

BIM 与云、大数据、物联网等技术的 集成应用现状与未来

张云翼, 林佳瑞, 张建平

(清华大学土木工程系, 北京 100084)

摘 要: 近年来, 云计算、大数据、物联网等技术不断涌现, 并与建设工程中建筑信息模型(BIM)技术的应用不断融合, 越来越受到研究人员的关注。然而, 这些技术尚未形成面向建设项目的统一集成应用框架。通过广泛的文献调研发现, 云、大数据、物联网与 BIM 技术缺一不可, 只有将其充分集成才能共同发挥价值, 服务建设项目建设、管理。在此基础上, 研究建立了各项技术的统一集成应用框架。同时, 从理论和应用两方面对有关技术与 BIM 技术集成的研究与应用现状进行了综述, 梳理了各项关键技术及软件系统研发现状, 对已有工程应用进行了总结。最后, 对研究中存在的瓶颈与挑战进行了分析, 指出未来仍需在基础理论方法、多技术融合等方面开展深入研究。

关 键 词: 信息化; BIM; 综述; 云计算; 大数据; 物联网; 集成应用

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2018050806

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2018)05-0806-11

Present and Future of Integrated Applications of BIM, Cloud Computing, Big Data and Internet of Things

ZHANG Yunyi, LIN Jiarui, ZHANG Jianping

(Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Recently, increasing attention has been paid to cloud computing, big data and internet of things and their integration with building information modeling (BIM) technology in construction projects. However, a unified integrated application framework has not been established. Based on extensive literature review, this paper holds that cloud computing, big data, internet of things and BIM are all necessary to serve construction project management. In this light, a unified integrated application framework was built. Additionally, we reviewed previous studies and applications of integration of BIM and related technologies, as well as the state of art of key technology and software development, giving a summary of existing applications. Finally, this paper discusses the challenges and future trends, pointing out that further research needs to focus on basic theory and multi-technology integration.

Keywords: informatization; BIM; review; cloud computing; big data; internet of things; integrated application

收稿日期: 2018-04-09; 定稿日期: 2018-05-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0704200); 中国科学技术协会“青年人才托举工程”(YESS20160122); 清华大学(土木学院)-广联达BIM联合研究中心项目

第一作者: 张云翼(1993-), 男, 辽宁丹东人, 博士研究生。主要研究方向为建设领域信息化。E-mail: yunyi2525@foxmail.com

1 概述

1.1 背景

建筑信息模型(building information modeling, BIM)的概念首次由EASTMAN^[1]提出,即以三维模型为基础,对建设工程项目物理特性和功能特性的数字化表达^[2]。BIM的概念自提出后,逐渐应用于土木建筑行业,大幅提高了行业的信息化水平。但随着建筑项目规模的扩大、管理模式的复杂化,BIM的应用面临诸多挑战。一个7层的大型航站楼,其详细设计模型就可多达10 GB,加上挂接的工程进度、算量、图片、文档等信息则可多达50 GB^[3],传统的分析手段已难以满足智能化管理需求。

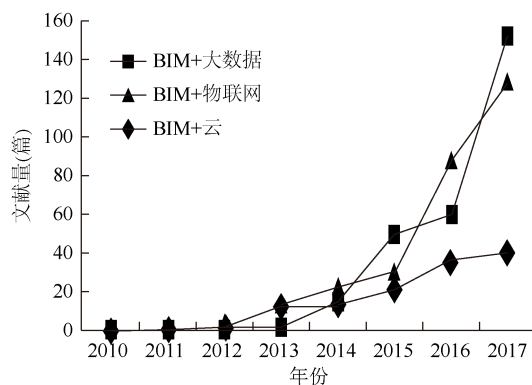
近年来,云计算、大数据、物联网等新兴互联网技术陆续出现,并在医疗、能源、通信、零售、交通等多个行业得到普遍应用^[4],各国政府也相继提出应对措施。为了应对建筑业面临的挑战,我国在《2016-2020年建筑业信息化发展纲要》^[5]中明确提出要在“十三五”时期增强BIM与云计算、大数据、物联网等技术的集成应用能力。习近平总书记在中共十九大报告中也指出,要“推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合”^[6]。将这些新兴互联网技术与BIM相结合,可以加强信息协作,支持分布式管理模式,扩展工程数据来源,挖掘海量数据中蕴藏的价值,支持智慧型决策,具有良好的应用前景^[7]。

云计算、大数据、物联网与BIM的综合集成应用可在工程建设的过程中对海量工程数据进行收集、存储、整理与挖掘,彼此各取所长,以BIM为中心实现智慧型决策。随着新兴互联网技术的出现与发展,各项技术与BIM的集成运用越来越受到人们的重视,在设计、施工、运维等阶段均已有一些研究与应用,助力进度、质量、安全、成本等管理,但仍面临数据来源不全面、不可靠,数据存储与传输容量受限,数据分析手段不成熟等困难。本文旨在总结新兴互联网技术与BIM的集成应用研究现状,建立集成应用框架,并基于文献调研分析新兴互联网技术在土木工程领域中的发展方向与趋势。

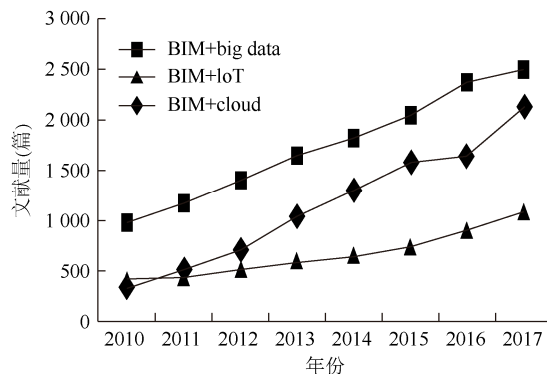
1.2 文献数据分析

截至2017年,在中国知网(CNKI)^[8]、谷歌学术(Google Scholar)^[9]中对BIM与各类新兴互联网技术的文献进行检索,结果如图1所示。云计算、大数据、物联网等与BIM结合的研究持续升温,每年均

