road region detection

### 3.4 Traffic signs Recognition

Traffic signs are installed to supply information to guide vehicle and regulate traffic. Therefore, it is of great importance for an autonomous vehicle in the urban areas to have the ability of recognizing the traffic signs. For this purpose, we developed an approach to detect and recognize

traffic signs presented in the urban scenes in China. The algorithm is composed of three steps that are color segmentation, shape detection and pictogram recognition.

In the first step, Ridge Regression<sup>[15]</sup> is used to obtain a precise segmentation in RGB color space and achieves the same good performance as many machine learning based methods while using less computation time. Recognition process include a novel feature extraction involves OTSU method, and the feature extracted is robust against illumination variations and distortions.

As a prelude filtering, the hue and saturation components of the HSV space are considered to be sufficient to reject most “false” color against traffic signs in a scene working with fixed threshold under a wide range of illumination conditions. And the thresholds are obtained through sampling from massive outdoor images under various illuminations and environments. The data sets accepted by pre-filtering are used to train the precise color classifier. For each target color, the RGB values of those sampled from the signs contained in the images are trained as positive samples, which are labeled as 1, negative samples are randomly selected in the pre-filtered data sampled from images without traffic signs, and they are labeled as -1. Then the vector of weights and the intercept, which are coefficients of the segmentation hyper plane can be estimated using Ridge Regression.

Following the creation of binary images, morphological operations (open and close) are performed to get rid of isolated noisy pixels and join parts of signs that might have been separated. Then a single pixel edge image can be got through canny operator.

Classical Hough transform is sufficient to detect lines in the edge image considering either robustness or efficiency, especially under the condition of the precise segmentation we’ve obtained in the color operation. Both angle and length of a detected line is limited to taken as a member of a triangle or a rectangle. The qualified line segments whose centers are closed enough are considered to be possible line groups to locate the candidate area. In this work, RANSAC ellipse detection method<sup>[16]</sup> is used to decide whether the candidate blob is a circle and find the center accurately if it is.

To preliminary remove the blobs that are not signs, properties of each detected area are computed, including the area, the height to width ratio of bounding box, the ratio between the blob’s area and the bounding box’s area et.al<sup>[17]</sup>. Furthermore, a validation of the detected shape and a rough classification are executed by adopting template matching.

Once a Region of Interest (ROI) of the image is classified into

a specific class defined by color and shape, it is extracted and normalized to 48x48 pixels and then recognized. First, we employ OTSU method, which is a nonparametric and unsupervised approach that can automatically select a threshold for image segmentation, to pre-process our candidate signs; then, radial histogram features are extracted from the binarized image; finally, Multilayer Perceptrons are selected to implement the Recognition Core after the feature extraction. The supervised backpropagation which is widely used is selected owing to its easy implementation, fast and efficiency. The input layer is composed by 38(or 18) neurons, corresponding to the moment features extracted in last two steps. The number of nodes in the output layer equals to the number of signs included in its own category. The number of hidden layers and amount of neurons in each layer can be optimized by cross validation, each output neuron’s prediction value represents the probability that the candidate sign being the corresponding sign, then winner-take-all strategy is used to determine the type of the candidate ROI-image.

Sum to 360 representative images of urban scenes that contains traffic signs under variable illumination, occlusion and distortion, confused background conditions are tested. The experiment statistics are shown in TABLE I. Some results of detection and recognition in complex environments are presented in Fig. 19. In order to achieve more various test conditions, some of test signs are placed artificially.

TABLE I  
EXPERIMENTAL RESULTS OF TEST UNDER  
COMPLEX CONDITIONS

Number of Images	360
Number of Signs Contained	368
Number of Correct Identified	361
Number of False Alarm	2
Number of Undetected	5



Fig.19 Some experimental results of traffic sign detection and recognition in complex urban scenes

## 4 Motion planning

Before describing the motion planning algorithm in detail, we first give a simple explanation on data fusion and route planner. The perception data including lane markings, curb, road boundaries and obstacles, are rendered into a drivability map. The drivability map is represented by a two-dimensional occupancy grid with 200x300 cells, each covering a small ground patch of 20x20 cm. Each cell stores a

value expressing the property of obstacle's type. And the route planner combines the global information provided by mission file with the traffic signs and generates a sequence of desired goal. Then these goals send to the motion planner to accomplish some local tasks, such as driving along a road lane to a specific point or parking spot.

Motion planning for autonomous vehicle is generally decoupled by path planning and path following. The former is responsible for creating a path toward the desired goal and then the later is used to track this path by generating a set of candidate trajectories that follow the path to various degrees and selecting from this set the best trajectory. In this paper, we designed a motion planner for BIT in real scenarios with no prior environmental information. The planner is composed of three components: an "efficient" coarse planner, a "near complete" refined planner and a "powerful" executive (Fig. 20).

#### 4.1 The coarse planner

The coarse planner is responsible to connect the start position with the goal position. Given that the drivability map is limited in a small region around the vehicle and the desired goal may be far away, it is not necessary to plan a complicated path in the area beyond the scope of the vehicle. As a result, the coarse planner ignores the differential constraints and obstacles in the environments, and connects the start position with the goal position using a straight line.

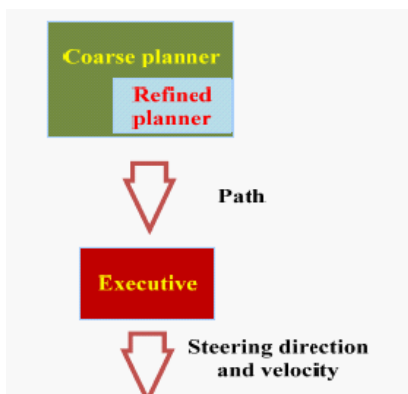


Fig. 20. The motion planning scheme

#### 4.2 The refined planner

The refined planner is activated in the following circumstances:

- When the vehicle is trapped in a local minimum.
- When a complicated path is required, such as parallel parking and back up.

Currently the refined planner implements the Dual-RRT method, which is an extension of the original RRT method<sup>[18]</sup>. By growing two trees from the initial and goal configuration simultaneously, the Dual-RRT features a much better efficiency in planning than the original RRT method.

A 2-dimensional car model from the MSL\_RRT library<sup>[19]</sup> is employed in the planner to simulate the test vehicle. The state vector in the model is  $[x \ y \ \theta \ \omega]^T$ , where  $(x, y)$  the position of the

vehicle,  $\theta$  the heading direction and  $\omega$  the steering speed.

As shown in Fig. 21, to escape from a local minimum, the target configuration of the refined planner is set at a point on the coarse planned path outside the scope of the vehicle (the blue node). The space between the scope of the vehicle and the blue node is sufficient for the randomized tree to escape (the black dashed line in Fig. 21). The refined planning works in a dynamical style that it does not change the coarse path from the blue node to the goal configuration.



Fig. 21. An example of resulting path

#### 4.3 The executive

The main role of the executive is to calculate the steering angle and velocity to control the vehicle's movement. Compared with many techniques, a modified-version of tentacles method is proposed<sup>[19]</sup>.

The executive is so "powerful" that it takes account for other fundamental primitives in driving including the steering smoothness, lateral stability, and the velocity adjustment in addition to the basic crash-avoidance and path following functions.

When the steering angle is fixed, the trajectory of a moving vehicle is an arc. This implies that steering angle is correspondent with an arc with a fixed radius. Assume that all the possible trajectory of a vehicle at a discrete time step is a group of arcs (tentacles), to determine the steering angle for lateral control is actually to select the best tentacles. Limited by the accuracy of the steering control actuator, we generate a group of 51 tentacles in the range of  $\pm 25$  degree with respect of the heading direction of the vehicle, with a resolution of one degree (as shown in Fig. 22).

Tentacles that satisfy three requirements are collected as the candidates used for the best tentacle selection. First of all is the lateral stability requirement. The upper and lower limits of allowed steering angles are determined based on the vehicle's lateral acceleration (the blue tentacles in Fig. 22). The Second requirement is the steering smoothness. The possible steering angles (the orange tentacles in Fig. 22) are limited based on three factors, the steering speed, the vehicle's velocity and the vehicle's current steering angle (the yellow tentacle in Fig. 22). The range of tentacles that satisfy the first and second requirements is relatively large at a low speed and decrease as the vehicle speeds up. The last is the crash-avoidance requirement. All tentacles with an obstacle (black pixels in Fig. 22) lying in the safety

distance (the red circle in Fig. 22) will be removed from the candidate set for the best tentacle selection (those tentacles being labeled using grey color in Fig. 22). All the tentacles that satisfy the lateral stability, steering smoothness and crash-free requirements (the green tentacles in Fig. 22) will be applied with a linear combined function (8) to determine the best tentacle for vehicle control. In (8), in addition to the clearance value  $p_c$  and trajectory value  $p_c^{[19]}$ , a new smoothness factor  $p_s$  is introduced to avoid the abrupt change in steering angles.  $p_s$  is the indicator of the difference between a the corresponding steering angle of a tentacle from the vehicle's current steering angle

$$f = C_0 p_c + C_1 p_s + C_2 p_s \quad (8)$$

Besides the lateral control, the executive is able to adjust the vehicle's velocity as well. Given that the vehicle is currently moving at a relatively high speed and an abrupt obstacle is detected to block all possible tentacles that satisfy the three considerations, the executive will expand the range of tentacles of the first and second requirements. Once a possible tentacle is found to satisfy the crash-avoidance requirement, the velocity corresponding to this tentacle will be output as the expected velocity and control the vehicle to decelerate.

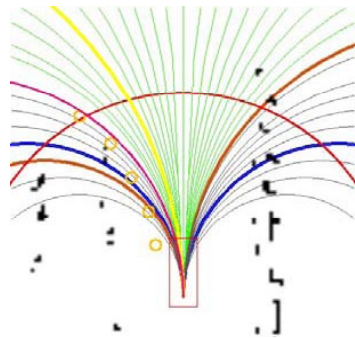


Fig. 22. The tentacle-based executive. The yellow circles represent the reference path. The red tentacle is the best tentacle.

## 5 Experiment

### 5.1 Performance in the virtual urban environment

As shown in Fig. 23, a virtual urban environment was established to test BIT's ability of driving along a road with collision-avoidance or through a specific point. A part of the vehicle trajectory and environment map are shown in Fig. 24. The result shows that BIT was able to perceive the environment surrounding it, and appropriate motion was planned to accomplish the mission.



Fig. 23 A virtual urban environment

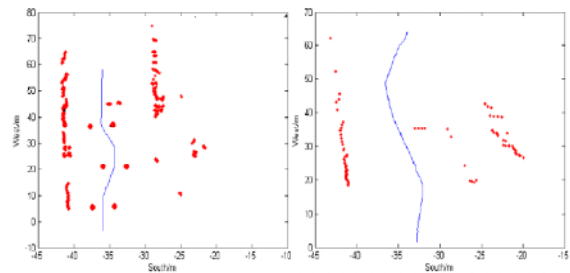


Fig. 24 A part of the vehicle trajectory and environment map (blue line is the vehicle trajectory and the red pixels are the obstacles)

### 5.2 Performance in particular circumstance

BIT can conquer some difficult driving situations, two examples are given in Fig. 25 and Fig. 26. Fig. 25 is a trajectory of BIT in an S-shape curve set up by cones. Fig. 26 shows the result of BIT in parking test. The vehicle trajectory fits well with an experienced human driver activity in such circumstance. This introduces intelligence to BIT.

