

# 无人驾驶汽车环境感知与导航定位技术应用综述

马飞跃, 王晓年

(同济大学电子与信息工程学院, 上海 201804)

**摘要:** 环境感知以及导航定位是无人驾驶汽车(以下简称无人车)技术的关键组成部分。针对驾驶环境进行定义和分类, 提出与环境相互匹配的传感器组方法。在此基础上, 着重介绍传感器技术以及环境感知技术, 比较各技术优缺点, 并结合导航与定位对无人车组成架构进行概括介绍, 并对未来无人车环境感知技术进行展望。

**关键词:** 无人车; 传感器; 环境匹配; 环境感知; 导航定位

**中图分类号:** U463.675 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-8639(2015)02-0001-05

## Overview on Environment Perception and Navigation and Location Technology Applied on Unmanned Ground Vehicle

MA Fei-yue, WANG Xiao-nian

(School of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** Environment perception, navigation and location are important components in unmanned ground vehicle (UGV) technology. Driving conditions are defined and classified, and the sensor combination method matching different environment is put forward. On this basis, the sensor technology and environment perception technology are introduced and compared in their technical advantages and disadvantages. The structure of UGV is introduced combined with the navigation and location technology, and the future of UGV environment perception technology is prospected.

**Key words:** UGV; sensor; environment matching; environment perception; navigation and location

DOI:10.13273/j.cnki.qcdq.2015.02.001

无人车作为一种智能化的移动交通工具, 能够代替人类驾驶员完成一系列驾驶行为。无人车研究涉及环境感知、导航定位及决策控制等科学领域。通过环境感知, 无人车获取相应的驾驶环境信息, 这些信息可能包括道路信息以及天气状况等; 导航与定位系统能够将无人车与环境信息相互匹配, 使无人车“了解”自身的位置、速度、方向等信息; 根据所获得的环境以及自身的信息, 决策控制系统做出相应的决策, 规划出行驶路径并最终控制无人车按照决策和路径进行驾驶。环境感知和导航定位是整个无人车系统中较为基础、关键的环节。环境感知中较为常用的传感器技术包括雷达技术和视觉技术, 实际应用中需要结合天气状况对不同的传感器进行切换和组合; 定位与导航通常由全球定位系统、惯导、电子地图匹配、实时地图构建和匹配、航位推算以及车身状态感知等技术完成。目前世界上主流的无人车主要采用激光、雷达、摄像头等传感器以及全球定位系统、惯性导航系统等技术方案。

### 1 环境与传感器选择

环境感知即指对交通环境的感知, 一般来说, 交通环境包括道路环境和天气环境。城市道路、乡村道路, 结构化道路、非结构化道路, 其较大程度

决定了无人车行驶状况的复杂性, 是无人车控制决策时需要考虑的因素。天气现象是指发生在大气中、地面上的一些物理现象。它包括降水现象、视程障碍现象、地面凝结现象、雷电现象、大气光学现象和其它现象等, 气象学中对天气现象共有34种分类, 不同的天气现象对无人汽车驾驶导航和安全也会产生重要影响<sup>[1-2]</sup>。

#### 1.1 传感器介绍

尽管无人车的架构、功能与用途不尽相同, 但就目前为人们所熟知的主流无人车来看, 其所使用的传感器大致包括用于环境感知的毫米波雷达、激光雷达、摄像头等传感器, 以及用于车身定位的GPS/INS传感器, 而生产这些传感器的公司大致包括Velodyne、Bosch、Continental、SICK、IBEO以及Delphi等公司<sup>[2]</sup>。

1) 毫米波雷达 毫米波雷达使用毫米波(millimeter wave), 通常毫米波是指30~300 GHz的频段(波长为1~10 mm)。毫米波的波长介于厘米波和光波之间, 因此毫米波兼有微波制导和光电制导的优点。同厘米波导引头相比, 毫米波导引头具有体积小、质量轻和空间分辨率高的特点。与红外、激光、电视等光学导引头相比, 毫米波导引头穿透雾、烟、灰尘的能力强, 具有全天候(大雨天除



收稿日期: 2014-11-28; 修回日期: 2014-12-31

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目(91120308)

