

国内外智能网联汽车研究热点可视化对比分析

——基于文献计量视角

王秀杰¹, 陈云静²

(1. 广西科技大学 机械与汽车工程学院, 广西 柳州 545006; 2. 广西科技大学 经济与管理学院, 广西 柳州 545006)

摘要:基于文献计量法对 2000—2021 年的智能网联汽车文献进行分析,分析国内外智能网联汽车研究的热点变化和发展趋势,并进行比较。结果表明:国内外均注重技术、安全层面的研究,但国内学者较为侧重国内的智能交通建设技术方面的研究,并向汽车产业变革、人工智能的法律责任等方面进行延伸;而国外学者较关注人工智能技术、新算法在车联网、自动驾驶上的应用,向范围更大的物联网技术等方面进行拓展外延,探索不同学科的交叉分析。

关键词:智能网联汽车;文献计量;CiteSpace;知识演进;可视化

中图分类号:F203;G353.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)05-0098-10

伴随着人工智能、大数据、物联网等科学技术不断进步,汽车智能化孕育而生,智能网联汽车(intelligent connected vehicle, ICV)、自动驾驶汽车已经开始席卷全球的汽车产业。全球 ICV 的市场增长迅速,渗透率持续上升,据 Sharma^[1] 预测,到 2025 年,超过 70% 的售出车辆是网联汽车。同时,汽车向数字化转型速度加快,网联汽车比以往更加智能,给人们带来更加舒适、安全的出行体验。

在此背景下,全球部署 ICV。欧、美、日等国家起步较早,相继出台相关示范运行和道路测试管理规范,积极推动 ICV 产业化进程。中国 ICV 起步晚,但发展迅速,受到世界各国的关注,经过近 10 年的努力,由 2013 年前后技术水平和产业发展与欧、美、日等汽车强国相比落后到如今与之并跑,部分领域领跑的态势,探索出一条 ICV 创新发展路径,为世界 ICV 发展贡献中国方案^[2]。展望未来,中国将继续朝着推广和普及“智能化+网联化”的 ICV 产业化迈进。

ICV 是未来汽车产业发展的战略方向。近年来,ICV 相关的研究日益增多且快速增长,已有学者对 ICV 的相关文献进行梳理。Yang 等^[3] 回顾了 ICV 的发展历史、关键技术的发展现状、介绍应用于 ICV 决策的算法等。Kolekar 等^[4] 认为用于智能

汽车对其他车辆行为感知、推断和预测的技术是人工智能的关键技术,因此对 2011—2021 年车辆预测行为相关文献进行梳理,总结出智能汽车交通参与者行为预测使用最广泛的方法。Wang 等^[5] 指出环境感知技术对车辆决策和控制有直接的影响,对近年的车辆探测方法进行梳理,并提出了车辆检测技术目前存在的问题和发展方向。Zhang 等^[6] 以 2016—2020 年中国北京、上海等城市的专利数据进行分析,探索政策执行情况,结果表明政策对 ICV 产业创新起促进作用。由此可见,上述研究视角较为单一,多为对某个关键技术或相关政策的发展状况进行研究,缺乏从全球视野范围内对 ICV 的研究热点及趋势进行深入分析。

文献计量法是一种集数学与统计学的科学研究方法,通过对某一领域的大量文献进行全面、系统分析,并采用可视化技术,能快速识别出这一领域的研究热点和趋势,可以克服以上 ICV 研究过程中存在的不足。文献计量法发展多年,已被广泛运用在多个领域。

因此,运用文献计量法对国内外以 ICV 为主题的文献进行共现分析、聚类分析、知识演进、突现词检测等可视化分析,及时捕捉与挖掘国内外 ICV 最新热点、发展态势和演进过程,并对比国内外研究

收稿日期:2022-10-14

基金项目:广西柳州工业和信息化局横向科研项目:柳州汽车产业发展规划(07151003)。

作者简介:王秀杰(1977—),女,天津人,广西科技大学机械与汽车工程学院,副教授,机械工程博士,硕士研究生导师,研究方向为新能源汽车技术与发展、智能网联汽车测试与评价;陈云静(1997—),女,福建龙岩人,广西科技大学经济与管理学院,硕士研究生,研究方向为企业组织与战略管理、新能源汽车产业发展战略。

的异同,可以为 ICV 研究领域梳理一条较为清晰的脉络,对 ICV 的研究提供借鉴。

1 研究设计与数据来源

1.1 研究设计

CiteSpace 是由陈超美教授开发的一种分时、多元、动态的可视化软件,被学者们广泛应用于揭示某个领域的热点、知识演进和发展前沿。VOSviewer 是荷兰 Leiden 大学 CWTS 研究机构开发的一种与 CiteSpace 有着相似功能且有一定互补功能的知识图谱工具^[7]。基于文献计量法,主要运用 CiteSpace 5.8.R3 可视化软件,辅以 VOSviewer 1.6.13,综合对国内外有关 ICV 的文献进行机构合作分析、关键词共现及聚类分析、知识演进、突变词检测等,比较国内外 ICV 的研究热点、变迁和发展趋势的异同。

