

感知技术在文化遗产研究中的应用与展望

王娟, 孟斌*, 张景秋, 李琛, 邹柏贤

(北京联合大学应用文理学院, 北京 100191)

摘要:感知技术的发展为文化遗产的探测、保护、利用和传承带来了机遇和挑战。鉴于当前文化遗产研究中应用的感知技术的复杂性及多样性,本文对感知技术及其在文化遗产研究中的应用进行系统梳理。首先,对感知技术的概念进行总结,重点介绍在文化遗产研究中发挥重要作用的多源遥感平台、社交媒体、移动通讯、智能交通等多源传感器的特点,以及关键信息处理技术,包括数据挖掘和知识发现、可视化技术以及虚拟现实技术;其次,梳理了感知技术在物质文化遗产、非物质文化遗产以及群体对于文化遗产的体验和评价等方面的应用进展;最后,探讨了文化遗产研究中感知技术在数据精度、多源数据融合、信息处理等方面存在的问题,指出其数据共享化、平台网络化和应用社会化的发展趋势。

关键词:感知技术;文化遗产;大数据;传感器;信息处理

1 引言

自1972年联合国教科文组织《保护世界自然和文化遗产公约》和《保护非物质文化遗产公约》正式提出并明确“文化遗产”概念以来,文化遗产因其不可替代的历史信息载体和艺术文化等价值受到世界各国的重视(张建忠等, 2017)。同时,全球范围内文化遗产也因自然侵蚀、人为损毁或传承意识缺乏等而面临不同程度的消亡和失传危机(林琿等, 2014)。如何开展文化遗产的探测,进而对其进行有效保护、利用和传承等文化遗产研究,已成为多学科关注的热点之一(赵生才, 2004; Baltsavias et al, 2006)。

文化遗产研究是一项多学科综合的复杂过程,规划建筑、社会科学、地理学、博物馆学、旅游学等领域专家学者从文化遗产的价值功能、保护原则、经营管理等多方面开展了大量研究(杨丽霞等,

2004)。其中,随着科学技术的发展,感知技术的应用逐渐成为文化遗产探测、保护、利用和传承等研究的新方向和必然趋势,越来越多的专家学者致力于该领域研究。一方面,如何探测和获取文化遗产现状数据是开展文化遗产保护和传承等相关研究的基础。传统上,实地调研和调查问卷是实现文化遗产研究相关数据采集和分析的主要手段(刘昌雪等, 2012; 俞万源等, 2013; 湛东升等, 2016)。随着测绘技术、遥感技术等高科技手段的发展,以及照相机、摄像机等便携设备的普及,利用高科技手段探测和获取文化遗产的现状数据,建立文化遗产数据库,实现数字化存档成为文化遗产研究的有效方法。例如,卫星遥感、激光雷达遥感等已有效用于古建筑遗址和文化景观的探测和感知研究(聂跃平等, 2009; Evans et al, 2013; 骆社周等, 2014; 李仁杰等, 2015)。非物质文化遗产数据库的建立对于舞蹈、曲艺等的传承有着独特优势(张建立等, 2014)。

收稿日期:2017-07;修订日期:2017-09。

基金项目:北京市社会科学基金研究基地项目(16JDGLC014);国家自然科学基金项目(41671165, 41371158) [Foundation: Beijing Social Science Foundation, No.16JDGLC014; National Natural Science Foundation of China, No.41671165, No.41371158]。

作者简介:王娟(1986-),女,河南周口人,讲师,主要从事3S技术与应用、城市地理等研究,E-mail: wangjuan@buu.edu.cn。

通讯作者:孟斌(1971-),男,安徽肥东人,教授,硕士生导师,主要从事空间分析、城市地理信息系统等研究,

E-mail: mengbin@buu.edu.cn。

引用格式:王娟, 孟斌, 张景秋, 等. 2017. 感知技术在文化遗产研究中的应用与展望[J]. 地理科学进展, 36(9): 1092-1098. [Wang J, Meng B, Zhang J Q, et al. 2017. Applications and prospect of sensing technologies in cultural heritage research[J]. Progress in Geography, 36(9): 1092-1098.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.09.005

