

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.202306072024061987

文章编号:1674-599X(2024)03-0144-09

引用格式:张栋,钟仙玉,王小可,等.基于WOS的智能网联交通技术发展现状及趋势分析[J].交通科学与工程,2024,40(3):144-152.

Citation: ZHANG Dong, ZHONG Xianyu, WANG Xiaoke, et al. Development status and trends of intelligent connected transportation technology based on WOS[J]. J Transp Sci Eng, 2024, 40(3): 144-152.

基于WOS的智能网联交通技术发展现状及趋势分析

张栋¹,钟仙玉¹,王小可¹,魏胤呈²

(1.大连理工大学 建设工程学院,辽宁 大连 116024;2.香港大学 统计及精算学系,香港 999077)

摘要:为分析智能网联交通技术领域的研究现状,确定其发展走向,预测其发展趋势,并明确当前及未来的研究重点,结合智能网联交通技术实际发展状况,结合Web of Science核心数据库中的相关文献资料,运用文献计量学方法,从关键词频次、发文机构等角度绘制知识图谱进行分析,并解读当前的研究热点。研究表明:尽管国内研究起步较晚,但研究成果丰硕;国内在智能网联交通技术领域的研究主要集中在通信系统和控制系统的研发上;而国外更侧重于驾驶辅助系统的开发、预测控制模型以及网联环境下的交通安全等方面。综合以上信息,可以判断当前智能网联交通技术领域正处于快速发展阶段,新技术层出不穷。从论文发表数量来看,中国和美国在该领域占据领先地位,是科研的主要力量。

关键词:智能网联交通;CiteSpace;可视化分析;文献计量学

中图分类号:U49

文献标志码:A

Development status and trends of intelligent connected transportation technology based on WOS

ZHANG Dong¹, ZHONG Xianyu¹, WANG Xiaoke¹, WEI Yincheng²

(1. School of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. Department of Statistics and Actuarial Science, the University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China)

Abstract: Analyzing the current research landscape in the field of intelligent connected transportation technology, determining its development direction, predicting future trends, and clarifying the current stage and future research focuses play a crucial role in advancing this field in China. In this paper, we employ bibliometric methods to analyze the knowledge map by examining the frequency of key words, publishing institutions, and journals. We interpret the research hotspots, considering the current development of intelligent connected transportation technology and relevant literature from the core databases of Web of Science. By comparing research hotspots domestically and internationally, we found that: (1) domestic research started later but has produced more results; (2) domestic research in the field of intelligent connected transportation technology focuses on the development of communication systems, control systems, etc., whereas foreign research primarily focuses on the development of driver assistance systems, predictive control models, traffic safety in networked

收稿日期:2023-06-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71701031);中国博士后基金资助项目(2022M720643)

通信作者:张栋(1987—),男,讲师,主要从事智能交通领域的研究工作。E-mail:zhangdong@dlut.edu.cn

投稿网址:https://jtkxygc.csust.edu.cn/jtkxygc/home

environments, etc. Summarizing the above information, this paper concludes that the field of intelligent connected transportation technology is currently in a rapid development stage, with various new technologies emerging continuously. In terms of publication volume, China and the United States hold the top two positions and are the main contributors to research in this field.

Key words: intelligent connected transportation; CiteSpace; visual analytic; bibliometrics

目前,汽车正迅速向智能化发展,自动驾驶辅助系统已步入大规模产业化阶段。在此形势下,智能网联是实现自动驾驶的最佳途径,但是智能网联的实现需要满足环境感知、车路协同、控制执行等技术要求。智能网联交通技术的核心为信息交互,虽然现阶段中国道路交通系统较为完善,但是要实现智能网联,须对道路设施进行全面升级优化。

关于智能网联交通技术的研究,大部分集中在网联车 (connected vehicle, CV) 和自动驾驶 (automated vehicle, AV) 技术上。SHLADOVER^[1]深入探讨了两者的概念和差异,并分析了它们潜在的协同效应;缪立新等^[2]将车联网技术分别划分为车载通信技术和集车载技术与外部环境于一体的智能化技术;黄晓延等^[3]在研究智能网联交通系统的关键技术中,探讨了相关技术的现状;钱志鸿等^[4]重点分析了智能网联交通关键技术的研究成果;LETTER等^[5]提出,通过关键通信技术控制入口匝道合流处车辆的运行,可以提高交通运行效率,缓解拥堵;LIAN等^[6]通过总结数据、模型和技术及主题,讨论了大数据在智能交通系统 (intelligent traffic system, ITS) 和自动驾驶车辆 (connect automated vehicle, CAV) 中的安全应用。

了解领域研究现状、发展趋势及研究重点对中国在智能网联交通技术领域的发展具有重要意义,但在现有研究中,分析智能网联交通技术领域的现状、发展趋势及重点的研究相对较少。因此,本文基于CiteSpace软件生成的知识图谱,运用文献计量学的相关方法,以可视化的方式揭示原本离散的相关信息主题之间的逻辑关系,全面客观地梳理了自2000年以来智能网联交通技术领域中的研究热点和重点,还介绍了每一阶段的研究技术,并通过分析各发展时期的相互联系,总结了智能网联交通技术的演进趋势。

