

脑认知与空间认知——论空间大数据与人工智能的集成

李德仁^{1,2}

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉, 430079
2 地球空间信息技术协同创新中心,湖北 武汉, 430079

摘 要:21 世纪是数据爆炸增长的时代,面对大数据时代的到来,急需增强地球空间信息学数据处理的时效性与智能化水平。将人工智能应用于地球空间信息学,提升地球空间信息处理的感知认知能力,实现地球空间信息学对所获取的数据快速处理、提取有用信息和驱动相应应用的过程。因此,从地球空间的宏观、中观、微观 3 个尺度上研究空间大数据与人工智能的集成,分别提出对地观测脑、智慧城市脑和智能手机脑 3 个高度智能化系统的概念。详细介绍了对地观测脑、智慧城市脑和智能手机脑 3 个智能化系统的概念及需要解决的关键技术,并举例说明了对地观测脑、智慧城市脑和智能手机脑初级阶段感知、认知及驱动应用的过程。不久的将来,对地观测脑、智慧城市脑和智能手机脑可以回答何时(when)、何地(where)、何目标(what object)发生了何种变化(what change),并在正确的时间(right time)和正确的地点(right place)把正确的数据、信息、知识(right data/information/knowledge)推送给需要的人(right person),实现 4W 信息实时推送给 4R 用户的地球空间信息服务的最高标准。

关键词:对地观测脑;智慧城市脑;智能手机脑;空间大数据;人工智能;地球空间信息智能服务

中图分类号:P208 **文献标志码:**A

近年来,随着物联网、云计算、大数据技术的快速发展,以及信息基础设施的完善,全球时空大数据呈爆发式增长^[1]。如在近地外层空间上,在从数字地球向智慧地球发展的过程中,对地观测卫星的空间分辨率、光谱分辨率、时间分辨率等不断提高,特别是 21 世纪以来,亚米级(0.1~0.5 m)空间分辨率遥感卫星纷纷上天,推动各国开启了商业高分辨率遥感卫星的新时代,掀起了全球高分辨率遥感卫星研制的高潮^[2-3]。在高分辨率对地观测国家重大专项和我国空间数据基础设施卫星计划的支持下,我国也相继发射资源系列、遥感系列和高分系列高分辨卫星,使在轨卫星数量达到 235 颗以上^[4]。它们将满足正常需求和基于特定任务目标需求的快速响应、持续动态监测等数据获取需求^[5]。到 2020 年我国将新研制数十颗高分辨率遥感卫星,实现几十个到上百个遥感卫星同时在轨工作,保守估计每天获取的数据量将达到数百个 TB(terabyte)^[6-7]。

在物理地球的区域空间上,2005 年 11 月 17 日在突尼斯举行的“信息社会世界峰会”上,国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)发布了《ITU 互联网报告 2005:物联网》,正式提出了“物联网”的概念。物联网的定义是通过射频识别、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感器设备,按约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。具体地说,就是把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中,并且被普遍连接,形成物联网^[8]。物联网的提出极大地促进了智慧城市的建设与发展,使城市中的“万物互联”成为可能。且物联网的提出促使城市拥有了上千万个智能传感器^[9],如我国城市已拥有 2 000 多万个视频监控摄像头,可以提供 PB(petabyte)和 EB(exabyte)级的连续图像。

在个人尺度上,智能手机作为最普及的移动设备在分析测试方面具有巨大潜力,它带有越来越多的传感器:加速计、麦克风、摄像头、陀螺仪、定位装置等,可以方便地获得各种数据和信息,如捕获人类行为数据、记录位置信息、感测环境变化,甚至可以为相关科学研究记录和分析数据,成为无所不在、人人拥有的大众传感器,成为人们生活中最受欢迎的电子设备^[10]。全球知名市场研究机构 eMarketer 在 2016 年指出全球智能手机用户达 21.6 亿人,其中中国智能手机用户总量接近 5.2 亿;并且预测到 2018 年全球智能手机用户将达 25.6 亿人,其中中国智能手机用户为 7.041 亿人。数量如此巨大的智能手机用户,将会产生 PB 级和 EB 级关于位置、环境等各种类型的时空数据。