另一方面,大众对文化遗产的评价和传播对文化遗产的有效利用与传承等有着重要作用。社交媒体、移动通讯、智能交通等的发展,使得图像、视频、文字等地理空间大数据不断涌现和便于获取。在此基础上,利用数据挖掘和知识发现、可视化等新兴信息技术,可有效地感知大众对文化遗产体验的移动轨迹和行为、对文化遗产的评价和满意度与文化遗产之间的联系(Kitchin, 2013)。

由上可知,感知技术在文化遗产领域研究中具有独特优势并发挥着重要作用。但是,感知技术是一个泛知识化的概念,包括传感器技术和信息处理技术(马建, 2011),不同类型传感器会产生不同结构特征和数据量的大数据,信息处理技术也随着数据结构和研究目的的不同而有其适用性和侧重性。加之,文化遗产又极具广泛性,包括各类物质文化遗产和非物质文化遗产,导致目前关于感知技术在文化遗产研究中的应用多为实证案例研究,缺乏感知技术在文化遗产领域应用的系统梳理。本文聚焦于文化遗产研究中的现代感知技术特点及其应用研究进展,首先对感知技术的概念进行介绍;然后重点介绍在文化遗产研究中发挥重要作用的感知技术的主要特点;在此基础上,重点关注和探讨大数据时代背景下,感知技术在物质文化遗产、非物质文化遗产以及如何感知人们对于文化遗产体验和评价等相关文化研究中的应用;最后,总结感知技术应用于文化遗产研究时存在的问题及其发展趋势。

2 文化遗产研究中的感知技术

2.1 感知技术概述

现实世界中,人们一般通过感官来感知周围的物质世界和社会环境,进而获取认知和知识,为自己的决策和行为提供指导(李建国等, 2009)。然而,有一些对象和事物是基于感官无法直接感知或者无法进行全面感知的,这就需要借助工具和仪器来进行感知,称为“感知技术”。随着感知技术的广泛应用和深入研究,感知技术的定义已相对明确。一般认为,感知技术包括传感器技术和信息处理技术。其中,传感器是感知、监测和收集信息的窗口,可认为是人类五官的延伸,也被称作“电五官”;而信息处理技术则是对传感器记录的数据进行加工和处理(马建, 2011)。

根据感知对象或服务目的不同,感知技术所涉及的传感器和数据处理技术也有所不同。笔者以“感知技术”作为关键词在“中国知网”中进行文献检索,标题中含有该词条的文献涉及车联网感知技术、压缩感知技术、电网态势感知技术、频谱感知技术等领域,词条数达1000多条,可见“感知技术”所涉及内容之广泛。例如,基于各类遥感平台和信息提取等的遥感技术对于自然环境的感知发挥着日益重要的作用;而随着各类通讯设备、社交媒体、智能交通等各类现代传感器的出现以及数据挖掘、可视化技术等的发展和深入,人文和社会经济要素的空间特征也得到有效感知,被称为“社会感知”(Liu et al, 2015; 刘瑜, 2016)。由此可以推断,感知技术是一个泛知识化的概念,针对具体的研究领域才有实际的意义。

感知技术在文化遗产研究中的应用,既包括对各类物质文化遗产和非物质文化遗产资源本身的感知,也包括人们对于各类文化遗产的体验和评价等的感知。下文将围绕文化遗产研究中感知技术所应用的传感器技术和信息处理技术进行阐述。

2.2 文化遗产研究中的感知技术特点

传统层面上,获取文化遗产数据主要通过实地调研和调查问卷的方式进行,借助照相机、录影机、扫描仪等以文本、图片、视频、影音等形式采集和记录文化数据。随着遥感平台、移动通讯、社交媒体等现代传感器的发展,文化遗产研究中的传感器技术也趋向系统化和社会化。一方面,遥感应用线性或阵列扫描仪、多光谱摄影仪、雷达等传感仪器收集目标地物辐射和反射的电磁波信息,进而对其进行探测和识别,具有探测尺度大、信息获取速度快的特点,为物质文化遗产,尤其是大区域物质文化遗产的感知及动态监测提供了多种经济便捷的探测手段。同时,遥感的波谱分辨率高,可利用肉眼观测可见光波段之外的红外遥感、微波遥感,实现地下和水下物质文化遗产的无损探测和全天时、全天候探测(林琿等, 2014)。另一方面,人类活动的多样化及移动特性能通过移动终端进行感知,使得感知的范围得到极大扩展,也赋予了文化遗产研究旺盛的活力。尤其是在计算机技术和通讯网络技术的支持下,各种社交媒体、智能交通、移动通讯设备和便携传感器的感知终端设备往往携带了多种传感器,可感知时空轨迹、温度、声音、图像、文本等多种地理空间大数据。这些大数据具备规模性、多样

