

- Choice and Changing under Actual Highway Conditions [J]. Accident Analysis and Prevention, 2013, 52: 125-132.
- [11] 鲁光泉, 赵鹏云, 王兆杰. 自动驾驶中视觉次任务对年轻驾驶人接管时间的影响[J]. 中国公路学报, 2018, 31(4): 7-7.
- [12] 高岩, 尤志栋, 罗毅, 等. 基于驾驶模拟的自动驾驶接管行为研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(2): 140-146.
- [13] HAPPEE R, GOLD C, RADLMAYR J, et al. Take-over Performance in Evasive Manoeuvres [J]. Accident Analysis and Prevention, 2017, 106: 211-222.
- [14] Papazikou E, Thomas P, Quddus M. Developing personalised braking and steering thresholds for driver support systems from SHRP2 NDS data [J]. Accident Analysis and Prevention, Elsevier Ltd, 2021, 160 (August): 106310.
- [15] 滕承秀. 对企业绩效影响的多重共线性检验[J]. 统计与决策, 2019, 35(09): 178-181.
- [16] 唐志荣. 基于危险势能场的车辆转向避撞路径规划与跟踪研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.

区块链技术在交通领域中的应用综述

张 傲 段续庭*

(大数据科学与脑机智能高精尖创新中心, 车路协同与安全控制北京市重点实验室,
北京航空航天大学交通科学与工程学院)

摘 要 随着智能交通不断发展, 新兴技术引入交通领域的同时也为之带来一些安全隐患, 对智能交通系统网络安全的关注逐渐增多。将区块链技术融入智能交通领域可以为网络安全问题提供解决方案。区块链技术以计算机网络为基础、依靠智能合约对去中心化信息处理、结合密码学防篡改提高安全性、通过共识算法解决分布式一致性问题。但有关区块链应用综述大多数围绕金融领域展开探究, 本文回顾区块链的发展历程, 并通过介绍区块链架构与关键技术完整地认知区块链技术。总结区块链技术在交通领域、车联网领域与军事领域的应用与研究进展, 并分析区块链技术在各领域的适用性。综述表明, 区块链技术驱动各领域的革新, 将成为支撑智能交通系统网络安全的核心技术。

关键词 网络安全 交通 区块链技术 车联网 应用

0 引言

随着科技革命的不断演进, 促进交通行业的数据驱动发展, 推动人工智能与大数据等前沿技术与交通运输相结合发展成为智能交通。交通运输逐渐自动化、数字化与智能化是交通发展的必然趋势。将人工智能应用在交通领域以实现网联车辆的发展目标, 应用大数据使交通数字化以提高智能交通的发展水平^[1]。

智能交通发展离不开大数据分析、人工智能、信息技术等先进技术的创新, 但这些新兴技术的融入也给智能交通系统带来了一定程度的安全风险, 引起社会对智能交通系统网络安全的关注。在发展创新技术的同时转向安全、高质的发展阶

段, 目前智能交通系统网络中跨区域的共享机制不完善、部门之间的协作效率低, 还存在一系列的海量数据共享与存储、信息获取与篡改及用户隐私泄露等网络安全问题。为解决上述一系列问题, 在智能交通系统网络中引入区块链技术, 在区块链技术下的数据是真实可信不可篡改的、可以为海量数据的存储与共享提供技术支撑、实现交通数据可追溯防攻击等。

近年来区块链为交通领域的建设提供了技术支撑, 如利用区块链技术共享交通拥堵情况、道路车流量等数据信息以解决交通运输中的信息闭塞与数据整合困难的问题; 与边缘计算等技术相结合应用至车联网中提升系统整体安全与协同能力, 为交通出行提供安全保障。由此, 区块链技术

将逐渐成为解决智能交通系统网络安全问题的关键技术之一。

区块链技术在各行各业的应用进展迅速,得到高度关注。区块链在去中心化、溯源、信任等方面都展现了显著优势,逐渐被应用到金融、物流、医疗等方面,有关区块链技术应用的综述也仅围绕这些方面展开。目前,区块链的应用场景较多且繁杂,为加快新一代技术与交通运输融合、提升交通运输质量、交通管理逐渐智能协同、交通系统网络安全可靠,对目前区块链在交通领域的相关应用进行梳理。

本文首先回顾区块链发展历程,并介绍区块链基础架构与原理,针对区块链在交通运输、车联网与军事领域的应用与研究成果进行总结,并对未来区块链在智能交通领域的发展趋势进行展望。