21 世纪是数据爆炸增长的时代,人类通过亿万万个各类传感器将产生越来越多的数据,数据量级将从现在的 GB(gigabyte)级和 TB 级逐步增长到 PB 级、EB 级甚至 ZB(zettabyte)级^[1]。《Nature》和《Science》分别于 2008 年、2011 年出版了《Big Data》《Dealing with Data》专辑,指出大数据时代已到来^[1,11]。如何实现大数据时代地球空间信息“4R”(sending right data/information/knowledge to the right person at right place and right time)的智能服务要求,急需要提升大数据处理的时效性与智能化水平^[12]。在这样的时代背景下,研究脑认知与空间认知,实现空间感知和空间认知的智能化,并驱动决策支持的智能化,变得急迫而又可能了。

1 脑认知与空间认知

1.1 脑科学与类脑智能

人类的大脑是生物演化的奇迹,它是由数百种不同类型的上千亿的神经细胞所构成的极为复杂的生物组织^[13]。理解大脑的结构与功能是 21 世纪最具挑战性的前沿科学问题,理解认知、思维、意识和语言的神经基础,是人类认识自然与自身的终极挑战^[14]。脑科学研究的终极目标是破解智力起源与意识本质^[15]。

关于脑科学的研究世界各国相继开展了各种不同的研究计划。2013 年 1 月欧盟正式公布“人脑计划(human brain project, HBP)”,为未来新兴技术旗舰计划(FET-Flagship)的两大计划之一。该计划原由瑞士的神经学家 Henry Markram 构思并领导筹划,初始目标是用超级计

算机来模拟人类大脑,用于研究人脑的工作机制和将来脑疾病的治疗,并借此推动类脑人工智能的发展。参与的科学家来自欧盟各成员国的 87 个研究机构。2013 年美国提出“通过推动创新性神经技术开展大脑研究计划(brain research through advancing innovative neurotechnologies, BRAIN)”,该计划侧重于新型脑研究技术的研发,从而揭示脑的工作原理和脑的重大疾病发生机制。该计划不仅要引领前沿科学发展,同时带动相关高科技产业的发展^[14,16]。

中国《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》中将“脑科学与认知”列入基础研究 8 个科学前沿问题之一。“973”“863”计划和科技支撑计划等对脑科学研究总投入约 14 亿元人民币,国家自然科学基金资助脑研究的经费近 20 亿元人民币,2012 年起中国科学院启动的 B 类先导专项“脑功能联结图谱计划”,每年投入经费约 6 000 万元人民币^[14]。以上项目的实施,将有助于中国在脑认知原理、类脑人工智能和脑疾病诊治的前沿领域取得重大突破。

脑科学领域的核心概念是“智能”,作为人工智能起源的脑科学领域的进步,对人工智能的发展具有重大的促进作用。人工智能也称机器智能,它是计算机科学、控制论、信息论、神经生理学、心理学、语言学等多种学科互相渗透而发展起来的一门综合性学科。从计算机应用系统的角度出发,人工智能是研究如何制造出人造的智能机器或智能系统,来模拟人类智能活动的能力,以延伸人类智能的科学^[17]。人工智能技术代表着国家竞争力,并正在以前所未有的速度渗透到现代服务业、工业和军事等领域^[14]。

1.2 对地观测脑、智慧城市脑与智能手机脑

21 世纪面对大数据时代的到来,急需提升地球空间信息学大数据处理的时效性与智能化水平。尽管脑认知的研究仍然任重道远,但是将人工智能应用于地球空间信息学,提升地球空间信息处理的感知认知能力,实现对所获取的流数据快速处理、提取有用信息、挖掘相关规律和知识以驱动相应应用,实现脑认知中的数据驱动下的感知、认知和行动这 3 个过程,促使在地球空间的宏观、中观、微观 3 个尺度上分别形成对地观测脑、智慧城市脑和智能手机脑 3 个高度智能化系统,却是完全切实可行的。