1 数据来源和分析方法

1.1 数据来源

本文以Web of Science (WOS) 核心数据库作为国内外论文数据来源。通过阅读相关文献,发现在智能网联交通系统领域的外文文献中,主要关键词包括“intelligence transportation system”等。其中,智能驾驶车辆、网联车辆为该研究方向的重点对象。因此,在WOS核心数据库中确定的检索式如下:TS= ("intelligence transportation system" or "connected vehicles" or "adaptive cruise control" or "highway driving pilot" or "traffic jam pilot" or "internet of vehicles" or "automobile digitalization")。

本文用上述检索式进行检索,检索日期为2022年5月1日,检索时间跨度为2000年至2021年,文献类型限定“article”和“proceeding paper”。完成初步检索后,再进行去重筛选等步骤,共得到6 655篇英文文献作为有效数据来源。

1.2 分析方法

文献计量方法最早由HULME于1923年以“文献统计学”的形式提出,而“文献计量学”这一专业术语则是由PRITCHARD在1969年正式确立的,此后,它成为了情报学和文献学领域的重要研究方法,与学科分支。文献计量学以洛特卡定律、奇普夫定律等统计规律为核心,具有分析结果客观且易于比较的特点。在交通运输领域,文献计量学得到了广泛应用,如万明等^[7-12]借助CiteSpace等文献计量软件,研究了道路交通安全、城市轨道交通对土地利用的影响、共享出行、公共自行车出行、TOD发展和城市交通网络设计等。

本文使用CiteSpace软件进行可视化分析。该软件是由美国Drexel大学陈超美教授开发的一款基于文献计量学的引文可视化分析软件。它通过可视化手段展现知识的组成结构和规律分布情况。该软件的主要功能包括作者、机构、地区分析,共词

分析,共被引分析,时间序列分析,引文耦合和突变分析等。它可以通过关键词绘制聚类图谱和时区图,探究某一特定专业领域内的研究热点和前沿趋势,预测未来该领域的研究态势。

2 基于论文数据的结果解读与分析

2.1 文献的数量特征分析

2.1.1 智能网联交通技术领域年度发文量

从时间维度来分析智能网联交通技术领域的发文数量,不仅可以反映该领域每年的研究方向及关注度,也可以观察智能网联交通技术的整体发展水平与趋势。在2000年至2021年期间,发表在WOS核心数据库上的智能网联交通技术领域的发

文情况如图1所示。从图1可以看出,智能网联交通技术的研究呈先平稳后加速的发展趋势,这与近20年来科学技术的飞速发展、汽车产业的持续革新以及“智能”相关概念的不断提出密不可分。在2000年至2011年期间,智能网联交通技术领域的相关论文发表较少,增长趋势极其缓慢,说明在此段时间里,智能网联交通技术并不发达,因而没有成为研究热点。从2011年开始,该领域的研究发展迅速,发文量猛增,这是由于学术界开始重视通信技术的效能提升、自动巡航系统的研究与应用以及各种学习算法的实际应用,同时国际汽车企业也开展了相关研究,吸引了大量学者投身于该领域的研究工作之中。

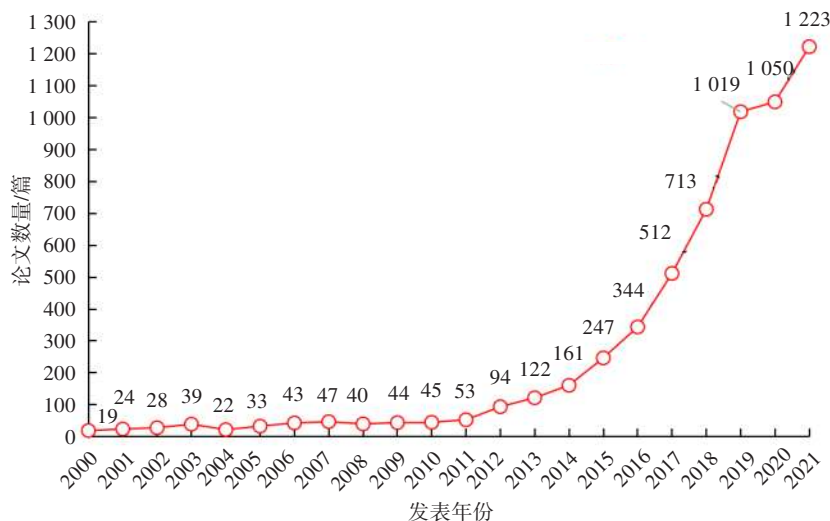


图1 WOS核心数据库中智能网联交通技术领域2000—2021年发文数量分布图

Fig. 1 Distribution of the number of publications in the field of intelligent connected transportation technology in the WOS core database from 2000 to 2021