有稳定的研究增长,且2017年文献量均已达千余篇。可见新兴互联网技术与BIM的融合已成为新的研究热点。相比而言,我国的技术融合研究进展略微落后于国外,在2013年以前几乎没有相关研究,但在2015年以后,我国的相关理论与应用研究呈现快速增长态势,截至2017年,各方面研究文献均达百余篇。大数据技术与数据分析、数据挖掘等技术一脉相承^[10],具有一定技术积累,因此国内外研究文献较多;而物联网技术、云计算技术对硬件要求更高,文献数量相对较少,但也呈现出追赶趋势。



(a) CNKI



(b) Google Scholar

图1 文献数据分析

本文根据检索结果,考察了百余篇云计算、大数据、物联网技术与BIM集成应用的研究论文,绝大多数文献集中在2013-2017年。本文对每一部分文献,从理论技术与应用层面进行分类,分别综述该项技术与BIM技术融合的技术基础与应用实践,在此基础上讨论新兴信息技术与BIM集成研究的发展方向。

2 BIM 与云、大数据、物联网等技术的集成框架

通过文献分析,研究认为对于建设项目而言,云、大数据、物联网技术与 BIM 技术缺一不可,将其充分集成才能共同发挥各自的价值,服务建设项目建设、管理。如图 2 所示,物联网技术可以实现多元数据的采集、跟踪与传输,极大拓展 BIM 的信息来源,确保数据的实时、准确、可靠^[11],解决 BIM 信息的来源和时效性问题;云计算技术通过分布式存储方式,实现不同参与方、不同阶段、不同专业之间的数据共享与管理,提高 BIM 的协作能力^[12],为共享、使用 BIM 数据奠定基础;大数据技术则可以对海量数据进行高效的深度挖掘,从而充分发挥 BIM 的作用^[13],是体现 BIM 价值与服务科学决策的重要手段。由此可见,BIM 在建设项目信息化过程中处于核心地位,其有效实施是实现数据积累、沉淀与高效应用的基础,而物联网、云计算与大数据等新兴信息技术则为 BIM 数据的积累、管理与应用提供了更加快捷、高效的手段,充分体现行业信息化的价值。

以上述 BIM、云、大数据、物联网等技术的相互关系分析为基础,根据各类系统架构设计类文献的叙述,其的集成应用框架如图 3 所示^[3,11,14-35],这一架构可以满足 BIM 项目中异构大数据的收集、存储、组织、共享、处理、应用等需求。各研究均遵循该框架,其架构均是在图 3 通用架构上,根据项目具体特点、需求相应进行细化与扩展形成的。该应用框架自下而上可分为 5 层:感知层主要负责工程数据的采集,传统的方式需要人工进行录入,而

物联网技术的应用和集成则为利用各类感知仪器自动、实时采集海量工程数据奠定了基础,有效提高了数据的完整性、实时性、可靠性^[14-15,36-38];存储层负责对收集的数据进行存储与管理,传统的方式以集中式数据库或数据中心为主,而基于公有云、私有云或混合云的存储模式则通过分布式技术为异构海量数据存储、数据所有权控制、多参与方跨地域协同等带来了新方法^[21,34,39-40];以 BIM 技术为核心的模型层通过统一的数据组织、描述与建模方法,构建整体 BIM 模型及面向业务需求的多种 BIM 子模型,解决建设项目全生命期工程特性、建设过程与决策方式的建模问题;处理层负责对数据进行分析处理,传统的方式采用人工处理或简单的统计手段,而大数据技术的引入为海量 BIM 数据的深度挖掘、分析与可视化提供了新的技术,可有效发现数据的潜在价值^[13,41];应用层是与用户的接口,通过可视化交互式方式,面向不同用户提供 BIM 平台的各类应用功能,是其他几层具体功能及价值的外在体现。

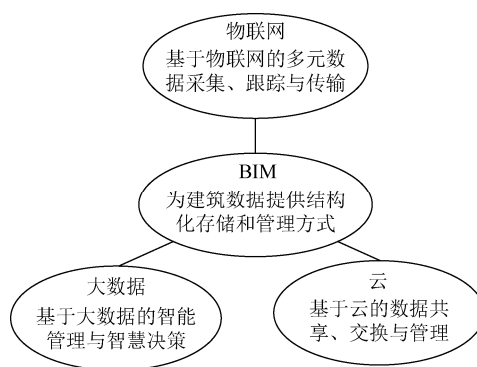


图 2 BIM 与云、大数据、物联网等技术的相互关系

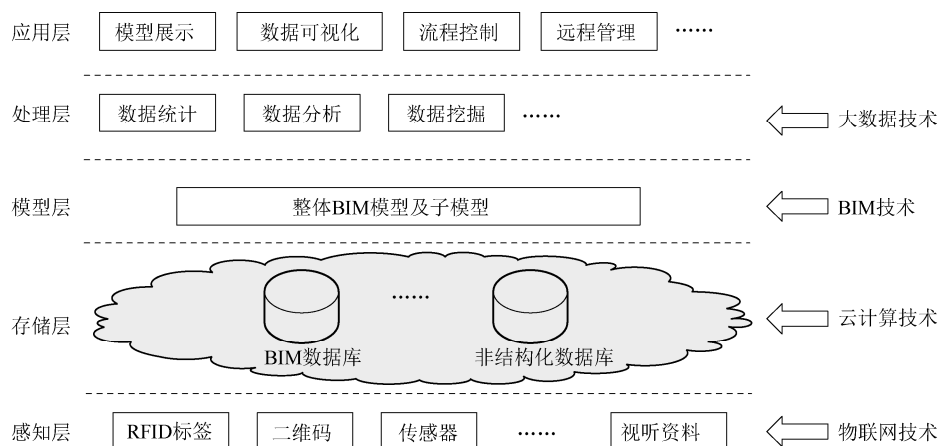


图 3 BIM 与云、大数据、物联网等技术的集成框架

3 云计算技术与 BIM 的集成(表 1)

所谓云技术是指在广域网或局域网内将硬件、软件、网络等系列资源统一起来,实现数据的计算、储存、处理和共享的一种托管技术^[42]。而根据美国国家标准与技术研究院的定义,云计算(cloud computing)是分布式处理、并行处理和网格计算的发展,是一种利用互联网实现随时随地、按需、便捷地访问共享资源池的计算模式^[43]。基于云计算的分布式数据,可提高资源利用率,节省成本,实现分布式管理模式^[42],适用于解决 BIM 应用中存在的多阶段、多专业、多参与方之间的数据共享问题。