宏观尺度上的对地观测脑是通过将通信、导航、遥感卫星一体化组网,并与人工智能和天地云计算相结合而形成的一种模拟脑感知、认知过程

的智能化天基信息实时服务系统。利用在轨影像处理技术、星上数据计算分析技术等对获取的数据信息进行处理分析,获取其中的有用信息和知

识,再通过星间通信链路和天地通信网的融合,将它们传送给全球任一需要服务的对象的智能终端^[6-7](见图 1)。

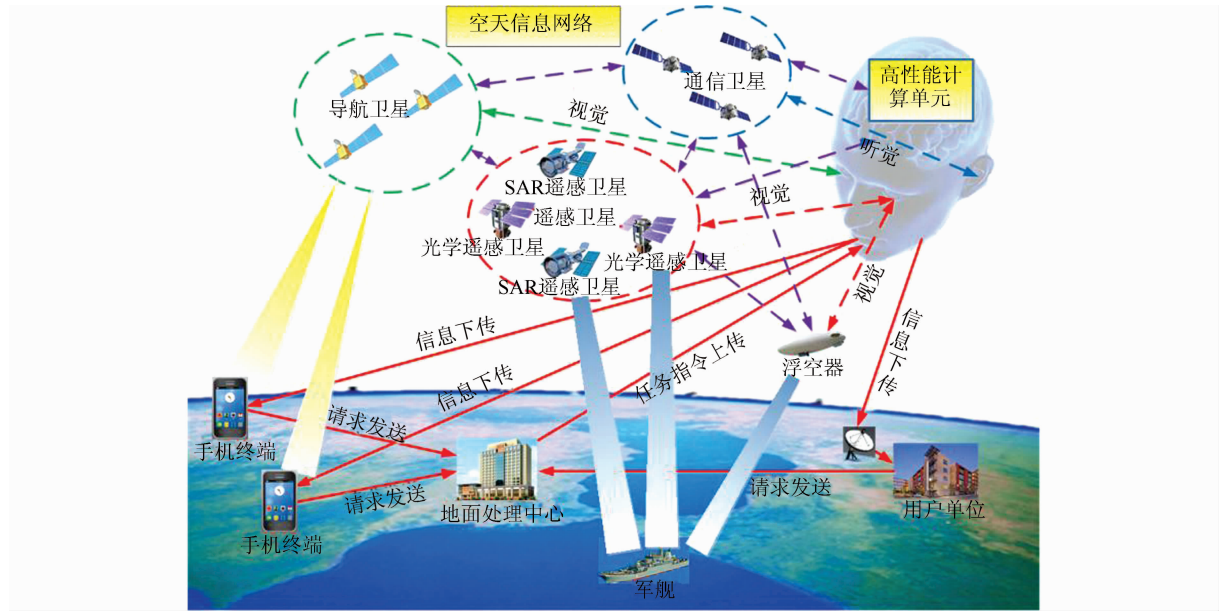


图 1 对地观测脑概念图
Fig. 1 Earth Observation Brain

中观尺度上的空间认知是智慧城市脑,它是在数字城市建立的网络空间上,通过物联网各种传感器自动和实时地采集现实城市中人和物各种状态和变化的大数据,利用人工智能和大数据挖掘等智能手段,由云计算中心处理其中海量和复杂的计算,实现对城市的感知、认知与控制反馈,为城市应急、城市管理、智能制造、经济发展和大众百姓提供各种智能化的服务的一种城市运行管理服务系统^[8-9]。