性和高速性等特征(Batty, 2013),可从群体行为轨迹及其对于文化遗产体验的满意度、文化遗产与周围环境关系、文化遗产之间联系等方面开展研究(Kitchin, 2013; 秦萧等, 2013; Miller et al, 2015),提供对文化遗产更全面、深入的认知。文化遗产研究中的传感器类型及特点如表1。

文化遗产研究中大数据既包括遥感传感器获取的结构性的影像数据,也包括诸如网络文本、图片、视频、声音等非结构性数据。从多源文化遗产大数据中抽象出有效信息,可最大限度地发掘有价值的信息,形成观点与交互,实现文化遗产感知,是信息技术支持下感知技术在文化遗产领域应用中的核心问题。目前用于文化遗产大数据信息处理的方法根据其应用目的可分为以下三类。一是空间数据挖掘与知识发现技术。统计学中基本的数据挖掘技术和海量空间数据处理技术,如判别分析、主成分分析、因子分析、相关分析、多元回归分析、支持向量机、神经网络等,可有效挖掘文化与环境关系、文化之间的联系等(裴韬等, 2001; 李婷等, 2014)。二是可视化技术。指在数据挖掘的基础上,以图表、地图、符号、示意图等表达,实现数据到知识的转化(李红沓等, 1999)。在文化遗产研究中,可视化技术能以更直观的方式帮助文化遗产进行传播和创新。例如,通过现代测量技术和多媒体技术获取的地形数据、影像数据、三维模型数据和多媒体属性数据,按GIS数据模型进行集成管理,在此基础上可提供三维动态交互式可视化地图和查询系统,在文化遗产资源管理中有着极为广泛应用前景。三是虚拟现实技术。虚拟现实技术是综合计算机图形技术、多媒体技术、人机交互技术、网络技术、立体显示技术以及仿真技术等多种科学技术

综合发展起来的计算机技术(李德仁, 2008; Lin et al, 2013; 侯溯源等, 2014)。虚拟现实技术是当代数字化技术的重要成果之一,对于历史文化遗产资源保护开发有着重要意义。在一些大型展览中,已利用虚拟现实技术连接学校的PC设备,实现了科技博物馆资源为交互娱乐服务。如中国科学技术馆利用图像处理系统,成功地将历史中散落、烧毁的名画完美再现,目前这项技术已成为日本的“数字化大使”,它成功塑造了“传统及现代技术相结合”的典范代表。

3 感知技术在文化遗产研究中的应用

遥感传感器、社交媒体、移动通讯以及智能交通等多源传感器采集的文化遗产大数据,可有效地用于物质文化遗产的识别、管理和保护,以及非物质文化遗产的数据库建设、宣传和传承;同时在对于感知人们对文化遗产的体验和评价方面发挥日益重要的作用。感知技术的综合应用能充分地利用各种传感器技术的互补性和信息处理技术,为文化遗产研究提供更加全面的方法与技术手段。

3.1 物质文化遗产的感知

基于照相机、录影机、扫描仪,以及多源遥感平台等传感器获取物质文化遗产的现状数据,并利用信息技术进行数字化重建和数字存档,是文化遗产保护的基础工作,在物质文化遗产的识别和检测、管理和保护等领域发挥着重要作用。

3.1.1 物质文化遗产的识别和检测

物质文化遗址一般为人工建成,与周边未经人工扰动的自然环境存在差异,因此可在遥感图像上进行识别和检测。实际上,早在1906年,遥感技术便开始应用于对物质文化遗址的探测;20世纪30年代建立的航空摄影考古学的理论基础,充分显示了遥感技术在文化遗址探测及揭示文化遗址的分布规律与特性方面的优势(林珲等, 2014)。目前有很多利用航空可见光和红外波段摄影技术发现和重新勾绘的古文化遗址,如古埃及名城亚历山大、古罗马的建筑遗址、古玛雅文化遗址,以及中国的京杭运河遥感探测、山海关老城头的探测等(聂跃平等, 2009)。