作者简介: 马飞跃(1989-), 男, 安徽亳州人, 硕士, 主要从事无人车环境感知系统的研究和开发。

外) 全天时的特点。另外, 毫米波导引头的抗干扰、反隐身能力也优于其他微波导引头。同时其存在的缺点是: 大气中传播衰减严重, 器件加工精度要求高。目前主流的毫米波雷达主要型号见表1。

表1 毫米波雷达特性

公司/型号	主要参数	报价	图 片
Continental ARS308	远距离, 探测距离: 200 m, 分辨率 2 m; 视 角: 56°, 分辨率 1°	1~3 万元	
	中距离, 探测距离: 60 m, 分辨率 0.25 m; 视 角: 17°, 分辨率 0.1°		
Delphi ESR	远距离, 探测距离: 174 m, 分辨率 2.5 m; 视 角: +/-10°, 分辨率 0.5°	3~5 万元	
	中距离, 探测距离: 60 m, 分辨率 0.4 m; 视 角: +/-45°, 分辨率 0.2°		

2) 激光雷达 在无人驾驶汽车中, Lidar 占的地位举足轻重, 国内外很多高校以及公司在其自主研发的无人驾驶车辆中都使用了激光雷达作为环境感知的传感器<sup>[3]</sup>。其优点有: ①方向性好, 波束窄, 测角精度高。②采取专门的脉冲压缩技术, 可把脉冲宽度压缩到几十纳秒(毫微秒)甚至皮秒(微微秒)量级, 峰值功率可达几百兆瓦, 从而大大提高测距精度。③激光雷达不受地面杂波干扰, 没有多路径效应, 故能在低仰角下工作。同时, 激光雷达也有个最大的缺点: 受大气的光传输效应影响(包括光速、折射率的变化和散射现象)会使其测量精度降低, 因而不能全天候工作, 遇浓雾、雨、雪天气无法工作; 由于波束窄, 在大空域中捕获目标困难, 须借助引导才能进入自跟踪。目前主流的激光雷达主要型号见表2。

3) 视觉技术 目前, 无人车常用的视觉技术一般包括红外摄像技术以及普通摄像技术。红外摄像技术照射距离远, 画质细腻清晰, 也更加经久耐用。红外摄像头工作原理是红外灯发出红外线照射物体, 红外线漫反射, 被监控摄像头接收, 形成视频图像。从光谱学角度来讲, 和普通摄像技术感知可见光原理类似。视觉感知技术中主要分为单目视觉、彩色图像以及立体视觉3种类型。目前主流的视觉传感器设备主要型号见表3。



1.2 传感器选择

在选择具体某个传感器时, 通常需要综合考虑其性能特点、价格、形状以及厂家供货周期等信息, 在保证信息识别效果的同时提高性价比, 并且最大化地使得无人车在外观上与原车型保持一致。在更复杂的情况下, 还需要对天气现象进行了解和分析, 我们需要关注的天气状况主要有雨、冰雪、

表2 激光雷达特性

公司/型号	主要参数	报价	图 片
HDL-64E- Velodyne (64 线)	扫描距离: 120 m, 分 辨率 < 2 cm; 扫描角度: 360°, 分辨率 0.09°; 垂直扫描角度: -24.8° ~+2°, 分辨率约 0.4°	50~100 万元	
HDL-32E- Velodyne (32 线)	扫描距离: 70 m, 分 辨率 < 2 cm; 扫描角度: 360°, 分辨率 0.16°; 垂直扫描角度: -30.67° ~+10.67°, 分辨率 1.33°	30~40 万元	
IBEO LUX (8 线)	扫描距离: 200 m, 分 辨率 10 cm; 水平扫描 角度: 110°, 分辨率 0.125°; 垂直扫描角 度: 6.4°, 分辨率 0.8°	15~25 万元	
IBEO LUX (4 线)	扫描距离: 200 m, 分 辨率 4 cm; 水平扫描 角度: 110°, 分辨率 0.125°; 垂直扫描角 度: 3.2°, 分辨率 0.8°	10~15 万元	
SICK LMS511 (单线)	扫描距离: 26~80 m, 分辨率 1 m; 扫描角度: 190°, 分辨率 0.25°	3~4 万元	

