

【学术前沿动态】无人车导航应用领域论文分析

高精度智能导航是近年来受到广泛关注的关系国计民生的重要科学技术问题，中国科协 2020 年发布的十大工程技术难题中，“无人车如何实现在卫星不可用条件下的高精度智能导航”位列第七。本期学术前沿以“无人车导航”研究领域为对象，基于 WoS 核心合集论文展开分析，揭示其自出现相关论文以来的主要主题演化过程及当前研究现状、热点。

1. 论文数据分析

图 1 为无人车导航领域论文历年分布图。1996 年以前，该领域研究呈零星状态，随后逐年增长，略有起伏；2012 年起增长势头加快，在科协发表相关问题的前一年（2017 年），相关领域论文出现大幅增长。从文献类型来看，该领域会议论文占比达 61.94%，期刊论文占 38.33%，综述论文占 1.08%。

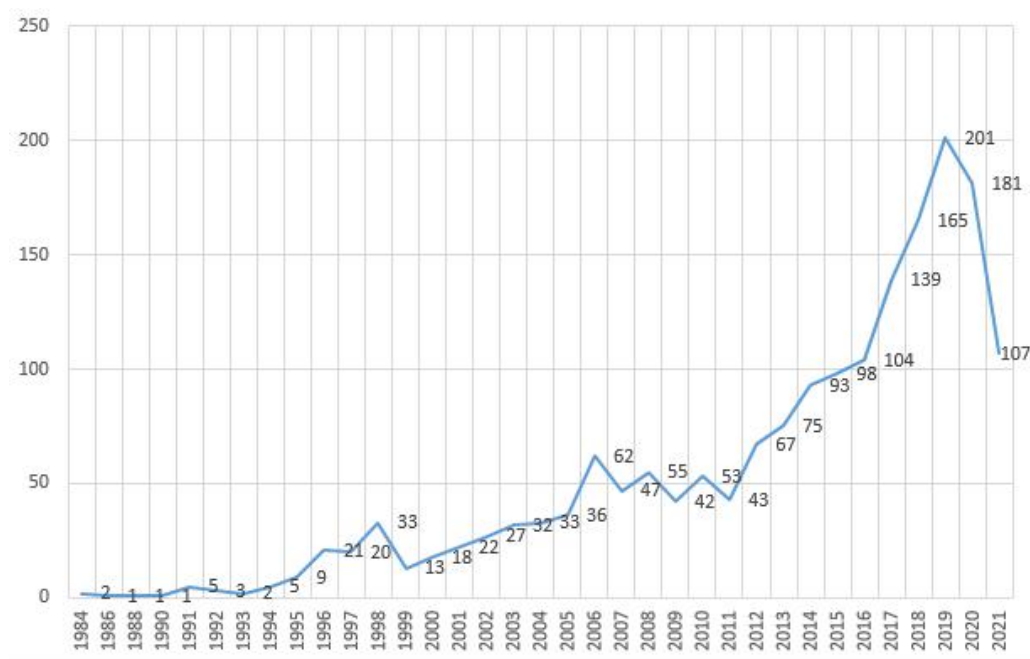


图 1 无人车导航领域的研究趋势

该领域发文期刊的 WoS 类别主要分布在电子电气工程（38%）、机器人（27%）、人工智能（26%）、自动化控制系统（23%）、交通科技（11%）等方向。

2011-2021 年该领域论文发表量排名前十的出版物见下表：

表 1 无人车导航领域主要出版物

序号	出版物名称（篇数）	序号	出版物名称（篇数）
1	IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS (93 篇)	6	PROCEEDINGS OF THE SOCIETY OF PHOTO OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERS SPIE (33 篇)
2	PROCEEDINGS OF SPIE (67 篇)	7	IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS (31 篇)
3	SENSORS (45 篇)	8	LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE (29 篇)
4	IEEE INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM (40 篇)	9	IEEE ACCESS (23 篇)
5	IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION ICRA (35 篇)	10	INSTITUTE OF NAVIGATION SATELLITE DIVISION PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING (22 篇)

美国是该领域论文产出最多的国家，占全球总发文量的 28%，中国以 19%排在第二，接下来依次为韩国、法国、英国，日本等，这些国家之间的发文量相差不大。

研究机构方面，整体来看，美国在排名前十中占比最多（60%），但是从近十年发文情况看，北京理工大学、麻省理工学院以及法国的相关机构发展迅猛。

表 2 无人车导航领域重要研究机构

序号	机构名称（整体文献）	机构名称（近十年）
1	国家科学研究中心（法）	国家科学研究中心（法）
2	中国科学院	中国科学院
3	加利福尼亚大学系统	北京理工大学
4	佛罗里达州立大学系统	麻省理工学院
5	美国国防部	密歇根大学系统
6	卡内基梅隆大学	美国国防部
7	麻省理工学院	加利福尼亚大学系统
8	密歇根大学系统	密歇根大学系统
9	釜山国立大学	皮卡第大学（法）
10	北京理工大学	索邦大学（法）

