

区块链技术在空间信息智能感知领域的应用综述

郭崇岭^{1,2} 赵 野^{2,3}

1 南京航空航天大学航天学院 南京 210016
2 北京空间机电研究所 北京 100094
3 先进光学遥感技术北京市重点实验室 北京 100094

摘 要 文中对区块链技术在空间信息智能感知领域的应用进行了综述,依托区块链智能合约等技术特点,借鉴区块链在物联网等领域的应用实践经验,从提升空间信息数据获取能力、增加空间信息数据提取的可靠度、拓展空间信息数据应用的途径 3 个角度,分析了区块链技术与空间信息感知的融合方向及技术途径,提出了智能遥感未来的战略发展方向,提升了空间信息获取与应用的数字化、动态化和实时化水平。

关键词: 区块链技术;空间信息;智能遥感

中图法分类号 TPV57

Research on Application of Blockchain Technology in Field of Spatial Information Intelligent Perception

GUO Chong-ling^{1,2} and ZHAO Ye^{2,3}

1 College of Astronautics, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China
2 Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing 100094, China
3 Key Laboratory of Advanced Optical Remote Sensing Technology of Beijing, Beijing 100094, China

Abstract In this paper, the application of blockchain technology in the field of spatial information intelligent perception is reviewed. Based on the technical characteristics of blockchain intelligent contract and the practical experience of blockchain in the field of Internet of things, the blockchain is analyzed from three aspects: improving the ability of spatial information data acquisition, increasing the reliability of spatial information data extraction and expanding the application of spatial information data. The integration direction and technical approach of technology and spatial information perception are proposed, and the future strategic development direction of intelligent remote sensing is proposed to improve the digital, dynamic and real-time level of spatial information acquisition and application.

Keywords Blockchain technology, Spatial information, Intelligent remote sensing

1 概述

区块链技术将为 21 世纪的空间信息获取行为提供数不清的方法和工具。谁先掌握和装备区块链,谁就决定了权力和影响力。在西方,用区块链实现信息获取系统的现代化是一个优先事项^[1]。根据埃森哲最近发布的一份研究报告,“航空航天和国防技术愿景 2018”显示,3/6(86%)的航空/国防公司计划将在 3 年内整合区块链。在埃森哲调查的 18 个行业中,航空航天/国防行业被列为第三大潜在区块链整合^[2]。区块链就是一种去中心化的分布式账本数据库,具有去中心化、不可篡改、共识算法、智能合约四大特点^[3]。其开放、自治、数据可追溯等特性,能解决金融、教育、电子政务、文件存储、追溯、防伪等很多领域的技术难点,已成为继物联网、大数据、人工智能之后,产、学、政、资、研的新热点,并被 Gartner 列为十大技术发展趋势^[4]。但是区块链它本身并不是解决方案,相反,它是最能解决问题和支持新业务模型的基础技术^[5]。

目前,负责指挥控制、信息获取、通信、对抗的信息系统过度依赖于第三方实体,从而导致数据的不安全和不可信问题。区块链可以在不依赖于任何可信实体的条件下,完成数据库的统一维护和更新,数据不会因任何单一实体的修改而被篡改。制信息权、制智能权的争夺,成为了决定国家强盛的关键因素。在信息与知识获取方面,区块链的发展将促使不对称的资源博弈转变为对称信息博弈,推动不对称信息对抗转变为基于对称信息均衡的和平,最终形成区块链应用的“人机结合、知行合一、虚实一体”新时代洪流^[6]。具体到信息获取,遥感是获取海量数据源的重要手段, AI 作为其智能处理方法,自动从海量数据中提取有效信息。遥感与 AI 的深度融合,从应用的角度思考区块链,以实际需求为出发点,思考两者的结合是打造新型空间信息感知模式的思维途径。传统的狭义的遥感通常指运用电磁波探测技术,通过卫星、航空飞机、无人机等搭载传感器,记录物体的电磁波谱特性,从而提取物体的信息。遥感系统示意图如图 1 所示。

空间信息的获取或许是未来人类信息获取的重要途径,采用人工智能和区块链社区自治(Token 激励、可溯源可验证)的方式来保证信息的准确性。用户能获取的不再仅仅是存量信息,信息根据用户的需求主动生成(主动遥感),例如在某个生态中,用户想要一张特定角度的阿尔卑斯山照片,这张照片能快速地呈现在用户的眼前^[7]。