表3 摄像头特性

公司/型号	主要参数	报价	图 片
Point Grey Firefly	每秒帧数 60; 像素单 位 6.0 μm×6.0 μm; 分辨 率 752(H)×480(V)	2 000 ~3 000 元	
IDS uEye XS	每秒帧数 30; 像素单 位 1.4 μm×1.4 μm; 分辨 率 2 592(H)×1 944(V)	6 000~ 8 000 元	

风、雾、晴天等, 对于白天黑夜, 我们也需要考虑传感器在各种条件下的应用效果, 以便针对不同环境都有有效的传感器能正常工作。因此我们首先调研了能用来分辨这些情况的传感器及其应用情况, 然后给出通过传感器匹配实现不同环境下的精确探测<sup>[7]</sup>。表4列出各种环境下传感器的应用情况。

表4 各种天气环境下传感器适用情况

传感器	晴天	雾天	雨天	风	冰雪	白天	黑夜
毫米波雷达	√	√	×	√	×	√	√
激光雷达	√	×	×	√	×	√	√
红外摄像机	√	×	×	√	√	√	√
普通摄像头	√	√	×	√	√	√	×

注: √表示可用; ×表示效果不好。

而对不同天气的感知和识别也需要通过相应的传感器技术来实现。通常，晴天雨天的区分可以用雨量传感器探测出来，很多此类传感器也集成了温度、光线强度、雨雪等环境的识别<sup>[9]</sup>；风速大小对车辆的正常运行影响较大，可以通过风速传感器来感知风速大小和方向，配合车辆运行状态，来区分车辆运动带来的风速还是外界环境带来的风速<sup>[10]</sup>；浓雾会造成能见度降低，可通过摄像头、湿度和光线强度传感器等来识别；雪的探测在有些雨量传感器中已经集成，也可以通过摄像头、温度传感器配合探测；白天黑夜的感知，可以用光线强度传感器配合当地时间进行白昼区分。

## 2 定位与导航

无人车还需要通过定位系统准确感知自身在全局环境中的相对位置，以使无人车（看作一个质点）与环境有机结合起来。而导航技术则能够保证无人车（非质点）清楚地“知道”自己所要行驶的速度、方向、路径等信息。而实际应用中，需要通过信息融合技术实现定位与导航技术的组合，从而使环境信息与车身信息融合成为一个系统性的整体。

### 2.1 导航技术

惯性测量组合（inertial measurement unit, IMU）是惯性导航的硬件基础，一般包含三轴正交的陀螺

仪和三轴正交的加速度计，分别用来测量运载体的三自由度角运动和三自由度线加速度。导航计算机接收IMU输出的角运动和线加速度信息，经过解算后，实时、自主、连续地提供运载体的位置速度及姿态信息。根据惯性单元安装方式的不同，惯性导航分为平台式惯性导航及捷联式惯性导航，其中捷联式惯性导航系统又可分为有陀螺仪系统和无陀螺仪系统<sup>[12]</sup>。目前主流的惯性导航设备主要型号见表5。

表 5 惯性导航特性

公司/型号	主要参数	报 价	图 片
Applanix POS LV	精度 5~10 cm; 最高工作频率 200 Hz	无	
OXTS RT2000	精度 2 cm; 最高工作频率 250 Hz	约 10 万元	

### 2.2 定位技术

目前主要的卫星定位系统有美国军方的全球导航卫星定位系统（GPS）；俄罗斯的全球轨道导航卫星系统（GLONASS）；我国的北斗2代定位系统；欧洲空间局的NAVS AT（伽利略计划），其性能对比见表6<sup>[13]</sup>。

表 6 几种主要的导航系统对比

导航系统	起始时间	系统特点	发展现状	服务范围	服务目标与定位精读
GPS	1978 年	①架构最为成熟,覆盖率高、用户广泛;②快捷、高效、精确	2010年有 30 颗卫星运行,并在逐渐更新为新型卫星	全球	军用,民用(精度 10 m)
GLONASS	1982 年	①定位精确,略低于 GPS;②抗干扰能力强	截止 2012 年 10 月有 24 颗卫星正在运行	全球	军用,民用(精度 10 m)
北斗	2000 年	①支持双向定位和通信功能;②自主研发、高效可靠	2012 年 10 月已发射了 16 颗卫星,系统预计于 2018 年全面建成	亚太地区(逐渐发展为全球)	军用,民用(精度 10 m)
NAVS AT	2005 年	①全球首个基于民用的导航系统;②支持多系统合作	2010 年发射 4 颗卫星,2013 年发展为 16 颗卫星,预计将于 2018 年全面建成。	全球	民用(精度 15 m,主要用于交通导航、警察警备、救生等)