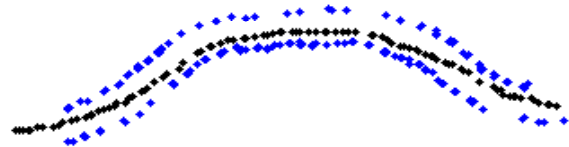


Fig. 25 Trajectory in an S-shape curve. The blue pixels are cones detected by the laser range finder. The black pixels are the GPS position of the vehicle. Inaccuracy may exist in the cone positions as they are reconstructed based on the dead reckoning measurements

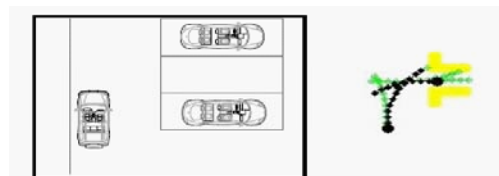


Fig. 26. Motion planning results in particular parking circumstances. In the right figures, green dashed lines represent the extended random trees, black dashed lines represent the planned results and yellow pixels represent obstacles.



Fig. 27 Traffic signs recognition



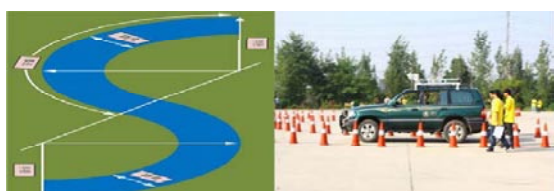


Fig. 28 BIT in Curve driving test



Fig. 29 BIT in Parking B test

### 5.3 Performance in the FC'2010

The FC'2010 was held in Xi'an, China in October 2010. Of the five courses designed to test the intelligent vehicle, BIT succeeded to complete three courses. In the traffic sign recognition test, there are 28 common road traffic signs selected for the assessment of the traffic signs recognition capability, and the recognition correctness of BIT is more than 70%. Fig. 27 shows the competition situation of traffic sign recognition. With accurate detection of environment and efficient motion planning, BIT drove smoothly in a curve formed by cone signs and didn't collide any cone, as shown in Fig. 28. In fixed-point parking B test (see Fig. 29), BIT recognized the stop signs P; and then created a path; Finally, parked into the designed parking space.

## 6 Conclusion

This paper has presented the technology and algorithms to develop an autonomous vehicle named BIT for urban environment, specifically the environment perception and motion planning. BIT is proved to be intelligent in the urban environment from its performance in some experiments. However, urban environments are considerably more complicated than what BIT faced in above experiments; dense traffic, varied weather, and pedestrians all contribute to this complexity.

Although the environment perception system of BIT is capable of providing the drivability map and traffic signs information, additional work is also required to meet all challenges. Precision localization and relative velocity of vehicle surrounding BIT need to be estimated; pedestrians around it need to be detected; and road detection need to be persistent in most situations. Therefore, it is essential for our technology and algorithms to be improved to address these issues.

Still, a number of advances in motion planning are required for truly autonomous urban driving. It is difficult for BIT to handle dense traffic. No experiments have been performed with a more diverse set of traffic participants, such as bicycles and pedestrians.

In all, there is much left to do for BIT. Furthermore, environment perception and motion planning is still our main focus for next step.



**龚建伟** 北京理工大学智能车辆研究所副教授。1992年本科毕业于国防科技大学，2002年于北京理工大学机器人研究中心获博士学位，2011年开始在麻省理工学院机器人中心进行访问研究。一直从事

智能车辆与移动机器人技术研究，获部级科技进步二等奖1项，三等奖3项及多项校级科技奖，发表论文30多篇。

**晋孝龙** 北京理工大学智能车研究所硕士研究生，研究方向：GPS-惯导集成导航。

**姜岩** 北京理工大学智能车研究所讲师，研究方向：路径规划与跟踪，图像处理。

**熊光明** 北京理工大学智能车研究所讲师，研究方向：图像处理，环境感知和车辆控制。

**周圣砚** 北京理工大学智能车研究所博士研究生。研究方向：图像处理，模式识别和机器学习。

**赵熙俊** 北京理工大学智能车研究所博士研究生。研究方向：车辆纵向控制和横向控制。

**江燕华** 北京理工大学智能车研究所博士研究生。研究方向：图像处理，交通标识分析和立体视觉。

**胡玉文** 北京理工大学智能车研究所博士研究生。研究方向：基于激光雷达的环境感知与重建。

**洪涛** 北京理工大学智能车研究所硕士研究生。研究方向：自动转向控制，电机控制。

**李昕** 北京理工大学智能车研究所硕士研究生。研究方向：激光雷达障碍物检测。

**翟涌** 北京理工大学智能车研究所副教授。研究方向：车辆电子。

**席军强** 北京理工大学智能车研究所副教授。研究方向：自动机械变速。

**陈慧岩** 北京理工大学智能车研究所教授。研究方向：传动，自动变速，智能车技术。

## Reference

- [1] Thorp C, et al. Smart Cars: The CMU Navlab. In: Proceedings of WORLD MED93, 1993
- [2] Shoemaker C M, JA Bomstein. Overview of the Demo III UGV Program. In Part of the SPIE Conference on Robotic and Semi-Robotic Ground vehicle Technology, 1998, 7(1): 62-81
- [3] Li Q, Zheng N, Cheng H. Springrobot: a prototype autonomous vehicle and its algorithms for lane detection. IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, 2002, 5(4): 300-138
- [4] Zhang Pengfei. Multi-function outdoor intelligent mobile robot experiment platform-THMR-v. Robot, 2002, 24(2): 97-101
- [5] Zhang Pengfei. Multi-function outdoor intelligent mobile robot experiment platform-THMR-v. Robot, 2002, 24(2): 97-101
- [6] Wang Rongben. Design of an applicable AGV for vision navigation.

- Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(2): 135-138
- [7] Sun Zhenping, An Xiangjing, He Hangen. Wang Rongben. CTIAVT-IV:Autonomous vehicle navigated by vision. Robot, 2002, 24(2): 115-121
- [8] <http://www.darpa.mil/grandchallenge/index.asp>
- [9] <http://www.elrob2006.org/2006>
- [10] <http://ccvai.xjtu.edu.cn/mes.do?method=list>
- [11] Guangming Xiong, et al. Autonomous Driving of Intelligent vehicle BIT in 2009 Future challenge of China. 2010 IEEE Intelligent vehicles Symposium. San Diego, USA. 2010, 1049-1053
- [12] Shengyan Zhou, Yanhua Jiang, Junqiang Xi, Jianwei Gong, Guangming Xiong, Huiyan Chen. A Novel Lane Detection based on Geometrical Model and Gabor Filter. 2010 IEEE Intelligent vehicles Symposium. San Diego, USA. 2010, 59-64
- [13] Shengyan Zhou, Jianwei Gong, Guangming Xiong, Huiyan Chen, Karl Iagnemma. Road Detection Using Support Vector Machine based on Online Learning and Evaluation. 2010 IEEE Intelligent vehicles Symposium. San Diego, USA. 2010, 256-261
- [14] C Urmson, et al. Autonomous driving in urban environments: Boss and the Urban Challenge. Journal of Field Robotics. 2008, 25(8): 425-466
- [15] Nello Cristianini, John Shawe-Taylor. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods. Cambridge University Press, 2000
- [16] Watcharin Kaewapichai, and Pakorn Kaewtrakulpong. Robust Ellipse Detection by Fitting Randomly elected Edge Patches. World Academy of Science, Engineering and Technology 48. 2008, 30-33
- [17] Michael Shneier. Road Sign Detection and Recognition. IEEE Computer Society International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2005
- [18] S. M. LaVille, J. J. Kaffner Jr. Randomized kinodynamic planning. International Journal of Robotics Research. 2001, 20(5): 378-400
- [19] <http://msl.cs.uiuc.edu/msl/>
- [20] F. von Hundelshausen, et al. Driving with Tentacles: Integral Structures for Sensing and Motion. Journal of Field Robotics. 2008, 25(9): 640-73

## “飞车时代”还是太远

王飞跃

中国科学院自动化研究所

前些日子，一位记者朋友发来邮件说，美国《时代》周刊评选的去年“年度50佳发明”中，有能够飞行的汽车——Transition“飞跃”车。据报道，“这一飞车在2009年初试飞成功，目前已获相关部门批准可以上路行驶，它配备有安全气囊和降落伞，售价在20万美元左右，低于兰博基尼跑车。生产这种飞车的美国Terrafugia公司已经接到约70辆飞车订单，预计在2011年底可以将第一批成品交付客户使用”。这位记者朋友在网上查阅相关资料，发现我3年前就曾经撰文谈过“飞跃”车，而且声称：“要买上这样一辆飞车，再等50年吧。”这位记者的问题是：“面对目前这样的报道，不知道3年后您的观点是否有调整？天空飞车的时代来临是否不会太久远？还是说2011年交付使用这事情根本就不靠谱？”

于公于私，我都想立即回答这些问题，可惜没时间。而且，也确实记不清3年前我就飞行汽车写了些什

么。今日得空网上浏览，吓了一跳，原来我曾就飞行车、智能车、机器人、人肉搜索等一系列问题“发表”过言论，许多的确与本人有关，但也有不少子虚乌有自己根本就不知道的，纯属“被采访”或“被报道”。好在都是正面的科技新闻。惊叹之余，决定尽快就飞行车讲明我的看法，“自回答”总比“被回答”好。

简而答之，面对目前的报道，我的观点确需调整：此类飞车的时代，“再等50年”不正确，我认为至少还要再加50年。当然，如果你想让钱“飞”的话，50年之前就可以买上一辆能飞的车！

实际上，飞行汽车的“研制”或炒作已有很长的历史。加拿大的Avro Canada公司50多年前就为美国军方建造了两架VZ-9-AV Avrocar“飞行车”，每部造价约1000万美元，却无法解决推力与稳定性问题。以色列也早已声称成功地研制了X-Hawk“飞车”，并希望在2010年之前推向国际市场。荷兰的PALV(Personal Air and

Land Vehicles) “飞行车”3年前就要量产,并“已计划在荷兰建设60个机坪来满足未来需求”。还有俄前试飞员扎特斯维发明的飞行汽车,媒体称“一旦获得可飞行汽车的专利权,他将在一夜暴富,资产将超过世界首富比尔·盖茨”。

在美国,除了Transition“飞跃”车外,还有MX-400、FSC-1、SkyRider X2R等五花八门的“飞行车”。Transition之前,最著名的是加州大学Davis分校退休教授Moller研制的“没有翅膀也能飞行”的汽车SkyCar。此“飞行车”由Moller International, Inc (MI)“制造”,而且由著名的豪华时尚产品零售商妮梦一马科斯集团公司(Neiman Marcus Group Inc)邮寄推销。

对此,我丝毫没有推销豪华产品的感觉,有的只是在小菜场里卖飞船的感觉。MI曾因欺骗投资者被起诉:除了假账外,还因“2002年卖出1万部SkyCar”、“像微软那样成功”、“拥有11个核心专利(8个过期,3个自己都说根本没用)”等历史已证明为谎言的“豪言壮语”。至今,MI没真正造出一部能飞的车,公司网站上除了2003年3月的“离地”实物实验外,多为动漫演示,还有许多新闻报道、电视采访、名人支持的话以及近期马来西亚、韩国、中国等要投资的利好消息。

其实,许多年前Transition就被作为全球性的年度科技新闻而大肆报道。2007年,还被IEEE的Spectrum评为科技领域“年度五大败笔”之二,因为“这只‘变色龙’可以在天上飞,但在路上却是等着发生(交通)事故”。当时,Transition的设计重量已近轻型飞机的上限,但却是最轻的四轮轿车重量的一半;因此空中飞行的性能可能还凑合,但在路上,“一阵强风就能让它像鱼尾那样摆起来”。

