

· 计算机技术与应用 ·

基于 BIM&RFID 的建筑质量智能检测系统设计与应用

霍海娥*, 纪艳红, 谢葵花, 卢煜

(西华大学建筑与土木工程学院, 四川 成都 610039)

摘要: 为解决目前施工质量检测过程中存在的构件难以智能定位、数据重复转录和返工维修时反馈信息缺失等问题, 借助 BIM 以及 RFID 技术, 在 Visual Studio 环境下分别对 Revit 以及 RFID 手持端设备进行二次开发, 构建了建筑质量智能定位检测系统。结果表明, 融合了 BIM 与 RFID 技术的建筑质量智能定位检测系统能够实现 BIM 模型与实体构件信息的关联交互、对存在质量问题的构件进行精准定位、质检信息快速反馈以及可视化施工交底。

关键词: BIM 技术; RFID 技术; 智能检测系统; 建筑构件智能定位; 可视化交底

中图分类号: TU17; TP391 文献标志码: A 文章编号: 1673-159X(2023)02-0070-07

doi:10.12198/j.issn.1673-159X.4382

Design and Application of Construction Quality Intelligent Inspection System Based on BIM-RFID

HUO Hai'e*, JI Yanhong, XIE Kuihua, LU Yu

(School of Architecture and Civil Engineering, Xihua University, Chengdu 610039 China)

Abstract: To solve the problems such as the difficulty in intelligent positioning of the components, data duplication, feedback information absent during rework and other issues in the building quality inspection process, Revit and RFID handheld terminal equipment were respectively developed in the Visual Studio environment with the aid of BIM and RFID technology. The intelligent positioning inspection system of building quality is constructed. The results show that the BIM-RFID-integrated building quality intelligent positioning inspection system proposed in this paper can realize the correlation interaction between the BIM model and the entity component information, the accurate positioning of the components possessing quality defects, the quick feedback of quality inspection information and visual annotation.

Keywords: BIM technology; RFID technology; intelligent inspection system; intelligent positioning of building component; visual annotation

建筑工程施工阶段的质量检测对于保证工程质量起着决定性作用^[1-2]。传统的施工质量管控方

式, 在反馈环节存在人为干扰过多、数据二次转录以及信息无法综合利用等问题, 已逐渐被智能化质

收稿日期: 2022-02-14

基金项目: 西华大学研究生创新基金项目(YCJJ2021082)。

* 通信作者: 霍海娥(1974—), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为绿色建筑理论与技术、建筑信息化管理。

ORCID: 0000-0002-4849-9010

E-mail: huoyufan_2@163.com

引用格式: 霍海娥, 纪艳红, 谢葵花, 等. 基于 BIM&RFID 的建筑质量智能检测系统设计与应用[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2023, 42(2): 70-76.

HUO Hai'e, JI Yanhong, XIE Kuihua, et al. Design and Application of Construction Quality Intelligent Inspection System Based on BIM-RFID[J]. Journal of Xihua University(Natural Science Edition), 2023, 42(2): 70-76.

检系统取代^[3]。随着我国建筑呈现超高层化、复杂化和大体量的趋势,智能化检测系统应运而生,该系统能够实现工程质量的智能化管控。然而,在实际应用中,会出现诸如系统使用耐久性差、对施工环境要求高、不能实现信息可视化反馈以及难以对检测信息进行综合利用等问题。本文基于 BIM 技术与 RFID 技术,通过模块分析、系统设计、应用流程等步骤开发一个新的建筑质量智能检测系统。该系统不仅可以进行常规的智能化检测,还具有基于 BIM 模型智能追踪定位、质检信息实时反馈以及依据质检信息进行可视化交底的功能。

1 研究现状

近年来,随着信息技术的迅速发展,以二维图纸为主的传统质量管控方式已经被基于网络的建筑产品信息系统所取代^[4]。全面的、智能的多功能系统在传统的建筑质量管控方式基础上有了巨大进步,取得了科学性的突破,但同样也存在一些问题。

关于现场+二维图纸进行施工质量管控的方式,刘琦^[3]认为在建筑工程项目的质量控制过程中,产生的大量数据、资料和报表都是通过人工归档,且报表统计大都通过手工计算。在资料管理过程中由于输入和统计人员不同会产生一定的偏差,这些都影响质量管理的有效性,而且传统质量控制信息管理方式也远远不能满足现代工程建设质量控制的要求。王玉玲^[5]指出在传统的施工质量检测过程中,填写施工质量检测资料的往往不是质检人员,填写时间经常滞后于实际检测时间,进而导致原始检测资料遗漏缺失。更有甚者,凭空编造验