随着航天遥感技术的发展,形成了以高时空分辨率和高光谱分辨率遥感和微波雷达等多种遥感技术综合应用的遗址探测体系,尤其是微波雷达遥

表1 文化遗产研究中的主要传感器及其特点一览表

Tab.1 Overview of typical sensors used in cultural heritage research and their data format

| 传感器 | 数据类型 | 数据特点 |
|-----------|-----------|--------------------|
| 手持照相机、录影机 | 图片、视频等 | 实时记录 |
| 光学遥感 | 遥感影像、DEM等 | 覆盖范围大、高光谱分辨率和空间分辨率 |
| 雷达遥感 | | |
| 机载激光雷达 | | |
| 地球物理探测 | | |
| 社交媒体 | 文本、图片、视频等 | 规模性、多样性和高速性 |
| 智能交通卡 | | |
| 移动通讯设备 | | |
| 便携传感器 | | |

感全天时全天候探测以及对水下和地下物质文化遗产的无损探测能力,为考古遗址探测、监测与保护提供了丰富的数据源。例如,柬埔寨的吴哥古城就是利用成像雷达 SIR-C/X-SAR 和 AIRSAR 成像重现了原貌,由原来的 200~400 km² 扩大到 1000 km²(骆社周等, 2014)。

3.1.2 物质文化遗产的管理和保护

感知技术可对影响物质文化遗产的环境因素感知和建模分析。目前,很多学者已利用感知技术在物质文化遗产管理和保护领域作了大量相关工作。例如,遥感技术可监测物质文化遗址控制地带内的土地利用变化,及时纠正对物质文化遗产的有害行为,使文化遗产的真实性和完整性得到保持(董方圆等, 2012)。此外,一些文物古迹(如石窟、壁画等)对周围环境比较敏感,在结合地面传统环境感知器(如温度计、湿度计等),通过温度、湿度、光照等环境因子的检测,可以通过无线和有线的传感网络,在地理信息系统中进行数据归一化和分析评估,为物质文化遗产的保护决策提供依据(欧阳劲松, 2011)。

基于感知技术将物质文化遗产进行个性化展示是传承和保护文化遗产的重要方式。例如,感知技术中重要的增强现实技术,能将重建的文物融合至实际环境中,在一定程度上为游客提供了可替代的观赏方式,这不仅弥补了实际中某些文化遗产缺失的遗憾,也增加了游客与文化遗产之间的距离,在保护文化遗产的同时,也不影响观赏兴趣。又如,三维激光扫描技术在西藏壁画的保存和维修中发挥了重要作用(蔡广杰等, 2009)。

3.2 非物质文化遗产的感知

非物质文化遗产是指人类在社会历史实践过程中所创造的非物质形态的、有艺术价值历史价值的各种精神文化,例如传统的舞蹈、绘画、体育和游艺、节庆和礼仪等。感知技术的使用,使得越来越多的非物质文化遗产以文本、图形、图像、音频和视频等非结构化的形式进行保存,对非物质文化遗产的数字化建库、宣传和传承有着重要意义。

3.2.1 非物质文化遗产数据库建设

通过感知技术,以二维平面化的声音、图像、文字、视频等形式建立文化数据库存储数字化的文化资源,是保护非物质文化遗产最有效、最直接的方法(李仁杰等, 2014; 颜丙金等, 2017)。例如,采用数码相机进行文物文化资源的拍摄,以清晰的图片反

映实物的质地、色彩、构成,实现了平面化的图像采集和存储;又如,目前舞蹈的记录形式以录像方式为主。同时,感知技术促使文化与科技在实践层面上深度融合,推动了非物质文化遗产的数字化建设工程。例如,借助现代音源采集和音频处理技术,对云南省少数民族独具特色的濒危乐器、演奏与演唱方式等音乐资源进行采集和处理,建立云南少数民族数字化音乐库。再如,徽州牌坊的保护修复与数字化展示研究、喜马拉雅地区非遗多媒体数据库建设、新疆民间音乐与民间舞蹈非遗多媒体数字资源保护等均属此类。