微观尺度上的空间认知是智能手机脑,它是利用手机和智能手表上的加速计、麦克风、摄像头、陀螺仪、定位装置和人体健康参数测量仪等各种传感器,能实现室内外优于 1 m 的定位精度,通过实时捕获人类行为数据、记录位置信息、感测环境变化和手机主人的健康参数(血压、血糖、血脂、心率、脉搏、心电图)等数据信息,通过手机内置高度智能芯片对各种数据进行上下文分析推理,将分析推理的有用信息实时推送给手机的主人。这种智能手机脑可分析手机持有人的行为学、健康学、生理学和心理学,并可成为主人的智能助理。

地球空间信息学中的对地观测脑、智慧城市脑和智能手机脑可以在规定的时间(right time)和规定的地点(right place)把正确的数据、信息、知识(right data/information/knowledge)推送给

需要的人(right person),实现空间信息的实时智能服务。

2 实现对地观测脑、智慧城市脑和智能手机脑需要解决的关键技术

2.1 多源成像数据在轨处理技术

由于卫星影像与视频数据量大,星上数据存储、处理与传输等能力有限,为将对地观测有效的数据信息实时传送给用户,对地观测脑将卫星数据获取、处理和提取功能模板固化在星上处理平台。从星上数据获取到信息提取整个过程中,需要对星上数据进行辐射校正与几何定位等影像预处理操作,对预处理后的影像实现典型目标在轨智能检测与提取,将提取目标的影像进行在轨数据智能压缩,对压缩数据实时下传,从而实现有限宽带下有效数据和信息的实时下传。整个过程需要突破星地协同的影像在轨实时辐射校正与几何定位、典型目标在轨智能提取与变化检测、影像数据在轨智能压缩、星上通用信息处理平台设计及构建、星地星间实时通信和星地一体化云计算等技术性难题^[18-19]。

2.2 海量数据流时空数据采集、动态管理与高效智能处理技术

城市里无处不在的传感器每天记录城市运行

和人类活动的各种数据,目前数据量已达 PB 级、EB 级甚至 ZB 级,需要对各类传感器接收到的海量时空数据进行处理分析,提取和挖掘其中的有效信息和知识,并及时推送给城市运营中心,帮助城市运营中心分析决策,确保城市安全平稳运行。其中需要突破物联网中各传感器数据获取、人工智能模式识别、大数据规则与规律挖掘、海量数据

存储管理与实时云计算和数字城市可视化等技术难题。武汉大学与吉奥公司联合研制的实时地理信息科学(geographic information science,GIS)系统 Geo-Smarter 就是一个实例(见图 2)。该系统能实时获得各种传感器数据的输入,通过动态数据管理和实时数据分析与推理,实现认知并作出反馈,支持城市各职能部门进行智慧城市的信息服务。

