

无人驾驶汽车决策控制技术研究:基于驾驶态势图

乔良 鲍泓 郑颖

(北京联合大学北京市信息服务工程重点实验室 北京 100101)

摘要 近年来,无人驾驶汽车的迅速发展为汽车行业开启了崭新的篇章。越来越多的新的传感器的加入使得无人驾驶汽车的环境感知能力越来越强。因此,无人驾驶决策成为了无人驾驶汽车技术中的至关重要的技术。通过阐述国内外无人驾驶汽车的发展现状,并简单分析其中决策控制的关键技术,分析采用基于对数极坐标下的驾驶态势图簇下的无人驾驶决策形式。最后,对无人驾驶汽车的发展前景进行展望。

关键词 无人驾驶,认知决策,决策系统,控制系统,驾驶态势图簇,对数极坐标

中图分类号 TP273 **文献标识码** A

Research on Autonomous Driving Decision and Control Technology: Based on Driving State Map

QIAO Liang BAO Hong ZHENG Ying

(Beijing Key Laboratory of Information Engineering, Beijing Union University, Beijing 100101, China)

Abstract Recently, autonomous driving promotes vehicle industry. More and more sensors are added in autonomous driving, making sensor exploration capability more powerful. Recognition technology plays a vital role in autonomous driving. Here, development of autonomous recognition technology including decision and control was under discussion. Then, driving states map based on log-polar was discussed. Finally, future technology of autonomous driving was proposed.

Keywords Autonomous driving, Recognition decision, Decision system, Control system, Driving state map, Log-polar coordinate

1 引言

1.1 无人驾驶车辆的发展历程

社会不断在发展,科技也不断在进步,我们对“智能”这个词已不陌生,各种机器人在加入自动两个字后,就变成了一定程度的人工智能,这些人工智能每时每刻都在为人们服务并提高着人类社会的效率。驾驶汽车的行为作为现代人类社会的一种日常行为,给人们带来了便捷,但同时也给人们带来了巨大的困扰。人们希望获得驾驶中的方便与快捷,但是更重要的是安全。然而,人类的大脑并不是一直专注于驾驶,在行驶过程中有很多种因素会导致事故的发生,从而酿成悲剧。在这种需求之下,无人驾驶车辆自概念提出以来,就受到人们的追捧。

无人驾驶车辆也被叫做智能车辆,是一种智能

移动机器人,它涉及到环境感知、模式识别、导航定位、智能决策控制及计算机技术等众多学科的前沿研究领域,其研究目标是取代人类驾驶员进行测量和自动驾驶工作,并以此来提高行车安全和效率^[1]。在军事应用需求的推动下,无人驾驶车辆技术得到了不断的发展和完善^[2]。

1.2 国内外无人驾驶车辆的发展现状

1.2.1 国外无人驾驶车辆的研究现状及分析

美国的无人驾驶车辆研究始于1950年,之后美国就一直在无人驾驶技术方面处于世界领先的位置。1950年后,美国贝瑞特电子公司研制出全球第一台自主导航车,该车能够自动在设定的轨道中行驶;在20世纪80年代,美国实施了自主地面车辆(AVL)研发项目,该项目主要由美国陆军与国防高级研究计划局(DARPA)合作完成^[1]。20世纪90年

本文受国家自然科学基金重大研究计划项目:智能车驾驶脑认知技术、平台与转化研究(91420202),北京市属高校高水平教师队伍建设创新团队建设提升计划(IDHT20170511)资助。

乔良(1991—),男,硕士生,主要研究方向为无人驾驶决策轨迹跟踪和路径规划,E-mail:qq08qiaoliang@sina.com;鲍泓(1958—),男,博士,教授,主要研究方向为智能驾驶与控制、网络分布式系统、数字图像处理和服务科学等;郑颖(1993—),女,硕士生,主要研究方向为交警手势识别、人机交互技术等。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

代末,美国卡耐基梅隆大学研制的智能车辆 Navlab-V 完成了长距离、高速度的自主行驶实验,行驶路程达上万公里^[3]。20世纪90年代末,美国国防部开展了 DEMO 系列无人车的研制,在之后的10年时间里,共计研究制造出了10代 DEMO 车型^[4]。

从2003年开始,美国 DARPA 组织举办了3次无人驾驶车辆竞赛,其目的是验证无人驾驶车辆在沙漠地带的自动驾驶能力和普通路段的高速自动驾驶能力,以推动无人驾驶技术的发展^[5]。2010年,Google 公司研制的无人驾驶车辆开始了实际城市道路的行驶测试,Google 公司研制的无人车具有完备的感知能力和高水平的人工智能,可以指引车辆的正确行使^[1,6]。