关键词共现分析的本质是共词分析,共词分析是指通过大量文献中共同出现的词汇或名词短语来判断主题之间的亲疏关系,反映某个研究领域中主题之间的联系,概述研究热点、发展趋势的一种分析方法^[8]。在此基础上,进行关键词聚类分析,可以进一步深化共现关系,聚类分析按照一定的算法将关键词分成不同类别,可以探究研究内容之间的联系^[9]。结合关键词共现分析、聚类分析可以更好地追踪国内外文献研究热点的具体侧重点和差异。

时区图可以直观地看出各时期的热点分布情况和主题演进脉络,突现词检测可以探测出某段时间大量出现的主题和新兴趋势,综合这两种方法可以较为全面客观地了解主题的演进脉络和前沿趋势。

1.2 数据来源

国内研究方面,论文数据来源于中国知网数据库(CNKI),样本限定为北大核心、CSSCI 的中文文献,年限为 2000—2021,使用高级检索方式:关键词=“智能网联汽车”or 关键词=“智能汽车”or 关键词=“车联网”,共检索到 730 篇文献。国外研究方面,论文数据来源于 Web of Science 核心数据集,引文索引选择 SCI-EXPANDED(科学引文索引-扩展版)、SSCI(社会科学引文索引),主题词为“Intelligent Connected Vehicle(智能网联汽车)” OR “Intelligent Vehicle(智能汽车)” OR “Internet of Vehicles(车联网)”文献类型为“Article”,语种为“English”,年限为 2000—2021,共检索到相关文献 1 661 篇,在检索结果中将国家为中国的文献排除,最后检索到 621 篇文献。最后经过人工剔除会议通知、新闻稿件等文献,最后获得符合研究范围的国内文献

715 篇,国外文献 583 篇。

2 国内外 ICV 研究的可视化比较分析

2.1 文献基本情况分析

2.1.1 时区分布

对研究文献进行分时区的发文量统计,有利于分析该领域所处的发展阶段,把握文献发表的整体趋势。国内外 ICV 研究领域的发文量对比如图 1 所示。就国内而言,ICV 发文量发展可划分为两个阶段:第一阶段为起步期(2000—2011 年),关于 ICV 的核心文献发文量由零增长到个位数,起伏较为平缓;第二阶段为发展期(2012—2021 年),大体上逐年上升,但在 2018 年有所回落。就国外而言,也可大致划分为两个阶段:第一阶段为伊始期(2000—2017 年),年发文量小于 30 篇,增速较为缓慢;第二阶段为成长期(2018—2021 年),发文量增速超过 20%,到 2020 年发文量基本与国内持平,2021 年增速超过 70%,发文量超过国内。从整体来看,国内外关于 ICV 的文献呈增长趋势,体现了国内外对 ICV 相关的研究热度和关注不断升温。

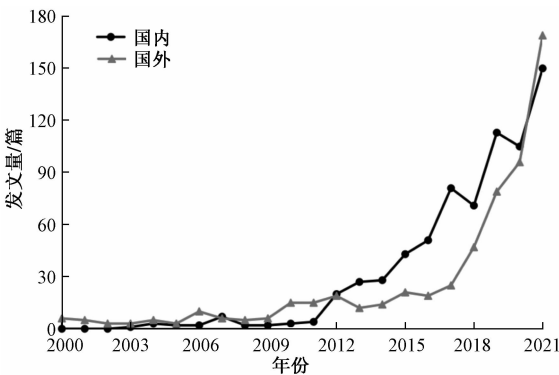


图 1 2000—2021 年国内外 ICV 核心期刊发文量对比

2.1.2 发文机构分析

对某一领域的发文机构进行分析,可以观察该领域的研究力量分布和合作情况。利用 VOSviewer 分别对国内外文献进行发文机构合作分析,如图 2、图 3 所示。图中节点越大表示该机构出现频次越多,机构之间的连线代表他们有协作关系。经统计,国内 715 篇文献总共统计出 803 所机构,国外 583 篇文献总共统计出 840 所机构。其中,国内发文机构最多的是长安大学信息工程学院,为 30 篇,国外发文机构最多的是 King Saud University(沙特国王大学),为 16 篇。