### 2.3 路径规划

路径规划的影响因素有很多，主要包括如下几种：路段的长度、道路、速度、道路等级、交叉口的等待时间、交通管制信息等因素。这些影响行车效率的因素将以不同的形式体现在网络拓扑图相对应的数据库中，便于路阻函数的确定。道路的长度、速度、路段等级、交通口等待时间几种是路径规划的主要影响因素，由于交通管制信息、路段抢修、道路施工等不确定性太大，而且可以在具体动态路径规划中体现出来，所以在宏观路径规划中一般不考虑这些因素。表7为经典路径规划算法性能比较。

表 7 经典路径规划算法性能比较<sup>[14]</sup>

搜索算法	结果最优	运行步数	运行时间 /s	占用内存/位	
广度优先		9~12	0.028~0.035	12	
深度优先		4~12	0.02~0.035	8~12	
盲目搜索	Bellman-Ford	*	20	0.029	20
	Dijkstra	*	20	0.023	20
	Floyd-Warshall	*	20	0.024	400
	Johnson	*	41	0.085	441
启发式	最佳优先		4	0.026	7
	A*	*	6	0.033	10



### 3 中外各科研单位无人车传感器使用情况

传感器的安装与组合将决定着环境感知系统的能力和感知效果。在多数无人车中都使用了相似的传感器组合方式和传感器类型，当然在具体细节上也有所差异。最基本的原则是使用组合式的传感器，提供一定的冗余量和覆盖率，以满足在复杂环境中安全导航的需求。一般认为传感器的检测范围以及检测速度比其所获得的信息量更为重要，而由于视频视觉系统信息量巨大，所以多数高校的无

人车会采用摄像头来识别交通标志、信号灯与停车线，适用于较为固定或者变化较慢的外界环境。激光雷达、超声波等传感器则用在了测量一些变化较快的环境信息，如障碍物、车道线、路面等。而谷歌无人车除了通过摄像机、雷达传感器和激光测距仪来“看”外界环境之外，还充分利用了谷歌街景地图的优势，使用详细的地图（通过手动驾驶车辆收集而来）来进行导航。部分院校、单位无人车传感器使用情况总结见表8。

表 8 中外各科研单位无人车传感器使用情况

学校/公司	视觉传感器		雷达传感器		定位导航系统	
	种类	功能	种类	功能	种类	功能
谷歌	Camera	红绿灯,交通标志,停车线等	HDL-64E-Velodyne Lidar	障碍物检测,车道线及路面	GPS INS	
斯坦福大学 (Junior)	Camera	红绿灯,交通标志,停车线等	HDL-64E-Velodyne Lidar	障碍物检测,车道线及路面	GPS	
			BOSCH Radar Riegl laser、Sick laser、 IBEO laser	较远处的移动障碍物 补充 Velodyne Lidar 的盲点	Applanix INS	
卡耐基梅隆 大学(Boss)	Camera	红绿灯,交通标志,停车线等	HDL-64E-Velodyne Lidar	障碍物检测,车道线及路面	GPS	车辆 定位 姿态 感知
			IBEO Alasca Continental ARS Radar SICK LMS Lidar Continental ISF Lidar	补充 Velodyne Lidar 的盲点	Applanix INS	
			IBEO AlascaXT(*2)、 IBEO Alasca A0			
弗吉尼亚理工 大学(Odin)	Monocular Camera(*2)	道路检测,障碍物检测及分类	SICK LMS(*4)	障碍物检测及分类 道路、障碍物检测及分类	GPS INS	
			HDL-64E-Velodyne Lidar	障碍物检测,车道线及路面	北斗	