欧洲各国在无人驾驶车辆方面也做了很多研究,走在世界前列,PROMETHEUS(Program for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety)计划、PREVENT 计划等在世界范围内影响很大^[1]。PROMETHEUS 计划是1987年到1995年欧洲无人驾驶车辆领域最大的研发项目;PREVENT 项目是欧盟委员会资助的欧洲汽车行业计划,项目总预算超过55000000欧元,从2004年2月开始到2008年1月共计4年时间,涉及50多个合作单位,包括世界著名汽车生产厂商和研究机构。PREVENT 项目作为主动预防道路安全最大的首创之一,提出了3个总体概念:虚拟安全带,时间-碰撞时间表,智能车辆的三层架构——感知、决策、执行。

1998年6月,意大利帕尔马大学的 ARGO 智能车展开了近两千公里的大范围行驶,其核心是视觉检测车道线技术,采用的是 GOLD(Generic Obstacle and Lane Detection)系统,检测原理是单目视觉的反透视变换,使用立体视觉系统监测道路前方的障碍物^[7]。2010年10月28日,帕尔马大学 Vislab 实验室研制的试验车使用绿色能源作为动力,历时3个月,行驶13000多公里,只用极少数的人工干预,成功抵达上海^[8]。与美国 DARPA 比赛类似,欧洲也举行了智能车大赛 ELROB。ELROB 比赛是军用民用主题间隔,综合考虑了消防、搜救、运输、夜视环境等因素,而且比赛不允许密集使用 GPS^[2]。

1.2.2 国内无人驾驶车辆的研究现状及分析

由我国有关部委“八五”和“九五”计划支持的“军用地面机器人”ATB 系列,代表了同一时期国内无人驾驶车辆技术研究领域的先进水平^[2]。2008年,国家自然科学基金委员会启动了“视听觉信息的认知计算”研究计划项目,该项目主要以无人驾驶车辆为平台,在该项目的支持下,“中国智能车未来挑战赛”成功举行,该比赛旨在基层创新研发无人驾驶

汽车化应用。参加比赛的有国内高校和研究所,包括清华大学、武汉大学、同济大学、北京理工大学、南京理工大学、同济大学、军事交通学院、北京联合大学、中国科学院合肥物质研究所等。上述高校和研究所代表了当前我国国内研究无人驾驶技术的水平。我国无人驾驶技术与国外研发的无人驾驶汽车的主要不同点在于:国外无人驾驶汽车主要依赖 GPS 信息和电子地图,而我国参加“中国智能车未来挑战赛”的无人驾驶车辆则更注重展示车辆感知自然环境并自动处理视听觉信息的能力和效率^[1-2]。

2 无人驾驶车辆的自主决策控制技术

2.1 无人驾驶车辆决策控制技术的概念和地位

作为一个复杂的智能系统,无人驾驶汽车涉及的内容主要有以下几个方面:体系结构、环境感知、定位导航、路径规划、运动控制、一体化设计等^[2]。其中的关键技术是环境感知、路径规划和运动控制,三者构成了一个完整的认知过程:智能车从环境感知到当前车辆所处的环境,并通过路径规划即决策进行认知判断,最终进行运动控制,使车辆自动驾驶。其中,无人驾驶车辆的决策控制成为了无人驾驶车辆能否成功的重要环节。给定无人车起点和终点,通过决策控制系统,无人驾驶汽车可以实现局部路径规划等高级智能行为^[2]。

做出合理正确的判断之后,需要对无人驾驶汽车的纵向控制和横向控制分别进行调整,其中纵向运动控制的目标是确保本车对于跟随车辆的精确跟随,横向控制确保了无人驾驶车辆的操纵稳定性^[2]。

2.2 无人驾驶车辆的自主决策

智能决策系统是无人驾驶车辆的大脑,是无人驾驶车辆研究的一个核心问题。决策系统的设计目标是在全局环境中,依靠路网文件、任务和定位信息生成一条最优全局路径,在局部环境中,依靠感知信息,并在交通规则约束下实时推理出合理的驾驶行为,并生成安全可驾驶的轨迹发送到控制系统,