从机构类别来看,国内外的发文机构为公司的类别中,除了汽车产业相关公司之外,均出现了互联网公司、科技公司的身影,国内如腾讯、华为等,

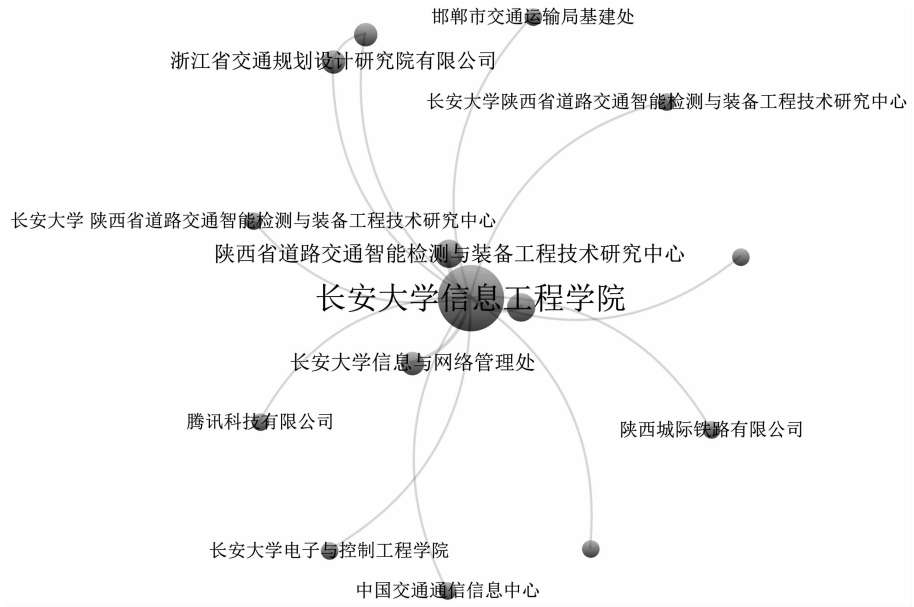


图 2 国内发文机构合作网络

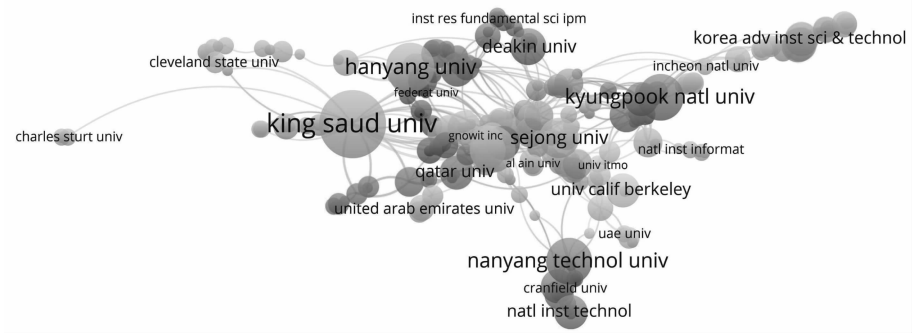


图 3 国外发文机构合作网络

国外如 FaceBook、三星、微软等,这些互联网科技公司分别占国内外发文机构为公司类别的 16%、15%。目前,互联网企业主要与汽车企业在车联网、自动驾驶、无人驾驶等方面进行合作,共同生产智能汽车,如百度与吉利联合,阿里巴巴牵手上汽集团,谷歌与福特合作等。科技公司主要致力于技术赋能,在智能座舱、电池、芯片、算法等方面进行研发,增加新能源汽车产品附加值。总体来看,国内外 ICV 的研究力量主要为高校,国内发文机构之间合作较少,国外发文机构相较国内合作较为密切。

2.2 热点分析

2.2.1 关键词共现分析

使用 CiteSpace,设置 Node Type 为 Keyword,阈值为 T50,网络裁剪方法为 Pathfinder、Pruning sliced networks,时间切片为 1 年,分别将国内、国外 ICV 研究数据导入,经过关键词合并删除,得到国内外 ICV 关键词共现图谱(图 4、图 5),其中,中

介中心性超过 0.1 的为关键节点,可揭示研究热点之间的突变或转化关系。为保证图谱较为清楚直观,国内关键词图谱仅显示词频 3 以上的关键词,国外关键词图谱仅显示词频 8 以上的关键词。其中,国内 ICV 研究关键词共现图谱的参数为: N (结点,关键词数) $=465$, E (连线) $=722$,Density(网络密度) $=0.0067$;国外 ICV 研究关键词共现图谱的参数为: $N=568$, $E=1435$,Density $=0.0089$ 。图谱中,圆圈大小代表关键词频次的大小,连线代表关键词之间关系的强度。

采用词频 g 指数法来确定高频词的阈值,此方法在保留超高频关键词的同时,也能较好地保存次高频的关键词,可较好研究国内外 ICV 领域的研究热点内容^[10]。 g 指数公式为

$$\sum_{i=1}^g S_i \geq g^2 \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{g+n} S_i < (g+1)^2 \tag{2}$$



图 4 国内 ICV 研究关键词共现图谱



图 5 国外 ICV 研究关键词共现图谱

式中: S 为关键词累计频次; n 为相同频次关键词的个数,由式(1)和式(2)选取关键词的频次,得到国内 29 个高频关键词,国外 30 个关键词。由表 1、表 2,结合图 4、图 5 的国内外关键词图谱可以看出,国内外 ICV 研究的热点主题既有联系又有区别。以下从国内外的关键词主题的异同进行分析。

相似性主要表现在:①均重视在车联网环境下,用户的隐私信息容易泄露的问题,研究如何进

行信息安全保护从而维护用户隐私,其共同关键词包含“隐私保护”“信息安全”等;②均注重对ICV路径跟踪的方法和技术的研究,如通过分析道路上车辆传感器收集的大数据,可以估计车辆信息和实时路况,以此提高汽车在高速性转向的精确性和稳定性,“路径跟踪”“大数据”等为共同关键词;③对于车联网高速移动的特性,要提供高质量网络服务是巨大的挑战,国内外学者针对这个问题提出了许多