3.2.2 非物质文化遗产的宣传和传承

基于感知技术,非物质文化遗产可以图、文、影、音等多媒体形式呈现,这不仅便于不同人群之间的沟通交流,在促进非物质文化遗产宣传的同时,也吸引大众关注非物质文化遗产的保护。利用非物质文化遗产资源感知数据进行非物质文化遗产研究,对促进科研院所、高等院校非物质文化遗产研究工作的创新具有重要推动作用。更有意义的是,与地理空间数据相结合,中国古诗词、歌词等所表达的情感和声音代表的城市印象等文化符号的时空特征亦可采用可视化方法进行展示,这为文学研究提供了新的视角(张建立等, 2014)。

3.3 群体对文化遗产体验和评价的感知

随着互联网的发展与普及,互联网络的作用已从一个信息获取工具扩展到公共话语交流乃至具有重要现实影响的社交空间,越来越多的网民通过互联网获取需要信息的同时,也在网络分享感受、评价、观点和满意度等体验与情感信息,这使得利用网络数据研究群体对于文化遗产的体验和评价等情感文化成为可能。鉴于网络社交媒体数据以文本数据为主,也有部分视频和图片数据,目前基于社交媒体数据的文化遗产的体验和评价的感知可分为基于文本分析和图像识别两类。例如,学者利用微博等文本数据,结合地理空间数据,基于文本分析方法对文化遗产形象和旅游满意度的研究(张高军等, 2011; 何芸, 2013; 滕茜, 2015; 刘逸等, 2017)。此外,也有部分基于社交媒体图片、视频等数据开展旅游目的文化感知的研究,但由于图片、视频等非结构化数据处理涉及图像识别、深度学习等技术,目前该领域研究报道较少。实际上,由于社交媒体数据中文本的随意性较强,且在文本分析中存在对文本的解读有较大主观性的不足,而图片

等包含的信息更为丰富,二者的有机结合将能为群体对文化遗产的体验和评价提供更为全面的感知,这也是大数据应用的发展方向之一。

4 总结与展望

以多源传感器为基础,结合新一代信息处理技术,感知技术可得到位置、时间等容易处理的简单信息;同时,也可得到文本、图像、视频、声音等不易处理的复杂信息,使得感知技术在文化遗产研究中,特别是物质和非物质文化遗产的识别、管理和保护、传承和创新,以及群体对于文化遗产的体验和评价等感知中发挥着重要作用。随着当前多源传感器技术的发展以及信息处理技术的提升,对感知技术在文化遗产研究领域的发展趋势归纳如下:

(1) 在多源大数据获取方面,多源传感器获取的是大量异构性数据,既有结构性的影像等数据,也有非结构性的文字、图片、视频等数据,如何将不同结构的文化大数据(如社交媒体数据、移动轨迹数据和遥感影像)进行融合,深入挖掘文化遗产大数据潜在价值仍有很大的提升空间。同时,社交媒体产生的大数据中,由于人的个体差异性和社会化特性,以及使用网络人群的集中性,也降低了数据的随机性和代表性,影响了感知数据的客观性与准确性,这使得感知技术获取的大数据在文化遗产研究中的应用面临更大挑战。最后,大数据更关注“群体”特征,而对于“个人”特征记录很少,仍然不能完全替代传统的调查方法(杨振山等, 2015)。那么,不同来源的数据是否具有可比性,如何匹配,以及如何将传统的基于样本的统计学方法应用于大数据的研究,融合不同结构的文化大数据,将是感知技术在文化遗产研究中的一个重要课题。

(2) 在信息处理技术方面,大数据分析、挖掘技术、虚拟现实、可视化等技术能有效地推动和提升文化遗产的数字化保护工作,并取得了诸多成果。物联网、移动导航定位及人工智能等新技术的发展,使得信息处理技术日趋网络化、智能化;同时,由于网络环境的多元、多维、多尺度、多时态等特征,未来的感知信息处理技术在文化遗产中的应用,还将发展基于云计算和智能的空间信息服务,向数据共享化、平台网络化方向发展。

(3) 在应用方面,感知技术不仅可在文化遗产、感知群体情感体验和评价等领域发挥作用,异构大

数据的融合在数字考古、虚拟复原、数字博物馆等文化遗产研究中发挥着重要作用,感知技术在文化研究中的应用越发趋向社会化。然而,由于文化遗产本身的复杂性,感知技术在文化遗产研究中的应用是一项长期复杂的工作,需要各相关行业专家学者的积极参与和共同努力,以充分发挥感知技术在文化遗产开发、管理、保护、宣传和 innovation 中的优势和使用价值。