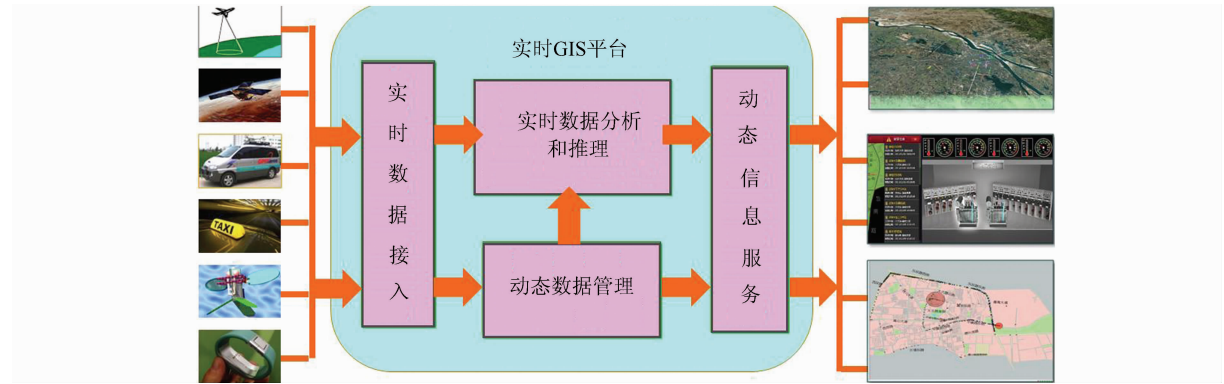


图 2 实时 GIS 系统 Geo-Smarter
Fig. 2 Real-Time GIS System Geo-Smarter

2.3 手机数据智能处理技术

现在的智能手机除了打电话外,通过自身携带的加速计、麦克风、摄像头、陀螺仪、定位装置等传感器捕获手机用户的行为连续数据、记录位置信息、感测主客观环境变化等各种数据,利用内置处理器和上下文思维引擎对数据处理分析,获取有用信息及时反馈给手机用户。实现手机的智能

化处理需要研制更加智能专业的手机应用软件(如手机医疗保健应用程序等),实现室内外一体的优于米级精度的导航定位,增加手机自身传感器的灵敏度和可靠性等。图 3 揭示的是一个老人在公园跌倒的上下文思维引擎的实例,通过手机记录的数据可以自动获得何时、何地该老人跌倒多长时间,可以实现自动报警和求援^[20]。

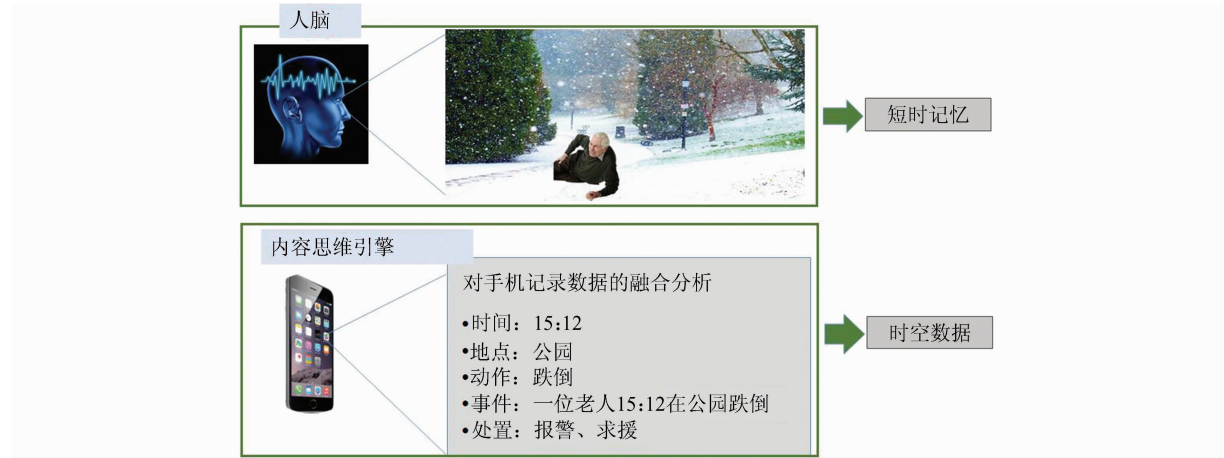


图 3 智能手机的上下文思维引擎
Fig. 3 Contextual Thinking Engines in Mobile

3 3 个空间认知脑初级阶段的应用实例

3.1 对地观测脑应用实例

对地观测脑的一个典型示例是海洋目标检

测、定位与实时传输,其基本流程如图 4 所示。对地观测脑利用其系统中的光学遥感卫星进行在轨成像,通过星上处理平台对获取的影像实时在轨辐射校正、目标检测、几何定位处理,提取影像中的有效信息。对提取的有效信息通过对地观测脑中的中继通信卫星,以分钟级的延迟下传至客户

端地面处理中心,再根据用户需求将有效信息快速推送给实时用户,用户根据推送信息作出决策判断。整个过程实现了用户对海洋目标快速准确的检测与定位,进而辅助用户做出决策判断。对

该系统的要求是漏检率为零,误检率不超过 10%。整个过程实现了对特定目标信息实时自动提取,实现了对地观测脑的智能感知与认知。该研究成果已在相关部门得到实际应用^[6]。