解决方案和策略,其关键词包括“边缘计算”等。可以看出,国内外多围绕着解决 ICV 技术障碍开展,主要研究 ICV 的安全、技术研发和技术创新的问题。

异质性主要表现在:从国内研究来看,①国内汽车保有量越来越高,交通出行堵塞成为热点问题,国内学者注重研究智能交通,方便出行,对路径优化方面研究较多,关键词出现了“交通工程”“智能交通”“路径规划”等;②国内学者关注在行驶道路上车联网多任务下载传输效率、数据传输冲突、网络连接稳定性等问题,提出了各种协助下载的方法和策略,出现了如“协助下载”“存储转发”等关键词;③自动驾驶汽车的必然趋势是人工智能,如何在复杂的路况、事故多发的地带,以及在无信号的交叉口顺畅行驶从而提高交通安全将是个值得思考的问题,国内学者进行了各种模拟仿真测试研究,其关键词包括“仿真”“交叉口”“交通安全”等。从国外研究来看,①无线网络通信在车联网领域发展迅速,由于传统网络体系结构的局限性,无线网络环境下的资源调度仍是个难题。国外学者重视车载网络通信模式下用户需要大量带宽的问题,为解决宽带资源的分配问题提出各种算法和策略。其关键词包括“vehicular network(车载网络)”“architecture(体系结构)”等。②由于车载自组织网络具有开放性,容易受到网络攻击,并可能导致严重的后果。国外学者注重车联网的用户基础设施的安全,设计了能抵御恶意软件攻击的方案和研发预

防系统。出现了如“vehicular ad hoc network(车载自组网)”“design(设计)”“scheme(方案)”等关键词。③车联网中车辆业务的发展对计算资源有限、实时敏感的车载业务的服务质量提出了挑战,对此,国外学者经过模拟仿真得出雾计算能提高资源配置服务满意度,其关键词包括“challenge(挑战)”“fog computing(雾计算)”等。

由此可见,国内外学者均注重对未来 ICV 可能出现的障碍进行技术分析和仿真测试,国内学者较为侧重国内的智能交通建设技术、提高车联网的网络稳定性和效率方面的研究,而国外学者侧重提高车联网的安全性,还逐渐向系统的研发、车联网相关产业等方向转换。

表 1 国内 ICV 研究文献关键词词频分布(部分)

关键词	词频	中介中心性	关键词	词频	中介中心性
车联网	451	1.33	轨迹跟踪	9	0.03
智能汽车	134	0.54	路径跟踪	8	0.01
智能交通	23	0.12	5G	7	0.04
交通工程	21	0.15	计算卸载	7	0.03
汽车工程	20	0.04	信息融合	7	0.07
区块链	16	0.04	云计算	6	0.01
隐私保护	14	0.04	信息安全	6	0.08
自动驾驶	13	0.03	边缘计算	6	0.01
路径规划	12	0.02	交通安全	6	0.06
资源分配	11	0.01	仿真	6	0.01
大数据	10	0.02	V2X	6	0.03
协助下载	9	0.01	存储转发	5	0
人工智能	9	0.04	交叉口	5	0.02
物联网	9	0.02	轨迹规划	5	0.03
路由	9	0.01			

表 2 国外 ICV 研究文献关键词词频分布(部分)

关键词	词频	中介中心性	关键词	词频	中介中心性
internet of vehicle(车联网)	123	0.06	autonomous vehicle(自动驾驶汽车)	24	0.04
intelligent vehicle(智能汽车)	89	0.55	privacy(隐私)	23	0.03
system(系统)	51	0.2	smart city(智慧城市)	21	0.13
network(网络)	49	0.07	thing(物体)	20	0.02
architecture(体系结构)	45	0.06	algorithm(算法)	20	0.01
internet of thing(物联网)	43	0.04	framework(构架)	17	0.12
challenge(挑战)	42	0.07	vehicle dynamics(车辆动力学)	16	0
internet(互联网)	38	0.06	vehicular network(车载网络)	15	0.02
model(模型)	36	0.07	computer vision(计算机视觉)	15	0.02
vehicular ad hoc network(车载自组网)	35	0.02	fog computing(雾计算)	15	0.01
scheme(方案)	35	0.02	protocol(协议)	15	0.06
security(安全)	29	0.04	edge computing(边缘计算)	15	0.02
design(设计)	28	0.32	tracking(追踪)	15	0.01
management(管理)	27	0.02	deep learning(深度学习)	14	0.03
vehicle(汽车)	27	0.03	big data(大数据)	14	0.01

2.2.2 关键词聚类分析

在关键词共现分析的基础上进行聚类,进一步深化共现关系,采用对数似然比(LLR)方法对聚类

进行命名,得到国内外关键词聚类图谱,如图 6、图 7 所示,图谱中,聚类模块值(Q 值)分别为 0.702 3、0.736 4,均大于 0.3,聚类结构显著,聚类平均轮廓

值(S 值)分别为 0.976 1、0.897 3,均大于 0.7,聚类令人信服,这两类聚类图聚类效果较好,且 ICV 中各领域的融合程度较高。国内 ICV 研究主要包括 8 大聚类,国外 ICV 研究主要包括 11 大聚类,聚类数字越小说明其包含的关键词越多,聚类规模越大。其聚类标签选自各聚类团中聚类值最大的关键词。将国内外主要的关键词聚类进行对比,见表 3。可以看出,国内外 ICV 相关研究有相似的主题聚类,如智能汽车,但其他主题聚类大都是不同的,以下主要从国内外不同主题聚类的异同进行分析。