如图1所示^[9]。

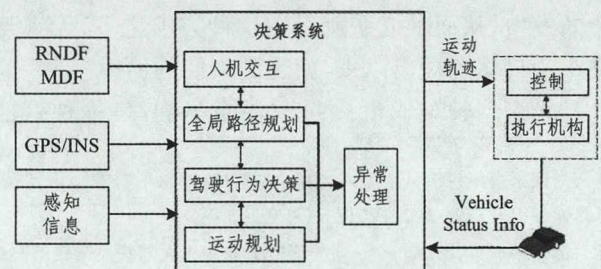


图1 决策系统结构框图

总体上,智能车决策系统主要分为两方面:驾驶行为决策和运动规划决策。

从 20 世纪 70 年代开始,无人地面、水下、空中机器人取得了一定的成果,并且在 90 年代末,在高速或野外环境中的无人驾驶车辆得到了大力发展。其中,对于机器人智能决策的研究涌现了许多不同的理论和方法,包括模糊决策方法、产生式规则决策方法、投票方法、马尔科夫决策理论、神经网络方法等^[10]。来自澳大利亚格里斯菲大学的 Furda 和 Vlacic 提出了基于多准则决策方法,并提出了一种适用于无人驾驶车辆城区环境中进行合理决策的决策模型^[11];彭刚、黄心汉等人为了解决移动机器人在决策中遇到的实际问题,建立了一种新的神经网络决策模型,提升了决策的准确性^[12];王娟、朱庆保等人为了解决传统蚁群算法用于路径规划时出现的局部最小值为题,建立了一种新的机器人路径规划方法,该方法基于贝叶斯决策理论,通过建立贝叶斯模型,评价候选点并择优选取,可用于复杂障碍物环境中的机器人决策^[13]。

运动规划决策也是智能决策中的重要一环,常用的方法包括启发式搜索算法、滚动窗口法、人工势场法、基于遗传算法的路径规划算法^[9]。

总的来说,无论哪一种决策方法,都存在一定的缺陷,在城区环境中,迄今为止,无人驾驶车辆的决策方法仍然是一个尚未得到解决的研究热点^[9]。如果智能车遇到的环境极其复杂,上述决策方法的缺陷表现得比较明显。同时,经过决策系统的参数最终反映到车辆的动作上非常僵硬,会让人的感官非常不舒服,问题的根源就在于当前决策系统的方法是基于二维栅格化运算的结果,并没有符合人的视觉感知。

3 基于驾驶态势图簇的自主决策

3.1 基于对数极坐标的驾驶态势图

为了满足系统实时性的要求,在提高平台自身处理速度的基础上,智能车决策系统需要做出更加符合人的视觉和感觉的参数或指令。研究表明,人眼视网膜对外界信息的获取是非均匀的,即在视网膜中心有一个高分辨率的“黄斑区”,而“黄斑区”外围的分辨率随着离中心距离的增大而逐步降低,并且视网膜到条状表皮的映射可以用对数极坐标的映射来近似^[14]。对数极坐标的映射是一个保角映射,它对视场的取样是非均匀的,这样可降低相对特定

目标的冗余信息,在智能车真实环境测试中,雷达发送的点数是大量的,但并不是所有的障碍物点都是必要的,运用对数极坐标的一个优势是可以将雷达发送的障碍物点进行筛选,从而用少量的点表示出了更多的信息。如表 1 中列出了以 1.05 为底数与不同指数参数下的距离对应关系。同时,人眼的视觉是呈对数分布的,采用对数极坐标进行决策会更加符合人类的视觉和感觉,从而解决二维栅格坐标下的决策不符合人类感觉的问题。

表 1 1.05 对数底数距离表

n	距离(1.05 的 n 次方)/m
0	1
10	1.62889462677744
20	2.65329770514442
30	4.32194237515067
40	7.03998871212466
50	11.4673997857537
60	18.679185894123
70	30.4264255355139
80	49.5614410668426
90	80.7303650491268
100	131.501257846304

在采用对数极坐标进行决策的同时,还要对当前所处的感知信息进行梳理和融合。判断智能车感知系统好坏的一个重要指标就是能否通过智能车辆当前感知信息进行场景的还原和复原,复原结果与现实环境越接近,感知系统就越好。因此,为了解决场景复原问题,采用驾驶态势图簇来描述当前车所处的环境情况,这是一种较为有效的方法。图 2 给出了基于对数极坐标下的驾驶态势图,图 3 给出了实际过程道路测试下的驾驶态势图。驾驶态势图是决策系统的输入,它将所有感知信息以对数极坐标的形式存储在驾驶态势图中。在每一个决策周期完成后,都会生成一张驾驶态势图,更多的驾驶态势图组合在一起便形成驾驶态势图簇,其能存储所有的感知信息。

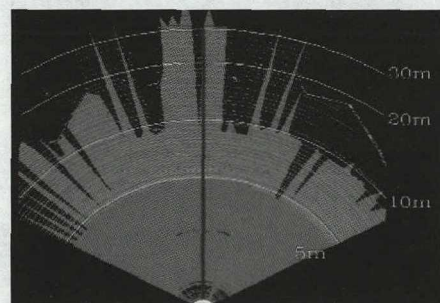
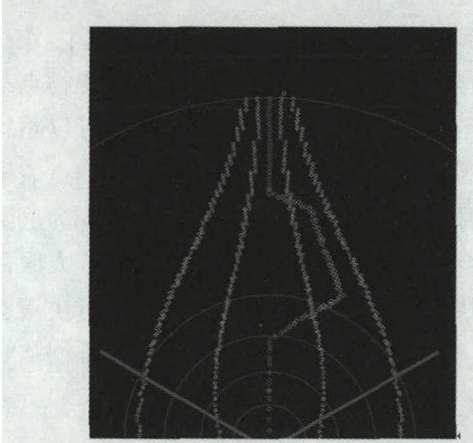