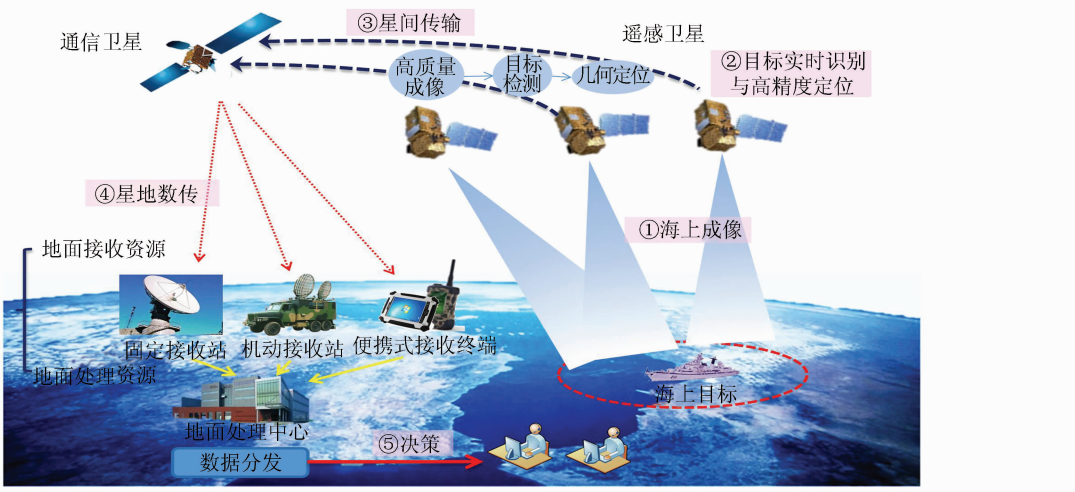


图 4 海洋目标检测与定位智能观测架构^[6]

Fig. 4 Ocean Target Detection and Location of Intelligent Observation Architecture

3.2 智慧城市脑应用实例——武汉市智慧交通应急脑

武汉市利用交警大数据研制的智慧交通应急脑,依托全息感知、时空分析和数据挖掘等技术打造而成。该系统基于交通大数据实时运营,接入各种应急资源,包括拥堵、事故、122 警情、警力、应急救援、警保联动、视频、信号灯、诱导屏等;实现一图动态展示,能构建应急全息图,灵活配置图层,动态可视化展示,实时推送刷新和图层自动聚合;提供一键视频查询,包括一键自动调度周边视频、视频云台控制和核查范围动态配置等功能。该系统具有实时调度导航功能,可实联周边各类警力资源,通过动态路径规划,计算最优路径,达到快速到达现场的目标。系统用于各类重大活动

安保,通过预设活动路线,警力动态部署,可实现目标位置跟踪和视频跟随监控。通过拥堵事故原因分析、拥堵程度指数分析、拥堵事故路段与时段分析以及 122 报警排名分析,从而对交通拥堵进行科学的综合研判分析。图 5 为运营中的武汉市智慧交通应急脑。自 2017 年该系统在武汉投入运营以来,取得了十分明显的成效。武汉市在全国城市拥堵排名榜中从原来的第 23 位降至 48 位,拥堵状况大幅缓解。2017 年 10 月以来,采取了拥堵事故“七快”新模式(快知、快到、快救、快分、快勘、快撤、快赔),使闭环处置时间从 7 min 降至 90 s。2017 年 12 月 11 日,李克强总理在武汉考察智慧城市建设时,专门考察了该项目,并给予充分肯定和表扬。



图 5 武汉市智慧交通应急脑

Fig. 5 Wuhan Smart Transportation Brain for Emergencies

3.3 智能手机脑应用实例——智能手机脑个人保健服务

智能手机脑通过手机上的各类传感器,对人的健康指数(体温、血压、心电图、血氧等)进行监测,并利用手机中专业智能应用软件对监测数据进行实时分析,如有异常,手机会发出报警提示,提醒手机用户应去医院检查身体。