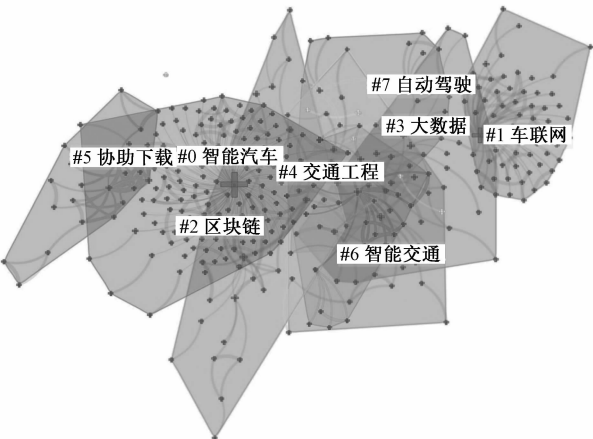


图 6 国内 ICV 研究关键词聚类图谱

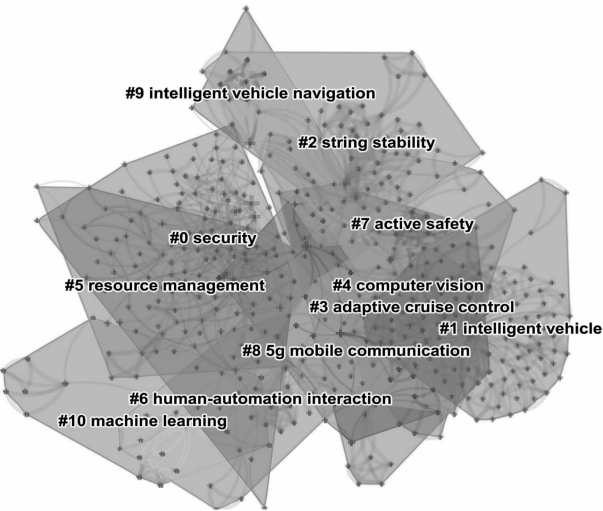


图 7 国外 ICV 研究关键词聚类图谱

表 3 国内外 ICV 研究文献关键词聚类对比(前 8)		
聚类	国内	国外
#0	智能汽车	security(安全)
#1	车联网	intelligent vehicle(智能汽车)
#2	区块链	string stability(弦稳定性)
#3	大数据	adaptive cruise control(自适应巡航控制)
#4	交通工程	computer vision(计算机视觉)
#5	协助下载	resource management(资源管理)
#6	智能交通	human-automation interaction(人机交互)
#7	自动驾驶	active safety(主动安全)

从国内研究来看:①互联网被广泛应用在车辆基础设施中,车载自主网发展成了车联网,但仍存在数据传输问题和安全挑战。国内学者针对这些问题和挑战做了大量工作,如为了保证用户在无中心环境下实现安全的链上通信、防止隐私泄露等问题,提出诸多基于区块链的安全通信与隐私数据共享方案。因此,#2 聚类(区块链)关键词包括“安全通信”“隐私保护”“匿名认证”等。②中国智能交通通过 20 多年的发展,车联网和智能交通在技术上的限制和壁垒日益减少,但却面临着传统的商业模式革新的挑战,因此,中国 ICV 研究开始关注适应新时代智能交通的商业模式研究。因此,#6 聚类(智能交通)关键词包括“交通大数据”“商业模式”等。③自动驾驶是在人工智能的基础上发展起来的,让车辆变得更智能的同时也产生了一系列亟待解决的问题,如车路协同技术的完善、路径规划算法的开发、交通事故责任界定等,这些都是值得研究的内容。因此,#7 聚类(自动驾驶)关键词包括“人工智能”“车路协同”“刑事责任”等。

从国外研究来看:①自适应巡航系统(ACC)能够在复杂路段上对目标车辆进行检测,并控制车辆的速度,能有效减轻驾驶员驾驶的疲劳度,提高驾驶的稳定性 and 安全性。ACC 的控制稳定性和安全性成为国外学者所关注的问题,对此他们提出了不同的算法和模型加以改进。因此,#3 聚类(adaptive cruise control)关键词包括“object detection(目标检测)”“risk assessment(风险评估)”“vehicle control(车辆控制)”等。②国外研究者对提高智能汽车的安全性进行了多方面的研究,如将计算机视觉、图像处理等技术应用于目标识别,可以自动识别车牌、对车辆进行视觉定位等,这与驾车的安全性有着紧密联系。因此,#4 聚类(computer vision)关键词包括“road safety(道路安全)”“object recognition(物体识别)”“pedestrian detection(行人检测)”等。③机器学习是有人工智能工具,可以实现车联网在通信和网络功能的智能化,如基于机器学习和模糊逻辑的系统对智能汽车进行电源管理、利用机器学习检测恶意网络攻击等。因此,#10 聚类(machine learning)关键词包括“artificial intelligence(人工智能)”“fuzzy logic(模糊逻辑)”等。