区块链技术在航空航天领域的应用已进入全面孵化阶段,具体变现为:

- 1)区块链技术与人工智能的结合,是提高遥感技术及载荷硬件信息化水平的必然途径;
- 2)区块链技术在基于事件的自动触发观测及有效信息数据的提取应用广泛;
- 3)面向用户及应用,基于区块链的数据平台正在兴起和建设,太空云网方案值得关注。

我们需要从区块链与智能遥感硬件的结合、与空间信息获取、与空间信息数据的应用 3 个层面探讨空间信息智能感知的技术途径,开展区块链相关的实施战略思考及关键技术分析。

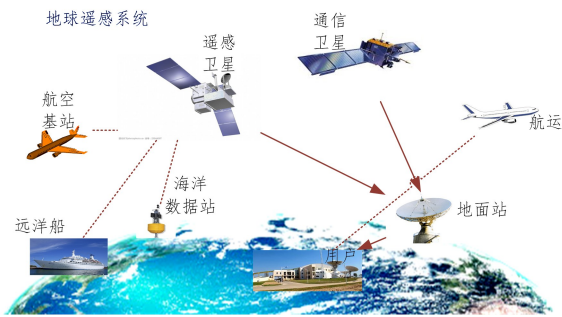


图 1 遥感系统
Fig. 1 Remote sensing system

2 区块链浪潮下的载荷产品架构拓展分析

区块链关键技术之一的智能合约技术正是人工智能决策的用武之地。这在汽车行业内已开展应用^[8]。人工智能可以分成 6 个研究方向^[9-10]:1)机器视觉,包括三维重建、模式识别、图像理解等;2)语言理解与交流,包括语音识别和合成、人机对话交流和机器翻译等;3)机器人学,包括机械、控制、设计、运动规划、任务规划等;4)认知与推理,包含各种物理和社会常识的认知与推理;5)博弈与伦理,包括多代理人(agents)的交互、对抗与合作,机器人与社会融合等;6)机器学习,包括各种统计的建模、分析工具和计算方法等。

Li^[11]指出了大数据时代地球空间信息学的特点(无所不在、多维动态、互联网+网络化、全自动与实时化、从感知到认知、众包与自发地理信息、面向服务)和必须解决的主要关键技术问题(全球空地一体化的非线性地球参考框架构建技术、星基导航增强技术、天地一体化网络通信技术、多源成像数据在轨处理技术、天基信息智能终端服务技术、天基资源调度与网络安全、基于载荷的多功能卫星平台设计与研制)。

在信息化时代,数据的安全性与一致性备受关注。在区块链+制造业的结合方面,IM Chain 智造链创始人樊一扬女士于“2018 TOKENSKY 区块链大会”发表演讲时说,“IM Chain 旨在通过区块链技术构建智能制造业的基础设施,能

够使全球的制造业资源相互连接起来,将这些资源分布分享在世界各地,并整合多项功能,如需求发布、设计资源匹配、智能制造业云服务,以及智能物流运输等,允许其他实体企业基于 IM 系统共同打造智能制造业应用场所(IMA Site)”^[12]。

NASA 提出如果可以将人工智能技术和区块链技术进一步整合,那么将会使传感器网络变得更加高效和灵敏^[13]。

随着遥感大数据时代的来临,人工智能的加持是提高遥感技术及载荷硬件信息化水平的必然途径。通过区块链技术实现硬件的全自动、实时化,实现硬件的动态联合及信息交互。构建天基信息的智能获取终端。

可见,区块链技术应用在硬件产品上,主要是从产品采集信息的途径、方法着手。重点放在工作模式设定对硬件的需求,从产品智能化(自适应参数调整、人工智能决策)的角度研究产品架构组成。