4 结 语

面对物联网、云计算、大数据时代的到来,人们已能够实现对地球自然目标和人类社会活动的同步观测,来支持时空数据获取、处理、分析、挖掘和空间认知。空间认知的实现急需提升地球空间信息学大数据处理的时效性与智能化水平。将人工智能与时空大数据集成,将会提升地球空间信息处理的感知认知能力,实现对所获取的时空数据流快速处理、动态管理和实时提取有用的信息和知识,以驱动相应应用,实现脑认知中的感知、认知和行动这3个过程,促使在地球空间的宏观、中观、微观3个尺度上分别形成对地观测脑、智慧城市脑和智能手机脑3个高度智能化系统。

对地观测脑、智慧城市脑和智能手机脑是我们学习理解脑认知、实现空间认知的新跨越,是地球空间信息科学发展的新使命,需要广大科研人员投身到时空大数据与人工智能的集成创新研究中,为研制各种各样的对地观测脑、智慧城市脑和智能手机脑做出应有的贡献。

致谢:本文的写作过程中得到陈锐志教授、王密教授、朱欣焰教授、吴华意教授和董志鹏博士的支持和帮助,特表示感谢。

参 考 文 献

[1] Li Deren, Zhang Liangpei, Xia Guisong. Automatic Analysis and Mining of Remote Sensing Big Data [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2014, 43(12):1 211-1 216(李德仁, 张良培, 夏桂松. 遥感大数据自动分析与数据挖掘[J]. 测绘学报, 2014, 43(12):1 211-1 216)

[2] Li Deren. Introduction to Photogrammetry and Remote Sensing[M]. Beijing:Surveying and Mapping Press, 2001(李德仁. 摄影测量与遥感概论[M]. 北京:测绘出版社, 2001)

[3] Li Deren. Development Prospect of Photogrammetry and Remote Sensing[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(12):1 211-1 215(李德仁. 摄影测量与遥感学的发

展展望[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(12):1 211-1 215)

[4] Li Deren. Toward the Development of Remote Sensing and GIS in the 21st Century[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 25(2):127-131(李德仁. 浅谈21世纪遥感与GIS的发展[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 25(2):127-131)

[5] Li Deren, Shen Xin. On Intelligent Earth Observation System[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2005, 30(4): 9-11(李德仁, 沈欣. 论智能化对地观测系统[J]. 测绘科学, 2005, 30(4):9-11)

[6] Li Deren, Wang Mi, Shen Xin, et al. From Earth Observation Satellite to Earth Observation Brain [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(2):143-149(李德仁, 王密, 沈欣, 等. 从对地观测卫星到对地观测脑[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(2):143-149)

[7] Li Deren, Wang Mi, Dong Zhipeng, et al. Earth Observation Brain (EOB): An Intelligent Earth Observation System[J]. *Geo-spatial Information Science*, 2017, 20(2):134-140

[8] Li Deren, Yao Yuan, Shao Zhenfeng. The Concept, Supporting Technologies and Applications of Smart City[J]. *Journal of Engineering Studies*, 2012, 4(4):313-323(李德仁, 姚远, 邵振峰. 智慧城市的概念、支撑技术及应用[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2012, 4(4):313-323)

[9] Li Deren, Shao Zhenfeng, Yang Xiaomin. Theory and Practice from Digital City to Smart City[J]. *Geospatial Information*, 2011, 9(6):1-5(李德仁, 邵振峰, 杨小敏. 从数字城市到智慧城市的理论与实践[J]. 地理空间信息, 2011, 9(6):1-5)

[10] Shan Jie. Remote Sensing: From Trained Professionals to General Public [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10): 1 434-1 446(单杰. 从专业遥感到大众遥感[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1 434-1 446)

[11] Li Deren, Ma Jun, Shao Zhenfeng. On Space-Time Large Data and Its Applications[J]. *Satellite Application*, 2015(9):7-11(李德仁, 马军, 邵振峰. 论时空大数据及其应用[J]. 卫星应用, 2015(9):7-11)