表 1 云计算技术与 BIM 的集成研究

研究内容	文献编号
云-BIM 前景分析	[33, 44-49]
理论研究 云-BIM 架构设计	[12, 24, 50-52]
基于云的 BIM 存储及交换关键技术	[21, 53-54]
设计阶段: 协同设计模式	[30, 31, 55-57]
工程应用 施工阶段: 多项目统一管控	[29, 31, 35, 40, 58-61]
运维阶段: 绿色建筑、绿色校园、桥梁监测	[32, 34, 62-63]

3.1 理论研究

随着云计算技术的发展,该技术逐渐进入工程建设领域,与 BIM 技术结合。REDMOND 等^[44]通过专家访谈的形式,调研了基于云计算集成平台应用 BIM 的需求和前景问题,讨论了如何使用云 BIM 进行信息交换。杨镇宇和周佑^[45]对 BIM 云平台的优势和缺陷进行了探讨。之后一些学者探索了云 BIM 在施工阶段的应用前景,认为云计算与 BIM 技术结合可以支持进度、质量安全、变更、商务等管理应用^[33,46-47],还有学者探讨了云 BIM 在协同设计阶段的应用模式,认为云计算技术可以支持各专业之间的协同、实现可视化三维动态预览与渲染^[48-49]。

文献[12, 50-52]先后对云-BIM 的系统架构进行了探讨,即如何在云计算环境下部署 BIM 应用环境,以满足多参与方、多专业、多阶段的信息共享,基本形成数据层、服务层、应用层的三层结构模型。在此之后的学者,多是参考上述模型或在此基础上进行细化或改进,以满足工程管理

需求。CHEN 等^[24]提出一种基于云的 BIM 服务平台,以 BigTable 和 MapReduce 作为信息存储与处理范式,通过基于网络的服务提供浏览、存储、分析大规模 BIM 等功能。MA 和 SACKS^[53]提出了一种基于云的 BIM 平台信息交换方法,基于 MongoDB 的 NoSQL 数据库实现 IFC 格式数据的存储与共享。ZHANG 等^[21]提出基于混合云架构的 BIM 数据共享机制,为多参与方多阶段 BIM 数据的共享与互用提供了解决方案。常莹和瞿文婷^[54]基于 PaaS 结构设计了隧道工程的生命周期管理平台。以上研究均致力于解决云计算环境下信息的存储、共享、传递等问题,从平台的角度对云 BIM 平台的架构进行突破。

3.2 工程应用

目前市场上已出现 BIM360、BIMx、Onuma System、广联云、鲁班云等云-BIM 产品,实现云计算技术与 BIM 技术的集成应用。但由于这些产品提供的功能有限,目前应用云-BIM 的工程实例相对较少,大多需要基于市场上已有的平台进行定制开发,也有少数工程与研究机构合作,自行搭建云-BIM 平台。

在设计阶段,由于专业间协同工作大多发生在设计单位内部,故搭建简单的私有云即可实现多专业的协同设计。许多学者均从本单位的实际工作出发,构建了基于云的 BIM 协同设计体系,探讨了各专业的工作流程与模式,并通过一些实际工程的设计过程探讨了该模式的优势^[30-31,55-57]。在施工阶段,一些项目基于 BIM5D、广联云等商业云平台,以 BIM 模型为基础,将工程项目的进度、成本、质量、安全、资源等信息相挂接,利用云平台分布式存储的特性,对大规模、大范围、分散性的多个工程项目进行综合性统一管控,在建筑工程^[35, 58-59]、城市轨道交通^[31,60-61]、桥梁工程^[29, 40]等领域都已有应用案例。在运维阶段,一些研究人员将建筑能耗、结构监测信息通过云平台进行分布式采集与存储,从而克服海量数据存储困难、传输不便的缺陷,对安全、节能等指标进行动态管理,该技术在绿色建筑^[34,62]、绿色校园^[32]、桥梁监测^[63]等已有应用案例。

4 大数据技术与 BIM 的集成(表 2)

早在 20 世纪 80 年代,ALVIN^[64]在《第三次浪潮》中就指出大数据时代的到来,但直到 2008 年,

NATURE^[65]推出了名为“Big Data”的封面专栏,正式提出大数据这一概念。国际数据中心于 2011 年将其定义为“大数据是指无法在一定时间内用传统数据库软件工具对其内容进行抓取、管理和处理的数据集合”,即由数据量(Volume)、时效性(Velocity)、多样性(Variety)、价值密度低(Value)组成的 4V 模型^[66]。在土木工程领域,一个建设项目全过程所产生的数据完全符合大数据的条件^[67-69]。随着建设工程体量、复杂程度的增加,其过程中会产生更加海量数据,大数据技术即为挖掘信息、辅助决策的关键性技术。一般认为,大数据处理需要经过大数据的产生、获取、存储、分析 4 个环节^[70]。有文献进一步将大数据的研究领域划分为大数据管理和大数据分析,其中,大数据管理主要研究大数据的获取、存储、抽取、清洗等技术,而大数据分析则主要研究大数据的建模、分析、挖掘等技术^[13,71]。

表 2 大数据技术与 BIM 的集成

	研究内容	文献编号
理论研究	BIM 大数据表示模型	[3, 72-75]
	BIM 大数据存储架构	[22, 63, 76]
	BIM 大数据处理框架	[3, 77]
	统计学手段: 因素分析、蒙特卡洛模拟、相关性分析	[78-80]
工程应用	回归预测: 神经网络、遗传算法	[22, 26, 81-83]
	分类聚类: 决策树、自然语言处理	[84, 85-87]

4.1 理论研究

大数据的存储与管理是大数据应用的基础,所有的大数据处理平台都依赖于数据的大量积累。目前的大数据存储数据库可以分为关系型数据库与非关系型数据库^[72]。随着数据量的增加,传统关系型数据库的存储方式显现出容量限制难以突破、查询效率不足等限制^[73]。虽然使用 NoSQL 数据库对大规模 BIM 进行存储具有显著的优势,但相关研究的应用仍然较少,其困难之一是 BIM 的数据结构与一般 NoSQL 数据库不完全一致。为解决此问题,DAS 和 CHENG^[74]基于 Cassandra 数据库实现对 BIM 模型的存储,并在此基础上实现了子模型的提取;LIN 等^[3]使用 MongoDB 存储 BIM 数据,根据 IFC 的标准数据格式设计了适合大规模存储的数据模型;文献[75]提出了一种将