### 4 结束语

无人车是一种智能化的移动交通工具，它能够代替人类驾驶员完成一系列驾驶行为，它涉及到环境感知、导航定位及智能决策控制等众多学科的研究领域。随着无人车技术研究的不断深入，环境感知与导航定位技术也越来越成为无人车发展和推广的关键所在。由于现在天气状况复杂多变，交通环境充满变数，无人车驾驶环境信息的准确及时的获取显得尤为重要。

根据以上调查和研究，同济大学也在逐步完善其自主研发的Danger（尖兵）号无人车驾驶系统。Danger号无人车在2014年11月15~16日于江苏常熟举办的第6届“中国智能车未来挑战赛”上名列前茅，它采用的HDL-32-Velodyne Lidar激光雷达可以实现周围环境信息的检测，集成32束激光发射器和32个激光接收器，360°的旋转，最高20 Hz的转动

频率，每秒80万个坐标点的输出，这让32E Lidar激光雷达能够获取充足的环境信息。同时配备了一个Continental ARS308毫米波雷达，以实现移动障碍物的速度检测以及跟车等功能。在车身后各安装了一个IBEO Alasca A0四线激光雷达，以辅助HDL实现更立体的障碍物检测。在车身顶部则安装了一个SICK LMS510单线激光雷达，以实现道路的检测以及行人、自行车等辅助监测。同时，在车顶上还安装了2个PGF动态摄像头用来进行车道线、交通信号灯以及交通标识的识别。

目前多家公司已经宣布其无人车产品的上市时间，这无疑将拉开无人车商业化、普及化的大幕，而由于部分传感器的价格高昂，因此如何在安全高效、成本低廉的基础上构建出最优的传感器组合架构成为一个十分关键的问题。总之，传感器技术的研究将在很大程度上决定着未来无人车的发展状况<sup>[15]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 全国科学技术名词审定委员会. 大气科学名词 (第3版) [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 赵丽. 道路交通气象环境能见度检测器检测方法研究[J]. 交通标准化, 2014 (6): 1-4, 8.
- [3] 周琦. 汽车传感器的应用及发展趋势探讨[J]. 电子技术与软件工程, 2014 (4): 152.
- [4] 林均仰, 黄庚华, 舒嵘. 远距离目标跟踪监测激光雷达的现状与发展[J]. 红外, 2008 (3): 1-6.
- [5] Bao Rong Chang, Hsiu Fen Tsai, Chung-Ping Young. Intelligent data fusion system for predicting vehicle collision warning using vision/GPS sensing[J]. Expert Systems with Applications, 2010 (37): 2439-2450.
- [6] 周刚, 吴杰, 鲁可. 汽车防撞毫米波雷达信号处理[J]. 计算机测量与控制, 2011 (7): 1 656-1 658.
- [7] Cualain D O, Glavin M, Jones E. Multiple-camera lane departure warning system for the automotive environment[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2012, 6 (3): 223-234.
- [8] 尹青, 何金海, 张华. 激光雷达在气象和大气环境监测中的应用[J]. 气象与环境学报, 2009 (5): 48-56.
- [9] 刘军, 赵青义, 魏运芳, 等. 雨量传感器检定/校准装置对比与探讨[J]. 气象水文海洋仪器, 2014 (1): 23-25.
- [10] 黄晓青. 风向风速传感器的校准方法[J]. 计量与测试技术, 2009 (1): 26-28, 30.
- [11] Jung-Moon Yoo, Myeong-Jae Jeong, Young Min Hur, Dong-Bin Shin, Improved fog detection from satellite in the presence of clouds [J]. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 2010, 46 (1): 29-40.
- [12] 龙兴武, 于旭东, 张鹏飞, 等. 激光陀螺单轴旋转惯性导航系统[J]. 中国惯性技术学报, 2010 (2): 149-153.
- [13] Daly P. Navstar GPS and GLONASS: global satellite navigation systems [J]. Electronics & Communication Engineering Journal, 2002 (5): 349-357.
- [14] Zhonghua Z, JiuJun Z. Federated Kalman filter and its application to GPS/DR integrated navigation system [C]. 2011 (1): 696-700.
- [15] Estrada C, Neira J, Tardós J D. Hierarchical SLAM: real-time accurate mapping of large environments [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2005, 21 (4): 588-596.