3年之后,为什么Transition又列入《时代》周刊的“年度50佳发明”?到Terrafugia的公司网上细查,一句话似乎给出了答案:美国航空管理局允许Transition突破轻型飞机的重量上限!没有重量之限,我相信飞行车就没有本质上的技术难题,只是不应该称其为“飞行的汽车”,而应称之为“车行的飞机”,“车行机”也。此类技术的简单形式,我们在飞机起飞前或降落后早已体会过了。个人观点是,正像现在认为“反式脂肪”有害健康一样,我们也不要对此类“反式

飞机”抱太大的希望,更不能把缓解交通堵塞的希望寄托于此。

原因有二。首先是政治上、安全上的考虑。美国“9·11”恐怖事件之后,我很难想象任何一个负责责任的政府,包括美国政府,能够允许一个像汽车时代一样的“天空飞车时代”来临。如果允许,按目前的社会状态,夫妻、工人老板、百姓官员甚至路上陌生人吵架之后,都有可能成为“恐怖分子”,届时我们恐怕就要生活在“恐怖飞车时代”里。

其次是经济上、环保上的考虑。除了飞行车本身的成本之外,还有相关碳汇问题,不知是否有人算过飞行车出行或生活方式的碳排放是多少;温室效应如何;可持续否。本人非此方面的专家,但肯定这与“低碳”背道而驰。还是先考虑“清洁车”时代吧,而且将来的城市一定是集成化的智能城市,可能根本就无需所谓的“飞车时代”。

总之,尽管飞车能飞,但“飞车时代”离我们还远。不过,我认为飞行车将在未来甚至是眼前的战争中发挥重大的作用。或许,就像MIT师生创办的另一家高科技公司iRobot一样,不久,同是MIT学人创办的Terrafugia,也将成为美国军方的另一个武器制造商。

记者朋友最后的问题是:“有观点认为,在当前的时代,一个诱人的产品往往不再是百般雕琢后的终极成果,而是一个依赖第一批尝试者添砖加瓦才能够完善的好东西。您觉得这样的规律是不是也会在飞行汽车身上得到体现?”是,肯定是!这也是本人认为“人肉搜索”或“众包”是未来的生活、学习、工作等的基本方式之原因。



**王飞跃** 中国科学院自动化研究所研究员; 中科院复杂系统与智能科学重点实验室主任; CAA副理事长、秘书长、CAA会士。主要研究领域为智能系统、复杂系统和社会计算的建模、分析、控制和管理。2003年当选IEEE Fellow、2005年当选INCOSE Fellow、2007年当选IFAC Fellow。

# 工程界的诺贝尔奖——德雷铂奖

整理翻译：彭倩<sup>1</sup> 王庆林<sup>2</sup>

1. 北京理工大学自动化学院； 2. 北京理工大学国际交流合作处。

**摘 要** 从奖项的创立、候选提名、选拔标准等方面介绍了美国国家工程院颁发的工程界奖项之一，德雷铂奖。在介绍历年获奖名单的基础上，重点介绍了控制科学与工程领域获奖者卡尔曼。

**关键词** 德雷铂奖；提名；卡尔曼

美国国家工程院每年投入一百多万美元用于表彰工程界的领军者，奖励他们在自身领域的贡献以及在改善人们生活质量方面的成就，旨在促进公众对工程与技术教育重要性的理解。目前，美国国家工程院共设5大奖项，分别为德雷铂奖(Charles Stark Draper Prize)、拉斯奖(Fritz J. and Dolores H. Russ Prize)、戈登奖(Bernard M. Gordon Prize)、梵德奖(Founders Award)、阿瑟·布科奖(Arthur M. Bueche Award)。(参见<http://www.nae.edu/20679.aspx>)

其中，德雷铂奖是为纪念德雷铂博士，于1988年由德雷铂实验室资助并创立的。该奖由起初的两年评选一次改为目前的每年一次，颁奖活动于“国家工程周”期间在华盛顿举行。作为工程人员所能获得的最高荣誉之一，德雷铂奖用以奖励那些在工程技术创新或社会科技普及方面取得的突出工程成就，奖金50万美元，同时颁发一枚金质奖章以及一份手写证书。(参见<http://www.draperprize.org/>)

## 一、德雷铂生平

查尔斯·斯塔克·德雷铂(Charles Stark Draper)被誉为“惯性导航之父”，他将惯性导航的理论运用于飞机、宇宙飞船和潜水艇的实际操作中，使它们能够通过三个坐标上的陀螺仪和加速器来感知方向的变化。

20世纪30年代，作为麻省理工学院航空学和航天学的教授，德雷铂博士在学校创立了高校仪器实验室。20世纪60年代，他曾十分自豪地说：“这个实验室的最大成果就是为解决阿波罗的导航制导和控制问题提供了主要的软硬件设计方案。”1973年，经过一系列合并，该实验室年成为一个独立的、非营利性的研究与开发所，并以德雷铂的名字命名。

德雷铂博士于1965年获国家科学奖章，并入选国家发明家名人堂和国际空间名人堂，他在一生中获过超过70项的荣誉和奖项。(参见<http://www.draperprize.org/docdraper.php>)

## 二、德雷铂奖历届获奖名单

表一 历年获奖名单

年份	获奖者	获奖原因
1989	Jack S. Kilby, Robert N. Noyce	单片集成电路的自主研发
1991	Sir Frank Whittle, Hans J.P. von Ohain	涡轮式喷气发动机的自主研发
1993	John Backus	FORTRAN 语言的发明
1995	John R. Pierce, Harold A. Rosen	对通信卫星技术的发展
1997	Vladimir Haensel	催化平台的发明
1999	Charles K. Kan, Robert D. Maurer, John B. MacChesney	光纤通讯构想与发明以及生产过程开发
2001	Vinton G. Cerf, Robert E. Kahn, Leonard Kleinrock, Lawrence G. Roberts	互联网的开发
2002	Robert Langer	药物投递系统的开发
2003	Ivan A. Getting, Bradford W. Parkinson	全球定位系统的发明
2004	Alan C. Kay, Butler W. Lampson, Robert W. Taylor, Charles P. Thacker	第一个实用联网计算机——Alto的发明
2005	Minoru S. "Sam" Araki, Francis J. Madden, Edward A. Miller, James W. Plummer, Don H. Schoessler	设计、研发、运行首个地球观察系统——科罗娜卫星
2006	Willard S. Boyle, George E. Smith	数码相机和其他成像技术的核心器件——电荷耦合元件 CCD 的发明
2007	Tim Berners-Lee	万维网的开发
2008	Rudolf E. Kalman	卡尔曼滤波器的发明和推广
2009	Robert H. Dennard	DRAM 的发明和发展，通用计算机、数据处理系统和通信系统
2011	Frances H. Arnold, Willem P.C. Stemmer	对“定向进化”技术的贡献

(参见<http://www.nae.edu/Activities/Projects20676/Awards/20681/PastWinners.aspx>)

## 三、控制学科领域获奖者——卡尔曼

2008年，美国国家工程院将德雷铂奖授予瑞士联邦理工学院的退休教授鲁道夫·卡尔曼(Rudolf Kalman)博士，以表彰他的一项重要发明——卡尔曼滤波器，以及他在应用推广上所做的贡献。

卡尔曼被人们广泛誉为现代控制理论和系统理论的创造者，他的研究开创了控制工程领域的新局面并为将来的研究和创新奠定基础。他是美国国家科学院、国家工程院、美国文

理学院院士，同时也是匈牙利、法国、俄罗斯科学院的外籍院士。

他最为人知的成就就是对卡尔曼滤波器的发展，这种数学研究方法现今被广泛的应用于航海和航天中。它可以排除噪声以及不精确数据的干扰，从不完备的信息中优化评估和控制一个复杂系统随时间变化的状态。卡尔曼滤波器使控制论领域发生了革命性的变化，并已经在工程系统中得到普遍应用。几乎在所有工程领域的系统和设备里都能找到它的身影，它的应用涵盖：雷达目标跟踪、全球定位系统、水文建模、大气观测、经济计量学的时序分析以及自动化药物投递等。

作为控制理论以及控制系统工程中的一个重要课题，卡尔曼滤波器的获奖将鼓舞更多从事控制领域的学者向这个工程界的诺贝尔发起挑战。

#### 四、提名程序

德雷铂奖用于表彰任何工程学科某一具体或者是一系列的成就，可以颁给个人或者是完成该成就的一组人。

德雷铂奖的提名人应仍在世，对国籍没有限制。提名对象可以是美国国家工程院、美国国家科学院、美国国家医学院的院士或外籍院士，其他国家工程院院士或外籍院士，被承认的美国或国际工程学会院士，以及其他美国国家工程学会认为有资格当选的个人。最终由美国国家工程院组建的委员会评选出获奖者。

美国国家工程院是美国工程界最具权威的学术社团，其成员都是在工程专业颇有建树的学者。正是有丰富的经验和雄厚的知识做后盾，美国国家工程院有实力组建出评选德雷铂奖的委员会。委员会的成员由国家工程院主席从院士中指定，轮值三年，他们都是各工程学科的领头人，有时往届的获奖者也会参与其中。通过仔细地斟酌和严格地评估，委员会最终选定德雷铂奖的获得者。（参见<http://www.draperprize.org/aboutprize.php>）

完成提名报名需要：

1. 提交完整的提名表。
2. 附加信息包括：相关成就简介，不得超过4页；候选人简历（每位候选人简历不得超过2页）；一份与此成就相关的参考书目（不超过2页）——可选；3-6封推荐信。

注意：提名表和成就简介必须用英文打印，没有推荐信的提名无效。推荐信可与提名表一同发出，也可分开处理。提名表的截止日期也就是推荐信的截止日期，提名者要保证推荐信在截止日期之前寄到美国国家工程院奖励办公室。

（参见<http://www.nae.edu/Activities/Projects20676/Awards/20681/NominationProcedures.aspx>）

#### 五、选拔标准

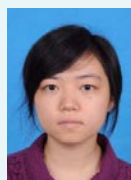
提名表及其附件材料中的成就简介必须要有定性和定量的依据并且满足以下标准：

1. 阐述该创新或成就已经使得多少人或者将来会使多少潜在人群受益，以及其受益程度。
2. 展示该创新或成就的新颖性、独创性、技术想法或概念的基本性质。
3. 说明该创新或成就的提出，为其后续的改进和完善扫除了基本的阻碍，或体现了全新的科学原理。
4. 展示这项新构想或创新对不同技术分支的发展都起到极大的促进作用，并运用于各种不同领域。
5. 展示在新想法的方案创新、商业化、“操作化”过程中的卓越设计、执行和经营。
6. 表明该创新或成就的实际或潜在经济影响，包括由新产品或新工艺所产生的收入总额，新工艺可能带来的成本节约，对环境冲击的降低以及对消费者健康和工作环境安全带来的益处。（参见<http://www.nae.edu/Activities/Projects20676/Awards/20681/NominationProcedures.aspx>）

#### 六、结语

作为工程人员所能获得的最高荣誉职业奖，德雷铂奖是对获奖者在工程技术创新或社会科技普及方面取得突出成就的肯定，也是让社会对他们所做贡献有更多的了解和认识，以促进科学技术更多、更好地为社会的公共福利事业服务。

由于在通信卫星技术上做出的卓越贡献，约翰·皮尔斯(John R. Pierce)和哈罗德·罗森(Harold A. Rosen)获得了1995年的德雷铂奖。时任美国总统威廉·克林顿在一封信中对此陈述道：“这个无尚的荣誉将颁给那些做出突出贡献的工程师们，他们冲破重重困难，探索无限可能的新世界。约翰·皮尔斯和哈罗德·罗森这样的先驱者们不断深入研究，把科学知识运用到通信、交通、教育、环境、安全以及娱乐等各个方面，这让我们实实在在地感受到生命的多姿多彩，同时开阔了我们的思路，正是他们的成就给我们的社会提供了更多的发展机会。”（参见<http://www.draperprize.org/aboutprize.php>）