2.1 区块链与智能遥感载荷的结合途径

所谓智能硬件,就是在传统硬件的基础上赋予智能模块。前文已经提到,遥感系统包含四大环节:信息源、信息获取、信息处理和信息应用^[14]。

智能遥感系统的两个科学问题是^[15]:1)多光谱遥感器指标互斥条件下的地物遥感最佳观测指标设定;2)先验知识与模型支持下的遥感自适应观测模式。这就是区块链技术的切入点。随着硬件技术的发展,遥感器的工作模式和参数设置不断得到优化。在 FPGA 等信息处理芯片的基础上集成智能分析硬件及算法,实现在极少地面指令干预的情况下运行大量的任务操作文件并执行判断。根据应用目的通过预先编程方式调整不同成像模式。

在遥感器自适应观测模式的构建中,一方面是地面观测模式库建设,用于确定初始观测模式;另一方面是星上预判系统获取数据的实时处理与分析,用于自适应优化模式选择。这一系列的数据链,采用区块链技术进行有效的组织和安全性验证,具体到工程应用,区块链处理数据的效率问题可能是一个瓶颈问题,需要深入探讨。

2.2 多平台载荷一体化的架构设计

涉及到平台,我们畅想一种星间链路的新形式。单颗卫星的信息往往是离散的、碎片化的,星间的数据传输有数据的隐私性和安全性问题。因此构建一个基础性的操作平台,通过平台将载荷的信息关联起来,这与智能汽车领域的区块链应用^[16]是类似的。

基于区块链技术的卡尔本茨链(KarlBenz)是一个基于区块链技术的“数据市场”,它是一个面向用户、卫星、制造商和服务提供商,提供可共享和交换卫星数据的智能的区块链基础设施。如能构建这个基于区块链技术的平台,所有围绕卫星运营所产生的大数据都将通证(token)化,数据将在体系内有效流通。

3 基于区块链的关键目标特性数据库建设

目标特性库的建设难题,很大程度来自于资源的不开放。本文提出将区块链与目标特性库结合,目的是借鉴区块链的去中介化的数据库技术方案^[17],可以在开放获取资源建设和管理方面发挥独特的优势和功能,有效解决当前开放获取目标特性资源过程中遇到的侵权、难共享和低质量等问题,从而

更好地满足全链路仿真分析的需要。建立“开放式”数据库系统,包括目标特性的原始数据、试验验证情况、特性参数关联信息等,打造动态的目标特性数据生态环境。当然,由于行业的属性,这个链大多是私有区块链,有信息保护的特点,需要在多组织共享的前提下,实现高可靠性及高级加密。

从数据库的管理层面来讲,区块链就是通过密码学的方式形成的一个由集体维护的分布式数据库。在一个区块链数据库中,每个参与者都能够对数据库中的词条进行维护、计算与更新。所有的节点共同运作,确保它们最后能够得出一致的结果,以保证网络的内置安全。我们利用这个特点,可以实现特性数据库的动态管理。

4 信息快速提取及多源多维数据互验

当前的高效率社会,任何的活动或行动都需要快速反应的能力。在传统指挥体制下,信息传输通过多级中转,各级单位的汇总、上报、下发、执行环节都会产生延迟,甚至贻误信息指导的最佳时机。区块链技术通过快速网络运算,降低中间环节的延迟,可提高反应能力。随着无人智能化时代的来临,具有自主性的智能装备将被广泛使用。通过智能装备间的数据交互,可由网络共识算法形成“群体智能”,自动产生新的行动方案^[18]。

NASA 的 Rohit 等^[19]探讨了多传感器卫星体系结构中的区块链应用,展示了区块链的智能合约和分布式账本功能,用于多卫星协作数据交换,以及指挥和控制事件的记录和跟踪。利用这一新兴技术将有助于解决未来星座飞行体系结构预期的技术差距,提升了动态和自主观测计划执行能力,区块链的应用实现了多指令的确认发送和基于事件的自动触发观测。

知识自动化也是近年来随着智能技术的快速发展而诞生的热点研究领域,区块链是知识自动化的重要基础和关键技术^[20]。深度学习是知识自动化的代表性技术^[21]。国家数字交换系统工程与技术研究中心的 Liu 等撰写的《使用增强学习训练多焦点聚焦模型》聚焦模型这类新兴的深度学习模型。聚焦模型在图像、视频处理中取得了良好的应用^[22]。中北大学的 Wang 提出了基于深度学习的复杂背景下的目标检测与分割方法,研究了经典的目标检测方法——Faster R-CNN 原理,并针对复杂背景下需对图像目标提取更精细局部特征的要求,与 Faster R-CNN 相比平均检测精确度提高了 6.7%^[23]。此类技术应用在航空航天领域,对于目标的准确识别和定位,在实际应用过程中具有重大的战略意义。南京大学 Gao 研究了卷积神经网络在遥感图像特征提取和识别上的作用,比较了常见的几种卷积神经网络的训练过程、效果和效率,结合深度学习与选择搜索算法实现了大规模高分辨率遥感影像中建筑物检测与识别一体的系统^[24]。