收记录表里的数据,使得工程验收资料毫无依据。

在施工质量检验时,为了提高现代化管理效率,改变从业人员依靠文字、纸质图纸进行质检管理的工作方式,潘月宇^[6]提出可以借助计算机平台以及 PB 软件,对工程质量验收资料实现数据录入、信息查询、数据收集以及打印设置等功能。此方法虽满足了质量验收信息的真实性要求,但无法将 PC 端收集到的信息作进一步利用且无法对构件进行智能定位追踪。

杨建文等^[7]提出将 BIM 技术与二维码技术相结合,可实现信息的综合运用、可承载设备信息以及追踪设备方位等功能,从而提升施工管理效率。但由于在前期利用 Revit 等软件进行建模时,需对不同信息的构件逐段进行绘制,建模工作量大且速度较慢。并且该技术只能对存在质量问题的构件进行定位,不能存储质量问题检测信息以及不具有信息反馈功能。此外,二维码标签存在易破损、易丢失等问题,容易导致项目追踪对象的信息遗失、缺失,进而造成工程安全隐患。

马智亮等^[8]利用 BIM+室内移动定位技术,研制了施工质量智能管理系统,以解决目前施工质量验收以及规范实施过程中存在的漏检、数据二次转录等问题。但该系统在施工质量验收方面只具备支持用户利用移动设备填写施工质量验收记录表、对移动设备进行定位以及显示施工现场用户位置的功能,不具备显示问题构件位置信息的功能,无法快速、准确地将问题构件位置、质量检测信息下达至施工班组。综上所述,目前常用的建筑施工质量检测系统的比较情况如表 1 所示。

表 1 建筑施工质量检测系统比较

Tab. 1 Comparison of construction quality inspection system

系统形式	对使用者的专业性要求	系统使用的耐久性	对施工环境的要求	可否实现智能化定位	可否可视化交底	可否实现信息智能反馈
现场+二维图纸	最高	差	无	否	否	否
计算机平台+PB软件	较高	好	无	否	否	否
BIM技术+二维码技术	低	差	高	可以	可以	否
BIM技术+室内移动定位技术	低	好	无	否	否	否

由表 1 可知,目前常用的建筑施工质量检测系统,只有 BIM 技术+二维码技术能同时实现智能化定位和可视化施工交底,但该系统的耐久性较差且不具备质检信息快速反馈功能,通常还未等到工程

竣工,二维码就会出现残缺或损坏,导致整个智能检测系统陷入瘫痪状态^[9]。为了解决这一问题,本文拟采用 BIM+RFID 技术进行智能检测系统的开发,在实现智能检测功能的同时提升耐久性,保证整个

系统在建设项目施工阶段发挥高效、持续的作用。

2 建筑施工质量检测智能系统的设计与应用

近年来, BIM+RFID 技术的研究领域主要集中在 3 个方面: 设施资产运维管理、项目施工安全管理以及项目全生命周期管理^[10], 其中关于施工质量检测信息实时反馈以及智能追踪定位方面的研究鲜有报道。本文将通过模块分析、系统设计和应用流程这 3 个阶段, 开发新的建筑质量智能检测系统并验证其有效性。

2.1 模块分析

Autodesk Revit 是由 Autodesk 公司基于 BIM 理念开发出来的一款软件。由于各个国家的建筑行业标准不尽相同, Autodesk 公司为使用 Autodesk Revit 的用户提供了二次开发的接口, 同时它允许用户开发外部应用程序, 并自动记录^[11]。然而随着建筑工程的规模化、复杂化、智能化, 原有的平台已经不能满足安全管理、数据交互、信息共享等需求。许多软件开发者在 Autodesk Revit 的基础上, 对 Autodesk Revit API 进行相关功能开发二次开发信息, 如表 2 所示。

表 2 Autodesk Revit 的二次开发信息

Tab. 2 Secondary development information for Autodesk Revit

开发技术	结论	作者
1)对 Revit 软件的二次开发 2)结合 C#编程语言	建立模型与清单的匹配规则与路径	李洁等 ^[12]
1)对 Revit 软件的二次开发 2)结合 C#编程语言	完成了在工程设计中的施工图设计说、专业词库、图例详图、导出 DWG 和导出 PDF 软件功能	李亚克 ^[13]
1)对 Revit 软件的二次开发	开发了基于 BIM 模型的变形监测可视化插件, 具有布设监测点、变化趋势图、预警提示、测点查询和预测数据共五个功能	方睿 ^[14]
1)对 Revit 软件的二次开发 2)结合 C#编程语言 3)WebGL 技术研究	解决了在建筑工程应用中数据信息共享不足的问题、施工进度过程中二维交底不彻底问题以及在移动端快速重构 3D 模型信息完整性问题, 实现了用户通过移动设备快速浏览工程数据信息的功能	阎超 ^[15]
1)对 Revit 软件的二次开发	自动识别建筑、结构、机电专业模型组装后构件错位的问题	李熊飞等 ^[16]
1)对 Revit 软件的二次开发 2)网络地图服务(WMS)技术。	开发了一个插件, 以简化 LEED(能源与环境设计领导)中场地位置和交通分析的认证过程	Chen 等 ^[17]