图 2 基于对数极坐标下的驾驶态势图



注:左右视野线,4条车道线,1条导航线,5条标尺线

图3 驾驶态势图在对实极坐标下的视野图

总之,采用基于对数极坐标下的驾驶态势图簇能从理论上解决感知信息融合和做出符合人类视觉与感觉的决策指令两个关键问题。不过,采用对数极坐标时,参数的选取并不是唯一的,当前也没有发现最适合人的感觉的参数,这仍是一个值得探索的问题。

结束语 算法在实际应用过程中面对着各种各样的复杂道路环境,会存在各种各样的问题。本文对无人驾驶车辆在城市环境中的决策控制技术进行了简单的介绍和分析,提出解决无人驾驶车辆当前存在问题的办法是:采用基于对数极坐标下的驾驶态势图簇进行感知信息的融合,并结合蒙特卡罗搜索树对驾驶态势图簇的大样本进行搜索,从而满足智能车实时性、快速搜索性、符合人感觉和视觉的要求。

本文解决方法的提出是基于控制系统自身性能的,控制系统做得越精确,决策系统的效果就越好。今后应该从无人驾驶车辆的车辆动力学和车辆运动学两方面考虑,将车辆的姿态等信息融入动力学和运动学,对车辆的模型更加细化,这些都有助于决策系统更好地判断当前车辆情况并做出合适的决策。

未来人工智能必定更加智能化,训练机器学习也就成为了广大人工智能研究人员的重点研究方向,基于更具深度的机器学习,智能车将会更加智能化。

参考文献

[1] 赵盼. 城市环境下无人驾驶车辆运动控制方法的研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2012.
 [2] 陈慧岩. 无人驾驶汽车概论[M]. 北京:北京理工大学出版社,2014.
 [3] BACHA A, BAUMAN C, FARUQUE R, et al. Odin: Team victorTango's entry in the DARPA urban chal-

lenge [J]. *Journal of Field Robotics*, 2008, 25(8): 467-492.

- [4] ALBUS J S. 4D/RCS: a reference model architecture for intelligent unmanned ground vehicles[C]// *IEEE International Conference on Robotics & Automation*. 2002: 1-5.
 [5] URMSON C, ANHALT J, BAGNELL D, et al. Autonomous driving in urban environments: Boss and the urban challenge [J]. *Journal of Field Robotics*, 2008, 25(8): 425-466.
 [6] MARKOFF J. Google cars drive themselves, in traffic [J]. *New York Times*, 2010, 10(A1): 9.
 [7] BERTOZZI M, BROGGI A, FASCIOLI A. Vision-based intelligent vehicles: State of the art and perspectives [J]. *Robotics and Autonomous systems*, 2000, 32(1): 1-16.
 [8] BERTOZZI M, BOMBINI L, BROGGI A, et al. The vislab intercontinental autonomous challenge: 13000 km, 3 months, no driver[C]// *Proceedings of the Proc 17th World Congress on ITS*. Busan, South Korea, 2010.
 [9] 陈佳佳. 城市环境下无人驾驶车辆决策系统研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2014.
 [10] 蔡自兴. 人工智能及其应用: 研究生用书[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
 [11] FURDA A, VLACIC L. Enabling safe autonomous driving in real-world city traffic using multiple criteria decision making [J]. *Intelligent Transportation Systems Magazine*, 2011, 3(1): 4-17.
 [12] 彭刚, 黄心汉, 杨涛, 等. 基于神经网络和模糊推理的移动机器人行为决策与控制 [J]. *华中科技大学学报(自然科学版)*, 2004(S1): 140-143.
 [13] 王娟, 朱庆保, 崔靖. 复杂环境下基于贝叶斯决策的机器人路径规划[J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48(2): 245-248.
 [14] MESSNER R A, SZU H H. An image processing architecture for real time generation of scale and rotation invariant patterns [J]. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1985, 31(1): 50-66.
 [15] SILVER D, HUANG A, MADDISON C J, et al. Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search [J]. *Nature*, 2016, 529(7587): 484-489.
 [16] CHASLOT G, BAKKES S, SZITA I, et al. Monte-Carlo Tree Search: A New Framework for Game AI[C]// *Artificial Intelligence & Interactive Digital Entertainment Conference*. 2008: 216-217.
 [17] 于永波. 基于蒙特卡罗搜索的计算机围棋博弈研究[D]. 大连:大连海事大学,2015.
 [18] CIANCARINI P, FAVINI G P. Monte Carlo tree search in Kriegspiel [J]. *Artificial Intelligence*, 2010, 174(11): 670-684.