2019 年 12 月, Jin 在“空间遥感大数据与人工智能信息技术”的主旨演讲中,阐述了“什么是遥感、人工智能技术提供遥感大数据的信息感知的新途径”等^[25],描绘了基于海量遥感数据的多维度、精细的信息感知技术途径及发展方向。

2017 年, Nicholus 等^[26]使用 CNN 学习判别空间特征,在非常高分辨率的卫星图像中提取信息,自动识别不同的城市类别。文献^[27]研究了深度卷积神经网络(Deep Convolu-

tional Neural Networks, DCNNS)在遥感影像分类中的应用,分别设计了一种复数域的 DCNNS 模型以及一种端到端的 DCNNS 模型。后来又不断扩展图像分类的光谱带和准确度,文献^[28]提出了一种基于 Sentinel-2 卫星图像,涵盖了 13 个不同的光谱带、10 个类别和 27 000 个标记图像的全新数据集,在此数据集上使用卷积神经网络达到了 98.57% 的分类准确度。

因此,在信息提取及认知层面,提升信息认知可靠性的技术途径是通过人工智能与区块链技术的结合,结合专家智库,探索其在海量信息处理及关键信息识别的算法及应用。这是推进知识自动化的途径之一。

用计算机和人工智能来替代读图员,把浩如烟海的遥感原始数据变成有用的知识,同时把遥感应用引向普及和深入,甚至走进普通民众的生活,这是业界几十年来的梦想。2000 年左右,基于统计和智能计算的理论,特别是人工神经网络(ANN)、遗传算法(GA)、贝叶斯统计、尺度空间聚类以及可视化等方法的利用使得数据挖掘领域也产生了大量新方法并被成功地应用到空间分析领域^[29]。人工智能在天基信息获取的应用已趋于实战化应用。

区块链使人工智能更加连贯和易于理解,可以追踪和确定为什么要在机器学习中做出决策。区块链及其分类账可以记录在机器学习下做出决策的所有数据和变量。这对于各领域的应用特别是商业应用来说是非常重要的。我们可以审计人工智能的决策过程,保证信息的可靠性。

遥感数据多源多维,数据融合是信息获得的技术途径之一。结合目前空间信息源,探讨多源数据,如雷达图像和光学图像之间的互验,即光学和微波之间的互验,从而实现信息深度提取。

不同类型的卫星既是数据源也是计算区块链的一个计算节点。技术方案也可以是星地一体化的组合方案。

5 空间云网构建及基于大数据的目标行为预测

2018 年 6 月 14 日,在 WGDC2018 领袖峰会上,泰伯网、Esri(北京)软件研发中心、极海纵横、新兴华安、滴滴出行、知卓集团、G7 物联网、中国指数研究院、珠海欧比特宇航科技、Gowithmi、智途科技 11 家空间地理信息行业创新创业企业联合成立“空间信息产业区块链联盟”^[30-31]。该联盟旨在以联盟资源为公共平台,共同研究和发展区块链前沿技术在空间信息行业中的应用场景和商业创新,推动空间大数据安全化、资产化和交易化,共享技术和产业成果,实现产业跨界融合发展。

2018 年,武汉市国土资源勘查,在全国率先探索应用区块链和卫星遥感技术,由机器自动发现线索,监测指定区域内林地面积变小、耕地用途变更、水域被填埋或者污染等违法行为^[32]。目前,阿里云提供“卫星及无人机遥感影像分析产品”,卫星与无人机遥感影像智能分析产品(Satellite and UAV image analysis)依托于阿里巴巴在深度学习、计算机视觉方向上的技术积累,采用基于深度学习的多尺度融合检测技术,实现了卫星及无人机影像中的变化特征及建筑、土地、河流等多种目标信息的智能解译,能够改变传统遥感数据处理耗时长、效率低等弊端,为自然资源监管、水利河道保护、生