1 区块链技术概述

1.1 区块链技术发展

区块链的概念由中本聪^[2]首次提出,它的本质

是一种由密码学与验证技术作为技术支撑、根据时间的顺序进行存储的分布式共享数字账本。通过共同管理的组网方式逐渐成为解决信任危机的革命性技术。区块链的发展阶段如图1所示。区块链技术在第一阶段中诞生,但这个阶段只体现在数字货币中;在第二阶段中解决智能合约技术难题,逐渐在金融领域崭露头角;第三阶段引领了新一代的技术革命,将广泛应用到各行各业。

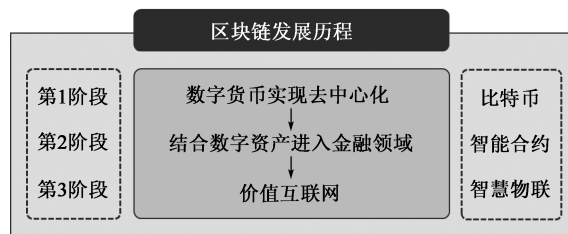


图1 区块链的发展阶段

在区块链的发展过程中,逐渐被分为以读写权限公开的公有链、只有指定节点达成共识的联盟链以及形成组织节点的私有链三类,如表1所示。

区块链分类

表1

区块链	非许可链	许可链	
	公有链	联盟链	私有链
共识	所有节点	指定节点集	指定组织
读写权限	公开	公开/限制	公开/限制
安全性	高	低	低
效率	低	高	高
信任	去信任	去信任	相互信任
去中心化	是	局部	否

公有链实现完全去中心化、不受第三方约束;私有链中心化节点的权限被不同程度限制;而联盟链事为一个或多个组织一起对区块链管理。整体来看,这三类区块链都是区块链技术在适应不同的应用需求,区块链技术及其应用仍然处于一个探索的阶段,它的概念验证目前多于实际的应用落地,商业模式也有待更加清晰。

1.2 区块链架构与关键技术

区块链可以通过多种技术得以实现,其系统由数据层、网络层、共识层、激励层、合约层和应用层组成,为了清晰理解各层执行功能,本文结合已有研究,给出如图2所示的系统架构。

数据层:数据层封装应用过程中的交易数据至数据区块,根据区块中的时间戳对各区块排序到主区块链中,从而对网络中的区块进行更新。

网络层:在网络层中制定验证机制与传播协议来满足不同的应用需求,区块链的节点都可以参与检验和记账,并且满足仅当区块数据通过全网大部分节点验证后,才能记入区块链。

共识层:使网络中的分布式节点的数据形成共识,典型的共识层中的共识机制如表2所示。这些共识机制各有优劣,可以根据实际情况具体分析与应用。

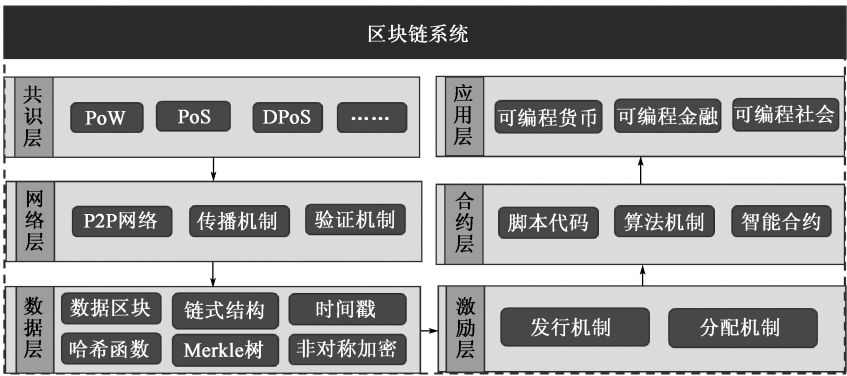


图2 区块链系统架构

共识机制特点

表 2

Property	PoW	PoS	DPoS
节点身份	开放	开放	开放
能耗节约	否	局部	局部
允许恶意节点	<51% 算力	<51% 股份	<51% 验证
所需资源	算力	财富/股份	财富/股份
奖励	是	否	否