2. 研究主题分析

2.1. 无人车的设备种类

无人车此处泛指载有达到自动化、无人化程度（或以此为目标）的高精度智能导航系统的设备。不同类型的无人车一定程度体现了智能定位导航的应用范围。根据来自上述分析文献的原始关键词统计显示，“无人车”囊括了海、陆、空三界，涉及汽车、飞机、机器人、拖拉机等设备，用于自动驾驶、交通运输、飞行

定位、野外作业、水下作业、农作物处理等多种场景。下图为无人车设备原始关键词词云图：



图 2 各类型无人车词频显示图

2.2 热点研究主题

图 3 和表 3 分别为无人车导航领域 WoS 核心合集文献关键词聚类 and SciVal 平台主题聚类的分析结果。两种途径的数据来源不同（分别为 WoS 核心合集和 Scopus 数据库），但得到的研究主题基本一致。

来自 WoS 核心合集文献的技术关键词中，出现频率最高的包括机器视觉、路径规划、全球定位系统（GPS）、传感器融合、实时定位、地图构建、卡尔曼滤波、避障、追踪、深度学习、全球导航卫星系统（GNSS）、机器人导航、车道检测等。

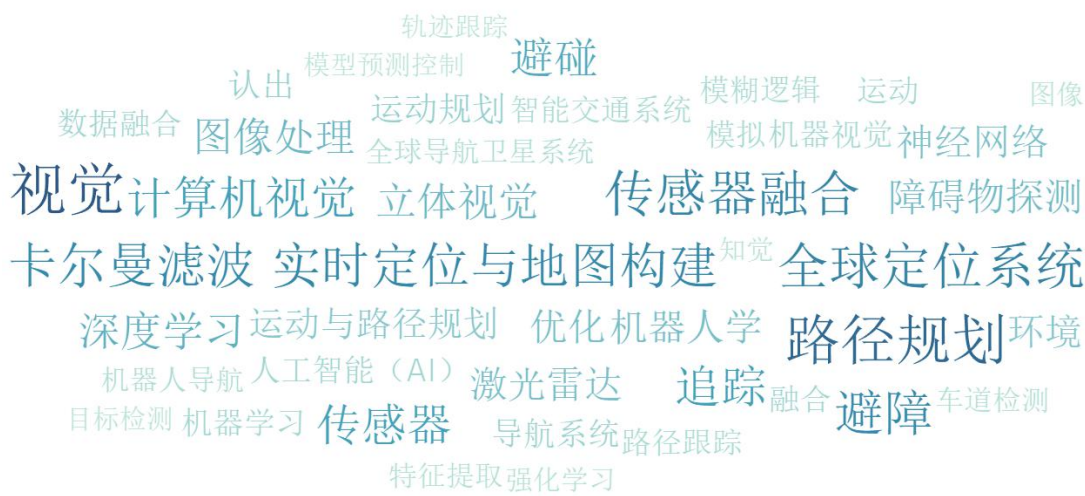


图 3 WoS 核心合集文献无人车导航领域热点主题图

来自 Scopus 数据库的文献分析同样显示，计算机视觉、运动规划、机器人、车辆驾驶、自主水下运输工具（AUV）、交通运输、全球导航卫星系统（GNSS）、卡尔曼滤波、农业机械、传感器、强化学习等是本领域研究热点。其中，表 3 的显著度百分比还显示了该主题在全球整体研究主题中的热点程度。可以看出，计算机视觉、控制器、交通运输、传感器、机器人等，不仅是本领域研究热点，也是全球所有研究领域的研究热点。