参考文献(References)

- 蔡广杰. 2009. 大昭寺三维数字化应用初探[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 30(3): 83-86. [Cai G J. 2009. The application of 3D digitalization of Jokhang Temple[J]. Journal of Capital Normal University: Natural Sciences Edition, 30(3): 83-86.]
- 董方圆, 李国旗, 王磊, 等. 2012. 基于遥感技术的古城建筑风格保护性监测[J]. 环境科学与技术, 35(S2): 378-381. [Dong F Y, Li G Q, Wang L, et al. 2012. The protective monitoring on the architectural style of the ancient architecture based on the remote sensing technology[J]. Environmental Science & Technology, 35(S2): 378-381.]
- 何芸. 2013. 基于新浪微博的三峡游客旅游感知形象研究: 一个内容分析法的视角[D]. 重庆: 西南大学. [He Y. 2013. Research on the Three Gorges tourists' perceived image based on the Sina micro-blog[D]. Chongqing, China: Xi'an University.]
- 侯溯源, 安晓亚, 许剑, 等. 2014. 地理信息可视化新技术综述与分析[J]. 测绘与空间地理信息, 37(1): 30-32, 37. [Hou S Y, An X Y, Xu J, et al. 2014. An overview and analysis of the new geovisualization technology[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 37(1): 30-32, 37.]
- 李德仁. 2008. 虚拟现实技术在文化遗产保护中的应用[J]. 云南师范大学学报: 哲学社会科学版, 40(4): 1-7. [Li D R. 2008. The application of virtual reality technology to cultural heritage protection[J]. Journal of Yunan Normal University: Humanities and Social Sciences Edition, 40(4): 1-7.]
- 李德仁, 童庆禧, 李荣兴, 等. 2012. 高分辨率对地观测的若干前沿科学问题[J]. 中国科学: 地球科学, 42(6): 805-813. [Li D R, Tong Q X, Li R X, et al. 2012. Current issues in high-resolution earth observation technology[J]. Science China: Earth Science, 55(7): 1043-1051.]
- 李红岩, 崔伟宏. 1999. 地理信息系统中时空多维数据可视化技术研究[J]. 遥感学报, 3(2): 157-163. [Li H G, Cui W H. 1999. Visualization of spatio-temporal multi-dimension data in GIS[J]. Journal of Remote Sensing, 3(2): 157-163.]
- 李建国, 汤庸, 姚良超, 等. 2009. 社交网络中感知技术的研究