**彭倩** 北京理工大学自动化学院控制科学与工程专业在读硕士生，主要研究方向为远程康复机器人。

**王庆林** 博士，北京理工大学教授、博士生导师，国际交流合作处处长。曾

在加拿大Alberta大学任访问教授。现为CAA理事、高级会员、控制理论专业委员会、专家咨询工作委员会等委员，自动化系统工程师资格认证(ASEA)评审委员会委员。中国人工智能学会自然计算与数字智能城市专业委员会委员。北京高校引智研究会常务副理事长、秘书长。

# 平行管理系统 在齐鲁石化等企业推广应用



王飞跃主任与中石化、齐鲁石化高层领导洽谈合作与交流

2011年年初，中国科学院自动化研究所与中国石化股份有限公司（简称中石化）齐鲁分公司（简称齐鲁石化）在山东淄博举行合作交流洽谈会，双方达成共识，将平行管理系统应用到齐鲁石化提升企业管理的“任务、责任、实践”改革中，共同努力共促发展。这为中国自己创造一流企业管理理论，建造具有一流管理水平的石化企业，创造了很好的机会。

受中石化总经理助理、齐鲁石化总经理李安喜等领导的盛情邀请，中国自动化学会副理事长兼秘书长、中国科学院复杂系统与智能科学重点实验室主任王飞跃研究员，带领自动化所“平行控制与管理研究中心”团队项目组主要成员，赴齐鲁石化进行正式访问。受到李安喜总经理、齐鲁石化张副总经济师、科学技术部杨部长、信息中心黄主任、炼油厂孙厂长、烯烃厂韩厂长等领导的热情接待。

在双方的交流会上，王飞跃主任首先感谢齐鲁石化的欢迎和领导对本团队研究项目的信任和支持。王飞跃在会上对平行管理做了详细介绍：在企业管理中，平行管理同时考虑了企业中不可分割和忽视的工程复杂性（设备、工艺等）对象和社会复杂性（管理制度、人等）对象，既将生产运作管理和职工岗位管理紧密结合，解决了这类复杂生产系统难以进行传统建模也难以定量管理的难题，为企业提供了新的理论指导和系统支持。平行管理核心技术包括：采用基于人工系统（Artificial Systems）的复杂系统建模方法，利用计算

实验（Computational Experiments）手段分析、评估复杂企业系统管理的运行规律和机制，最终通过实际系统和人工系统的平行执行（Parallel Execution），实现对企业生产更有效的控制和管理；在正常情况下，人工系统帮助实际系统实现自适应滚动优化；在异常情况下，人工系统帮助实际系统做好应急预案和应急管理。

在平行管理指导下，项目组与茂名石化合作开发了平行培训系统（PTS: Parallel Training System）、平行评估系统（PES: Parallel Evaluation System）和平行管理系统（PMS: Parallel Management System）。PTS实现了个性化、定制化和情景式学习培训以及可跟踪的培训管理，激发了员工参与培训的积极性，提高了培训质量和效率；PES实现了对企业基层人员行为的量化管理和预测评估，为改进管理制度、人员组织、生产方案提供了科学依据；PMS系统建立了集生产、人员行为和管理制度方面的综合分析模型，集成了大量算法。这些为企业开发和车间级、工厂级和企业级的平行管理系统奠定了坚实基础。

2010年9月，上述成果通过了曹湘宏院士为组长的专家组鉴定。鉴定结论包括：“首次将平行系统、信息技术成功应用于生产管理的创新性成果，整体技术达到国际先进水平，具有广泛的推广价值。”茂名石化提供的《经济效益与社会效益情况》报告表明，平行系统运行15个月为公司新增利润1.19亿元，新增税收6000多万元。另外，项目组还研发出973项目成果“平行交通控制与管理系统”并成功应用到苏州市太仓公路局；研发出“公共交通平行管理系统PtMS”，并成功应用于广州市亚（残）运会的公共交通保障；广州方面这样评价：“PtMS在亚残运会期间发挥了显著的作用。在广州市首次实现了交通人流、车流自动检测与分析、通过系统软件首次使出租车、公共交通管理从过去凭借经验靠人工执行提升为靠科学化制定、智能化系统执行。指挥部可随时掌握全市交通动态，亚运交通信息网站可为市民提供实时交通信息查询，这在以前是不可能的事。”研发出相关系统并成功应用于上海世博会的安全保障等。

李安喜总经理等领导在听完介绍后，首先肯定了王飞跃主任提出的平行管理理论和思想，中科院项目组开发的平行管理系统在茂名石化取得的成功应用成果。同时，领导们也看到了平行系统美好的应用发展前景。

“这些成果，还可以应用到政府管理、部队管理、公安管理等，只要有管理的地方，平行管理系统都可以用；用你们的办法管理企业，将更科学、更迅速，管理效率也更高。”李总认为：齐鲁石化目前效益不太好，但规模很大、影响也很大，这就是很好的合作机会。中科院到这里来合作，首先是可以为齐鲁石化提供先进的企业管理理论和平行管理系统平台，帮助齐鲁石化提升管理水平和经济效益。另外一方面，齐鲁石化也可以利用自己的影响力，做好对中科院科研成果的应用支撑。

张总等领导也先后对中科院项目组以齐鲁石化作为下一个科研实践基地表示欢迎，烯烃厂韩厂长和炼油厂孙厂长都对平行管理系统在工厂管理的有用性和可用性表示肯定，对启动合作项目明确表示欢迎和支持。会谈中，双方就如何落实平行管理提升企业精细化管理水平，如何贯彻齐鲁石化“任务、责任、实践”管理理念，如何在齐鲁石化建立平行管理系统应用示范基地等议题，进行了深入地交流，达成了及早启动项目的共

识。会谈即将结束时，王飞跃主任当即向在场领导郑重表示，项目组将密切配合齐鲁石化推广应用好茂名经验和平行管理系统，为塑造具有中国石化特色管理模式而共同努力！

2011年春节后上班第一天，中科院自动化所项目组便派出的熊老师、程老师、刘老师等主要成员，来到齐鲁石化的烯烃厂和炼油厂进行立项调研。在厂领导和车间领导的密切配合下，项目组广泛了解工厂现状，现有信息系统和控制系统，以及用户的实际需求。经过自下而上、自上而下的两轮交流商谈，项目组很快就拿出了用户认同的项目内容建议稿。齐鲁石化科技部和信息部组织领导和专家，对该项目建议内容进行了第一轮评审，通过了在齐鲁石化启动平行管理系统项目的建议。2011年，是齐鲁石化强化“任务、责任、实践”管理理念的一年，该项目将充分发挥通过管理“人”来管理企业的优势，把这一理念切实落实到职工的日常工作管理中。

在未来的几年里，项目组将致力于打造“平行设备”、“平行过程”、“平行车间”、“平行工厂”、甚至“平行企业”等一系列的成熟产品、系统和完整解决方案，不断提升齐鲁石化等大型石化企业的管理水平。

中科院自动化所熊刚、刘希未 供稿

## 程代展研究员荣获国际自动控制联合会 《自动化》刊物最佳论文奖

2011年3月29日，我会理事、CAA会士、中国科学院数学与系统科学研究院程代展研究员接到国际自动控制联合会（IFAC）奖励委员会主席George Irwin来信，通知程代展研究员和齐洪胜助理研究员2009年发表在国际著名刊物《自动化》（Automatica）上的论文“布尔控制网络的能控性与能观性”被评为2008~2010年度《自动化》刊物最佳论文奖（方法与理论类）。这次获奖论文是基于程代展提出的半张量积方法，他们对布尔控制网络得到了原创性的重要成果。这是中国大陆学者首次获得此殊荣。

《自动化》是由国际自动控制联合会（IFAC）主办的学术刊物，是国际自动控制领域最有影响的杂志之一，每三年评选一篇方法与理论类最佳论文，并在三年一次

的国际自动控制联合会世界大会开幕式上隆重颁奖。

程代展自1990年起在数学院系统科学研究所任研究员，其主要研究方向包括非线性系统控制、切换控制系统、Hamiltonian系统、布尔网络控制等。程代展曾任中国自动化学会控制理论专业委员会主任，IEEE 控制理论学会北京分会主席，第49届IEEE控制与决策会议（CDC）程序委员会主席，曾作为第一完成人获国家自然科学基金二等奖，并先后当选为IEEE Fellow 和IFAC Fellow 等。齐洪胜现为中国科学院数学与系统科学研究院助理研究员，已在国际著名学术期刊上发表多篇论文。

控制理论专业委员会 供稿



## 《自动化学报》编委会完成换届



第九届《自动化学报》编辑委员会合影

《自动化学报》编委会换届大会暨第十届编委会第一次工作会议于2010年12月25日在京召开。《自动化学报》第九届编委会、第十届编委会六十余名编委参加了此次会议。此外，中国自动化学会理事长戴汝为院士、孙优贤院士，副理事长郑南宁院士、王天然院士、吴宏鑫院士、周康教授，顾问黄琳院士、薛景瑄教授，中科院自动化所副所长、党委书记何林、科学出版社期刊中心主任肖宏、院出版委主任金建辉等相关领导应邀出席了会议。

学会副理事长郑南宁院士主持了《自动化学报》编委会换届大会，理事长孙优贤院士为大会致辞。孙院士肯定了过去五年多来，第九届编委会对《自动化学报》和广大读者高度负责的精神，工作尽心尽责，默默奉献，为繁荣学术期刊事业所付出的努力，并希望因为各种原因不能继续担任编委的同志们能继续关注、关心支持学报期刊事业的发展，积极建言献策，帮助新一届编委会做好工作。

大会听取了第九届编委会主编谭铁牛研究员做工作汇报。在第九届编委们的共同努力下，五年来获得了诸多成就，总被引频次、影响因子稳步提高，并连续四届获得“中国科协期刊优秀学术论文奖”、连续三年获得“中国百种杰出学术期刊”、入选“中国科协精品科技期刊示范项目”、“中国精品科技期刊”、“新中国60年有影响力的期刊”等荣誉。

会上，孙优贤院士代表《自动化学报》主办单位向第九届编委会主编谭铁牛研究员颁发荣誉证书，并对其表示感谢；谭铁牛研究员向与会的第九届编委们颁发荣誉证书。

理事长戴汝为院士在会上发表致辞。戴院士首先代表中国自动化学会，对此次换届会议的召开表示热烈的

祝贺；对五年多来第九届编委会的辛勤努力、采取的多种举措、获得的成效表示认可。戴院士在会上传达了中国自动化学会九届三次常务理事会的会议精神，“会议一致决定2011年1月1日启动第十届编委会的工作，并同意王飞跃教授担任《自动化学报》第十届编辑部委员会主编，同意洪奕光、田捷、侍乐媛、周东华、张洪华五位教授担任副主编”。戴院士表示很高兴第十届编委会囊括了自动化领域五大学科的60位精英做编委，希望新一届编委会能够承前启后，继往开来，以高度的使命感，责任感，认真分析《自动化学报》当前面临的挑战和机遇，进一步提升期刊的品牌影响力。最后，戴院士希望在这么多专家共同努力和监督下，严谨办刊，发挥特色，为提高学会及自动化所的软实力再创佳绩！