表 3 Scopus 文献无人车导航领域热点主题

排名	研究主题	研究主题中文	文章数量	显著度百分比
1	Computer Vision; Models	计算机视觉; 模型	813	99.799
2	Multi Agent Systems; Motion Planning; Robots	多智能体系统; 运动规划; 机器人	358	90.903
3	Vehicles; Steering	车辆; 驾驶	247	74.515
4	Control; Controllers; Linear Matrix Inequalities	控制器; 线性矩阵不等式	239	97.592
5	Autonomous Underwater Vehicles; Underwater Acoustics; Remotely Operated Vehicles	自主水下运输工具; 水下声学; 遥控车辆	180	40.87
6	Global Positioning System; Satellites; Navigation	全球定位系统; 卫星; 航行	178	60.803
7	Kalman Filters; Target Tracking; Algorithms	卡尔曼滤波器; 目标跟踪; 算法	142	62.007
8	Traffic Control; Transportation; Models	交通管制; 运输模型	134	97.324
9	Location; Algorithms; Wi-Fi	地方算法; 无线局域网	86	74.582
10	Robots; Robotics; Manipulators	机器人; 机器人技术; 操控器	81	92.575
11	Agriculture; Fruits; Agricultural Machinery	农业果实; 农业机械	66	62.876
12	Wireless Sensor Networks; Sensor Nodes; Routing Protocols	无线传感器网络; 传感器节点; 路由协议	59	97.726
13	Robots; Robotics; Human Robot Interaction	机器人; 机器人技术; 人机交互	59	82.676
14	Photogrammetry; Unmanned Aerial Vehicles (UAV); Remote Sensing	摄影测量; 无人机; 遥感	50	64.482
15	Human Engineering; Ergonomics; Automation	人体工程学; 工效学; 自动化	49	67.96
16	Ships; Offshore Structures; Navigation	船舶; 海洋结构物; 航行	36	47.358
17	Reinforcement Learning; Robots; Artificial Intelligence	强化学习; 机器人; 人工智能	35	57.793
18	Asphalt; Pavements; Asphalt Pavements	沥青; 行人路; 沥青路面	31	87.826
19	Scheduling; Algorithms; Optimization	行程安排; 算法; 优化	30	88.094
20	Virtual Reality; Feedback; Haptic Interfaces	虚拟现实; 反馈触觉界面	26	56.455

2.3. 研究主题演化

将无人车导航领域文献根据发文量变化特征（参见图 1）划分为三个时间阶段，不同阶段的主要研究主题及其之间的演化关系如下图。其中，绿色圆点的大小代表论文篇均被引量，可以作为该主题影响力（关注度）的参考。从中可以看出，算法、神经网络、人工智能、控制系统等主题在第一时段影响力较高，它们对进一步的研究起到了支撑作用；算法主题在第二时段演化出远程控制，又和势场、控制系统共同演化出第三时段的机器人主题；卡尔曼滤波主要从神经网络/网络演化而来，在近十年还演化出扩展卡尔曼滤波；车云主题当前关注度较高，它的研究脉络可以在算法主题相关文献中追溯。