激励层:在激励层制定适当的奖励机制可以实现共识节点自身的收益最大化同时鼓励网络中多数节点参与共识过程进而实现稳定的分布式网络。

合约层:在完成对数据的表示、传播及验证的工作后需要形成具体的应用逻辑与算法来实现后

面对数据的操作。

应用层:区块链技术可以延伸至金融、物流、物联网等较多领域。本文就是围绕区块链的实际应用,探究区块链技术对交通、车联网领域的研究成果与推进作用,如图3所示。

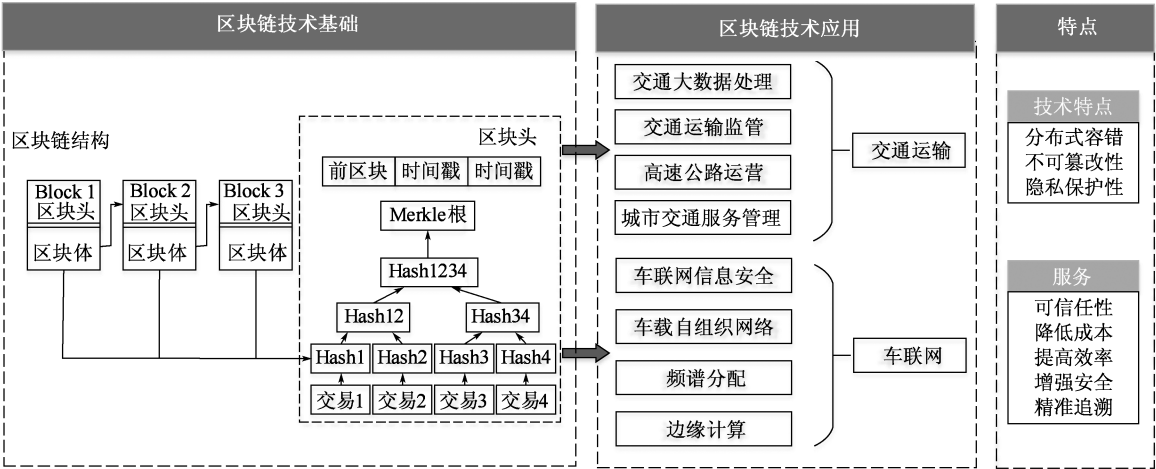


图3 区块链技术应用领域

2 区块链在交通运输领域应用

目前区块链技术正促进许多领域发展模式创新,特别是可以为交通运输领域的建设方面提供便利并促进其进一步发展。交通运输行业是国

民经济的基础性行业^[3],区块链技术在交通领域有着无限的应用前景。

以交通运输的各类数据作为数据主链,应用区块链技术进一步建立数据层,数据与区块链账本间利用合约层的智能合约等技术进行数据的交

互,最后构建成为适用于交通运输的区块链应用平台,为交通运输的数据交互安全与共享提供便利与技术支持。本节将从交通大数据处理、交通运

输监管、高速公路运营、城市交通服务管理,如图4介绍区块链技术在交通运输领域的应用。

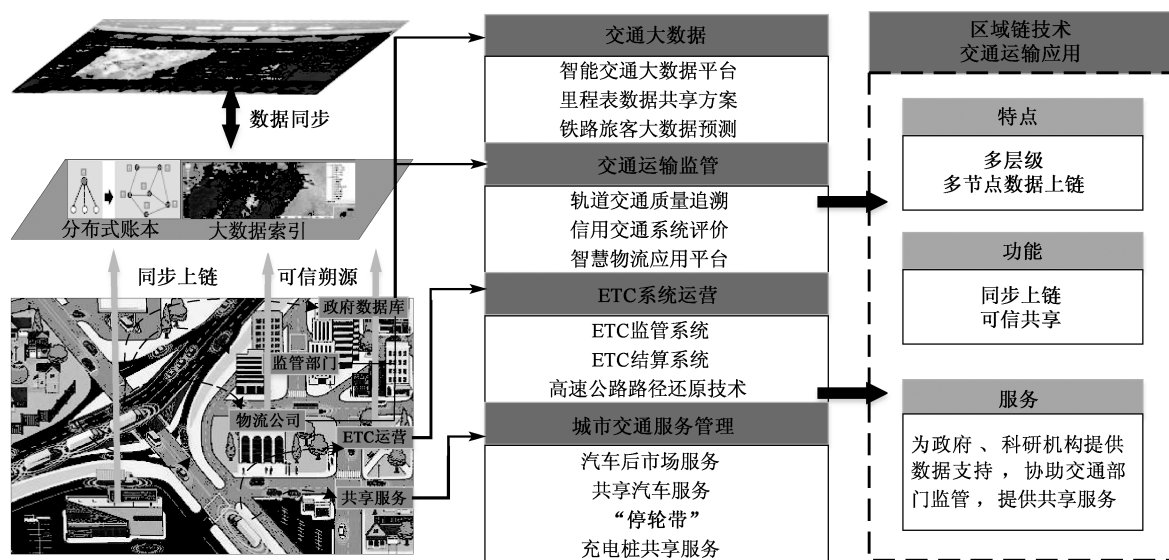


图4 区块链技术应用领域

2.1 交通大数据处理

借助区块链技术中的权限控制特性,可以将各个地区、部门或企业等交通领域参与方进行权限分配,形成交通区块链成员访问控制权限,实现交通领域的信息可控与共享,解决交通运输领域信息闭塞、数据整合困难等问题。数据的共享对于提高交通安全和增强交通服务是十分重要的。为了确保数据共享的隐私与安全,很多研究会采用区块链技术对交通领域的数据构建共享平台或应用。