- 究与应用[J]. 计算机科学, 36(11): 152-156. [Li J G, Tang Y, Yao L C, et al. 2009. Research and application of awareness in social network sites[J]. Computer Science, 36(11): 152-156.]
- 李仁杰, 傅学庆, 张军海. 2014. 非物质文化空间数据库与地图表达方法: 基于蔚县剪纸的实证研究[J]. 人文地理, 29(1): 20-25. [Li R J, Fu X Q, Zhang J H. 2014. The spatial database and mapping expression of intangible culture: A case study of Yuxian paper cuts[J]. Human Geography, 29(1): 20-25.]
- 李仁杰, 谷枫, 郭风华, 等. 2015. 基于DEM的交通线文化景观感知与功能分段研究: 紫荆关长城景观的实证[J]. 地理科学, 35(9): 1086-1094. [Li R J, Gu F, Guo F H, et al. 2015. Cultural landscape perception degree model and perception function division based on DEM of traffic line: A case study of Zijingguan Great Wall[J]. Scientia Geographica Sinica, 35(9): 1086-1094.]
- 李婷, 裴韬, 袁焯城, 等. 2014. 人类活动轨迹的分类、模式和应用研究综述[J]. 地理科学进展, 33(7): 938-948. [Li T, Pei T, Yuan Y C, et al. 2014. A review on the classification, patterns and applied research of human mobility trajectory[J]. Progress in Geography, 33(7): 938-948.]
- 林琿, 胡明远, 陈富龙. 2014. 文化遗产多源探测技术与环境重建展望[J]. 地球信息科学学报, 16(5): 673-680. [Lin H, Hu M Y, Chen F L. 2014. Review on multi-source detection technology and environment reconstruction of cultural heritage[J]. Journal of Geo-information Science, 16(5): 673-680.]
- 刘昌雪, 汪德根. 2012. 基于SEM的旅游者对世界非物质文化遗产满意度测评: 以苏州昆曲为例[J]. 地理科学进展, 31(10): 1369-1376. [Liu C X, Wang D G. 2012. Evaluation of tourist satisfaction of world intangible cultural heritage based on SEM: A case study of Kunqu[J]. Progress in Geography, 31(10): 1369-1376.]
- 刘逸, 保继刚, 朱毅玲. 2017. 基于大数据的旅游目的地情感评价方法探究[J]. 地理研究, 2017, 36(6): 1091-1105. [Liu Y, Bao J G, Zhu Y L. 2017. Exploring emotion methods of tourism destination evaluation: A big-data approach[J]. Geographical Research, 36(6): 1091-1105.]
- 刘瑜. 2016. 社会感知视角下的若干人文地理学基本问题再思考[J]. 地理学报, 71(4): 564-575. [Liu Y. 2016. Revisiting several basic geographical concepts: A social sensing perspective[J]. Acta Geographica Sinica, 71(4): 564-575.]
- 骆社周, 习晓环, 王成. 2014. 激光雷达遥感在文化遗产保护中的应用[J]. 遥感技术与应用, 29(6): 1054-1059. [Luo S Z, Xi X H, Wang C. 2014. The application of Lidar remote sensing in cultural heritage preservation[J]. Remote Sensing Technology and Application, 29(6): 1054-1059.]
- 马建. 2011. 物联网技术概论[M]. 北京: 机械工业出版社. [Ma J. 2011. Wulianwang jishu gailun[M]. Beijing, China: China Machine Press.]
- 聂跃平, 杨林. 2009. 中国遥感技术在考古中的应用与发展[J]. 遥感学报, 13(5): 940-962. [Nie Y P, Yang L. 2009. Applications and development of archaeological remote sensing technology in China[J]. Journal of Remote Sensing, 13(5): 940-962.]
- 欧阳劲松. 2011. 物联网在文化遗产保护领域应用的关键: 测控技术[J]. 文物保护与考古科学, 23(3): 55-59. [Ouyang J S. 2011. The key of sensor network applied in cultural heritage protection measurement and control technology[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 23(3): 55-59.]
- 裴韬, 周成虎, 骆剑承, 等. 2001. 空间数据知识发现研究进展评述[J]. 中国图象图形学报, 6(9): 854-860. [Pei T, Zhou C H, Luo J C, et al. 2001. Review on the proceedings of spatial data mining research[J]. Journal of Image and Graphics, 6(9): 854-860.]
- 秦萧, 甄峰, 熊丽芳, 等. 2013. 大数据时代城市时空行为研究方法[J]. 地理科学进展, 32(9): 1352-1361. [Qin X, Zhen F, Xiong L F, et al. 2013. Methods in urban temporal and spatial behavior research in the big data era[J]. Progress in Geography, 32(9): 1352-1361.]
- 颜丙金, 张捷, 李莉, 等. 2017. 元朝及以前书法景观文化遗产时空特征: 基于《寰宇访碑录》及其补作数据库[J]. 地理研究, 36(5): 985-1000. [Yan B J, Zhang J, Li L, et al. 2017. Temporal and spatial characteristic of Chinese calligraphic landscape heritages till Yuan Dynasty: Based on Huan Yu Fang Bei Lu and its supplementary[J]. Geographical Research, 36(5): 985-1000.]
- 杨丽霞, 喻学才. 2004. 中国文化遗产保护利用研究综述[J]. 旅游学刊, 19(4): 85-91. [Yang L X, Yu X C. 2004. A summary of China's researches on the protection and utilization of cultural heritage[J]. Tourism Tribune, 19(4): 85-91.]
- 杨振山, 龙瀛, Nicolas DOUAY. 2015. 大数据对人文—经济地理学研究的促进与局限[J]. 地理科学进展, 34(4): 410-417. [Yang Z S, Long Y, Douay N. 2015. Opportunities and limitations of big data applications to human and economic geography: the state of the art[J]. Progress in Geography, 34(4): 410-417.]
- 俞万源, 冯亚芬, 梁锦梅. 2013. 基于游客满意度的客家文化旅游开发研究[J]. 地理科学, 33(7): 824-830. [Yu W Y, Feng Y F, Liang J M. 2013. Hakka culture tourism development based on tourist satisfaction[J]. Scientia Geographica Sinica, 33(7): 824-830.]
- 湛东升, 张文忠, 余建辉, 等. 2016. 问卷调查方法在中国人文地理学中的应用[J]. 地理学报, 71(6): 899-913.