态环境监测和农业估产等多领域提供高效的解决方案^[33]。Xie等提出了商业航天中区块链叠加MPC的应用模式,在遥感数据多方安全计算、航天历史数据查询分析、航天外包产品质量溯源等方面探索了区块链技术 & 数据生态建设^[34]。

成立于2017年的澳大利亚公司SOAR,致力于用区块链技术分发遥感影像,打造分布式超级地图平台。2019年,中国四维与soar建立战略合作伙伴关系,SOAR可以向用户提供高分及高景卫星的0.5m和0.8m分辨率图像^[35]。

随着通信技术的发展,基于LEO卫星的移动通信网络受到了广泛的关注。然而,传统卫星网络中的集中式认证协议不能适应低轨卫星网络中频繁的链路切换。Li等将基于身份的加密技术与区块链技术相结合,提出了一种快速高效的低轨卫星网络认证协议^[36]。

美国一家名为“太空带”(SpaceBelt)的数据安全初创公司,太空带公司计划发射3颗距离地球36000km的同步轨道中继卫星和10颗650km高度的数据存储卫星。其中数据存储卫星会在近地轨道上形成一个闭合的链路(云星座),相互通信相互备份^[37]。

DARPA的“黑杰克”项目正试图同时做到这两件事。该项目旨在开发一种基于近地轨道的星座体系架构,主要采用商业化技术,每个国防部建造的卫星都作为一个“传感器节点”,存储并处理轨道上的大量数据。根据项目规划,10个轨道平面上的90颗国防部卫星将进一步连接到商业卫星网络,以“在太空中利用互联网”^[38]。

区块链技术与大数据分析的结合,提供了一种全新的分析思维和模式。大数据分析、情报分析、区块链计算技术存在密切的关联关系。Li等将大数据环境下的情报分析发展趋势概括为单一领域情报研究转向全领域情报研究、综合利用多种数据源、注重新型信息资源的分析、强调情报研究的严谨性和情报研究的智能化5个方面^[39]。

在这方面,区块链技术的应用主要有两个方面。

5.1 结合地面物理信息及大数据的地面目标行为预测

目标的行为分析需要依托大数据,引申“机器学习”的概念,拓展深度学习。2007—2018年,中国资源卫星应用中心陆地遥感数据存档量从0.18PB增长到35PB,增长了194倍,遥感数据进入了大数据时代。大数据下的遥感影像智能解译解决方案将应用于遥感影像的要素识别与调查、资源分析与评估、动态监测与预警、违法建设行为监测等多个领域,助推智慧决策能力。其主要的分析方法如下。

1) 可视化分析 (Analytic-Visualizations)

不管是对数据分析专家还是普通用户,数据可视化是数据分析工具最基本的要求。可视化可以直观地展示数据,让数据自己说话。

2) AI 技术结合的数据挖掘算法 (Data Mining Algorithms)

可视化是给人看的,数据挖掘就是给机器看的。集群、分割、孤立点分析还有其他的算法让我们深入数据内部,挖掘价值。这些算法不仅要处理大数据的量,还要处理大数据的速度。

神经网络算法是AI技术中的一种,也是应用较为广泛的一种算法,为数据挖掘做出了重要贡献。

在行为预测方面,则结合空间获取的与目标行为相关的信息、当前目标场景(对峙、围猎等)、对方战略思想等信息,预测区域内地面目标的行为,从而辅助分析战略意图,实现远超传统统计学方法的概率分析。

在行为预测中,引申大数据的轨迹挖掘技术方案^[40],建立目标行为的行为模式挖局方法,如图2所示。统计分析该目标的历史行为,从战略全局角度分析该目标的行为方向,生成全局聚类,通过迭代分析得到目标的轨迹预测结果。