BIM 在 OrientDB 中的数据模型,并提出标准化 BIMRL 查询语言对感兴趣的 BIM 数据进行查询的方法。

除 BIM 模型本身,大量工程数据也需要建立逻辑模型进行收集与表示。文献[76]提出了一种 Social-BIM 架构,基于亚马逊云收集和存储从不同的参与方收集而来的数据。文献[22, 63]等设计了一种积累建筑传感器数据的双层混合式存储结构,使用 Cassandra 数据库实时存储传感器产生的流数据,用 MongoDB 收集存储数据并为之后的处理提供基础,二者每日进行一次同步。

在 BIM 大数据的处理框架上,目前大都采用 MapReduce 框架^[13],CHANG 和 TSAI^[77]对 Hadoop MapReduce 框架进行了改进,使其适宜处理 BIM 数据(MR4B)。LIN 等^[3]同样也采用 MapReduce 框架,基于自然语言理解,提出了一种高效处理 BIM 数据查询的方法与架构。

4.2 工程应用

在早期,研究通常采用统计学手段对建筑数据进行抽样分析。KIM 等^[78]通过频率分布直方图、相关性分析矩阵、因素分析法,识别常见施工工期拖延的原因。文献[79]通过关联分析和二维矩阵分析的手段,从施工验收报告中总结出常见的质量缺陷等问题。文献[80]使用高斯分布的概率模型进行蒙特卡洛模拟,获得对建筑损伤评价的指标与方法。

随着建筑大数据的积累和相关研究的发展,研究人员希望充分发挥已有数据,挖掘隐含在其中的信息,应运而生的技术就是数据挖掘与机器学习^[13],其中数据仓库技术^[88]的出现,为高效的数据挖掘提供了技术基础。CHENG 等^[84]通过收集 10 年间的建筑工伤事故数据,采用决策树分析的方法,对工伤产生的原因、类型进行了分类,并从中识别出容易引发工伤的若干因素,为今后的事故预防提供借鉴。随着大数据技术的不断发展,数据挖掘和机器学习的相关算法被推广到海量数据的处理中,所能解决问题的范围也得到了扩展。

利用回归分析,可以根据一系列的属性、特征、指标,对某一结果进行预测,人工神经网络是目前处理回归预测的最常用算法。文献[22]通过收集开合桥在转动转轴时的振动数据,对润滑油泄露、螺丝松动等情况报警。GROLINGER 等^[81]通过分析体育场用电量变化数据,对一段时间内的用电量

进行预测。文献[82]通过宏观的电能消耗数据,对美国3个州的总用电量进行预测。文献[26]描述了美国建筑性能数据库(building performance database, BPD)的建立过程,对基于大数据的性能分析应用场景与方法进行了讨论。此外,通过遗传算法对现有状况进行预测和优化也是大数据分析的一个研究方向。CHOU和NGO^[83]通过收集一户人家用电的行为和用电量数据,采用遗传算法调整其用电行为,使用电负荷和费用最小化。

分类算法可以依据已有数据,确定目标对象属于哪一个预定的类型,对目标的性质进行自动判断,支持向量机、决策树是解决分类问题的最常用手段。文献[85]采用决策树的方法对建筑运维数据中的用电、用水数据进行了分类,确定了在不同情况下的若干用电特征。PIETRZYK^[86]通过分析建筑本身结构、材料的性质,结合应力应变监测数据,运用决策树方法判断霉菌等微生物生长对建筑物的影响情况。文献[87]通过对建筑施工过程中产生的文本进行分析,对文档进行分类处理,辅助非结构化文档的归档管理。

5 物联网技术与BIM的集成(表3)

根据国际电信联盟的定义,物联网是通过二维码识读设备、射频识别装置、红外感应器、全球定位系统和激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,将任何物品与互联网相连接,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的网络^[89]。在工程建设项目中,通过布置传感器、二维码、电子标签(RFID)等采集设备,可以实现对人、机、料、法、环的全方位实时监控^[7]。

表3 物联网技术与BIM的集成

研究内容		文献编号
理论研究	前景展望	[11, 14, 25, 38, 90-95]
	物联网与BIM集成平台设计	[17, 19, 96-100]
工程应用	施工阶段: 进度管理、物料管理、安全管理	[18, 20, 36-37, 101-102]
	运维阶段: 传感器能耗环境监测	[15, 103-105]

5.1 理论研究

虽然传感器等采集设备已在工程建设中大量使用,但大多应用仅针对某一局部的特定需求,与物联网的概念还有一定差距,与BIM的融合应用就

更加有限。早期一些学者对物联网技术与BIM技术的融合方式及其应用前景进行了探讨, BARACHO等^[11]、ISIKDAG^[90]对物联网和BIM的概念及内涵进行了分析,展望了其融合应用的前景。一些学者对基于BIM的物联网技术在施工阶段^[91-92]和运维阶段^[38, 93]的应用策略和价值进行了讨论与展望。后期一些学者针对装配式住宅^[94-95]、地下综合管廊^[14]、地铁^[25]等具体的工程形式,探讨了BIM与物联网技术融合应用的场景。

物联网技术愈加火热,其与BIM融合应用的价值越来越得到认可,许多学者将BIM与物联网技术相结合,设计了相应的管理平台以应对实际工程的需求。针对施工阶段,陈永高和单豪良^[17]设计了地下施工控制平台,集成应力变形传感器的结构安全数据与RFID技术获取的人员位置信息。针对运维阶段,邹东等^[19]设计了基于BIM和物联网的城市轨道机电工程管理的系统架构,通过移动终端与二维码等技术对机电设备进行管控;陈兴海和丁烈云^[96-97]设计了城市生命线工程运维管理平台,集成管道线路监测数据的实时管理;贾伟新^[98]设计了基于物联网和BIM的社区管理平台,助力智慧家庭和智慧物业的实现;PENG等^[99]设计了医院运维风险管理平台。此外,TEIZER等^[100]设计了集成实时环境与人员位置信息的通用架构与方法,将人的因素也收集到系统中。

以上研究逐步形成了物联网-BIM系统的基本架构,即感知层、网络层、应用层的三层结构,各研究几乎全部采用这种设计模式,不同的应用场景多是在应用层进行扩展或细化。以上研究从理论上探索了物联网技术与BIM技术融合的技术路线,为工程实际应用打下了基础。