由表 2 可知, 基于 Autodesk Revit 平台进行的二次开发, 增加了 Autodesk Revit 的相关功能, 扩大了其使用范围。然而针对施工质量检查过程中构件难以智能定位、数据重复转录和返工维修时反馈信息缺失等实际工程问题却很少有研究。

RFID 是自动识别技术的一种, 通过无线射频方式进行非接触双向数据通信, 利用无线射频方式对记录媒体(电子标签或射频卡)进行读写, 从而达到识别目标和数据交换的目的^[18]。RFID 系统主要由标签、阅读器和天线组成, 可以对存储在内部存储器中的数据进行重复地添加、修改和删除, 方便信息更新和数据容量的扩大^[19]。

BIM 技术在建设项目管理中的优势日益凸显^[20], RFID 在信息识别和数据交互方面又有其独特优点, 因此, 本文拟基于 BIM 与 RFID 技术, 研发一种新的建筑施工质量检测智能检测系统, 以实

现 BIM 模型与 RFID 存储质量问题信息的实时关联与交互, 使项目各参与方可随时进行问题构件的智能定位与追踪, 进行施工维修、可视化交底以及信息反馈, 实现施工质量的精准管理与控制。

2.2 系统设计

2.2.1 开发思路

BIM 技术的实质是信息的存储与表达, 可以与多个软件进行信息共享, 但是这些信息要与现场管理密切结合才能发挥其价值。互联网技术能够实现数据交换和信息共享, 实现人、物和空间等信息采集, 目前应用较广的有条形码、二维码及 RFID 技术。RFID 技术可在一定距离内读取构件信息、存储数据并可重复进行改写^[21]。BIM 与 RFID 技术运用情况比较见表 3。

由表 3 可知, BIM 技术或 RFID 技术在信息应用方面各有劣势, 比如出现信息衔接不及时、问题

表 3 BIM 与 RFID 技术结合运用情况比较
Tab. 3 BIM and RFID technology combined application comparison

运用情况	信息采集方法	信息处理方法	信息运用特点
BIM与RFID均无应用	人工填写、照相、扫描、录入	DOC文件、Excel表格、图像、文件夹、数据库	信息衔接不及时、不易查找信息、无法关联工程进度、可存档
只运用BIM技术	人工填写、照相、扫描、录入	BIM模型	信息衔接不及时、易查找信息、可关联工程进度、可存档
只运用RFID技术	RFID、移动端、Web端采集	DOC文件、Excel表格、图像、文件夹、数据库	信息衔接及时、不易查找信息、可关联工程进度、可存档
BIM与RFID均应用	RFID、移动端、Web端采集	BIM模型	信息衔接及时、易查找信息、可关联工程进度、可存档

解决不及时以及无法关联工程进度等问题。将 BIM 和 RFID 技术相结合可以进行优势互补,实现施工质量的精准管理和控制。

本文提出的系统需分别开发 AutodeskRevit 和 RFID 阅读器,以实现 AutodeskRevit 与 RFID 组件信息的实时关联与交互。AutodeskRevit 为用户提供 API 接口进行二次开发,并允许用户使用 .NET 兼容的语言进行编程,如 Visual Basic.NET, C#, C++, #等^[22]。RFID 阅读器的开发可直接应用 Android 内部程序进行,通过调用 Android SDK 中的 API,可读取 RFID 标签信息并进行记录,从而改进 RFID 阅读器功能。此系统拟在 RFID 手持终端上开发 App,借助 App 反馈建筑构件质量信息,首先对建筑构件设计标签进行编码,然后将 RFID 标签附在建筑构件上进行扫描,将有质量问题的建筑构件写入.xml 文件反馈到计算机,则该问题构件就会被准确定位在 AutodeskRevit 模型中并进行高亮显示。该系统可将信息数据存储在后台数据库中,保证了信息数据的长期性和有效性。

2.2.2 设计过程

该系统需满足对构件进行精准定位、质检信息快速反馈以及信息综合利用的需求。为了使系统流程具备普遍性与适用性,采用 C 语言和 Autodesk-Revit 提供的 SDK 进行二次开发,RFID 阅读器采用 Java 语言和 Android 进行数据传输技术的开发。系统设计流程如下:

2.2.2.1 获取构件 ID 并导出

AutodeskRevit 软件的所有图元构件都有一个唯一的标识符,也就是构件的 ID(identification)编号。在 AutodeskRevit 软件中选中模型构件,选择“管理”菜单栏内的“选择项的 ID”,即可对构件已生