交通数据的智能化一般体现在层级式的网络架构,有关交通部门会对数据进行独立的上传或处理,从而使数据共享面临巨大难题。针对这类问题,龚葵等提出基于区块链的智能交通大数据平台的方法^[4]。利用区块链特性实现交通部门去中心化管理,在数据层对不同的数据源进行数据格式与更新等要求的统一、在共识层层面构建数据监管等处理机制,最终符合统一标准的数据通过新生成的区块链节点入网,应用此多源平台提高数据共享效率、实现分布式计算。在交通运输领域中,汽车里程数可以作为汽车估值或定价的重要指标,当前的里程表数据十分容易被修改进而导致估价造假甚至更严重的道路安全问题。Preikschat 等^[5]提出了一种基于区块链的里

程表数据共享分布式数据库,保障数据不可篡改,提高里程表数据的公开透明性。近几年,在交通领域中高速铁路结合共享汽车也在不断发展,喻麒睿提出将区块链技术融入铁路旅客大数据中^[6],实现旅客信息跨行业流通。在这种模式中分析各利益相关群体的数据交互方式并提出数据流通机制。

区块链技术的信息上链实现可追溯、保障安全及不可篡改,这些特点都在交通领域的数据共享发挥着巨大的作用。区块链技术使信息间摩擦降低、突破了“信息孤岛”,保障并解决了交通领域中数据量庞大且整合难度高的问题,进一步促进了智慧交通、智慧城市的构建。

2.2 交通运输监管

区块链实时动态更新的分布式账本。在区块链中节点信息上链,任何节点的信息增删等都需要全网大多数节点验证。这种实时更新记录的信任机制可以被应用到监管部门中,以此提高工作效率。把对交通领域的监管与区块链结合,可以提高交通监管部门的安全性和透明化。

在交通领域中车联网日益发展,车辆会根据接收其他车辆的消息来判断当前路况进而制定行车策略,但由于系统不完善会存在恶意车辆发布干扰信息的情况。对于这类问题,Yang 等利用区

区块链提出车联网的信任管理系统^[7],主要是利用贝叶斯模型验证接收到的信息并计算信任偏移值,将数据结合区块链以提高交通信息可靠性。区块链技术与交通运输中的物流领域相结合的研究也在不断发展,对商品流通、支付保障、国民经济发展等起到促进作用。将区块链与传统物流结合可以打造智慧物流的应用平台。柯君卓等认为解决物流配送“最后一公里”的运输效率问题^[8]对于智慧物流的发展至关重要,文中提出使用区块链结合物联网与物流配送技术如图5所示,即保障货物安全还能应用智能合约规划配送路线。

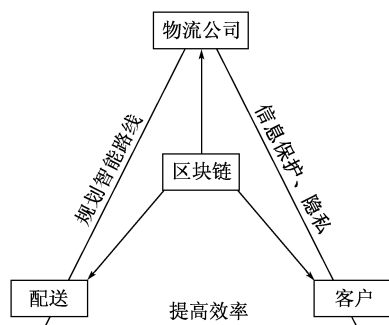


图5 区块链结合物流配送

区块链技术结合交通领域的行业监管,使各参与监管部门的数据信息汇集到分布式账本并采用加密算法进行保存,保证了监管数据的安全与可信度,从而提升交通监管效率,对智慧交通系统有明显的优化作用。

2.3 ETC 系统运营

区块链技术在金融领域的应用技术已经逐渐成熟。2020年,我国开始全面实施ETC收费,取消省界收费站。目前ETC收费属于中心化记账模式,收费周期较长。而且高速公路的车流量、里程及数据信息逐年增长,使ETC面临结算数据易丢失、数据整合安全性低、跨区域间不兼容等问题。

随着车流量、里程及用户逐年增加,ETC面临着数据存储与管理效率低、跨地域不兼容、系统安全性低等问题。针对以上问题,杨洪路等进一步提出基于区块链技术的电子不停车收费系统^[9],由于系统采用去中心化的区块链技术,可以将车辆通行与交易记录保存在区块链系统中,进而实现道路数据记录上链以此缩短清算时间,提高高速公路工作效率。罗江等考虑将区块链技术结合射频信号来对接收信号进行整合与分析,提出了基于区块链的高速公路ETC监管系统^[10],主要内