戴汝为院士代表《自动化学报》主办单位向第十届主编王飞跃同志、副主编田捷、洪奕光、侍乐媛、张洪华、周东华颁发聘书，王飞跃主编向与会的第十届编委们颁发聘书。

作为期刊界的特约嘉宾，科学出版社期刊出版中心主任肖宏对此次换届大会的召开表示衷心的祝贺，并结合其多年来从事编辑出版工作的经验，以定位、质量、效率、政策四个关键词谈了对期刊编辑工作和编委工作的认识和看法。

《自动化学报》编委会换届大会完成后，第十届编委会召开了第一次工作会议。田捷副主编主持第十届编委会第一次工作会议，并代表王飞跃主编向第十届编委做了第一次工作汇报。编辑部林莉向与会编委介绍了ScholarOne Manuscript使用手册。与会编委积极讨论了第十届编委会工作条例、专刊（专题）申请及出版制度、优秀论文评选办法、会议推荐稿/特约稿等稿件处理流程、2011年专刊选题、如何提高影响因子等学报相关工作。最后，王飞跃主编进行了总结发言，表达了自己要认真负责、求实创新，做好《自动化学报》的决心，并希望编委们能全身心地为学报服务，扎扎实实做好编委工作。

《自动化学报》编辑部 供稿





## 第十届《自动化学报》编委会组成名单

### 名誉主编

戴汝为 中国科学院自动化研究所

### 顾问（以姓氏笔画为序）

马颂德 王 珏 王天然 孙优贤 李衍达 陈翰馥

吴宏鑫 张 钹 赵沁平 郑南宁 郑大钟 郭 雷

柴天佑 黄 琳 屠善澄 薛景瑄

### 主编

王飞跃 中国科学院自动化研究所

### 副主编

洪奕光 中国科学院数学与系统科学研究院

田 捷 中国科学院自动化研究所

侍乐媛 北京大学

周东华 清华大学

张洪华 北京控制工程研究所

### 编委（以姓氏笔画为序）

于海滨 方海涛 文成林 王春恒 王 聪 王大轶

王红卫 王 龙 王 伟 丛 爽 宁 滨 孙彦广

孙长银 关新平 李东旭 李 平 刘成林 刘德荣

刘 民 刘允刚 刘一军 李少远 吕金虎 陈 杰

宋世吉 张化光 张学工 张 毅 姜 斌 赵千川

周 军 周 杰 宗成庆 侯增广 席裕庚 钟麦英

胡昌华 胡小平 胡占义 封举富 姚 力 高白友

耿志勇 桂卫华 贾英民 贾云得 唐 涛 夏元清

徐建闽 崔平远 曹喜滨 黄继武 章毓晋 董 峰

韩崇昭 葛树志 褚 健 谭 民 樊尚春 戴琼海



第十届《自动化学报》编辑委员会合影

## 第二届杨嘉墀科技奖评审会结束

自第一届杨嘉墀科技奖评奖工作开展以来，对促进我国自动化及航天控制学科发展和原始创新能力的提高，调动广大科技工作者的科技创新精神产生了重大影响。正是在这一前提下，第二届杨嘉墀科技奖评奖于2010年11月份在全国自动化和航天控制领域铺开，



共收到六份推荐材料，杨嘉墀科技奖评审专家组于2011年3月1日下午在自动化大厦十三层第二接待室举行评审会，评审会应到专家12人，实到专家11人。在专家组组长戴汝为院士主持下，评审专家在对候选人的基本情况

及科研业绩进行认真审查和评议后，对六名候选人进行投票表决。下列人员将获得第二届杨嘉墀科技奖：（按姓氏笔画排序）

一等奖：（空缺）

二等奖：

李东旭 国防科学技术大学教授

张洪华 北京控制工程研究所研究员

曾大军 中国科学院自动化研究所研究员

获奖名单已在中国自动化学会网站及中国宇航学会网站公示20天，在公示期内（2011年3月20日止）接受广大社会人士进行异议及投诉。公示结果无异议。拟定在2011中国自动化大会上进行颁奖活动。

学会办公室 供稿

## 院士院校行一

# 戴汝为院士在西华大学举行专场报告会



中国自动化学会理事长、中科院戴汝为院士作报告

今年是钱学森先生诞辰100周年，为了全面贯彻落实好中共中央以及《中国科协关于广泛深入开展学习宣传钱学森同志活动方案》的通知精神，更好地弘扬钱学森的爱国精神，颂扬他杰出的科学成就，学习他勇攀高峰的创新思想，2011年4月13日，“第十二届中国（成都）自动化与仪器仪表学术交流会暨国际展览会”重点内容之一的院士院校行活动——纪念钱学森诞辰100周年戴汝为院士专场报告会在西华大学举行。戴院士作题为“高山仰止，永为我师”的专题报告。

戴院士在报告中追忆了他和钱学森先生之间的交往经历和师生情谊，缅怀了其非凡的学识和高尚的人格，对钱学森先生严谨的科学精神和卓越的科学成就进行了阐述和总结，探寻了钱学森先生创新思想的脉络，挖掘、探讨了钱学森的教育思想理念。

**严谨治学 谦逊为人** 说到与恩师钱学森的渊源，戴院士称自己是“名师门下，一生幸运”，但是老师的严谨治学态度表现在对待学生上，就是不仅严厉，而且要求也特别高，戴院士也感叹当钱学森先生的学生是很不容易的。有一件事让他记忆深刻，有一次他去给老师汇报一个学术问题，当他讲完之后，老师只说了一句话“你说的什么我听不明白。”然后就埋头做自己的事了，不再搭理他。过了大概四五分钟，老师才又重新抬起头来说道：“你刚才讲的无非是这么几点……”，然后就条理清晰地将他刚才的内容复述了一遍，让他惊讶不止，原来老师已经将他刚才那堆杂乱无章的东西重新梳理了一遍。

钱学森先生卓越的学术成就与其在学术上严谨与孜孜以求的态度分不开。在公开的钱学森先生八百多封个人信件中，其中有三百来封是写给戴院士的，然而这些信件没有一封是

讲别的，都是在相互探讨学术上的问题。

虽然治学严谨，但钱学森先生为人却非常谦逊。回国不久，他教授《工程控制论》课程，《工程控制论》是钱先生用英文写成的一本科研巨著。“虽然留美20年，他讲课时却是一口道地的北京话，没有一句英文，无比亲切。”对比现在的有些学者，才出国一两年，回来后就不好好说汉语，明显有炫耀的意思，对此戴院士不禁感叹其可笑。

**成就卓著却淡泊名利** 钱学森先生是我国控制和自动化、系统工程等领域的先驱和领袖，但他对待名利却非常淡漠。戴院士回忆道，记得有一次钱学森先生获得了国家一项最高奖项，别人向他祝贺，问他激动不激动，他却非常平静地说：“我早已激动过了。”那是早在离美之时，他带着《工程控制论》和尚未成书的物理学讲义去向他的恩师、世界杰出力学家冯·卡门辞行，“钱，你在学术方面已经超过我了。”这是冯·卡门在看完他的这两本学术著作时给予的评价，这才是钱学森先生最看重的事情，至于金钱、荣誉等等名利他从未放在眼里。

**探寻“钱学森之问”的答案** 对于“钱学森之问”，戴院士在报告没有正面回答，但他却反复提到一件事情，那就是钱学森先生一直非常强调学术上平等的讨论最重要。钱先生刚回国时，他在力学所，每个办公室挂一小黑板，大家随时有什么想法，就记在上面，随时去讨论，或者征求大家讨论。学术创新不能闭门造车，仅靠关在屋里冥思苦想绝对不行，必须通过平等自由的讨论激活思维，迸发思想火花和灵感。而且学术讨论必须建立在平等自由的基础上，学术上的问题一定要搞清楚，对就是对，错就是错，不能含糊。从学术上来讲，不能因为谁的级别高，怕伤了领导的面子。在钱先生的晚年，病中戴院士去看望他，一见面他首先还是问戴院士学术上的问题，“我上次给你提的那个问题，你想的怎么样了？”他的头脑里始终在思考学术上的问题。这些科学研究的方法和追求真理的执着精神是不是也能对我们探寻“钱学森之问”的答案有所启发呢？

四川省自动化与仪器仪表学会理事长、四川大学汪道辉教授，四川省自动化与仪器仪表学会常务副理事长、成都科技服务中心副主任杨靖等学会负责人和理事，以及西华大学师生共300余人聆听了报告。

成都自动化研究会 供稿

## 我会开展2010年度 CAA科学技术奖励推荐工作

为深入贯彻落实科学发展观，发现和激励科技创新人才，促进中国自动化科学技术事业的发展，根据九届四次常务理事会（通讯）会议通过的《中国自动化学会科学技术奖励办法（试行）》及《CAA科学技术奖励评选工作细则（试行）》，经研究，决定开展2010年度CAA科学技术奖励候选人推荐与评选工作。

2010年度CAA科学技术奖推荐奖励包括CAA自然科学奖、CAA技术发明奖、CAA科学技术进步奖三个奖项。

CAA自然科学奖奖励对象：在我国自动化领域应用基础研究领域，阐明自然现象、特征、规律和方法，做出重大科学发现的研究集体和个人。

CAA技术发明奖奖励对象：在我国自动化领域运用智能、控制等科学技术知识做出产品、工艺、材料及其系统等重大技术发明的科技工作者。

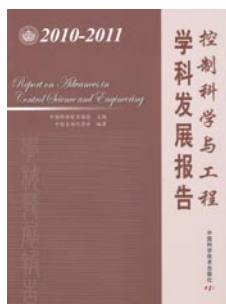
CAA科学技术进步奖奖励对象：在我国自动化领域的技术研究、技术开发、技术创新、推广应用先进科学技术成果、促进高新技术产业化，以及完成重大科学技术工程、计划等过程中做出创造性贡献的科技工作者和单位。

按照《中国自动化学会科学技术奖励办法（试行）》的规定，2010年度CAA科学技术奖励采取个人推荐和单位推荐两种渠道。

第一届2CAA科学技术奖评审工作将于2011年7月31日前完成，终评结果后将在CAA网上进行公示，在公示期限内接受社会的监督、举报和投诉。颁奖活动拟定在“2011(CAC)中国自动化大暨纪念钱学森诞辰一百周年和五十周年会庆”活动中举行。

学会办公室 供稿

## 我会完成2010-2011控制科学与工程 学科发展研究项目



在中国科协的指导下，在学会领导的重视下，在中国自动化学会全体专家学者的大力支持下，我会承担中国科协2010年控制科学与工程学科发展研究项目，从2010年3月筹备至2011年4月参加科协组织的学科发展发布会，历时一年，完成了学科发展研究项目。

这是我会第二次承接中国科协的学科发展研究项目。本次学科发展研究参与的专家学者共计82名，其中两院士9人。撰写了综合报告一个，专题报告25个。总字数达22万字。

25个专题报告是在自动化科学领域五个二级学科的基础上分类撰写的，基本概括了本学科在近两年的发展

状况和最新进展、发展趋势。

学科发展研究综合报告是在专题报告的基础上提取精髓，把研究分析本学科发展现状、动态和趋势以及我国与国际水平的比较和战略需求作为重点来写，并提出本学科在我国未来的发展趋势和研究方向。

在科协举行的学科建设发布会上，我会推荐的“远程无框架脑外科机器人系统”项目和“新一代控制系统高性能现场总线——EPA”项目作为本学科近两年代表性的研究进展或研究成果向社会进行了展示。

2010-2011年控制科学与工程学科发展研究项目已经完成，但我们推进学科发展的工作不能停顿。根据我会学科发展研讨会精神，我们将在本次学科发展研究的基础上，着手撰写《控制科学2020展望》工作，提出代表中国自动化与信息、智能科学领域的学者对未来的展望。