5.2 工程应用

近年来,有越来越多的工程项目将上述物联网-BIM平台落地,在实际的工程项目中进行了应用,应用主要集中在施工和运维阶段。

(1) 在施工阶段。已有许多工程通过对所有钢构件进行统一编码,并利用二维码技术进行现场定位,通过移动端扫码填报信息的方式,集成到BIM平台中进行统一管控,可视化查询不同构件的施工状态,该技术在建筑^[18]、桥梁^[20]项目中都已有落地应用;此外也有一些工程通过RFID射频技术实时对预制化构件进行定位,并传输到BIM平台中进行监控,结合虚拟现实(virtual

reality, VR)技术可以更加直观地对施工项目的进度进行远程管理^[36, 101-102]; 另外也有项目通过物联网技术对施工现场的有害气体进行集成监控, 保证施工安全^[37]。

(2) 在运维阶段。通过应用传感设备对建筑机电设备进行实时监测, 并将其与 BIM 模型中的设备进行绑定, 从而在 BIM 平台中可以进行动态可视化查询与管理, 该技术已在中国尊^[15]等项目中得到成功应用。运维阶段对建筑能耗的监测也是研究热点, 通过传感采集设备对能耗、环境信息进行监测, 并与相应的建筑空间进行绑定, 可以实时对建筑能耗进行管理, 并可进一步地结合大数据等技术进行优化, 该技术已在许多建筑项目中得到应用^[103-105]。

6 讨论与展望

随着云计算、大数据、物联网等新型互联网技术在建筑领域应用的不断探索, 已有许多学者在其与 BIM 接触的若干关键技术上做出了突破。云计算技术通过实现分布式架构, 可以统筹地理上相对隔离的不同专业、不同参与方、不同阶段、不同项目, 加强相互协作, 解决单一服务器容量受限、信息交流不便等问题; 大数据技术可对项目实施过程中的海量数据进行深度分析和挖掘, 发现隐藏在数字中的规律, 实现基于数据的前瞻性智慧决策和智慧管理; 物联网技术通过采集设备实时对项目进行监控, 极大地扩展了项目的信息源, 提高项目的信息化水平, 实现动态、实时、精细化管理。

云计算、大数据、物联网与 BIM 技术并非相互割裂的关系, 四者相辅相成, 多技术集成才能充分发挥 BIM 的价值, 真正推动基于数据的智慧型决策。例如, 将云计算、物联网与 BIM 集成应用, 可以实时采集并存储施工或运维过程中的大规模数据, 实现时间与空间的精确定位, 从而实现实时远程监控, 极大地扩展工程数据的来源, 为高效、及时、准确的施工及运维管理提供基础^[61, 106]。将云计算、大数据与 BIM 集成应用, 可以利用互联网的优势, 对工程项目的各专业数据进行分类、整合、管理和利用, 使存储便捷化, 处理高效化, 降低基础硬件投入, 增加分析性能, 实现海量数据的管理和利用, 实现对建筑工程项目全面且精准地了解与控制^[107-108]。

但在调研过程中发现, 大多数研究较为初步, 少数研究开发了原型系统进行小规模验证, 真正在大型工程中的实际应用非常有限, 少见成熟的应用案例, 多项技术集成应用的案例更加有限。其原因如下:

(1) 基础理论、技术、标准仍待突破。新兴互联网技术在实现数字化管理的同时, 客观上也造成了信息爆炸, 海量数据已无法用传统方式进行管理。如果得不到良好的管理, 不但海量数据将沦为数据垃圾, 其数据的安全性也成为巨大威胁。因此信息安全、协同模式、管理方法、实施标准等基础性研究是工程应用的前提条件。

(2) 工程项目的信息化水平仍待提高。BIM 应用的核心是数据, 新兴互联网技术的应用也必然以数据为基础。我国的工程建设虽然已经在信息化水平上有了巨大进步, 但仍然存在数据来源不够全面、数据质量不够可靠等问题, 导致无法形成完整、可靠的数据集, 进而难以运用各种先进手段对数据进行处理和分析。

(3) 缺乏配套软硬件设施。由于云计算、大数据、物联网等技术属于新兴互联网技术, 目前市场上的产品中很少有通用性解决方案, 仅有的一些产品也不能直接满足大型工程的管理需求。目前已有的工程应用研究或是与研究机构合作独立开发, 或是采购市场产品进行定制开发, 造成成本的巨大开支, 在一定程度上抵消了新兴技术应用带来的价值。

(4) 单点应用研究为主, 缺乏集成应用研究。目前已有研究大多集中在某一阶段、某一专业、某一应用点的技术突破, 探索不同技术相互融合、不同参与方相互协同、全生命期统筹管理的研究不仅较少, 而且大多停留在理论分析层面。然而新兴互联网技术的主要优势就在于打通不同参与方、不同阶段、不同专业之间的分散特性, 在全部时间与空间范围内收集数据, 并发掘数据中蕴藏的联系。因此对集成应用的研究是发挥其核心价值的关键。

针对上述问题, 新兴互联网技术与 BIM 技术的融合应用研究至少可在以下方面实现突破:

(1) 基础理论和技术的突破创新。云计算、大数据、物联网等新兴技术与 BIM 的集成应用可能带来数据安全风险, 也将对管理模式造成变革, 因此其推进有赖于关键技术、应用框架、实施标准的突

破和软件工具的进一步整合。

(2) 多项技术的交叉融合应用。各项新兴互联网技术与 BIM 之间并非相互独立的技术,物联网技术大幅扩展工程数据的来源, BIM 技术可以提供工程数据的结构化组织形式,云计算技术实现大规模数据的分布式存储,大数据技术解决海量数据的分析与挖掘。各项技术的交叉融合可以真正实现工程数据的积累、存储、管理与应用。

(3) 全生命期综合管理应用研究。新兴技术的意义不在于科技手段的罗列,而是围绕项目的实际需求建立支撑全生命周期管理的解决方案^[7]。将新兴互联网技术与 BIM 技术深度融合,有助于从根本上解决项目全生命周期的信息断层与信息孤岛,真正实现智慧型决策与管理。