容为结合区块链对射频信号有关数据进行记录与分析,对信号或数据的异常采取预警,为交通管理与车辆通行提高效率。王棚对基于区块链的高速公路行驶路径还原技术^[11]进行了探究,使用高速公路上的门架系统作区块链的节点,将车牌识别的结果、电子标签等行驶信息作为记录信息,以此使还原的行驶路径唯一且不能随意篡改。

将区块链技术应用到高速公路领域,区块链具有去中心化的特点可以对传统的高速公路运营系统弱中心化。对高速公路的清算、监管与路径还原等应用方面进行简要总结,可以看出引入区块链技术后的高速公路相关应用在效率、安全、稳定方面都更具优势。

2.4 城市交通服务管理

交通领域中,区块链在区域路段结算、交通监管、物流管理及交通数据共享等方面的应用不断创新与发展,在城市道路交通中同样可以有所作为。将区块链应用到交通公共服务中,可以提升服务质量、简化工作流程、数据公开透明并且可以提升政府或有关部门的公信力。

我国汽车保有量逐年增长使汽车后市场及商机增大,但行业景象还处在逐步发展阶段。邹亚强等构建了基于联盟链的汽车售后服务的应用模型^[12],通过建立汽车售后服联盟链对用户身份、相关认证及链上服务等进行管理,其中运营平台及管理员作为联盟节点,其余普通节点只享受服务但不允许参与数据记录。由于近年来共享经济的快速普及与渗透,国家大力提倡“绿色出行”,因此共享汽车行业得以快速发展。然而共享汽车行业在起步阶段就遇到了滴滴顺风车等安全性漏洞事件,陶云杰等提出了新模式的共享汽车服务^[13]。

目前区块链在交通运输领域的应用大部分仍停留在理论设想与方案构想层面,缺少实际应用落地。但随着区块链技术逐渐成熟,理论研究足够支撑实际的应用需求。区块链在交通运输领域的应用主要是与数据共享、交通数据安全隐患两方面,未来区块链技术将结合物联网、通信等技术赋能交通运输。

3 区块链在车联网领域应用

根据区块链特性将区块链技术全面应用在移动通信领域,以此优化移动通信性能,保护用户隐私,提高通信安全性与稳定性。

由于车辆网络的高移动性和可变性,安全、隐私和信任管理问题仍然是促进安全、高效和智能交通的未决问题。区块链技术被认为是车联网的核心技术之一,但目前来看将区块链结合车联网

的研究还处在初步探索阶段。本节将从车载自组织网络、车联网信息安全、边缘计算以及频谱分配方面介绍区块链在车联网领域的有关研究及应用,如图6所示。

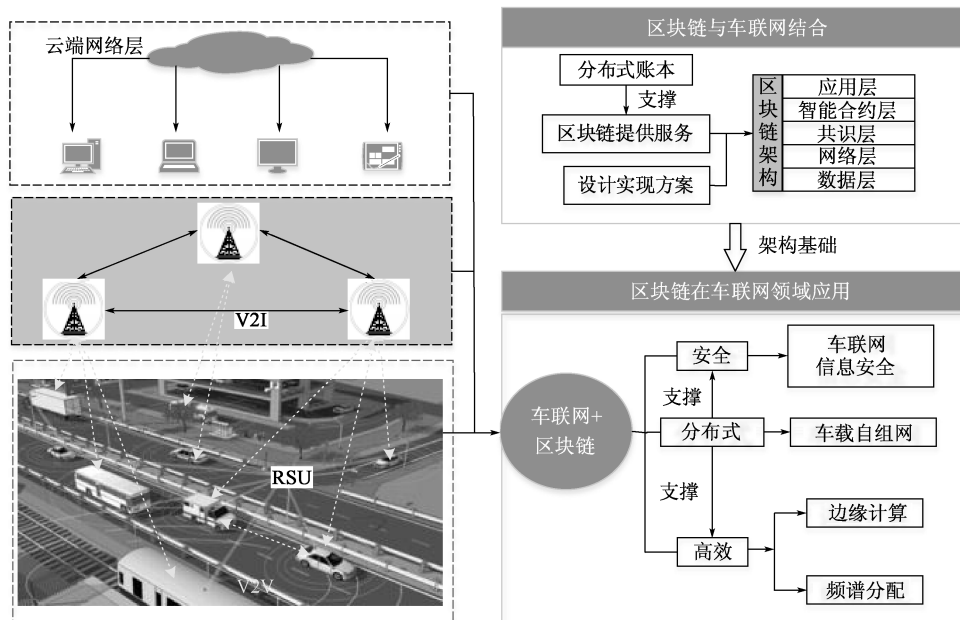


图6 车联网在区块链领域应用

3.1 车载自组织网络

智能化的城市交通依赖于车载自组织网络,车载自组网可以有效解决当前城市道路交通的问题。车载自组网中,车-车与车-基础设施通过无线通信预告道路具体情况,有利于车辆提前进行预判,从而缓解城市交通状况。