2.1.2 智能网联交通技术领域文献发表地域分布

为直观分析智能网联交通技术领域各个国家或地区的发文情况及合作情况,将WOS核心数据库中的相关数据导入CiteSpace软件,并进行相应的可视化分析。将下载的文数据导入CiteSpace后,设置时间为2000年至2021年,并将时间切片设定为1,节点类型选择国家/地区。经过可视化处理后,结果如图2所示。在图2中,每个节点代表一个发文国家或地区,节点大小代表该国家或地区的发文数量,节点间的连线代表合作关系,节点间连线的线宽表示两个国家或地区之间合作的紧密程度。

从图2可以看出,共有111个节点,305条连线,



图2 文献高产地区合作网络图

Fig. 2 Cooperation network map of high yielding areas of literature

这表示截至数据收集时间,全世界范围内已有111个国家或地区在智能网联交通技术领域开展了研究,并发表了相关文章。在智能网联交通技术领域内发文量排名前五的国家或地区见表1。

表1 智能网联交通技术研究地域一览表(按发文量排名前五)

Table 1 A regional overview of research in intelligent connected transportation technology (sorted by number of publications-Top 5)

序号	国家或地区	发文量
1	中国大陆	2 250
2	美国	1 838
3	德国	434
4	加拿大	367
5	英国	367

从表1中地域发文量排序上来看,中国大陆以2 250篇发文量占据绝对优势,排在第一位;美国以1 838篇发文量,排名第二;排名前两位的国家或地区的发文量都数以千计,与排名第三的德国(发文量434篇)之间存在显著差距;而加拿大与英国则以367篇发文量并列排在第四位。

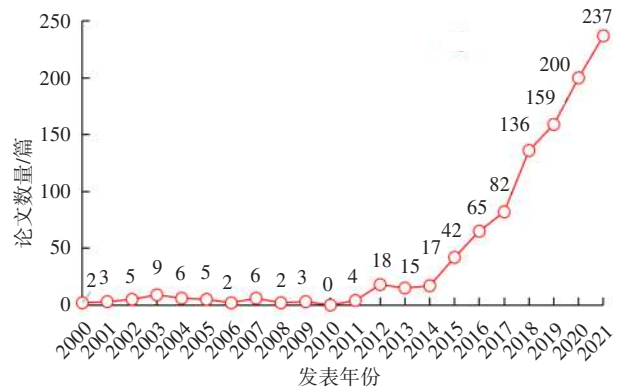
CiteSpace的中心性表示一个节点作为其他节点连接桥梁的次数,中心性越大,表明该节点在其研究领域内越重要。其中,当中心性的值大于0.1时,表示该节点在其研究领域内具有较大的话语权。由表2中智能网联交通技术研究地域的中心性排序可知,中心性排名前五的国家或地区分别为美国(0.30)、意大利(0.19)、中国大陆(0.16)、英国(0.15)和法国(0.11),它们的中心性均大于0.1。表明这5个国家或地区在智能网联交通技术领域处于领导地位,与其他国家或地区有密切的合作关系。

表2 智能网联交通技术研究地域分布一览表(按中心性排名前五)

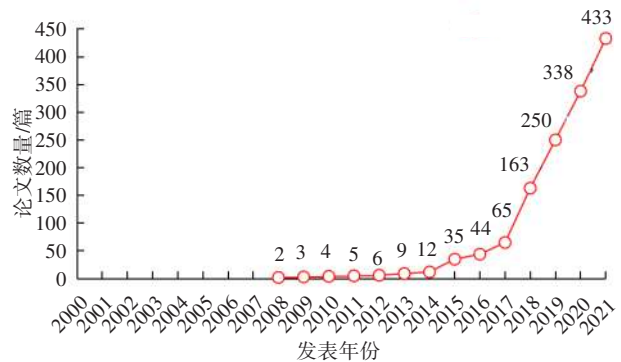
Table 2 A regional overview of research in intelligent connected transportation technology (sorted by centrality-Top 5)

序号	国家或地区	中心性
1	美国	0.30
2	意大利	0.19
3	中国大陆	0.16
4	英国	0.15
5	法国	0.11

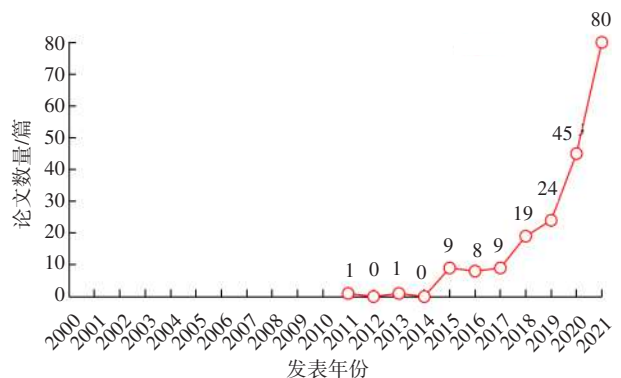
综合表1~2可以看出,美国无论是在发文数量还是在中心性上,都稳居前列,且其中心性与第二名之间相差0.11,由此可见美国在此领域的研究地位较为突出。将发文量排名前四的国家或地区的年度发文量从CiteSpace软件中导出,结果如图3所示。从图3可以看出,除了美国,其他国家或地区在2008年之前没有任何相关文献发表。而加拿大的研究起点相对更晚,在2011年之前都没有发表相关文献。在年度发文趋势上,这四个国家或地区均呈现逐年升高的趋势。其中,美国在该领域的研究起步较早,发文量也最多,与其他国家或地区的联系紧密,在研究中占据着绝对优势。