7 结 束 语

云计算、大数据、物联网等新型互联网技术在各领域逐渐兴起,在建筑业也得到了相应的关注,尤其是与 BIM 的融合应用成为近年研究的焦点,自 2015 年以来相关文献发表数量呈现高速增长趋势。本文考察了百余篇新兴互联网技术与 BIM 集成应用的研究文章,分别从理论研究与工程应用层面对文献进行了分类与整理,总结了各项技术与 BIM 集成的价值、优势、应用前景,分析了目前集成应用的技术突破与系统架构,并考察了各项技术在工程项目中的实际应用情况。本文还讨论了技术融合过程中所面临的问题和今后的发展方向。基于以上综述与讨论,可以看出新型互联网技术与 BIM 的融合应用仍处于初级阶段,许多理论瓶颈仍待突破,工程应用也面临诸多挑战。尽管如此,其技术快速发展的趋势以及国家的大力推动必将促进这些技术的快速发展,助力 BIM 技术在建设工程中发挥更大的作用。

参 考 文 献

- [1] EASTMAN C. The use of computers instead of drawings in building design [J]. American Institute of Architects Journal, 1975, 63(3): 46-50.
- [2] EASTMAN C, TEICHOLZ P, SACKS R, et al. BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors [M]. New Jersey: Wiley Publishing, 2011: 101-102.
- [3] LIN J R, HU Z Z, ZHANG J P, et al. A natural-language-based approach to intelligent data retrieval and representation for cloud BIM [J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2016, 31(1): 18-33.
- [4] 马智亮, 刘世龙, 刘喆. 大数据技术及其在土木工程中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2015(5): 45-49.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2016-2020 年建筑业信息化发展纲要[EB/OL]. (2016-08-09) [2018-03-14]. http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201609/t20160918_228929.html.
- [6] 中国网. 中共十九大开幕, 习近平代表十八届中央委员会作报告[EB/OL]. [2018-03-14]. http://www.china.com.cn/cppcc/2017-10/18/content_41752399.htm.
- [7] 本书编委会. 中国建筑施工行业信息化发展报告(2017)智慧工地应用与发展[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2017: 3-4.
- [8] CNKI. 中国知网[EB/OL]. [2018-03-12]. <http://www.cnki.net>.
- [9] Google Scholar. 谷歌学术[EB/OL]. [2018-03-12]. <http://scholar.google.com>.
- [10] TAN P N, STEINBACH M, KUMAR V. 数据挖掘导论[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013: 7-8.
- [11] BARACHO R M A, PEREIRA M L, ALMEIDA M B. Ontology, internet of things, and building information modeling (BIM): an exploratory study and the interrelations between technologies [C]//Proceedings of the IX Seminar on Ontology Research in Brazil and I Doctoral and Masters Consortium on Ontologies. Brazil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017: 141-146.
- [12] DING L, XU X. Application of cloud storage on BIM life-cycle management [J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2014, 11(1): 1-10.
- [13] BILAL M, OYEDELE L O, QADIR J, et al. Big data in the construction industry: a review of present status, opportunities, and future trends [J]. Advanced Engineering Informatics, 2016, 30(3): 500-521.
- [14] 杨晓东, 周峰, 戴俊, 等. 基于物联网和 BIM 技术在地下综合管廊建设运维中的应用[J]. 建设科技, 2017(10): 46-47.
- [15] 刘三明, 雷治策, 孙大峰. BIM+物联网技术在中国尊项目运维管理中的应用[J]. 安装, 2017(7): 12-14.
- [16] 徐春波, 邱翔, 于丽艳, 等. 云计算环境下 BIM+物联网在协同管理中的应用[J]. 建筑设计管理, 2017(9): 57-60.
- [17] 陈永高, 单豪良. 基于 BIM 与物联网的地下工程施工安全风险预警与实时控制研究[J]. 科技通报, 2016(7): 94-98.
- [18] 蒋欣苑, 宋岩, 刘艳军. BIM 物联网技术在梅山江项目的应用[J]. 施工技术, 2016, 45: 435-437.
- [19] 邹东, 李俊贤, 王玮, 等. 打破边界: 基于 BIM 与物联网的城市轨道交通机电工程管理“云+端”系统构建探索[C]//第二届全国 BIM 学术会议. 北京: 中国建筑