- [Zhan D S, Zhang W Z, Yu J H, et al. 2016. Application of questionnaire survey method in human geography studies in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 71(6): 899-913.]
- 张高军, 李君轶, 张柳. 2011. 华山风景区旅游形象感知研究: 基于游客网络日志的文本分析[J]. *旅游科学*, 25(4): 87-94. [Zhang G J, Li J Y, Zhang L. 2011. A research on tourism destination image perception of Huashan scenic spot: Based on text analysis of weblogs[J]. *Tourism Science*, 25(4): 87-94.]
- 张建立, 李仁杰, 傅学庆, 等. 2014. 古诗词文本的空间信息解析与可视化分析[J]. *地球信息科学学报*, 16(6): 890-897. [Zhang J L, Li R J, Fu X Q, et al. 2014. Spatial information analysis and visualization analysis of the ancient poetry[J]. *Journal of Geo-information Science*, 16(6): 890-897.]
- 张建忠, 温娟娟, 刘家明, 等. 2017. 山西省非物质文化遗产时空分布特征及旅游响应[J]. *地理科学*, 37(7): 1104-1111. [Zhang J Z, Wen J J, Liu J M, et al. 2017. Spatial and temporal distribution characteristics and tourism response of intangible cultural heritage in Shanxi Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 37(7): 1104-1111.]
- 赵生才. 2004. 人类文化遗产信息的空间认识[J]. *地球科学进展*, 19(4): 687-691. [Zhao S C. 2004. Renlei wenhua yichan xinxi de kongjian renshi[J]. *Advances in Earth Science*, 19(4): 687-691.]
- 滕茜. 2015. 我国世界遗产旅游特征研究[D]. 上海: 华东师范大学. [Teng Q. 2015. Research on tourism characteristics of the world heritage in China[D]. Shanghai, China: East China Normal University, 2015.]
- Baltsavias M, Gruen A, Van Gool L, et al. 2006. Recording, modelling and visualization of cultural heritage[M]. London, UK: Taylor & Francis.
- Batty M. 2013. Big data, smart cities and city planning[J]. *Dialogues in Human Geography*, 3(3): 274-279.
- Evans D H, Fletcher R J, Pottier C, et al. 2013. Uncovering archaeological landscapes at Angkor using lidar[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(31): 12595-12600.
- Kitchin R. 2013. Big data and human geography: Opportunities, challenges and risks[J]. *Dialogues in Human Geography*, 3(3): 262-267.
- Lin H, Chen M, Lu G N, et al. 2013. Virtual geographic environments (VGEs): A new generation of geographic analysis tool[J]. *Earth-Science Reviews*, 126: 74-84.
- Liu Y, Liu X, Gao S, et al. 2015. Social sensing: A new approach to understanding our socioeconomic environments [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 105(3): 512-530.
- Miller H J, Goodchild M F. 2015. Data-driven geography[J]. *GeoJournal*, 80(4): 449-461.

Applications and prospect of sensing technologies in cultural heritage research

WANG Juan, MENG Bin*, ZHANG Jingqiu, LI Chen, ZOU Baixian

(College of Applied Arts and Sciences, Beijing Union University, Beijing 100191, China)

Abstract: The development of sensing technologies has brought opportunities and challenges for the discovery, protection, inheritance, and innovation of cultural heritage. In view of the complexity and diversity of the sensing technologies used in the current cultural heritage research, this article systematically reviews such technologies and their applications in this field. First, the article introduces and analyzes the concept of sensing technology. Second, we present the typical types of sensors and the key information processing techniques used in cultural heritage research. Third, the applications of sensing technologies in tangible cultural heritage, and human cognition of cultural heritage were summarized, including the recognition, management, and protection of cultural landscape, the innovation and management of intangible cultural heritage, the perception of cultural cognition, and the transportation behavior. Last, the article discusses the potential problems of data accuracy and data fusion. It also identifies the transformative trend of sensing technologies and applications in cultural heritage research to data sharing, networked platform, and popularized application.

Key words: sensing technologies; cultural heritage; big data; sensors; information processing