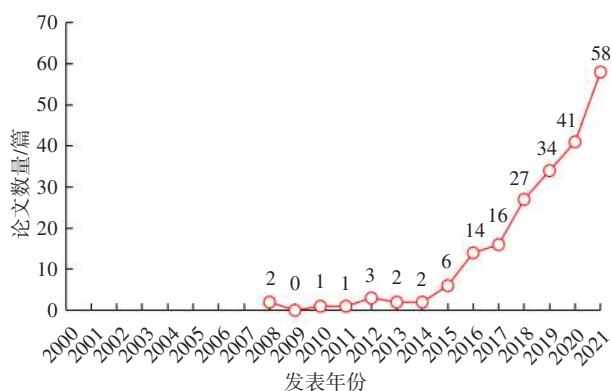
(a) 美国年度发文趋势



(b) 中国大陆年度发文趋势



(c) 加拿大年度发文趋势



(d) 英国年度发文趋势

图3 美国、中国大陆、加拿大、英国发文趋势

Fig. 3 Publication trends in the US, China's mainland, UK, and Canada

2.2 文献的机构、作者合作分析

2.2.1 智能网联交通技术领域作者及合作网络

在CiteSpace软件的功能区中,选择作者作为分析对象,并将时间切片(time slicing)设定为6年,阈值(thresholds)设定为1,同时不设定剪枝,生成作者合作网络,如图4所示。从图4可以看出,一个类别代表一个合作群体,一个节点的作者名字字号越大,代表该作者与其他作者之间的合作次数越多。

从合作群体来看,SHLADOVER与MILANES为一个研究群体,以MILANES等为例,其研究主要针对智能汽车自适应巡航系统(adaptive cruise control, ACC)应用装置;LEE与PARK为一个研究群体,以LEE等为例,其研究主要针对车联网条件下的交叉口控制。



图4 智能网联交通技术领域作者合作网络

Fig. 4 Author collaboration network in the field of intelligent connected transportation technologic

2.2.2 智能网联交通技术研究所属机构分析

通过分析机构的发文数量,可以了解该领域内最新研究进展及合作情况。本文主要对智能网联

交通技术领域发文数量排名前五的发文机构进行统计,并计算这些机构近五年的发文活跃度(表3)。

由表3可知,在智能网联交通技术领域发文量排名前五的全部为高校,由此可以看出,在该研究领域中,高校教师是主要的研究力量。在这五所高校中,有3所中国高校,1所美国高校,1所荷兰高校。其中,加利福尼亚大学(含分校)发文量最多,对智能网联交通领域贡献最大;东南大学发文127篇,发文量排名第三,但近五年发文活跃度高达87.4%,位居榜首。

表3 发文机构及活跃度

Table 3 Publishing institutions and activity levels

序号	发文机构	总发文量	近五年发文量	活跃度/%
1	加利福尼亚大学(含分校)	295	171	58.0
2	清华大学	183	132	72.1
3	东南大学	127	111	87.4
4	同济大学	126	103	81.7
5	代尔夫特理工大学	125	77	61.6

2.3 研究热点分析

研究热点是指在某一时间段内,众多论文共同关注并探索的具有内在联系的主题。为了确定某一领域的研究热点,需要考虑其频率及中心性。本文利用CiteSpace中的共词-关键词分析功能对国内外文献进行关键词的共现分析、聚类分析及时区图分析,探究近12年内智能网联交通技术领域的研究发展趋势和热点。

共词分析是内容分析法的一种,它通过对文献中词汇对或名词短语的统计来反映关键词之间的关联程度,进而确定该领域的研究热点及组成。一个关键词出现的频率越高,说明该主题在相应的研究领域受到的关注度越高。

为了分析国内外的研究热点,从WOS核心数据库中按照国家或地区分类下载论文数据,将中国大陆及中国台湾作为国内研究资料,其他国家或地区发表的论文作为国外研究资料。

2.3.1 国内智能网联交通技术领域文献研究热点

在剔除检索时使用的关键词短语后,根据剩余关键词的出现频次与分布情况,分别得到国内智能网联交通技术领域排名前五的关键词(表4)及研究热点知识图谱(图5)。从关键词的出现频次来看,智能网联交通技术领域排名前五的高频词依次为:车联网(internet of vehicles)、自动车(autonomous

vehicle)、设施(architecture)、队列稳定性(string stability)和碰撞(impact)。

表4 国内智能网联交通技术领域关键词一览表(排名前五)

Table 4 List of key words in the field of domestic intelligent connected transportation technology (Top 5)