可以看出,国内外学者均关注如何提高 ICV 的安全问题。其中,国内学者注意到了 ICV 给传统的汽车产业带来面临产业改革的挑战、给传统的交通

事故责任认定相关法律带来思考,而国外学者较为注重人工智能技术、新算法在车联网、自动驾驶上的应用。

2.3 前沿趋势分析

2.3.1 知识演进

时区图是将关键词按照时间分布显示出来,该关键词固定在首次出现的年份,圆圈和字体大小代表该关键词总共出现的频次大小,关键词之间的连

线代表它们之间的联系,即连线越多,关系越紧密。通过 CiteSpace 制作的时区图表现知识演进过程。国内外 ICV 研究关键词时区视图分别如图 8、图 9 所示。可以看出,国内外 ICV 研究的发展趋势有一致性,又有异质性。一致性主要表现在主题演化的大体方向一致,异质性主要表现在相同时间段的研究侧重点有所不同。以下对国内外研究趋势异同进行分析。

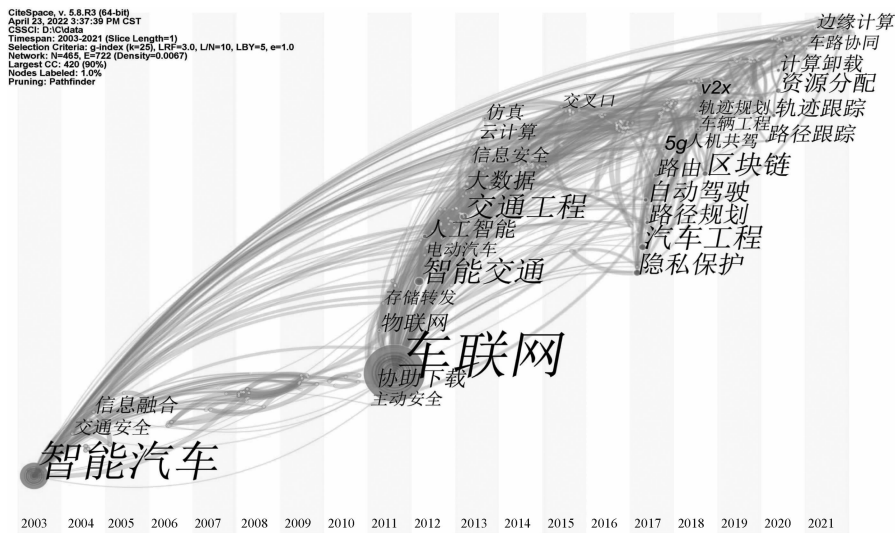


图 8 国内 ICV 研究关键词时区视图

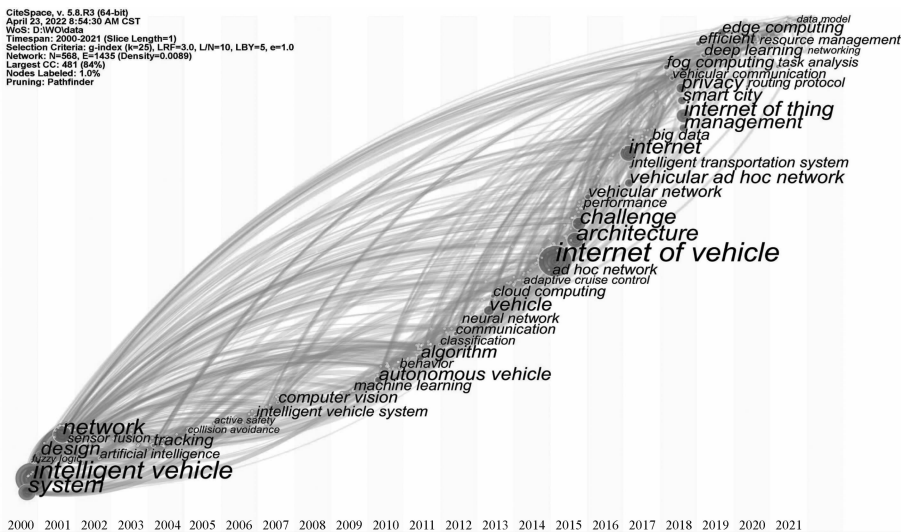


图 9 国外 ICV 研究关键词时区视图

一致性方面:都是由智能汽车研究主题开始慢慢演进到车联网、ICV 和自动驾驶,演进过程中,形成了多种分支,国内外 ICV 研究主题演进过程大致都经历了两个阶段,第一阶段为从“智能汽车”演进为“车联网”,是智能汽车的初级发展阶段,学者们研究主题主要是对自动驾驶技术的探索和发展,关

键词包括“交通安全”“主动安全”“车辆识别”“计算机视觉”“图像处理”等。第二阶段为从“车联网”到“边缘计算”阶段,这一阶段研究主题主要是解决环境感知技术、V2X 通信技术、信息安全技术、云平台和大数据技术等核心技术障碍展开的研究。