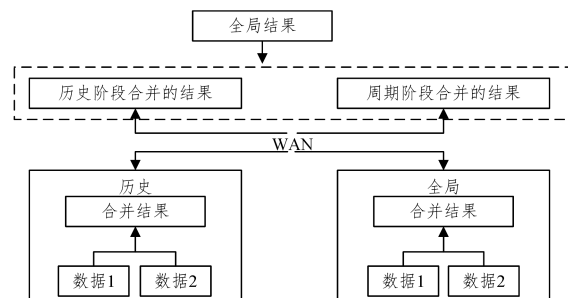


图2 行为预测原理

Fig. 2 Principles of behavior prediction

5.2 构建空间数据云网及跨国界的商业遥感数据区块链平台

空间云网是新一代的空间基础设施,进行一站式的数据存储、传输和处理。其本质还是卫星星座的建设方案。卫星星座中,基于云的软件和高速处理器在每个卫星“节点”以及陆、海、空终端之间来回传输大量数据。

DARPA 战术技术办公室的“黑杰克”项目主管鲁斯蒂·托马斯表示,太空云的难点在于如何传输所有数据而不造成更大的攻击面。最大的问题是“地面网络中使用的加密技术无法很好地扩展到太空网络中”。区块链技术为数据网络的弹性提供了解决方案。

另一方面,转变数据运维的思想,与商业公司合作,结合区块链的分布式账本、数据隐私安全、数据精准确权、智能合约激励等机制,使商业遥感数据共享的实践向终端延伸。

这是一个应用联盟的概念,采用全新生态体系设计,是一个独立的公有链,利用区块链技术打造一个由海量应用组成的、去中心化自治的、保障隐私安全的大数据共享开放平台。

构建基于以太坊的数据平台,以太坊是一条典型的底层公有链,以太坊通过建立抽象的基础层以及内置图灵完备编程语言,使得任何人都能够创建合约和去中心化应用,并在其中设立他们自由定义的所有权规则、交易方式和状态转换函数。单位间的区块链网络主要采用联盟链网络模型,即各个组织拥有一个区块链节点,没有中心节点。如下图所示。通过研究将建立基于区块链的数据传输协议、流程、权限管理等,最终形成多组织共享的遥感数据联盟。

结束语 本文结合区块链技术的特点,开展了在空间信息获取领域实施的战略思考及技术途径分析。通过分析可知:

1) 区块链有效地提升了人工智能的有效性,通过在遥感硬件的应用,进一步提升了空间智慧眼,提升了硬件的智能水平,打造了空间信息数据获取的能力。

2) 获取数据、感知信息、认知信息是3个层次的问题,通过提取数据深层面的信息,从光谱数据中提取传统数据分析

手段不能识别的信息,通过区块链技术实现多光谱、高光谱、微波等数据的互验,增加空间信息数据的深度及可靠性。

3)面向不同领域不同群体的应用,挖掘用户对空间信息数据深层次的需求,如结合各类情报对目标的行为的预测。打造遥感+智能+区块链的应用平台,拓展空间信息数据应用的途径。

区块链技术在空间信息智能感知领域的应用前景非常广阔,值得深入地研究其各项关键技术。

参 考 文 献

[1] MATISEK J. The Blockchain Arms Race: America vs. China [J/OL]. National Interest, 2018. <https://nationalinterest.org/feature/the-blockchain-arms-race-america-vs-china-24906>.

[2] XU L, LIU J S. The latest development of blockchain technology and its application in aerospace field[R]. Beijing Satellite Manufacturing Limited Company, 2018.

[3] XIE H, WANG J. Study on Block Chain Technology and Its Applications[J]. Net-info Security, 2016, 189(9): 192-195.

[4] HE X D, YI J Z, CHEN A B. Application Progress and Development Trend of Block Chain Technology [J]. World Sci-tech R&D, 2018, 40(6): 615-626.

[5] AARONSON M, CAFFREY H, WON S, et al. Getting real about blockchain in aerospace and defense [J/OL]. <https://www.bcg.com/publications/2018/getting-real-about-blockchain-aerospace-defense>.

[6] WANG F Y, YUAN Y, WANG S, et al. Military blockchain: from asymmetric warfare to symmetric peace [J]. Journal of Command and Control, 2018, 4(3): 175-182.

[7] Spatial information intelligent perception network based on blockchain[EB/OL]. <https://bihu.com/article/1660129>.

[8] SONG Z R. Production relationship between blockchain and automobile industry[J]. Heavy Truck, 2018, 165(3): 43.