序号	关键词	频次	序号	关键词	中心性
1	internet of vehicles	85	1	string stability	0.16
2	autonomous vehicle	79	2	traffic flow	0.16
3	architecture	78	3	stability	0.13
4	string stability	78	4	impact	0.07
5	impact	77	5	algorithm	0.06

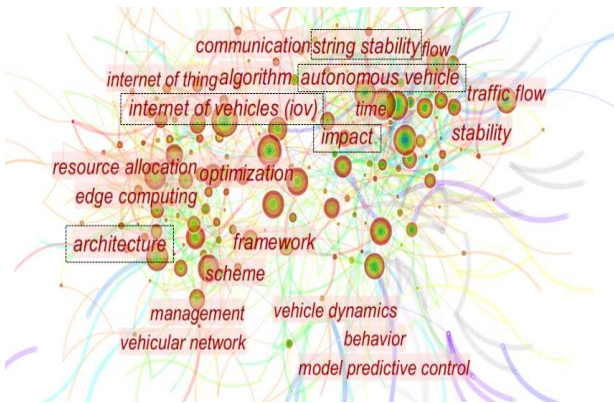


图5 国内智能网联交通技术领域研究热点知识图谱

Fig. 5 Knowledge graph of domestic research hotspots in the field of intelligent connected transportation technology

结合关键词出现频次及中心性数据,合并意义相近的关键词后,确定了智能网联交通技术领域的主要研究热点,主要由以下关键词构成:①车联网;②队列稳定性;③算法优化。

利用 CiteSpace 软件中的对数似然比(log-likelihood ratio, LLR)函数对关键词节点进行聚类分析,并对所得结果进行调整得到聚类图,如图6所示。在图6中,节点处的圆圈大小代表关键词频次,关键词出现次数越多,圆圈越大;圆圈最外层的最深色表示该关键词为近期的研究热点,而最里层则反之。

聚类图左上角的模块值,简称Q值;聚类平均轮廓值,简称S值。这两个指标分别用于衡量聚类结果的显著性与可靠性。通常认为,当Q值大于0.3时,表示聚类结果具有显著性;当S值大于0.5时,表示聚类结果是合理的,特别是当S值大于0.7时,表示聚类结果令人信服。在此次聚类分析中,Q值大于0.7,S值大于0.9,表示结果显著且可信。

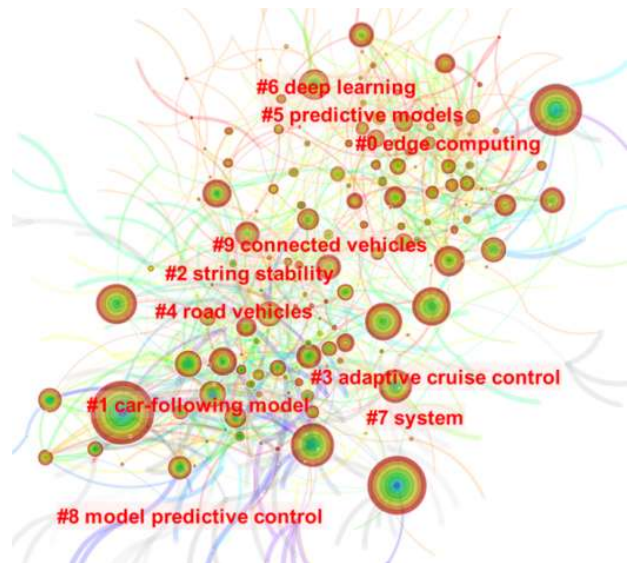


图6 国内智能网联交通技术领域关键词聚类分析图

Fig. 6 Cluster analysis of key words in the field of domestic intelligent connected transportation technology

排名前五的聚类信息如下:

- 1) 边缘计算(edge computing)。其包括云计算、资源配置、无线通信等关键词。
- 2) 车辆跟驰模型(car-following model)。其包括全局最优性、耗能、车辆稳定性等关键词。
- 3) 排队稳定性(string stability)。其包括队列控制、多种车辆排队、制动系统等关键词。
- 4) 自适应巡航系统(adaptive cruise control)。其包括驾驶员表现、速度控制、有限状态机等关键词。
- 5) 道路车辆(road vehicles)。其包括混合动力汽车、数据挖掘、车内安全信息等关键词。

2.3.2 国外智能网联交通技术领域研究热点

国外文献的分析过程与国内的相似,经过处理得到了排名前五的关键词一览表(表5)及关键词知识图谱(图7)。

国外智能网联交通技术排名前五的研究热点为:①自动车(autonomous vehicle);②碰撞(impact);③车联网(internet of vehicle);④网络(network);⑤交通流(traffic flow)。

国外文献的关键词聚类结果如图8所示。在此聚类中,Q值为0.488 2,S值为0.772 5,说明聚类结果显著且可靠。排名前五的聚类信息如下:

- 1) 社会网络(social internet)。包括车联网、智慧城市、智能交通系统等关键词。
- 2) 自动驾驶(automated driving)。包括驾驶员

表5 国外智能网联交通技术领域关键词一览表(排名前五)

Table 5 List of foreign key words in the field of intelligent connected transportation technology (Top 5)