异质性方面:①智能汽车研究起始时间不同,

国内起步较晚,主题慢慢演进,国外起步较早且演进速度快,分流出比国内更多样的分支。②2000—2013年,随着中国经济水平的提高,车辆保有量也逐年提高,大城市上下班、节假日交通拥堵、交通安全等一度成为热点话题,国内的学者除了研究智能汽车相关技术外,还注重智能交通和拥塞控制这一方面的研究,如“智能交通”“交通工程”“仿真”等,而国外这段时间的研究热点是车载操作系统和自动驾驶技术方面的研究,如“tracking(跟踪)”“communication(通信)”“autonomous vehicle(自动驾驶汽车)”“system(系统)”等。③2014—2021年,国内学者注重自动驾驶的路径感知和安全问题的研究,如“路径规划”“人机共驾”“安全消息”“隐私保护”

等。国外学者不满足于对技术方面的研究,逐渐向更广阔的物联网展开,往智慧城市的资源配置管理和ICV产业发展面临的各种挑战等方面延伸,如“management(管理)”“smart city(智慧城市)”“challenge(挑战)”“efficient(高效)”等。

2.3.2 突现词检测

突现词检测可以反映一定时期内被高度关注的热点主题和转瞬即逝的潮流,能较为科学地反映某个学科的前沿领域。利用CiteSpace的关键词进行突变检测,加粗线表示突发年份区间,标志该关键词成为热点的阶段。分别将国内外的突现年份接近2021年的前6个关键词的突现情况整理出来,见表4、表5。

表4 国内ICV研究关键词突现

关键词	突现强度	开始时间	结束时间	2003—2021年
人工智能	1.62	2018年	2021年	-----
自动驾驶	1.57	2018年	2021年	-----
汽车工程	2.77	2019年	2021年	-----
轨迹跟踪	2.18	2019年	2021年	-----
路径跟踪	1.93	2019年	2021年	-----
汽车产业	1.72	2019年	2021年	-----

表5 国外ICV研究关键词突现

关键词	突现强度	开始时间	结束时间	2000—2021年
ad hoc network	3.08	2015年	2021年	-----
vehicle	2.25	2016年	2021年	-----
vehicular communication	3.12	2018年	2021年	-----
efficient	3.34	2019年	2021年	-----
architecture	2.79	2019年	2021年	-----
internet	2.64	2019年	2021年	-----

国内方面,由表4可以看出近3年突现的关键词按照突现强度排序为“汽车工程”“轨迹跟踪”“路径跟踪”“汽车产业”“人工智能”“自动驾驶”。国外方面,由表5可以看出近3年突现的关键词按照突现强度排序为“efficient(高效)”“vehicular communication(车载通信)”“ad hoc network(自主网)”“architecture(体系结构)”“internet(互联网)”“vehicle(车辆)”。反映出这些关键词领域在未来一段时间内仍会受到持续的关注,为国内外ICV的前沿热点。对比国内外突现词可知,ICV相关技术障碍仍是国内外的研究前沿,但国内外的研究侧重点有所不同。

国内学者较为注重汽车产业变革、自动驾驶行驶的智能性和安全性等。李方生等^[11]分析了中、德两国ICV的发展背景、特征,并指出了产业变革的战略选择问题。张琳等^[12]对智能汽车路径规划提

出优化策略,提高智能汽车在行驶换道的安全性和效率。此外,还有学者将主题向人工智能的法律责任等进行延伸,如张龙^[13]对L1到L5不同层级的自动驾驶中交通事故责任主体的认定进行研究。

国外学者较为注重技术层面的研究,如车载网络通信的效率、安全问题及寻求车联网技术所带来的各种挑战的解决方法。如Sadio等^[14]提出一个完整的软件定义车载网络原型的设计,提高车载通信网的通信质量。Awais Hassan等^[15]提出一种使用区块链技术对消息的可信度进行评估的安全分布式消息传递框架,可提高车辆直接信息传递的效率和安全性。

3 研究结论及展望

3.1 研究结论

运用CiteSpace、VOSviewer软件对CNKI、WOS收录的ICV文献数据进行图谱可视化分析,

探析国内外ICV研究现状、热点和发展趋势,并以此为基础对国内外研究进行对比,得出以下结论:

1)由文献的基本情况可以看出,国内ICV研究相较国外起步晚,且发展较慢。国内外对ICV相关的研究文献量整体呈现上升趋势,表明国际学者越来越重视ICV的发展。国内外的发文机构的主要力量为高校,其次为研究所,互联网科技公司初露锋芒,总体上机构之间合作均较为松散。跨界学者和机构应多交流、合作,加强知识的创新和共享,共同推动ICV的发展。

2)研究热点方面,相似性表现为:国内外学者均对ICV可能出现的障碍进行了技术研发、技术创新分析,并重视安全问题。异质性表现为:国内学者较为侧重国内的智能交通系统的建设、交通工程、汽车工程等较为宏观的产业方面的研究,且注意到了ICV给传统的汽车产业和法律带来的影响和变革。而国外学者对如机器学习等较为微观的技术和算法在ICV上的应用更为注重,且不满足于单纯的技术分析,还向系统的研发、车联网产业等方向拓展延伸。可见,全球对安全问题的关注度非常高,各国应规范数据安全、隐私保护准则,提高数据安全保障能力,加速ICV产业化落地。同时,全球需要建立起统一的标准法规,促使ICV国际化。