学会办公室 供稿

## “2011中国自动化产业世纪行”活动隆重举行



### 领袖企业推动中国（新型工业化进程）高层论坛

由中国自动化学会主办，中国仪器仪表行业协会、中国计算机行业协会全国机械安全标准化技术委员会、全国工业过程测量和控制标准化技术委员会协办，控制网&《自动化博览》策划组织的第六届中国自动化产业世纪行(CAIE2011)活动4月15日在北京隆重举行。近200位引领中国自动化产业发展的业界专家、企业高层、媒体代表及来自各行业的用户代表齐聚一堂，中国科学院院士、中国自动化学会理事长戴汝为出席活动并致开幕词，工业与信息化部节能与综合利用司副司长杨铁生、工业与信息化部电子与信息产品司吴国纲到会祝贺。

CAIE2011的主题为“变革·创新·可持续发展”，旨在以“公正、公平、公开、专业”的原则全面展现2010年中国自动化产业的点滴进步与闪光点。活动历时4个月，经过入围推荐、专家评审、网上投票，最终，2010中国自动化领域年度人物、年度特别奖、十大年度优秀论文、十大年度新闻、十大年度最具竞争力创新产品、十大年度最具影响力工程项目、十大年度企业七大奖项于当晚一一揭晓。

此次活动之领袖企业推动中国（新型工业化进程）高层论坛，由来自ABB机器人中国区总裁顾纯元、和利时集团副总经理邵柏庆、罗克韦尔自动化中国区市场经理李仲杰、大陆希望集团总裁陈斌、菲尼克斯电气中国总裁顾建党、重庆耐德工业股份有限公司董事长兼总经理林朝阳、北京安控科技股份有限公司董事长兼总经理俞凌共同参与，就“变革·创新·可持续发展”，畅谈了自动化企业面临变革时代，如何通过自主创新，助力中国工业转型，从而实现自身、中国工业乃至整个国家的可持续发展。

获得2010年度中国自动化领域年度人物奖的是：中

达电通股份有限公司总经理王其鑫、北京控制工程研究所卫星型号副总设计师刘忠汉、中国科学院沈阳自动化研究所副研究员刘开周、欧姆龙自动化（中国）有限公司安全部门亚太区总经理李立言、重庆耐德工业股份有限公司董事长兼总经理林朝阳、中国电力工程顾问集团公司主任工程师郑慧莉、北京利德华福电气技术有限公司董事长姜继增、北京安控科技股份有限公司董事长兼总经理俞凌、ABB机器人中国区负责人顾纯元、北京和利时自动化驱动技术有限公司总经理徐昌荣。

2010年度中国自动化领域十大年度企业是：北京康吉森自动化设备技术有限责任公司、中达电通股份有限公司、北京和利时集团、霍尼韦尔(中国)有限公司、英维思运营管理(中国)、三菱电机自动化(中国)有限公司、罗克韦尔自动化(中国)有限公司、西门子(中国)有限公司工业业务领域工业自动化集团、浙江中控软件技术有限公司、魏德米勒电联接国际贸易(上海)有限公司。

2010年度中国自动化领域十大年度新闻：第一届杨嘉墀科技奖揭晓；世博会闪耀“自动化”之光；2010年国内变频器企业集体上市；华北工控高性能实验平台助力嵌入式系统教育；施耐德电气亚太及中国总部迁至北京；中控签下中国石化北海千万吨炼油化工全厂一体化项目；ABB传动产品为2010亚运会开闭幕式扬起帆帆；研华举办技术应用创新论坛，志做智能应用的助推手；美国邦纳推出SHP一体式控制器，强势进入控制器领域；我国载人潜水器突破3700米水深。

2010中国自动化领域年度特别奖：2010年度中国自动化领域年度新锐经理人——菲尼克斯(中国)投资有限公司市场总监丁晓华；2010年度国产变频器第一品牌——森兰变频器；2010年度工业自动化领袖企业奖——ABB(中国)有限公司。

翻过2010年这一页，我们看到的是2011又一篇华彩乐章。在国家大力推行工业改革、绿色节能、社会的可持续发展之际，自动化业界也将为工业的由大变强添砖加瓦，为工业的绿色生产制造装备，为中国的经济增长贡献最大的力量！

自动化博览杂志社 供稿

## 第十二届中国（成都）自动化与仪器仪表 学术交流会暨国际展览会在蓉城举行

2011年4月12日，由中国自动化学会、成都市人民政府主办的自动化领域的专业盛会“2011中国（成都）自动化与仪器仪表学术交流会暨国际展览会”在蓉城拉开帷幕。包括众多中外知名企业在内的二百余家厂商汇聚一堂，展示工业科技最前沿的尖端技术和产品。

本次自动化领域的盛会由成都市科学技术局、成都市科学技术协会承办，包括世界500强企业西门子、ABB在内，美国国家仪器（NI）、贝加莱、胡默尔、重庆川仪、成都金石、中科泛华、中达电通、富士电机等来自中国、德国、日本、美国等国家和地区的两百多家厂商将带着他们的先进技术和产品亮相展会，精彩纷呈，亮点多多。

展会同期还将举办“第十二届西南地区电子元器件及设备国际展览会”、“第十二届西南地区动力传动、液压气动及密封件国际展览

会”、“第二届成都经济区科技协作论坛”、“第八届中国企业自动化与信息化（西部区域）建设论坛”、“工业科技创新成果技术交易及投融资对接会”等系列专题活动。“第二届成都经济区科技协作论坛”上，将举行成都经济区科技资源共享平台开通仪式，国家科技部、四川省科技厅的专家领导将到会作特邀报告，精彩解读国家十二五规划和省十二五规划，成都、德阳、绵阳、遂宁、乐山、雅安、眉山、资阳等八城市科技局长也将对本地的十二五规划进行交流。“工业科技创新成果技术交易及投

融资对接会”上，东方汽轮机有限公司、GE公司、四川东方电气自动控制工程有限公司、ABB公司、东方汽轮机有限公司、成都光明光电股份有限公司、四川大学等技术对接成功的企业将现场签约，签约金额达7000万元以上。



展览会开幕式

成都自动化研究会 供稿

## 学会党支部组织全体党员 开展学习钱学森精神活动

为响应党中央提出的向钱学森同志学习的号召，中国自动化学会党支部于3月14日召开全体党员及入党积极分子会议，学习中国自动化学会理事长戴汝为院士等科学家在“人民日报”上刊登的关于纪念钱学森的五篇文章。

2011年3月10日，人民日报刊登了中央宣传部的特邀五位科学家的文章，他们是：中国自动化学会理事长戴汝为院士撰写的《高山仰止，永为我师》、中国航天科技集团高级顾问孙家栋院士撰写的《林中，那棵参天大树》、中国航天科技集团高级顾问黄纬禄院士撰写的《我眼中的钱学森》、中国载人航天工程办公室副主任杨利伟撰写的《让精神火炬照亮飞天路》、国防大公方彬教授撰写的《质感英雄钱学森》。五位科学家们深切地回忆了在钱学森身边工作受到的深刻教育和印象，以

及钱学森精神给他们带来的一生的影响。

全体党员们一致认为，《钱学森故事》这本书，把一个杰出者的人生追求和价值实现清晰的反映出来，是启迪人生的一本好书，而科学家们的读后感，便是通过评价和回忆钱学森，展示了他们在钱学森精神的影响下实践人生价值的深刻体会。钱学森是中国自动化学会的创始人和第一、二届学会理事长，中国自动化学会积极响应党中央号召，出于高度的政治责任感，始终积极热情地大力宣传钱学森精神。为此，学会党支部要求全体党员和入党积极分子要认真读好《钱学森故事》这本书，为向社会宣传和传播钱学森精神做出我们的一份贡献。

学会党支部 供稿



## 第八届中国企业自动化与信息化 (西部区域) 建设论坛在成都举行

2011年4月13日上午,“第八届中国企业自动化与信息化(西部区域)建设论坛”在成都世纪城娇子国际会议中心举行。本次论坛是“第十二届中国(成都)自动化与仪器仪表学术交流会暨国际展览会”的重要活动之一,是由中国自动化学会、成都市科学技术局、成都市科学技术协会及省市自动化、电力、电子、电工技术等相关学会联合主办,成都自动化研究会、四川省自动化与仪器仪表学会等单位承办,来自西部地区自动化及相关领域的130多名代表济济一堂,会场座无虚席。

论坛由四川省自动化与仪器仪表学会理事长、四川大学汪道辉教授主持。中国自动化学会理事长、中科院戴汝为院士为论坛致辞。戴院士对参会的各方代表表示了热烈的欢迎,对自动化展会举办十余年来对西部地区相关领域的科技进步和创新发挥的积极作用表示了充分的肯定;他讲到,2011年是中国共产党成立90周年、是国家“十二五”和新一轮西部大开发的开局之年,新的形势、新的任务,给自动化战线提出了新的要求。在这样一个重要的历史时刻,中国自动化学会与成都市政府首次携手联合办展会,他希望展会在新的起点上,不断提高,彰显其作为学术交流平台、科技成果展示窗口和交流合作渠道的综合优势,以科学发展为指导,在推动信息化和工业化的深度融合,改造提升传统产业方面继续发挥重要作用。同时感谢成都市人民政府、省市科技部门对展会的重视和支持,感谢相关学会和单位的参与和协助。

戴汝为院士作为钱学森先生归国后的第一位学生同时也是追随钱学森学习、合作时间最长的弟子,他特别提到,2011年恰逢钱学森先生诞辰100周年,钱学森先生作为中国自动化学会的创始人,曾担任学会第一届和第二届理事长,是我国控制和自动化、系统工程等领域的先驱和领袖。为弘扬钱学森的爱国精神,颂扬他杰出的科学成就,学习他勇攀高峰的创新思想,本次论坛特意安排了专题报告,讲述钱学森先生的故事,挖掘、探讨钱学森教育思想理念,探索我国创新型科技领军人才培养的新模式。

在论坛会上,Yebol CEO/创始人尹红风博士做了题为《21世纪的钱学森》的报告。尹博士在报告中重点分析和总结了钱学森先生晚年的学术成就,正如钱老自己所

说的,他晚年的科学思想才是他自己最为看重的。报告认为二十一世纪的钱学森更伟大,其开创的思维与智慧科学,是中国第一次在人类科学重大问题上取得的世界领先的突破,是科学的革命,也是新技术的革命。

国家重点大型企业的代表——东方电气集团东汽投资发展有限公司新能源事业部白卫总经理代表公司肖珉总经理在论坛中作了题为《风光储一体化发电系统并网技术研究》的报告。东汽投资发展有限公司秉承“绿色动力、造福人类”的经营宗旨,大力推进新能源“太阳能、海水淡化(两(洋)阳)”发展战略,是国内最大的新能源工程项目整体解决方案提供商之一。风光储一体化发电系统集合风能发电、太阳能光伏发电及储能技术,是行业内最新的技术发展方向。报告从东汽的风光储示范项目出发,对目前风光储一体化发电系统并网技术的研究和应用现状以及发展趋势进行了系统的分析和阐述。

中科院自动化所田捷研究员的论坛中作了题为《在网络上保持自由,在现实中保持自我——谈谈基于指纹识别的网络身份认证》的报告。他在报告中通过一些生动的案例,从现实生活中所大家所熟悉和关心的身份认证和信息安全谈起,阐述了指纹识别技术的现状和发展,介绍了指纹识别算法的研究与应用效果以及目前国内外最新的研究成果。报告最后指出,信息安全的内涵在不断延伸,信息安全体系在不断变化和完善,生物特征认证技术将成为信息安全体系的重要组成部分;指纹识别技术与密码技术相结合,将开辟更为广阔的应用前景。