[12] Li Deren. From Geomatics to Geospatial Intelligent Service Science[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10):1 207-1 212(李德仁. 从测绘学到地球空间信息智能服务科学[J]. 测绘学报, 2017, 46(10):1 207-1 212)

[13] Hall W. Towards a More Truly Human Brain Science[J]. *Lancet*, 2013, 382(9 895):850-850

[14] Pu Muming, Xu Bo, Tan Tieniu. Brain Science and Brain-Inspired Intelligence Technology: An Over-

view[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2016, 31(7):725-736(蒲慕明, 徐波, 谭铁牛. 脑科学与类脑研究概述[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(7):725-736)

[15] Seminar on Brain Science for 973 Plan 10th Anniversary. Review and Prospect of Brain Science Research[J]. *Chinese Basic Science*, 2008, 10(5):44-47(973 计划十周年脑科学研究专题研讨会. 脑科学研究回顾与展望[J]. 中国基础科学, 2008, 10(5):44-47)

[16] He Rongqiao, Liu Li. Current Situation and Frontier of Brain and Cognitive Science Research [J]. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 2016, 43(4): 295-296(赫荣乔, 刘力. 脑与认知科学研究的现状与前沿[J]. 生物化学与生物物理进展, 2016, 43(4): 295-296)

[17] Russell S J, Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach[J]. *Applied Mechanics & Materials*, 2010, 263(5):2 829-2 833

[18] Li Deren. On Space-Air-Ground Integrated Earth Observation Network[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2012, 14(4): 419-425(李德仁. 论天地一体化对地观测网络[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(4): 419-425)

[19] Li Deren, Li Qingquan. The Technique Integration of the Spatial Information and Communication[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2001, 26(Z2):61-62 (李德仁, 李清泉. 论地球空间信息技术与通信技术的集成[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2001, 26(Z2):61-62)

[20] Chen Ruizhi. Mobile Phone Thinking Engine Leads Intelligent Location Service[J]. *Journal of Navigation and Positioning*, 2017, 5(1):1-3 (陈锐志. 手机思维引擎引领智能位置服务[J]. 导航定位学报, 2017, 5(1):1-3)

Brain Cognition and Spatial Cognition: On Integration of Geo-spatial Big Data and Artificial Intelligence

LI Deren^{1,2}

- 1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China
- 2 Collaborative Innovation Center of Geospatial Technology, Wuhan 430079, China

Abstract: 21st century is the age of data explosion growth. In the era of big data, it is urgent to enhance the timeliness and intelligence level of the geo-spatial information science. Artificial intelligence is applied to geo-spatial information science, enhancing the perception and cognition ability of geospatial information processing, and realizing the three processes of perception, cognition and action of geo-spatial information science. Through the integration of geo-spatial big data and AI (artificial intelligence), the macro, meso and micro scale of the earth space, earth observation brain(EOB), smart city brain(SCB) and smart phone brain(SPB) are proposed. EOB, SCB and SPB are highly intelligent systems in the geo-spatial information science. The concept model and the key technologies needed to be solved of EOB, SCB and SPB are introduced in detail, and an example is given to illustrate the process of perception, cognition and active in the primary stage of the EOB,SCB and SPB. In future, EOB,SCB and SPB can observe when, where, what object, what change to push these right information to right person at the right time and right place.

Key words: earth observation brain; smart city brain; smart phone brain; geo-spatial big data; artificial intelligence; geospatial information intelligent service

Author: LI Deren, professor,Academician of Chinese Academy of Sciences, Academician of Chinese Academy of Engineering, Academician of Euro-Asia International Academy of Sciences. He is concentrated on the research and education in spatial information science and technology represented by RS, GPS and GIS, and promotes the construction of geographic national conditions monitoring, digital city, digital China, smart city and smart China. E-mail: drli@whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 91738302.