[9] GONG J Y. Development opportunities and challenges of Surveying and mapping remote sensing technology in artificial intelligence Era [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2018, 43(12): 1788-1796.

[10] WU Y N, XIE J, LU Y, et al. Sparse and deep generalizations of the frame model [J]. Annals of Mathematical Sciences and Applications, 2018, 3(1): 211-254.

[11] LI D R. Towards Geo-spatial Information Science in Big Data Era [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2016, 45(4): 379-384.

[12] SUN B L. Block chain technology at home and abroad and its application in manufacturing industry [J]. Automation Panorama, 2018, 296(7): 48-53.

[13] MANDL D. BITCOIN, Blockchains and Efficient Distributed Spacecraft Mission Control [C/OL] // 2017. <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20170009470>.

[14] CHEN X, LIU C H, CHEN P Y, et al. The State-of-Art and Future of the Intelligent Remote Sensing [J]. Unmanned Systems Technology, 2019, 2(3): 62-70.

[15] ZHANG B. Intelligent remote sensing satellite system [J]. Journal of Remote Sensing, 2011, 15(3): 415-431.

[16] KarlBenz; Blockchain technology leads the era of intelligent ve-

hicles [EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1637819321731802804&wfr=spider&for=pc>.

[17] KONG F C. Construction and management of open access resources based on blockchain [J]. Information Studies: Theory & Application, 2019, 304(5): 153-158.

[18] LIU N, HE W. Application prospect of blockchain technology in military field [J]. National Defense, 2019, 395(1): 30-33.

[19] BEAUJARDIERE J D L, MITAL R, MITAL R. Blockchain Application Within A Multi-Sensor Satellite Architecture [C] // 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2019). IEEE, 2019: 5293-5296.

[20] WANG F Y. Software-defined systems and knowledge automation: a parallel paradigm shift from Newton to Merton [J]. Acta Automatica Sinica, 2015, 41(1): 1-8.

[21] YUAN Y, ZHOU T, ZHOU A Y, et al. Blockchain technology: from data intelligence to knowledge automation [J]. Acta Automatica Sinica, 2017, 44(9): 1485-1490.

[22] LIU C, LIU Q R. Using reinforce learning to train multi-attention model [J]. Acta Automatica Sinica, 2017, 43(9): 1563-1570.

[23] WANG Z. Object detection and segmentation based on deep learning in complex background [D]. Taiyuan: North University of China, 2018: 60.

[24] GAO Y. Building extraction from high resolution remote sensing images based on convolution neural network [D]. Nanjing: Nanjing University, 2018: 90.

[25] Keynote speech of “spatial remote sensing big data and artificial intelligence information technology” [EB/OL]. www.elecfans.com/d/1141271.html.

[26] NICHOLUS M, CLAUDIO P, JOHN B, et al. Detection of Informal Settlements from VHR Images Using Convolutional Neural Networks [J]. Remote Sensing, 2017, 9(11): 1106.

[27] WANG H J. Research an Application of Deep Convolutional Neyral Networks in Remote Sensing Image Classification [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2018: 155.

[28] HELBER P, BISCHKE B, DENGEL A, et al. Introducing EuroSAT: A Novel Dataset And Deep Learning Benchmark For Land Use And Land Cover Classification [C] // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS-2018). 2018.

[29] FRIEDL M A, BRODLEY C E. Decision tree classification of land cover from remotely sensed data [J]. Remote sensing of environment, 1997, 61(3): 399-409.

[30] Establishment of spatial information industry blockchain Alliance: incubating the next generation BAT in the industry [EB/OL]. <https://www.3snews.net/wgdc2018/356000052088.html>.

[31] YUN C. Spatial intelligence drives the interconnection of all things-WGDC 2018 Global geographic information developers conference held [J]. Satellite Application, 2018, 79(7): 62-63.

[32] Blockchain and satellite remote sensing technology [EB/OL]. <https://www.yzmg.com/blockchain/213544.html>.

[33] Satellite and UAV remote sensing image analysis products [EB/OL]. <https://www.aliyun.com/product/rsimganalys>.

[34] Blockchain and commercial aerospace has broad prospects [EB/OL]. <https://www.3snews.net/domestic/244000051992.html>.