在车载自组网中,车辆对道路状况判断会耗费额外的资源,需要激励机制鼓励其参与进来,进而保证车载自组网的安全性、有效性。李春燕提出依靠区块链技术对车载自组网道路状况预警的方案^[14],利用激励机制促进车辆积极参加车载自组织网络路况预警。由于区块链保证了数据的一致性和抗篡改性,Zhang 提出基于区块链的数据共享和存储系统^[15],该系统具有车载自组织网络中的数字签名。路边单元(RSU)通过部署智能合约设置数据共享条件,并以分布式方式存储副本传感器的数据。由此,研究多基于密码学中数字签名、假名机制等为车辆身份提供隐私保障,同时在车载自组网中设计共识合约与奖励机制等促进车辆作为节点在网络中共享信息并解决历史信息的追溯难题。

目前,国内外对区块链在车联网应用中的研

究主要集中在去中心化管理,匿名网络可信性,多方安全交易等方面,通过应用区块链技术充分利用车辆节点通信能力,并从区块链的存储方式上满足移动特性,进而满足车载自组织网络可扩展性和可靠性。

3.2 车联网信息安全

车联网依赖的相关通信技术不断发展,由此给人们的生活带来许多便利。车联网应用新一代的通信技术来实现车辆与车辆或车辆与一些基础设施等的协作通信,其中安全问题是当前研究的重点。

目前车联网中存在一些安全与信任问题,考虑将区块链技术结合到车联网中。Yuan 等提出了一个智能交通系统的区块链网络架构模型,构建了安全可信的分布式智能交通系统^[16],为后续的研究提供基础。Rowen S 提出了基于区块链的车辆通信方案^[17],从理论和实验等方面对侧信道进行研究,提出新的车辆间会话密钥建立协议,利用区块链技术对车联网中信息保护,去中心化的相互作用能力提高车联网的安全性,以此实现了 V2V 通信。区块链技术源于加密货币,如比特币也可用来在对等网络中建立信任与可靠性。

Singh 中提出了使用区块链技术进行基于奖励的智能车通信^[18],定义了信任比特作为车辆可信行为的象征。这种通信机制可以实现车辆与车辆间的快速可靠通信,并将车辆间通信记录与信任位存储,当发生事故时可以将通信记录与信任位记录有关数据作为判断参考。

区块链的实现技术体现了去中心化的管理可以允许在全网节点之间进行交易,而且保证了一份共识数据以保护车联网的数据隐私。因此,区块链技术是一种潜在的应对车辆通信安全的解决方案。

3.3 边缘计算

移动通信系统不断发展带来高数据量与设备的连接,由于其覆盖的时延低、速度高和范围大,可以使车联网设备广泛应用。目前通信的数据量不断增加,允许边缘设备处理数据本地化,而避免集中授权。将区块链技术与边缘计算结合可以有效地在边缘设备上对资源进行分配存储,对边缘计算产生影响。

目前对于区块链和边缘计算的有关研究多数是关于边缘计算解决区块链算力问题。Xiong 等为解决这类问题提出方案^[19],利用移动边缘计算服务器解决区块链中的计算问题,用户对边缘资源进行访问并利用其计算服务。QIU 等^[20]指出传统的卸载方案不能根据环境的变化做出相应的调整策略,在考虑挖矿任务和数据处理的基础上,提出了基于深度强化学习的在线计算卸载方案。降低 PoW 的资源消耗也是需要解决的问题。为了提供有效的数据存储和共享,Kang 等中提出了一种基于安全信誉的数据共享系统^[21],该系统具备车载计算能力与智能合约。所提出的基于声誉的方案主要考虑三重主观逻辑模型,提高可信度、确保高质量的数据共享。可以看出,区块链与边缘计算可以互补结合,边缘计算为区块链提供计算能力与存储空间等,区块链保证边缘节点的数据安全,所以边缘计算与区块链协同应用成为提升整体系统的重要方案。

车联网设备的有限计算与存储能力成为制约区块链相关应用的重要因素,可以通过边缘计算解决这类问题。区块链与边缘计算的结合可以提高车联网的性能。后续可以对分配与协调区块链网络下的边缘计算进一步研究。

3.4 频谱分配

无线频谱资源属于稀缺国家战略资源,并且其需求逐渐增长。无线频谱作为无线通信的载体,它的使用与配置对其应用领域会产生一定的影响。对于通过区块链技术来提升频谱资源配置和使用效率,逐渐引起研究学者的注意。