最后,作为世界知名的自动化厂商,富士电机成都办事处张晓光主任作了题为《富士电机新技术、新产品》的报告。

本次论坛本着高水平、高效率的原则,分别从自动化学术界、企业界和产业界甄选了在科研、应用和市场方面具有较高水平和典型代表性的三个报告,报告的研究和应用领域不仅在国际、国内处于领先地位,在相关学科方面还具有开创和引领作用。

论坛在短短半天时间里向参会代表传达了丰富又最具价值的信息,大家感觉的确受益匪浅。

四川省自动化与仪器仪表学会 供稿

## 成都自动化研究会走访调研7家会员单位

2011年2月24日—3月3日，成都自动化研究会唐仕正副理事长、张晖秘书长与秘书处工作人员走访调研了成都华西化工科技股份有限公司、成都玖源化工有限公司、四川建设机械（集团）股份有限公司、四川华川工业有限公司（国营二0四厂）、成都光明光电股份有限公司、成都成工工程机械股份有限公司、攀钢集团成都钢铁有限公司 7家会员单位。



在成都成工工程机械股份有限公司调研

此次调研活动，主要是根据学会2011年工作计划安排进行的。唐仕正副理事长、张晖秘书长向会员单位

通报了近期学会工作情况及2011年度学会重点活动计划，其中着重介绍了将于今年4月召开的由成都市人民政府、中国自动化学会主办，市科技局、市科协承办的“2011中国（成都）自动化与仪器仪表学术交流会暨国际展览会”的筹备工作情况，并安排各会员单位积极组团参观和参加会议。

通过走访座谈和现场参观考察，学会秘书处了解了各单位的生产经营及自动化相关技术的应用情况，广泛收集了各会员单位的在科技服务方面的需求以及对学会工作的意见和建议，掌握了第一手资料，为学会在下一步工作中如何加强学术交流，推动科技创新和产学研结合等提供了积极性的指导和帮助，也密切了与会员单位的联系。

成都自动化研究会 供稿

## 山东省自动化学会组织 “企业科技创新研讨会”活动

2011年3月13日，山东省自动化学会在济南钢铁集团总公司自动化部组织召开了《企业科技创新研讨会》。

山东省自动化学会理事长、山东大学校长助理贾磊教授主持了会议。来自山东大学，山东省科学院，山东建筑大学，山东轻工学院，山东交通学院，济南大学以及在济的部分理事和专家教授参加了研讨会。

山东省自动学会常务理事、济南钢铁集团总公司自动化部部长张元福高工介绍了企业生产中自动化技术的现状，以及面向“十二五”发展对企业科技创新的形势，向与会专家提出了企业寻求科技创新的新思路，技术难点和合作意向等。

与会专家围绕企业发展科技创新所提出的：“云计算技术对钢铁制造业生产过程和信息化管理的实现”；“钢铁制造业的物联网技术”；“智能化城市和智能建筑节能技术及其产业化”；“城市发展和智能交通技术

及其产业化发展前景”；“钢铁制造业科技创新的关键技术”等方面进行了专题报告和讨论。

与会专家教授

对企业发展中科技创新和结构调整过程中可能遇到的问题提出了许多可行的建议。研讨会还就多方位的加强企业和科研院所之间的技术交流与科研及科技产业化合作形式进行了深入的交流和探讨。

此次企业科技创新研讨会是我会贯彻落实科学发展观，结合“十二五”发展规划开展学术创新活动的重要内容，掀开了学会2011年学术交流活动的序幕。

山东省自动化学会 供稿



企业科技创新发展研讨会

# 中国自动化学会“十二五”发展规划纲要

经2011年1月10日第九届四次常务理事会议审议通过

为进一步团结和动员自动化领域广大科技工作者，努力完成党的十七大和十七届三中、四中、五中全会提出的奋斗目标，紧紧抓住“围绕中心、服务大局，开拓创新，提升能力”工作重心，发挥学会在增强自主创新能力、建设创新型国家中的重要作用，根据中国科协事业发展规划纲要确定的方向和目标，特制定《中国自动化学会“十二五”发展规划纲要（2011—2015）》。

## 一、指导思想和方针原则

未来五年是全面建设小康社会的关键时期，也是我国科技事业发展的重要时期，学会工作必须坚持以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，全面落实科学发展观，认真履行党和政府联系科技工作者的桥梁和纽带职责，坚持“三服务一加强”的工作定位，立足科学发展，着力自主创新，为建设创新型国家、构建社会主义和谐社会、全面建设小康社会做出新的贡献。

做好未来五年的学会工作，必须坚决贯彻“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”的科技工作方针，坚持以下原则：

——坚持以人为本的原则。把加强党和政府同科技工作者的联系作为基本职责，把竭诚为会员服务作为根本任务，把会员是否满意作为衡量学会工作的主要标准，把会员的积极性主动性创造性凝聚到建设创新型国家、构建社会主义和谐社会上来。

——坚持搭建平台原则。充分发挥自动化学科优势、人力资源优势和组织网络优势，积极搭建不同层次、不同形式的服务平台，为开展学术交流、促进创新人才成长服务，为开展科普活动、提高全民科学素质服务，为开展决策咨询和建言献策、增强自主创新能力服务，实现在自动化领域产、学、研资源共建共享。

——坚持联合互动原则。创新工作机制和方式，坚持在中国科协的领导下，加强与有关党政部门、学会挂靠单位和学会团体会员单位的密切合作，整合资源，发挥优势，增强中国自动化学会组织的影响力，推动自动化科学事业的创新发展。

## 二、发展目标

根据中国科协的战略部署，今后五年学会工作要以能力建设为基础，搭建服务平台，提高服务水平，增强服务能力，努力把中国自动化学会建设成为适应社会主义市场经济体制、符合社会科技团体发展规律、对自动化领域科技工作者具有较强凝聚力、充满生机和活力的“科技工作者之家”，并实现以下主要发展目标：

——学术交流形成特色品牌。以中国自动化大会（CAC）为主体，以学会各分支机构举办学术年会为支撑，学术交流的质量水平明显提高，对推动自主创新的作用显著增强，实现创办一至两个在国际上具有较强影响力、吸引力的国际化学术会议的目标。

——学会建设取得重大进展。学会的学术权威性、会员凝聚力、社会公信力、社会服务能力和经济实力明显提高；中国自动化领域科学家在国际科技组织的影响力显著增强。

——科学普及实现新局面。形成“编教材、办讲座、搞竞赛、建基地、办展览”常规化科普活动模式，完成《全民科学素质行动计划纲要》赋予学会组织的各项任务。

——科学技术与经济社会发展相结合实现新机制。根据市场变化进行科技咨询、调研等活动成为学会工作的主要内容之一；为增强企业会员单位技术创新能力成为学会为会员服务的重要项目；科技工作者参与国民经济和国防建设发展的决策咨询、建言献策的有效机制初步建立，决策咨询水平明显提高。

——促进科学技术人才的成长和提高。扩大举荐优秀人才规模，宣传表彰奖励优秀科技工作者活动的力度明显加大；建设科技人才库，科技人才服务体系初步建成；维护科技工作者权益的组织和保障体系更加完善；学术道德建设和学风建设进一步加强。

## 三、重点任务

（一）发挥人才智力优势、开展学术交流、推动自主创新

### 1. 搭建学术交流活动平台



——将中国自动化大会塑造学术活动精品，突出自动化学科特色、推崇综合交叉、为每两年举办一次的中国自动化大会做出为社会发展服务的定位，推动我国自动化界专家学者之间、专家与公众之间、专家与产学研会员单位之间、国内专家与国际专家及学术团体组织的对话、沟通与交流。让科技工作者以参加学会主办的学术会议为荣，以在学会会议上宣读论文为荣。

——加强学会分支机构学术交流项目工作。鼓励和支持分支机构承办国内外学术会议，不断提升学术交流质量与实效。

——加强地方学会与学会分支机构的学术交流与合作。继续支持省级学会联合举办的地域性学术年会，并鼓励和支持学会各分支机构积极参与地域性学术年会活动，充分利用学科专家资源和优势为地方经济的建设、发展服务。

——积极申办、承办中国科协组织主办的各类学术活动和研究课题、项目。在承办、组织活动中大力宣传传播中国科协的会徽、标识、全民科学素质行动标志三个图标社会意义和文化内涵，提升所中国科协和中国自动化学会的社会知名度，扩大社会影响力；

——加强对学会专职工作人员组织学术交流活动的管理能力和组织能力的培训，建设高素质学术交流组织者队伍。

## 2. 建设学会系列精品科技期刊

——强化《自动化学报》学术期刊建设。以《自动化学报》为龙头，重点扶持代表我国自动化学术水平的优势期刊，推进科技期刊的规模化经营；着力培育一批自动化系列精品科技期刊，力争出版发行《自动化学报》英文版期刊并使之成为国际知名期刊。

——实施科技期刊国际推广计划，力争与3-5家国际知名出版集团建立合作关系，举办一期国际性自动化期刊发展论坛或专题研讨。积极组织学会科技期刊参加国际书刊展，促进国际出版集团与中国自动化学会所属期刊出版单位的版权合作和代理发行。

——加强学会所属科技期刊理论建设和业务交流。规范管理学会所属科技期刊编委队伍，加强从业人员的业务培训，培养一支新型的精通现代科技期刊工作的编辑出版人员队伍。

## 3. 加强继续教育工作

——制订实施自动化系统继续教育工作规划，明确工作目标、基本原则和主要任务，完善具有学会特色的继续教育体系。

——整合自动化领域继续教育资源，建立和培育一支专兼结合的基本师资队伍，探索在高校、科研院所与企业等机

构合作开展继续教育工作的有效机制，鼓励扶持专家学者编写与产学研相结合的原创课程和教材，有计划、有成效地进行自动化系列继续教育培训与交流。

## 4. 加强对港澳台地区的民间科技交流与合作

——保持和发展与英国营运工程师学会香港分会、香港工程师学会的友好关系，加强内地与港澳科技人员之间的交流合作，积极开展务实多样的民间科技交流工作，促进内地与港澳地区共同科技发展、经济繁荣和社会稳定。

——以学术交流、产品互展、科技竞赛等方面的科技交流合作为重点，积极推动海峡两岸科技人员的交流合作，增加海峡两岸科技人员的交流机会，加强两岸科技人员之间的联系。

## (二) 推动科技与经济相结合，为加快发展方式转变和经济结构调整服务

### 1. 开展决策咨询和建言献策

——建立健全科技工作者参与决策咨询的有效机制。参与重大工程项目和行业标准的决策咨询和研究论证工作，围绕区域发展、行业科技进步以及与科技发展相关的重大项目和关键问题，深入开展调查研究活动。

——建立健全科技工作者建议征集制度和信息反馈机制，创办《自动化科技工作者建议》内刊，收集来自学会基层个人会员、单位会员向总会提交的建议、意见和要求，及时提交学会领导研究、参考并处理后，分类向有关部门和个人反馈。

### 2. 推动企业技术创新

——定期组织科技工作者面向企业团体会员开展决策、技术和管理咨询服务，促进产学研结合。探索面向企业以技术创新、信息服务、人才培养为主要内容的团体会员服务新途径。

——建立企业会员工作站，为企业团体会员单位与学会有关分支机构专家沟通、合作搭建平台。

——组织开展院士企业行活动，推动同行业和交叉学科专家与企业的交流与合作，促进企业科技人才成长。

### 3. 主动承接社会职能转变工作

——履行学会职能，承接科技奖励、成果评价、技术标准制定、技术资格认证、科技咨询和培训等政府转移职能，扩大社会影响，提升社会地位。

——组织相关专家学者试行我国自动化行业技术标准的专题调研活动，参与制定全国自动化行业技术标准，为全面提升自动化行业企业技术创新能力、加快我国自动化系统工程师职业资格认证（ASEA）实现行业认同、社会认可、国际互认开辟新途径。