序号	关键词	频次	序号	关键词	中心性
1	autonomous vehicle	169	1	traffic flow	0.11
2	impact	138	2	intelligent vehicle	0.09
3	internet of vehicle	125	3	automotive radar	0.08
4	network	109	4	collision avoidance	0.07
5	traffic flow	108	5	string stability	0.06

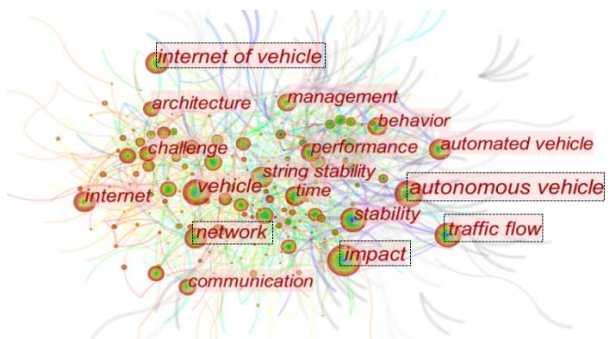


图7 国外智能网联交通技术领域研究热点知识图谱

Fig. 7 Knowledge graph of foreign research hotspots in the field of intelligent connected transportation technology

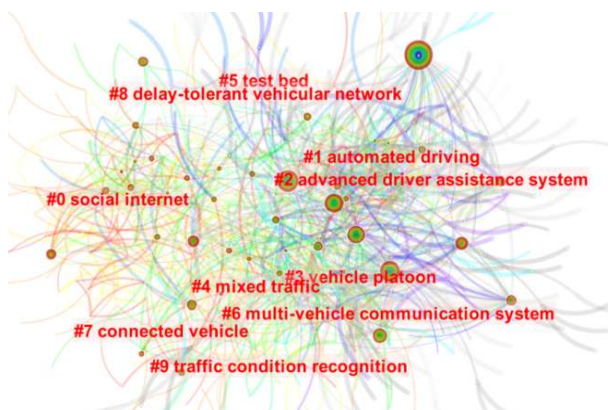


图8 国外智能网联交通技术领域关键词聚类分析图

Fig. 8 Cluster analysis of foreign key words in the field of intelligent connected transportation technology

辅助系统、交通流、基于自动车辆的驾驶服务等关键词。

3) 高级驾驶辅助系统(advanced driver assistance system)。包括自适应巡航系统(ACC)、智能系统、驾驶员辅助系统等关键词。

4) 车辆排队(vehicle platoon)。包括混合交通、生态自适应巡航系统、预期宏观双向交通模型等关

键词。

5) 混合交通(mixed traffic)。包括道路粗糙程度、车联网环境、走走停停的交通波等关键词。

2.4 研究前沿分析

突显词是指在一定时期内被引次数或出现次数突然增加的关键词。关键词的突显分析可用于识别和探索某一研究领域的研究前沿及最新趋势。将WOS核心数据库中储存的智能网联交通技术领域的文献数据按照国内和国外分类后,分别导入CiteSpace软件中。首先选择节点类型(node types)中的关键词(key words),并在选项栏中选择突变术语(burst terms),再从弹出的控制面板中选择突发性(burstness)作为分析参数,最后导出关键词突变列表。

2.4.1 国内研究前沿

根据CiteSpace软件中关键词突变算法得到的分析结果如图9所示。从图9可以看出,国内研究突显的关键词有:① 车辆动力学(vehicle dynamics)。该研究前沿主要针对联网车辆的队列问题,通过对协同式自适应巡航系统的研究,引入队列状态跟踪误差系统,提出了改进的全局自适应动态规划方法,以确保队列间距的稳态差距为零。其突显强度为9.33,突显开始时间为2021年。② 入侵检测(intrusion detection)。随着车联网技术的不断发展,随之而来的安全威胁也日益增多。在某些

Top 20 key words with the strongest citation bursts

Key words	Year	Strength	Begin	End	2006—2022
adaptive cruise control (acc)	2006	7.46	2006	2017	
traffic flow	2006	4.91	2006	2017	
stability	2006	7.77	2007	2017	
car-following model	2006	4.65	2008	2016	
model predictive control (mpc)	2006	4.01	2010	2018	
adaptive cruise control	2006	5.21	2012	2016	
car following model	2006	4.04	2012	2016	
system	2006	5.52	2014	2018	
ad hoc network	2006	5.34	2015	2018	
full velocity	2006	5.34	2015	2018	
time	2006	4.38	2015	2018	
intelligent transportation system	2006	4.88	2017	2019	
design	2006	4.42	2017	2017	
road vehicle	2006	3.78	2019	2020	
strategy	2006	3.76	2019	2019	
vehicle dynamics	2006	9.33	2021	2022	
computational modeling	2006	5.10	2021	2022	
intrusion detection	2006	3.80	2021	2022	
mathematical model	2006	3.80	2021	2022	
predictive model	2006	3.71	2021	2022	

图9 国内智能网联交通技术领域研究前沿-关键词突变列表
Fig. 9 Domestic research frontier-key words mutation list in the field of intelligent connected transportation technology