(编辑 杨景)

## 2015年《新能源专刊》征稿

全球新能源汽车产业已经走向商品化, 面临规模化。新能源汽车已是全球竞相追逐的战略性新兴产业, 方兴未艾。新能源汽车的中国时代即将来临, 中国已经为全面发展新能源汽车做好了充分的准备, 这一结论来源于以下三个方面。

一、新能源汽车已经被明确为中国国家战略, 后续政策将陆续出台, 这是国家意志的展现。

2014年以来, 国务院、国家发改委、财政部、工信部、交通部等多个中央部门出台了新一轮的新能源汽车补贴政策, 明确支持新能源汽车的发展。

李克强7月9日主持召开国务院常务会议。会议决定, 自2014年9月1日至2017年底, 对获得许可在中国境内销售(包括进口)的纯电动以及符合条件的插电式(含增程式)混合动力、燃料电池三类新能源汽车, 免征车辆购置税。

7月13日, 国家发改委、财政部等五部门公布《政府机关及公共机构购买新能源汽车实施方案》制定2014~2016年政府机关购买新能源汽车最低比例为30%, 并逐年提高。意在公共领域发挥示范作用。

8月6日, 财政部、工信部等发布《关于免征新能源汽车车辆购置税的公告》, 自9月1日起全国正式实施新能源汽车购置税减免政策, 相当10%的优惠力度, 将起到明显的刺激作用。

8月29日, 工信部发布“免征车辆购置税的新能源汽车车型目录(第一批)”, 目录涵盖的车型范围较广, 包含纯电动轿车、客车, 插电式混合动力轿车、客车等。

11月初, 工信部、发改委等五部委发布了《关于加强乘用车企业平均燃料消耗量管理的通知》(以下简称《通知》), 提出将对“达不到车型燃料消耗量目标值车型停产、限产”等五项处罚措施。该《通知》从11月1日开始执行。此举是为了保证实现之前定下的“到2015年, 当年生产的乘用车平均燃料消耗量降至6.9L/百公里, 节能型乘用车燃料消耗量降至5.9L/百公里以下”的目标。这样,

有的企业如果为了油耗达标只能生产小排量车和新能源车型。

二、经过数年的积累, 一批富有创造精神的企业在几乎产业链所有关键技术环节上取得了突破, 中国的产业体系已经具备竞争力; 我国金融界提出中国新能源汽车产业链各环节投资价值的排序依次是: 电解质、隔膜、整车、电机电控、锂资源和充电桩。

三、伴随着动力电池由铅酸蓄电池向锂电池快速切换, 通过对产业链的积聚效应以及核心技术的大面积突破, 中国新能源汽车产业已初步建立起完整的产业链体系, 对全球范围内电动汽车的大规模产业化将起到决定性作用。

4年来, 《汽车电器》杂志出版了多期“新能源专刊”, 公开发表了许多单位、作者的科研成果与经验介绍, 被多家网站转载, 有的文章的被引频次与下载频次甚至远远高出同期汽车类“核心期刊”, 这从一个角度可以说明刊出文章的水平。

作为汽车电气、汽车电子行业的专业月刊杂志, 2015年本刊将一如既往, 甘愿做各位专家、广大技术人员、各位作者、各位读者的铺路石; 期望各位作者将密切结合实际、深入浅出的新能源稿件发给本刊, 全文字数控制在8000字为宜。本刊将尽最大的努力争取刊出, 并且优稿优酬。在某会议上, 有人说“核心零部件环节的欠缺是中国新能源汽车发展的最大短板。”并且认为新能源汽车零部件产业的弱势, 给新能源汽车产业发展带来了不确定因素。对此, 本刊从2015年起, 将遵循燃料电池动力系统、混合动力系统、纯电动车系统三大系统集成技术方向, 侧重发表属于共性核心技术开发领域的动力电池与电池管理、电机驱动和电力电子等内容文章。

投稿邮箱: [qcdq@qcdq.cn](mailto:qcdq@qcdq.cn) 邮件主体注明“新能源”  
本刊联系电话: 0731-82798408 82798409  
<http://www.qcdq.cn>

汽车电器杂志社