### （三）全面实施《全民科学素质行动计划纲要》，推动公民科学素质建设

#### 1. 围绕重点人群，实施科普活动

——实施科技专家进校园做报告（科普对象：中小学生）。

——开展全国机器人青少年竞赛（科普对象：中学生）。

——针对大学生开展智能竞赛（科普对象：全国高等院校及职业高校师生）。

——与学会挂靠单位中科院自动化所共同举办“自动化之光”科普日活动（科普对象：学会周边社区及大中小学师生）。

——举办全国科技展览会（科普对象：企业、商家、社会公众）。

——举办专项安全知识讲座（科普对象：企业工程技术人员）。

#### 2. 办好科普期刊，加大科普传播

——开办“科学家故事会栏目”，大力宣传老一辈科学家爱国、敬业、奉献、拼搏的科学精神。

——鼓励扩大科技工作者编写针对各类层次人群编写科普教材，以生动、通俗语言传播我国自动化科学技术的新成就和成果，达到普及科学知识、提升自动化学会社会知名度，扩大社会影响力的目的。

#### 3. 创新科普工作机制，建立科普教育基地

——与学会挂靠单位中科院自动化研究所创办中国自动化学会科普教育基地。为学会开展科普工作做示范。

### （四）加强国际民间科技交流，促进对外科技合作

#### 1. 加强对民间国际科技组织的工作

——充分利用我会科学家在国际自动控制联合会（IFAC）、国际模式识别协会（IAPR）等国际民间科技组织的任职条件和优势，积极参与国际科技组织的重要活动和国际科学计划，提升我国在国际科技组织中的地位。加强国际组织工作后备队伍建设，鼓励和支持更多的自动化领域专家学者竞选国际组织领导层职务。

#### 2. 发展国际双边科技合作关系

——积极开展双边和多边国际交往，加强与国际科技组织和各国科技团体、科技工作者的交流联系，围绕科技创新、提高全民科学素质和国家经济社会发展需要开展实质性项目合作。

——全力筹备由我会承办的2013年在中国北京召开的第22届人工智能国际联合会（IJCAI），向国际展示中国科学技术学术活动的实力和办会能力，将更多的大型国际学

术会议和科技展会引入中国主办，邀请更多的国际知名科学家来华讲学并做专题交流，

#### 3. 积极推进工程师资格国际互认工作

——在开展对外交流工作的同时，促进自动化科学领域的合作和国际互认，推进自动化系统专业技术资格认证工作。为全面加入中国科协的统一部署的工程师资格国际互认体系做好准备。

### （五）健全科技人才评价激励机制，促进科技人才成长

#### 1. 表彰奖励优秀科技工作者，举荐优秀人才

——规范表彰奖励制度和激励机制。搞好杨嘉墀科技奖评选表彰工作，筹备试行CAA科学技术奖励、CAA先进科技工作者和优秀团队评选等重要奖项的启动。把“CAA科学技术奖励”三大奖培育成为面向全体会员、具有广泛代表性和权威性的品牌奖项。

——建设科技人才服务体系。跟踪调查获奖者状况，掌握动态，提出促进科技人才成长的意见和建议。

#### 2. 加强科技工作者宣传工作

——大力宣传获奖典型科技人物和创新团队。着力加强对重要社会事件中典型科技人物的宣传报道。

——整合学会系统的各种宣传工具和平台（期刊、杂志、网站），上下联动，加强协作，推动建立立体信息传递渠道，营造良好舆论氛围。

#### 3. 加强科技工作者道德建设，维护科技工作者的合法权益

——广泛宣传中国科协制定的科技工作者科学道德规范或行为准则，逐步建立自动化领域科技工作者道德诚信档案制度，抵制学术不端行为，加强学风建设，在科技界营造良好氛围和环境。

——及时准确了解科技工作者在工作生活中遇到的各种问题，加强对科技工作者的人文关怀和心理疏导，探索社会主义市场经济条件下维护科技工作者的合法权益的方法和途径。

### （六）加强学会自身建设，创建学习型、服务型、创新型，充满生机和活力的现代科技团体

#### 1. 加强制度建设，实现民主办会

——对学会九大通过的《章程》、《理事工作条例》等核心制度的实施情况进行整理，完善会员参与、监督学会事务的方式和渠道，探索建立民主治理结构、实现民主办会的有效途径。

——规范分支机构管理、考核机制，坚决制止分支机构开展活动无计划、不汇报、乱收费等行为。

——加强学会专职干部队伍建设，健全考核奖励机制，做好社会保障工作，推进办事机构职业化。建立健全办事机构管理规章制度，提高学会工作效率和服务水平。

——加强学会办事机构党组织的建设，充分发挥党支部先锋模范作用和党员个人的模范作用，确保党的方针政策在学会工作中的发挥和落实。

## 2. 强化服务意识，增强学会对会员的凝聚力

——设立会员工作机构，完善会员发展和服务制度，按照“会员优先、会员优惠”原则，明确会员在参加学会活动、进行职业培训、订阅科技期刊、参与继续教育等方面的优先优惠政策，及时充分地满足会员需求，维护会员合法权益，不断增强学会对会员的吸引力和影响力。

——确定每年11月17日（中国自动化学会成立日）为“中国自动化学会会员活动日”，建立会员建议呈报制度，及时准确掌握会员的思想动态、分布状况、流动趋势、价值取向、权益保障等情况，帮助会员加强与政府相关部门、企业和其他社会机构的沟通联系，反映他们对重大经济社会和科技发展问题的意见和建议，切实维护会员的合法权益。

——实施每年一次全国会员对学会秘书处工作机构进行评议的评价机制，构建学会评价指标体系。把会员是否满意作为衡量学会工作的主要标准。

## 3. 加强组织建设，不断增强学会活力

组织建设是学会生存和发展的根本，健全组织体制、运行机制和活动方式是学会组织建设的重要内容。没有一定的会员基础、没有一定的会费收入，学会为会员提供的服务就只能低水平的，对会员的吸引力凝聚力也难以加强。

——强化会籍管理，完善学会基础数据库建设，健全会费缴纳制度，为学会发展打下良好的组织基础。

——试行在会员团体单位建立会员工作站，加强学会与会员单位的沟通联系，在会员单位的高校学生、青年科技工作者和企业科技工作者中大力发展会员，壮大会员队伍。

——严格实施《会员管理条例》，对不能履行会员基本权利和义务的个人会员、团体单位会员，无论职务高低，一律请出学会组织。

——抵制非学术因素的不良影响，营造良好学术生态。建立完善会员诚信档案，对学会组织和学会会员的学术不端行为予以记载、跟踪、披露、谴责和惩戒。

## 4. 加强网站建设，提高信息化水平

——建立以学会总会、学会各分支机构、各省级自动

化学会共建共享的信息资源体系，畅通网站公务信息报送、资源数据库信息采集渠道，实现统一规划、共同建设、分级管理、资源共享。

——加快建设和完善会员管理平台、会员服务平台、ASEA报名、审核、考试平台、自动化系统高级人才管理服务系统、科普工作系统、学术交流系统、视频会议管理系统。

——建设和完善中国自动化学会门户网站，展示学会整体形象，搭建学会网络工作平台，及时发布学会重点工作、重大活动等信息，为全体会员提供信息服务。

## 四、保障措施

### （一）建立分级负责实施机制

——牢固树立大团体思想和责任意识，充分发挥学会领导牵头、常务理事督办、办事机构及分支机构落实、全体会员参与的集成、互动、分级负责制。

——学会各分支机构、各省级自动化学会积极主动争取挂靠单位的支持，结合本地区、本领域实际，制订实施计划。

### （二）坚持统筹规划工作方法

——统筹协调长期发展与阶段发展的关系，防止急于求成和急功近利。要在统筹规划的基础上，实事求是地确定实施进度，提出定位清晰、统一衔接、便于考核评价的阶段性工作计划和发展目标。

——重视兄弟学会成功经验典型示范作用，大胆探索，抓好试点，以点带面，推动全局。

### （三）建立多渠道筹资机制，确保重点任务完成

——围绕重点任务，加强与科协、有关部门的沟通合作，通过承担政府部门项目委托等方式，积极争取经费支持和政策支持。制定完善吸收境内外机构、团体会员单位及个人资金支持的具体实施办法，广辟社会资金投入渠道。

——建立公开、公平、公正的现代项目管理机制，提高项目管理透明度，提高资金使用效益。

——健全财务资产管理制度，促进财务资产管理的制度化、规范化，不断提高财务资产管理水平。确保资金使用安全有效。

### （四）加强学习培训，提高工作人员整体素质

——大力倡导“勤奋好学、学以致用；心系学会、服务会员；真抓实干、务求实效；艰苦奋斗、勤俭节约；顾全大局、令行禁止；发扬民主、团结共事；秉公办事、廉洁奉公；生活正派、情趣健康”八个方面的良好风气，加强作风建设，以作风建设带动业务建设和自身建设。

学会办公室 供稿

# 第三届全国平行控制会议

The Second Chinese Conference on Parallel Control

# 第三届全国平行管理会议

The Second Chinese Conference on Parallel Management

# 第三届全国社会计算会议

The Second Chinese Conference on Social Computing

2011年11月5-6日 湖南, 张家界

热烈欢迎广大专家学者为大会投递平行控制、平行管理及社会计算领域内研究方向的文章。  
最终被录用的论文将会收入大会论文集中, 100篇将被推荐到以下杂志发表:

IEEE Transactions on Neural Networks (SCI)

IEEE Intelligent Systems (SCI)

IEEE Computational Intelligence (SCI)

IEEE Transactions on SMC (SCI)

Information Sciences (SCI)

《自动化学报》(EI)

具体征文和最新信息请参阅中国自动化学会  
网站: [www.caa.org.cn](http://www.caa.org.cn)

## 重要日期

论文投稿截止日期: 2010年8月26日

## 平行控制会议秘书组:

郭刚 国防科学技术大学 电话: 0731-84573332 13975139466  
柯冠岩 国防科学技术大学 电话: 0731-84573323 13787208433  
张楠 中国自动化学会 电话: 010-62521822

平行控制会议投稿邮箱: [nudt.parallelcontrol@gmail.com](mailto:nudt.parallelcontrol@gmail.com)

## 平行管理会议秘书组:

吴俊 国防科学技术大学 电话: 0731-84573593 15173115753  
张楠 中国自动化学会 电话: 010-62521822

平行管理会议投稿邮箱: [nudt.socialcomputing@gmail.com](mailto:nudt.socialcomputing@gmail.com)

## 社会计算会议秘书组:

邱晓刚 国防科学技术大学 电话: 0731-84573389 13874934509  
王晖 国防科学技术大学 电话: 0731-84573547 13308491267  
张楠 中国自动化学会 电话: 010-62521822

社会计算会议投稿邮箱: [nudt.socialcomputing@gmail.com](mailto:nudt.socialcomputing@gmail.com)

**主办:** 中国自动化学会平行控制与管理专业委员会  
中国管理现代化研究会系统管理与复杂性科学专业委员会  
中国自动化学会系统复杂性专业委员会  
**承办:** 国防科学技术大学机电工程与自动化学院  
国防科学技术大学信息系统与管理学院  
中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室  
INCOSE、INFORMS、IFAC、ACM 北京分会  
国防科学技术大学军事计算实验与平行系统技术研究中心