- 工业出版社, 2016: 250-256.
- [20] 何田丰, 姚发海, 林佳瑞, 等. 基于 BIM 与物联网的钢构桥梁跨平台物料管理方法研究[C]//第二届全国 BIM 学术会议. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016: 191-195.
- [21] ZHANG J, LIU Q, HU Z, et al. A multi-server information-sharing environment for cross-party collaboration on a private cloud [J]. *Automation in Construction*, 2017, 81: 180-195.
- [22] CATBAS F N, MALEKZADEH M. A machine learning-based algorithm for processing massive data collected from the mechanical components of movable bridges [J]. *Automation in Construction*, 2016, 72: 269-278.
- [23] 李小玲. 基于建筑信息模型的结构健康监测可视化研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- [24] CHEN H, CHANG K, LIN T. A cloud-based system framework for performing online viewing, storage, and analysis on big data of massive BIMs [J]. *Automation in Construction*, 2016, 71: 34-48.
- [25] 易礼珍. BIM、物联网、云计算在地铁机电设备运维管理中的应用研究[J]. *福建建材*, 2016(8): 110-112.
- [26] MATHEW P A, DUNN L N, SOHN M D, et al. Big-data for building energy performance: Lessons from assembling a very large national database of building energy use [J]. *Applied Energy*, 2015, 140: 85-93.
- [27] CHEN H M, CHANG K C. A Cloud-based system framework for storage and analysis on big data of massive BIMs [C]//International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Finland: Curran Associates, Inc., 2015: 1-8.
- [28] DAS M, CHENG J C, KUMAR S S. Social BIMCloud: a distributed cloud-based BIM platform for object-based lifecycle information exchange [J]. *Visualization in Engineering*, 2015, 3(1): 1-20.
- [29] 魏志强. 基于云技术的 BIM5D 在钢桁梁施工中的应用[J]. *铁路技术创新*, 2017(4): 86-91.
- [30] 杨国华, 刘春艳. 设计企业 BIM 协同设计云平台建设案例研究[J]. *土木建筑工程信息技术*, 2017(1): 97-101.
- [31] 刘维跃, 曹溥晶, 曾敏, 等. 基于 BIM 云平台的城市轨道交通施工安全风险研究[J]. *价值工程*, 2017(33): 30-34.
- [32] 宋杰. 基于 BIM 云平台在绿色校园评价中的应用研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2017.
- [33] 赵亮. BIM 云技术在工程建设领域的应用与研究[J]. *城市建设理论研究: 电子版*, 2017(35): 129.
- [34] CHIEN S C, CHUANG T C, YU H S, et al. Implementation of cloud BIM-based platform towards high-performance building services [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2017(38): 436-444.
- [35] PARK J W, KIM K, CHO Y K. Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors [J]. *Journal of Construction Engineering & Management*, 2017, 143(2): 1-12.
- [36] LI C Z, XUE F, LI X, et al. An Internet of things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction [J]. *Automation in Construction*, 2018, 89: 146-161.
- [37] CHEUNG W F, LIN T H, LIN Y C. A real-time construction safety monitoring system for hazardous gas integrating wireless sensor network and building information modeling technologies [J]. *Sensors*, 2018, 18(2): 436.
- [38] 蔡新茂. 基于物联网及 BIM 技术分析建筑施工安全运维管理策略[J]. *科技创新导报*, 2017(14): 239-240.
- [39] 张云翼, 刘强, 林佳瑞, 等. 基于云计算的 BIM 集成管理机制研究[C]//第三届全国 BIM 学术会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017: 406-410.
- [40] ZHI P, SHI T, WANG W, et al. Application research on monitoring cloud platform of bridge construction based on BIM [C]//International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development. Seville, Spain: Atlantis Press, 2017: 67-72.
- [41] KAPLINSKI O, KOSELEVA N, ROPAITE G. Big data in civil engineering: a state-of-the-art survey [J]. *Engineering Structures and Technologies*, 2016, 4(8): 165-175.
- [42] ERL T, MAHMOOD Z, PUTTINI R. 云计算: 概念、技术与架构[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014: 18.
- [43] MELL P M, GRANCE T. The NIST definition of cloud computing [J]. *National Institute of Standards & Technology*, 2011, 53(6): 50.
- [44] REDMOND A, HORE A, ALSHAWI M, et al. Exploring how information exchanges can be enhanced through cloud BIM [J]. *Automation in Construction*, 2012, 24(4): 175-183.
- [45] 杨镇宇, 周佳. BIM 云平台的应用优势与在实际运用中的局限性[J]. *山西建筑*, 2016(35): 255-257.
- [46] 王珺. 基于云计算的 BIM 在施工阶段的应用分析[J]. *建筑知识*, 2016(11): 241.
- [47] 曹成, 钟建国, 严达, 等. BIM 云协同平台在工程项目的五大应用[J]. *工程质量*, 2016(4): 81-85.
- [48] 熊剑, 汤浪洪. 基于 BIM 云技术的智能建造[J]. *建筑*, 2015(24): 8-15.
- [49] 申鹏宇. BIM 云技术在工程协同设计中的应用与探索[J]. *中国新技术新产品*, 2016(9): 38-39.
- [50] AMARNATH C B, SAWHNEY A, MAHESWARI J U. Cloud computing to enhance collaboration, coordination and communication in the construction industry [C]//Information and Communication Technologies. New York: IEEE Press, 2011: 857-864.
- [51] CHUANG T H, LEE B C, WU I C. Applying cloud

- computing technology to BIM visualization and manipulation [C]//28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Auburn: ISARC, 2011: 144-149.
- [52] DU J, ZHENG Q. Cloud and open BIM-based building information interoperability research [J]. *Journal of Service Science & Management*, 2014, 7(2): 47-56.
- [53] MA L, SACKS R. A cloud-based BIM platform for information collaboration [C]//33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Auburn: ISARC, 2016: 581-589.
- [54] 常莹, 瞿文婷. 隧道工程全生命周期 BIM 云平台建设方案[J]. *铁路技术创新*, 2015(6): 65-69.
- [55] 刘春艳, 张玉国. 基于云的 BIM 协同设计体系研究[J]. *土木建筑工程信息技术*, 2017(1): 113-117.
- [56] 刘松, 钱丽, 李海江, 等. 水运基础设施 BIM 协同设计云平台及其应用实践[J]. *中国港湾建设*, 2017(10): 74-77.
- [57] LEON M, LAING R. Cloud and computer mediated collaboration in the early architectural design stages: a study of early design stage collaboration related to bim and the cloud [C]//IEEE, International Conference on Cloud Computing Technology and Science. New: York: IEEE Press, 2013: 94-99.
- [58] 管玥, 李惟肖, 邱月. 基于 BIM 一体化云平台在全过程质量管理中的应用研究[J]. *建筑技术开发*, 2017(24): 50-52.
- [59] 周骏杰. 基于云 BIM 技术的实时进度监控研究[J]. *时代金融*, 2017(2): 312.
- [60] 李宏伟. BIM 云平台纵横路桥建管养[J]. *中国公路*, 2016(20): 55-57.
- [61] 易礼珍. BIM、物联网、云计算在地铁机电设备运维管理中的应用研究[J]. *福建建材*, 2016(8): 110-112.
- [62] 王健. 基于 BIM 云平台在建筑节能全生命周期的应用研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2016.
- [63] JEONG S, ZHANG Y, O'CONNOR S, et al. A NoSQL data management infrastructure for bridge monitoring [J]. *Smart Structures and Systems*, 2016, 17(4): 669-690.
- [64] ALVIN T. 第三次浪潮[M]. 北京: 中信出版社, 2006.
- [65] NATURE. Community cleverness required [J]. *Nature*, 2008, 455(7209): 1.
- [66] GANTZ J, REINSEL D. Extracting value from chaos [R]. Umatilla, USA: Idcmc2 Report, 2011.
- [67] KOSELEVA N, ROPAITE G. Big data in building energy efficiency: understanding of big data and main challenges [J]. *Procedia Engineering*, 2017, 172: 544-549.
- [68] ZHOU K, YANG S. Understanding household energy consumption behavior: the contribution of energy big data analytics [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2016, 56: 810-819.
- [69] ZHOU K, FU C, YANG S. Big data driven smart energy management: from big data to big insights [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2016, 56: 215-225.
- [70] 张引, 陈敏, 廖小飞. 大数据应用的现状与展望[J]. *计算机研究与发展*, 2013(S2): 216-233.
- [71] GANDOMI A, HAIDER M. Beyond the hype: big data concepts, methods, and analytics [J]. *International Journal of Information Management*, 2015, 35(2): 137-144.
- [72] 张玉杰, 于双元. 大数据查询综述[J]. *计算机与现代化*, 2017(4): 82-88.
- [73] CHANG V, WILLS G. A model to compare cloud and non-cloud storage of big data [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2016, 57: 56-76.
- [74] DAS M, CHENG J C P. A cloud computing approach to partial exchange of BIM models [C]//30th CIB W78, Beijing: Tsinghua University Press, 2013: 9-12.
- [75] SOLIHIN W, EASTMAN C. A simplified BIM model server on a big data platform [C]//31st CIB W78, Brisbane: Queensland University Press, 2016: 1-10.
- [76] KUMARS S. BIMCloud: a distributed cloud-based social BIM framework for project collaboration [C]//Computing in Civil and Building Engineering. Orlando: American Society of Civil Engineers, 2014: 41-48.
- [77] CHANG C, TSAI M. Knowledge-based navigation system for building health diagnosis [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2013, 27(2): 246-260.
- [78] KIM H, SOIBELMAN L, GROBLER F. Factor selection for delay analysis using knowledge discovery in databases [J]. *Automation in Construction*, 2008, 17(5): 550-560.
- [79] CARRILLO P, HARDING J, CHOUDHARY A. Knowledge discovery from post-project reviews [J]. *Construction Management & Economics*, 2011, 29(7): 713-723.
- [80] JIANG X, MAHADEVAN S. Bayesian probabilistic inference for nonparametric damage detection of structures [J]. 2008, 134(10): 820-831.
- [81] GROLINGER K, L'HEUREUX A, CAPRETZ M A M, et al. Energy forecasting for event venues: big data and prediction accuracy [J]. *Energy and Buildings*, 2016, 112: 222-233.
- [82] NAIMUR RAHMAN M, ESMAILPOUR A, ZHAO J. Machine learning with big data an efficient electricity generation forecasting system [J]. *Big Data Research*, 2016, 5: 9-15.
- [83] CHOU J, NGO N. Smart grid data analytics framework for increasing energy savings in residential buildings [J]. *Automation in Construction*, 2016, 72(3): 247-257.
- [84] CHENG C, LEU S, CHENG Y, et al. Applying data mining techniques to explore factors contributing to occupational injuries in Taiwan's construction industry [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2012, 48: 214-222.
- [85] FAN C, XIAO F. Mining big building operational data