情况下,车辆内部及外部的数据仅由软件定义的硬件传输,一旦配置出现错误,黑客侵入控制系统,将会产生严重后果。针对此问题,该研究前沿提出了入侵检测及修补机制,以有效抵抗此类攻击,保障车联网系统的安全性。其突显强度为3.80,突显开始时间为2021年。③ 预测模型(predictive model)。通过模型预测控制,使系统能够实现高控制性能,避免网络延迟、丢包等问题,从而减少交通拥堵,确保驾驶舒适性和高响应性。这些应用高度依赖信息更新和通信的可靠性来实现系统的安全性和稳定性。该研究提出了基于模型预测控制的协同自适应控制和编队方法,并研究了通信损耗对控制方案性能和鲁棒性的影响,证明了该方法在减弱干扰和改善交通流量方面具有潜力。此外,还提出了一种基于高斯学习的模糊预测巡航控制方法,提高了跟驰场景中互联车辆的燃油效率和安全性。其突显强度为3.71,突显开始时间为2021年。这表明,近几年国内在智能网联交通技术领域的关注点已逐步从各项技术的改进与研发上转向人工智能的安全问题上。

2.4.2 国外研究前沿

从关键词突显列表(图10)中可以看出,国外在智能网联交通技术领域的研究前沿主要集中在以下几个方向:

1) 安全(security)。其突显强度为4.54,突显开始时间为2020年。为减少驾驶员错误,提高运输安

全性和移动性,降低对环境的负面影响及经济成本。该研究前沿提出了高级驾驶员辅助系统(advanced driver assistance system, ADAS)。该系统在没有驾驶员干预的情况下,保持驾驶所需要的速度,并通过自适应巡航控制(adaptive cruise control, ACC)系统调节车辆的速度,以确保与前方车辆保持安全跟驰距离。

2) 实时系统(real-time system)。突显强度为5.10,突显开始时间为2021年。随着联网车辆的普及,车辆之间需要进行大量的实时信息交换。它允许车辆即时获取关键信息,减少交通拥堵,并实时监控,以防止车辆系统受到外部黑客的攻击。

3) 可变限速(variable speed limit)。突显强度为4.74,突显开始时间为2021年。

3 结论

本文以WOS核心数据库中2000年至2021年智能网联交通技术领域的期刊论文为研究对象,利用文献计量学分析方法,借助CiteSpace软件进行文献可视化,对智能网联交通技术领域的研究现状、发展趋势和研究重点等进行多角度统计分析,得出以下结论:

1) 中国在智能网联交通技术领域的研究虽起步较晚,但成果丰富。

2) 从全球范围来看,智能网联交通技术领域在2010年前不热门,研究论文发表数量有限,但自2010年起,论文发表数量显著增长,这主要归因于:① 各国政府加大对智能交通技术的政策支持,提供高额补助,这吸引了众多科研工作者投入该领域的研究;② 科技巨头企业看好该领域的发展前景,投入大量资金,推动了行业的发展。

3) 近年来,国内外在智能网联交通技术领域的研究热点大体相似。国内的研究主要集中于算法优化、智能设施、通信系统、控制系统的研究与开发等方面;国外的研究主要集中于驾驶辅助系统的研发、网络边缘技术改进、预测控制模型以及交通安全等方面。

4) 在研究前沿方面,国内外存在一定差异。从图9~10可以看出,国外在数据建模与实时系统方面的研究更为突出,这为中国未来的智能网联交通技术研究提供了参考方向。

从关键词的演变路径可以看出,智能网联交通

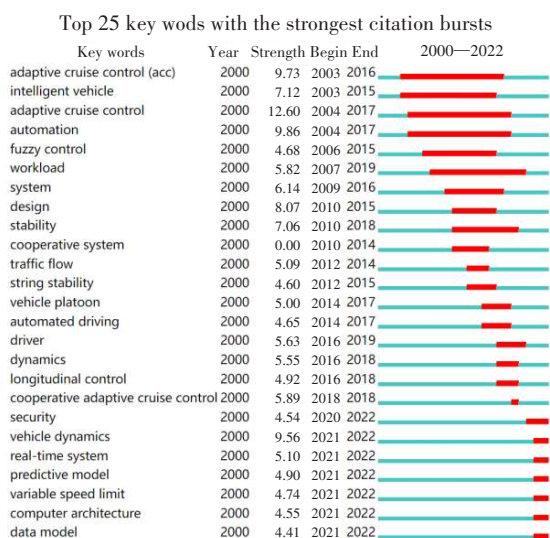


图10 国外智能网联交通技术领域研究前沿-关键词突变列表

Fig. 10 Foreign research frontiers-key words mutation list in the field of intelligent connected transportation technology

技术研究早期聚焦于自动驾驶技术、车联网通信技术、辅助驾驶技术等方面,而当前,智能网联交通技术的研究热点已转向算法、安全控制、智慧城市等领域,在智能交通系统大类中每年都会涌现出新的研究热点。