3)研究趋势方面,相似性体现在:解决ICV相关技术障碍仍是国内外的研究前沿,而国外研究比国内研究发展速度更快,主题演进呈现多样性的特点。异质性体现在:国内将智能汽车向汽车产业变革、人工智能的法律责任等方面进行延伸,国外将ICV转向范围更大的物联网技术所带来的各种挑战进行拓展外延,探索不同学科的交叉分析。

3.2 展望

回顾ICV的研究发展,虽然国内外都取得了进展,但综合比较国内外研究成果后,国内ICV研究还有很大的成长空间,国外的研究可以给国内研究提供以下两方面启示:

1)近几年,中国自主品牌汽车公司迅速朝“新四化”方向变革,如比亚迪、长城等传统车企加速向智能化转变,又如“蔚小理”等新势力造车的崛起,全栈自研推动智能化,还有如百度、腾讯、小米、华为等互联网科技公司不断向汽车行业涌入,为中国的汽车转型升级注入了持久的活力。然而,这方面的相关研究较少,还不足以形成研究主题,因此国内ICV研究的本土化水平还需进一步提高。虽然目前国内和国外的ICV研究已有异质性,但也只表

现为研究侧重点不同,作为正在快速发展的发展中国家,想要“弯道超车”,就必须提高自主创新的水平和尽快形成属于自己的研究主题,形成中国特色的研究体系。

2)国外ICV演化的主题更为丰富多样,不断向外拓展延伸,与众多学科交叉。相比之下,国内ICV的研究范围比较狭窄,可从多种学科综合研究来拓宽视野,更系统地对ICV领域进行研究。

参考文献

- [1] SHARMA M. How connected vehicle data is shaping the automotive industry [EB/OL]. [2022-06-13]. <https://www.counterpointresearch.com/connected-car-data-shaping-automotive-industry/>.
- [2] 李克强. 我看智能网联汽车十年发展[J]. 智能网联汽车, 2022(3):6-9.
- [3] YANG D, JIANG K, ZHAO D, et al. Intelligent and connected vehicles: current status and future perspectives[J]. Science China Technological Sciences, 2018, 61(10): 1446-1471.
- [4] KOLEKAR S, GITE S, PRADHAN B, et al. Behavior prediction of traffic actors for intelligent vehicle using artificial intelligence techniques: a review[J]. IEEE Access, 2021, 9:135034-135058.
- [5] WANG Z, ZHAN J, DUAN C, et al. A review of vehicle detection techniques for intelligent vehicles[J/OL]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems [EB/OL]. [2022-06-13]. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9670465>.
- [6] ZHANG R, ZHONG W, WANG N, et al. The innovation effect of intelligent connected vehicle policies in China[J]. IEEE Access, 2022, 10:24738-24748.
- [7] 肖明, 邱小花, 黄界, 等. 知识图谱工具比较研究[J]. 图书馆杂志, 2013, 32(3):61-69.
- [8] 钟伟金, 李佳. 共词分析法研究(一):共词分析的过程与方式[J]. 情报杂志, 2008(5):70-72.
- [9] 钟伟金, 李佳, 杨兴菊. 共词分析法研究(三):共词聚类分析法的原理与特点[J]. 情报杂志, 2008(7):118-120.
- [10] 虞秋雨, 徐跃权. 共词分析中高频词阈值确定方法的实证研究:以新冠肺炎文献高频词选取为例[J]. 情报科学, 2020, 38(9):90-95.
- [11] 李方生, 赵世佳. 中、德智能网联汽车的战略选择及主要特征[J]. 科技导报, 2020, 38(12):6-14.
- [12] 张琳, 章新杰, 郭孔辉, 等. 未知环境下智能汽车轨迹规划滚动窗口优化[J]. 吉林大学学报(工学版), 2018, 48(3):652-660.
- [13] 张龙. 自动驾驶型道路交通事故责任主体认定研究[J]. 苏州大学学报(哲学社会科学版), 2018, 9(5):73-80.
- [14] SADIO O, NGOM I, LISHOU C. Design and prototyping of a software defined vehicular networking[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 69(1):842-

850.

[15] AWAIS HASSAN M, HABIBA U, GHANI U, et al. A secure message-passing framework for inter-vehicular communication using blockchain[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2019, 15(2): 15501-47719829677.

A Visual Comparative Analysis of Domestic and Foreign Intelligent Connected
Vehicle Research Hotspots:
Based on bibliometrics

WANG Xiujie¹, CHEN Yunjing²

(1. College of Mechanical and Automotive Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, Guangxi, China;
2. College of Economics and Management, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, Guangxi, China)

Abstract: The bibliometric method is used to analyze the intelligent connected vehicle literature from 2000 to 2021, and the hot changes and development trends of domestic and foreign intelligent connected vehicle research are scientifically and objectively inferred and compared. The results show that both domestic and foreign scholars focus on the technical and safety aspects of research. Domestic scholars focus more on the technical aspects of China's intelligent transportation construction and extend to the changes in the automotive industry and the legal responsibilities of artificial intelligence. While, foreign scholars focus more on the application of artificial intelligence technology and new algorithms to the Internet of Vehicles and autonomous driving, and extend outreach to a wider range of Internet of Things technologies and other aspects to explore cross-analysis of different disciplines.

Keywords: intelligent connected vehicle; bibliometrics; CiteSpace; knowledge evolution; visualisation