第一阶段（1984–1998）

第二阶段（1999–2010）

第三阶段（2011–2021）

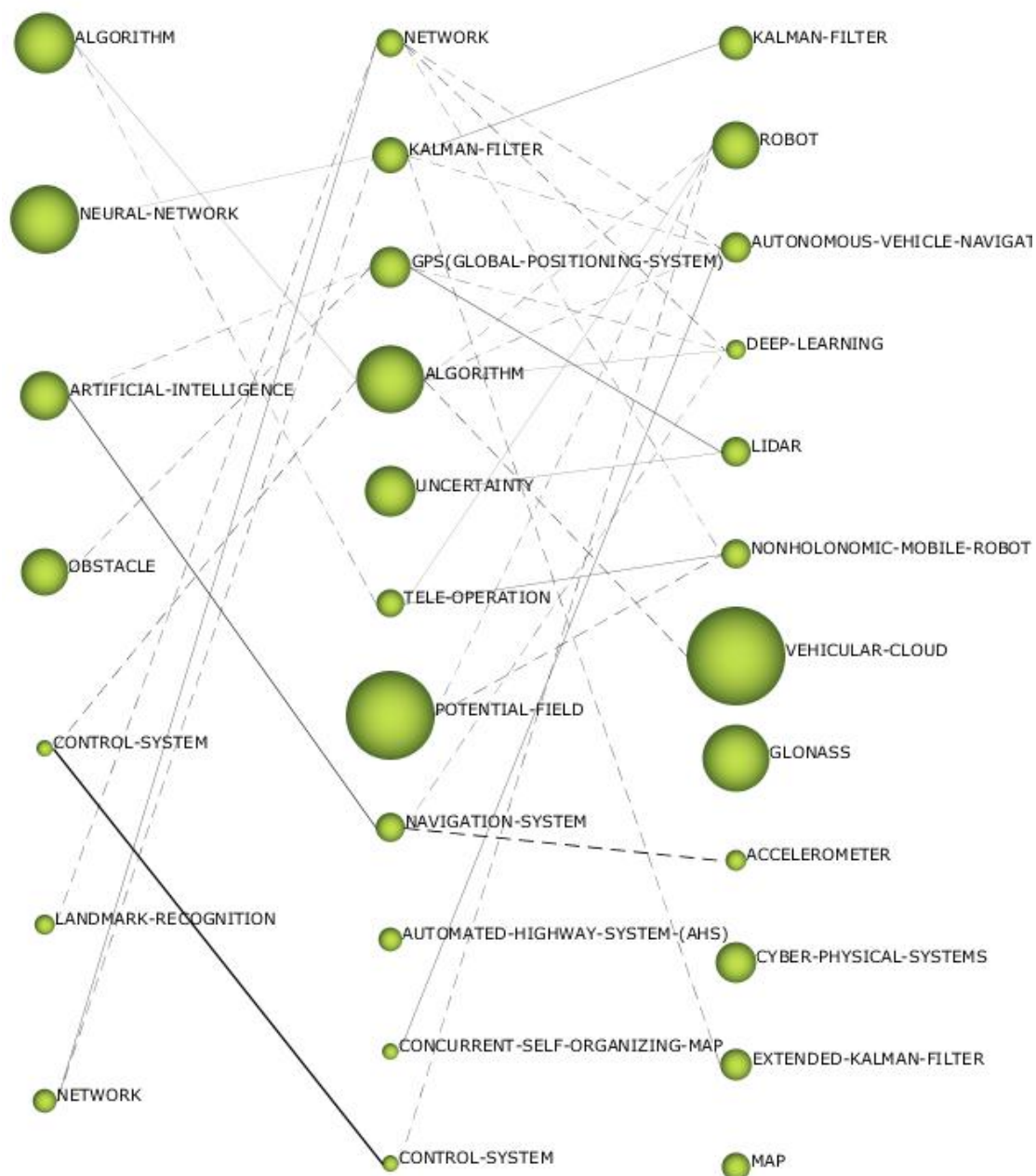


图 4 无人车导航领域研究主题演化图

3. 热点主题论文及高影响力论文

本次分析文献的机器人、卡尔曼滤波、深度学习、车云等热点主题的核心论文（仅限 2011-2021 年）和被引前 30（不限年限）的论文清单详见：

<https://libguides.lib.whu.edu.cn/c.php?g=665807&p=6863742>

近3年被引最高的前10篇论文见下表。这些文献涉及自动驾驶汽车、灾害机器人、交通预测、远洋自治船、激光雷达、终身联合强化学习、自驾汽车大脑启发认知模型等。

- [1]. Badue, C., et al., [Self-driving cars: A survey](#). EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS, 2021. 被引: 43次
- [2]. Jorge, V., et al., [A Survey on Unmanned Surface Vehicles for Disaster Robotics: Main Challenges and Directions](#). SENSORS, 2019. 被引: 40次
- [3]. Ma, Y.X., et al., [TrafficPredict: Trajectory Prediction for Heterogeneous Traffic-Agents](#), in THIRTY-THIRD AAAI CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE / THIRTY-FIRST INNOVATIVE APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE CONFERENCE / NINTH AAAI SYMPOSIUM ON EDUCATIONAL ADVANCES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE. 2019: 33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence / 31st Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference / 9th AAAI Symposium on Educational Advances in Artificial Intelligence. . 被引: 34次
- [4]. Wang, J.B., Z.P. Cai and J.G. Yu, [Achieving Personalized k-Anonymity-Based Content Privacy for Autonomous Vehicles in CPS](#). IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, 2020. 被引: 31次
- [5]. Noh, S., [Decision-Making Framework for Autonomous Driving at Road Intersections: Safeguarding Against Collision, Overly Conservative Behavior, and Violation Vehicles](#). IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 2019. 被引: 29次
- [6]. Felski, A. and K. Zwolak, [The Ocean-Going Autonomous Ship-Challenges and Threats](#). JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING, 2020. 被引: 23次
- [7]. Javanmardi, E., et al., [Autonomous vehicle self-localization based on abstract map and multi-channel LiDAR in urban area](#). IATSS RESEARCH, 2019. 被引: 23次
- [8]. Debeunne, C. and D. Vivet, [A Review of Visual-LiDAR Fusion based Simultaneous Localization and Mapping](#). SENSORS, 2020. 被引: 22次
- [9]. Liu, B.Y., L.J. Wang and M. Liu, [Lifelong Federated Reinforcement Learning: A Learning Architecture for Navigation in Cloud Robotic Systems](#). IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS, 2019. 被引: 22次
- [10]. Luo, Q., et al., [LOCALIZATION AND NAVIGATION IN AUTONOMOUS DRIVING: ThREATS AND COUNTERMEASURES](#). IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS, 2019. 被引: 22次
- [11]. Chen, S.T., et al., [Brain-Inspired Cognitive Model With Attention for Self-Driving Cars](#). IEEE TRANSACTIONS ON COGNITIVE AND DEVELOPMENTAL SYSTEMS, 2019. 被引: 22次

如需获取完整相关文献信息，可参考以下检索式：

("Unmanned vehicle" or "Intelligent Vehicle" or "Robot cars" or "Self-Driving Cars" or "autonomous vehicle" or "Automatic Guided Vehicle") and navigat*

因学科专业所限，难免出错，敬请批评指正；同时，也面向全校师生征集关

注的领域和专题。联系方式：68754258, Email: jflai@lib.whu.edu.cn

编辑：江珊 审核：刘霞