- for improving building energy efficiency: a case study [J]. Building Services Engineering Research and Technology, 2017, 39(1): 117-128.
- [86] PIETRZYK K. A systemic approach to moisture problems in buildings for mould safety modeling [J]. Building and Environment, 2015, 86: 50-60.
- [87] SALAMA D, EL-GOHARY N. Semantic text classification for supporting automated compliance checking in construction [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2016, 30(1): 1-14.
- [88] WU X, ZHU X, WU G Q, et al. Data mining with big data [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2014, 26(1): 97-107.
- [89] ITU. ITU internet reports 2005: the internet of things [R]. Geneva: ITU, 2005.
- [90] ISIKDAG U. Enhanced building information models: using IoT services and integration patterns [M]. Berlin: Springer, 2015: 13-23.
- [91] 闫鹏. BIM 与物联网技术融合应用探讨[J]. 铁路技术创新, 2015(6): 45-47.
- [92] 裴卓非. BIM 技术与物联网在施工阶段的应用[J]. 建材技术与应用, 2013(1): 60-62.
- [93] 胡北. 基于 BIM 核心的物联网技术在运维阶段的应用[J]. 四川建筑, 2016(6): 89-91.
- [94] 辛佐先. 基于 BIM 与物联网的 PC 住宅精益建造探索研究[J]. 住宅科技, 2014(5): 23-27.
- [95] 尚世宇, 张焕芳. 浅析 BIM 和物联网技术在建筑工程项目材料管理中的应用价值[J]. 企业技术开发, 2016(15): 43-45.
- [96] 陈兴海, 丁烈云. 基于物联网和 BIM 的城市生命线运维管理研究[J]. 中国工程科学, 2014(10): 89-93.
- [97] 陈兴海, 丁烈云. 基于物联网和 BIM 的建筑安全运维管理应用研究——以城市生命线工程为例[J]. 建筑经济, 2014(11): 34-37.
- [98] 贾伟新. 基于 BIM 与物联网的智慧社区管理平台研究[J]. 黑龙江科技信息, 2016(4): 121-122.
- [99] PENG S, SU G, CHEN J, et al. Design of an IoT-BIM-GIS based risk management system for hospital basic operation [C]//Service-Oriented System Engineering. New York: IEEE Press, 2017: 69-74.
- [100] TEIZER J, WOLF M, GOLOVINA O, et al. Internet of things (IoT) for integrating environmental and localization data in building information modeling (BIM) [C]//International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Taipei: ISARC, 2017: 603-609.
- [101] ZHONG R Y, PENG Y, XUE F, et al. Prefabricated construction enabled by the internet-of-things [J]. Automation in Construction, 2017, 76: 59-70.
- [102] ZHONG R Y, PENG Y, FANG J, et al. Towards physical internet-enabled prefabricated housing construction in Hong Kong [J]. IFAC PapersOnLine, 2015, 48(3): 1079-1086.
- [103] BOTTACCIOLI L, ALIBERTI A, UGLIOTTI F, et al. Building energy modelling and monitoring by integration of IoT devices and building information models [C]//IEEE, Computer Software and Applications Conference. Tokyo: IEEE Computer Society Press, 2017: 914-922.
- [104] JUNG D K, LEE D H, SHIN J H, et al. Optimization of energy consumption using BIM-based building energy performance analysis [J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 281: 649-652.
- [105] HOWELL S, REZGUI Y, BEACH T. Integrating building and urban semantics to empower smart watersolutions [J]. Automation in Construction, 2017, 81: 434-448.
- [106] 丹尼斯·威廉姆斯, 刘辰. 2016 年转变 BIM 产业的三大技术趋势[J]. 土木建筑工程信息技术, 2017(2): 115-118.
- [107] 鲁博宽. 云计算、大数据时代下的 BIM[J]. 建筑技术开发, 2016(9): 99-111.
- [108] 王小艳, 印宝权. BIM 技术应用于“互联网+”的发展与思考[J]. 价值工程, 2017(13): 181-183.