在将频谱管理结合区块链技术的研究中,Jiao 等设计了基于区块链的频谱分配方案^[22],使运营商利用其他用户不使用的许可频谱。网络需要大量的传感器,或有频谱感知能力的邻居节点。Kotobi 等将区块链作为分散数据库用来验证移动认知无线电的频谱共享^[23]。这种方法可以访问授权的频谱资源,而不需要恒定的频谱感知。文中引入一种虚拟货币用来支付访问频谱的所需费用。所有交易记录都会在区块链中,并由志愿节点更新,可以使用区块链对所有事务进行验证。这种介质访问协议中度和重度衰落时,共享可用的未使用频谱可以超越以前的传统方案。由于区块链具有去中心化、数据时序排列等特点,对于就解决目前集中式分布管理的安全性威胁与资源短缺等问题具有优势。研究中节点通过区块链分布式数据库获得频谱感知信息,在频谱交易过程中发起频谱请求并与指定节点进行交易认证。区块链与频谱管理结合的新模式将有发挥频谱分配的运作能力,极大提升频谱资源的有效利用。

区块链技术应用在移动通信频谱管理中,可以改善网络安全、提高频谱的利用率、实现高效的频谱管理,为移动通信提供良好的共享环境。

区块链是信息基础设施的重要组成部分,逐渐成为车联网的关键技术之一。由于车联网中越来越多的数据交互在安全、隐私与信任等方面造成威胁。本章针对区块链技术在车联网领域的应用,主要分析区块链技术在车载自组织网络、车联网信息安全、频谱管理与边缘计算中的应用。目前许多研究还是起步阶段,但区块链在车联网领域的应用具有广阔的发展前景。

4 发展与挑战

根据区块链特性将区块链技术全面应用在移动通信领域,以此优化移动通信性能,保护用户隐私,提高通信安全性与稳定性。

在交通数字化、信息化、智能化快速发展的新阶段,区块链技术会以去中心化、防篡改可溯源、

数据安全共享等特点得到广泛关注。随着区块链技术逐渐与交通领域融合,使其能够为当前智能交通系统网络中跨部门数据共享、自动驾驶信息安全、物流信息隐私加密、公众出行信任共识等提供解决方案,进一步助力交通运输行业的发展并驱动其发展模式的革新。

通过区块链技术以交通运输业数据作为数据主链从而构建数据层,以智能合约等实现区块链账本与大数据控制层的数据交互。在交通运输领域,区块链将有效解决交通数据上链、数据溯源以及数据准确性的难题,为交通基础设施建设与交通行业监管提供可靠信任数据与共享机制、保障信息溯源与安全、确保隐私不泄露。

随着网联车辆越来越多,车联网逐渐遭受数据信任、安全与可持续性的难题,在智能交通系统网络中信息安全逐渐成为先进技术广泛应用的隐患。利用区块链技术将前端感知传感器的所获数据进行信息上链,如将道路监控数据、车载传感器与交通信号灯等信息数据上链,海量数据接入设备后在边缘侧进行数据分析,完成身份识别、轨迹分析等上传至云端平台。网联车辆、自动驾驶车辆通过区块链技术可以共享位置信息数据、车辆轨迹数据等;路侧交通信号灯、摄像头及毫米波雷达等路侧感知设备也可以应用区块链技术对数据进行存储与共享。车联网中的区块链技术可以实现海量数据的存储,并利用边缘计算与云边协同全局监控与本地应用协作,区块链中去中心化的特点支持网络由单点向全局可控转变,可以使网联车辆由单车智能逐渐发展为群体智能,实现大范围的联网联控,形成城市级的交通协调调度。将区块链技术融入到车联网领域,通过共识机制与加密技术对数据进行可靠的存储与安全认证,并提供实时的信息上链,为车联网安全提供技术保障。

总体来看,区块链在交通领域的应用可以分为两方面,一是协同与共享:随着车路协同、自动驾驶、车联网等技术等不断发展,交通领域面临着大量的信息交互与数据共享,借助区块链技术实现异构网络的互联互通。在交通领域的应用中实现可信数据传输与同步、异构节点合作与资源共享。二是隐私与安全:区块链的不可篡改性及数据传输完整性为交通领域的应用构建相关安全信任机制,实现去中心化管理,有效防止恶意节点攻