通过归纳总结现存智能网联交通技术发展现状及趋势的期刊论文,发现其对于智能网联交通技术未来发展趋势的展望主要集中在感知技术的发展与应用、优化决策机制的改进、网联化与自动驾驶技术的融合,以及车路协同感知一体化技术的发展与应用等方面。这些分析与本文的研究结论基本一致,但国内针对网联汽车的网络安全控制问题尚未有详细介绍。因此,在未来的研究中,不仅要关注网联汽车行驶时的道路安全问题,还应重视智能交通系统的网络安全问题。

参考文献(References):

- [1] SHLADOVER S E. Connected and automated vehicle systems: introduction and overview [J]. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2018, 22(3): 190-200. DOI: 10.1080/15472450.2017.1336053.
- [2] 缪立新,王发平. V2X 车联网关键技术研究及应用综述[J]. *汽车工程学报*, 2020, 10(1): 1-12. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2020.01.01.
MIAO Lixin, WANG Faping. Review on research and applications of V2X key technologies [J]. *Chinese Journal of Automotive Engineering*, 2020, 10(1): 1-12. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2020.01.01.
- [3] 黄晓延,段佳冬,张宇飞. 智能网联交通系统的关键技术与发展[J]. *电子世界*, 2020(18): 8-9. DOI: 10.19353/j.cnki.dzsj.2020.18.003.
HUANG Xiaoyan, DUAN Jiadong, ZHANG Yufei. Key technologies and development of intelligent networked transportation system[J]. *Electronics World*, 2020(18): 8-9. DOI: 10.19353/j.cnki.dzsj.2020.18.003.
- [4] 钱志鸿,田春生,郭银景,等. 智能网联交通系统的关键技术与发展[J]. *电子与信息学报*, 2020, 42(1): 2-19. DOI: 10.11999/JEIT190787.
QIAN Zhihong, TIAN Chunsheng, GUO Yinjing, et al. The key technology and development of intelligent and connected transportation system [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2020, 42(1): 2-19. DOI: 10.11999/JEIT190787.
- [5] LETTER C, ELEFTERIADOU L. Efficient control of fully automated connected vehicles at freeway merge segments[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, 80: 190-205. DOI: 10.1016/J.TRC.2017.04.015.
- [6] LIAN Y Q, ZHANG G Q, LEE J, et al. Review on big data applications in safety research of intelligent transportation systems and connected/automated vehicles [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2020, 146: 105711. DOI: 10.1016/j.aap.2020.105711.
- [7] 万明,吴倩,严利鑫,等. 道路交通安全研究的现状与热点分析[J]. *交通信息与安全*, 2022, 40(2): 11-21, 37. DOI: 10.3963/j.jssn.1674-4861.2022.02.002.
WAN Ming, WU Qian, YAN Lixin, et al. A review of current situation and hot spots of road safety research[J]. *Journal of Transport Information and Safety*, 2022, 40(2): 11-21, 37. DOI: 10.3963/j.jssn.1674-4861.2022.02.002.
- [8] 何尹杰,吴大放,刘艳艳. 城市轨道交通对土地利用的影响研究综述: 基于CiteSpace的计量分析[J]. *地球科学进展*, 2018, 33(12): 1259-1271.
HE Yinjie, WU Dafang, LIU Yanyan. Review on the impacts of public rail transport on urban land use change: a CiteSpace-based quantitative analysis [J]. *Advances in Earth Science*, 2018, 33(12): 1259-1271.
- [9] 任晓红,柳春花. 共享出行领域研究现状、热点及前沿: 基于CiteSpace的文献计量分析[J]. *科学技术与工程*, 2022, 22(12): 5009-5019. DOI: 10.3969/j.issn.1671-1815.2022.12.042.
REN Xiaohong, LIU Chunhua. Research status, hotspots and frontiers in the field of shared mobility: a bibliometric analysis based on CiteSpace [J]. *Science Technology and Engineering*, 2022, 22(12): 5009-5019. DOI: 10.3969/j.issn.1671-1815.2022.12.042.
- [10] 梁凯丽,曹小曙,黄晓燕. 基于知识图谱的公共自行车出行研究进展[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(6): 762-773. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.06.011.
LIANG Kaili, CAO Xiaoshu, HUANG Xiaoyan. Research progress on bikesharing travel based on CiteSpace [J]. *Progress in Geography*, 2017, 36(6): 762-773. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.06.011.
- [11] 邓元媛,常江,卓轩. 近二十年国内外TOD研究进展综述: 基于CiteSpace软件的可视化分析[J]. *现代城市研究*, 2019, 34(2): 94-100. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6000.2019.02.013.
DENG Yuanyuan, CHANG Jiang, ZHUO Xuan. A summary on TOD research at home and abroad during recent two decades: an analysis based on the visual analysis into CiteSpace software [J]. *Modern Urban Research*, 2019, 34(2): 94-100. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6000.2019.02.013.
- [12] JIA G L, MA R, HU Z H. Review of urban transportation network design problems based on CiteSpace [J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 2019: 1-22.

(责任编辑:罗容;英文编辑:张洪)