击,加解密技术保障用户隐私。以上,区块链技术将成为提升交通运输科技水平、全面综合交通调度与智能交通系统网络安全的核心技术支撑。

5 结语

智能交通系统的发展目前面临着许多安全问题,通过引入区块链技术可以将人工智能、大数据等先进技术更好的与智能交通相结合。

区块链技术在许多复杂的环境中有利于解决去中心化、不可篡改、可追溯与隐私保护、去信任等问题,由于这些特性可以赋能许多行业的应用而逐渐成为研究热点。目前区块链技术驱动着各领域应用技术的革新。本文重点讨论了区块链技术在交通领域、车联网领域与军事领域的应用与研究现状:在交通领域,区块链技术主要与大数据、人工智能等技术结合为交通建设提供便利;在车联网领域,结合边缘计算、频谱分配等将区块链引入车联网中,保障车辆用户信息隐私、降低通信成本。

区块链技术正驱动着各领域的管理,大力推广区块链技术在各个领域的应用是必然的发展趋势,同时各类领域的应用也会随着与区块链的结合而产生新的变革。区块链技术在未来将成为支撑智能交通系统网络安全的核心技术,在更多的应用中得到发展。

参考文献

- [1] Zhu L, Yu F R, Wang Y, et al. Big Data Analytics in Intelligent Transportation Systems: A Survey[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018:1-16.
- [2] 韩璇,袁勇,王飞跃. 区块链安全问题:研究现状与展望[J]. 自动化学报, 2019, 45(01): 206-225.
- [3] Li Y, Liu D, Ke S. Research on Fuzhou Logistics Development Status under the Background of National Logistics Hub City Construction[J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2020, 508:012093.
- [4] 龚葵,廖金花. 区块链技术的城市智能交通大数据平台及仿真案例分析[J]. 公路交通科技, 2019, 36(12): 117-126.
- [5] Preikschat K, Bhmecke-Schwafert M, Buchwald J P, et al. Trusted systems of records based on

- Blockchain technology-a prototype for mileage storing in the automotive industry [J]. Concurrency and Computation Practice and Experience,2020,2020(3).
- [6] 喻麒麟. 高铁共享汽车数据流通机制及关键技术研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院,2019.
- [7] Yang Z, Yang K, Lei L, et al. Blockchain-based Decentralized Trust Management in Vehicular Networks [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2018;1-1.
- [8] 柯君卓,汪驰升,高青,等. 区块链在最后一公里物流配送的应用分析 [J]. 物流科技,2019, 42(02):38-41.
- [9] 杨洪路,张伊,邓静. 基于区块链的 ETC 管理系统设计与实现 [J]. 中国交通信息化,2020, (02):18-24.
- [10] 罗江,高林,郑婧,等. 基于区块链的高速公路 ETC 监测管理系统 [J]. 中国交通信息化,2020,(05):18-22.
- [11] 王棚. 基于区块链的高速公路行驶路径还原技术探究 [J]. 中国交通信息化,2020, (07):93-95,101.
- [12] 邹亚强,朱小燕,蒋小健,等. 联盟链技术在汽车售后服务的应用模型 [J]. 科学技术创新,2020,(17):71-73.
- [13] 陶云杰,余伟. 基于区块链的共享汽车服务 [J]. 电子商务,2019,(03):59-60.
- [14] 李春燕. 基于区块链技术的车载自组织网络路况预警方案研究 [D]. 北京: 北京交通大学,2019.
- [15] Zhang X, Chen X. Data Security Sharing and Storage Based on a Consortium Blockchain in a Vehicular Ad-hoc Network [J]. IEEE Access, 2019;58241-58254.
- [16] Yuan Y, Wang F Y. Towards blockchain-based intelligent transportation systems [C] // IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE,2016.
- [17] Rowan S, Clear M, Gerla M, et al. Securing Vehicle to Vehicle Communications using Blockchain through Visible Light and Acoustic Side-Channels [J]. 2017.
- [18] Singh M, Kim S. Trust Bit: Reward-based intelligent vehicle commination using blockchain paper [C] // 2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT). IEEE,2018.
- [19] Xiong Z H, Feng S H, Wang W B, et al. Cloud/fog computing resource management and pricing for blockchain networks [J]. arXiv:1710.01567,2018.
- [20] QIU X Y, LIU L B, CHEN W H, et al. Online deep reinforcement learning for computation offloading in blockchain-empowered mobile edge computing [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68 (8): 8050-8062.
- [21] Kang J, Yu R, Huang X, et al. Blockchain for Secure and Efficient Data Sharing in Vehicular Edge Computing and Networks [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6 (3): 4660-4670.
- [22] Jiao Y, Wang P, Niyato D, et al. Auction Mechanisms in Cloud/Fog Computing Resource Allocation for Public Blockchain Networks [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems,2019;1-1.
- [23] Kotobi K, Bilén S G. Secure blockchains for dynamic spectrum access: a decentralized database in moving cognitive radio networks enhances security and user access [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine,2018,13(1): 2-9.