成的 ID 号进行查看。同时,还可以根据需要对 BIM 模型中各个设备及构件的厂家信息、进厂检验等信息通过 BIM 软件自带功能进行补录。在 AutodeskRevit 软件平台的菜单栏中点选“科创工作箱”,再选择“获取构件 ID”功能,可将已建好模型中构件的 ID、厂家信息、材料信息等全部导出到一个.xml 文件中^[23]。

2.2.2.2 在 RFID 标签中植入 ID 信息

将含有构件 ID 的.xml 文件通过无线网络、数据线或蓝牙传送至 RFID 手持端。运行手持端中开发的“快读”App,选择已导入至手持端的.xml 文件,将每张空白 RFID 标签放置在标签扫描 RFID 手持端下,执行“开始写入 ID”命令,App 通过显示“开始写入 ID,依此放 RFID 标签”“ID 写入成功,放下一张 RFID 标签”“ID 写入完毕”来引导使用者使用。

2.2.2.3 质量问题的植入与保存

1) RFID 标签的读取。进行施工质量检测时,对存在质量问题的构件,现场人员手持施工现场的 RFID 手持端,运行“快读”App,点击“读取信息”按钮,可在 App 界面中读取到该构件的 ID、材料信息以及位置信息等。通过对这些信息的分析,有助于现场技术检查人员对构件质量问题源头进行诊断。

2) 质量问题信息写入 RFID 标签。如果现场质检人员检测到某构件存在质量问题,可在该款 App 中的“问题记录”栏将现场检测的构件问题进行编辑写入,也可根据系统提供的构件常见问题进行点击选择。最后点击“记录信息”按钮,可将编辑的构件问题信息保存到 RFID 标签中。

2.2.2.4 文件传输

当手持端操作人员对一个 RFID 标签进行质量

问题的编辑写入时,手持端后台系统就会将这些信息自动保存在 bimtmp.xml 文件中。当施工质量现场检测任务完成之后,用户可将需要的文件通过无线网络、数据线或蓝牙等传输到电脑端。

2.2.2.5 PC 端读取与执行 xml 文件

将 bimtmp.xml文件传输至 PC 端,在 Autodesk-Revit 软件中运行此文件,通过点击“问题记录文件路径”按钮,可读取已传输至电脑端的.xml 文件。操作人员点击文件中存在质量问题的构件名称,所选择的构件在 BIM 模型中智能定位并高亮显示,并弹出信息对话框,显示完整构件质量问题 and 位置等信息。

2.3 应用流程

下面以一栋住宅楼为例,验证本文提出的建筑质量智能检测系统的有效性。

2.3.1 工程概况

该项目位于四川省阿坝州,属于高海拔山区,施工环境恶劣。该项目为自建项目,占地面积约 93 m²,建筑面积 183 m²,共两层。该工程采用框架结构,主要用途为住宅,设计使用年限为 50 年,建筑总高度为 8.2 m,工程总造价约为 34 万人民币。

2.3.2 系统应用

1)BIM 模型与实体构件信息的关联交互。应用 AutodeskRevit 软件进行建模。模型建立完毕后, AutodeskRevit 软件会自动赋予模型每个图元唯一识别的 ID 号,可实现 BIM 模型与实体构件信息的关联。

2)对存在质量问题的构件进行精准定位。将已植入 ID 号等信息的电子标签放置在相应的施工实体中。在不同的施工环境中,RFID 标签的封装方式如表 4 所示。

表 4 RFID 标签的封装方式
Tab. 4 The encapsulation of RFID tags

RFID标签放置的环境特点	自然环境 (例如:墙体、梁、柱表面等)	潮湿环境 (例如:未达到强度的梁、柱中,水泥砂浆墙体抹面中等)	暴晒环境 (例如:楼顶顶板、女儿墙等)
RFID标签的封装方式	采用PVC、PET、纸质等材料封装	采用PVC等防水性材料封装,严禁采用纸质进行封装	采用PVC等复合塑料材质封装,严禁采用暴晒后易老化的塑料材质进行封装

表 4 根据不同的施工环境采用不同的封装方式,在整个项目的建设期间能够保证 RFID 标签完好无损,确保质量信息的完整性和有效性。对于有质量问题的构件,通过手持端读取该构件的 ID 信息,实现构件的精准定位。

3)质检信息快速反馈。将手持端生成的含有质量问题信息的.xml 文件传输至电脑终端,在建筑模型中即可对建筑构件进行智能定位并高亮显示,在弹出的对话框中,能够显示构件完整的质量问题等信息,实现质检信息的快速反馈,如图 1 所示。

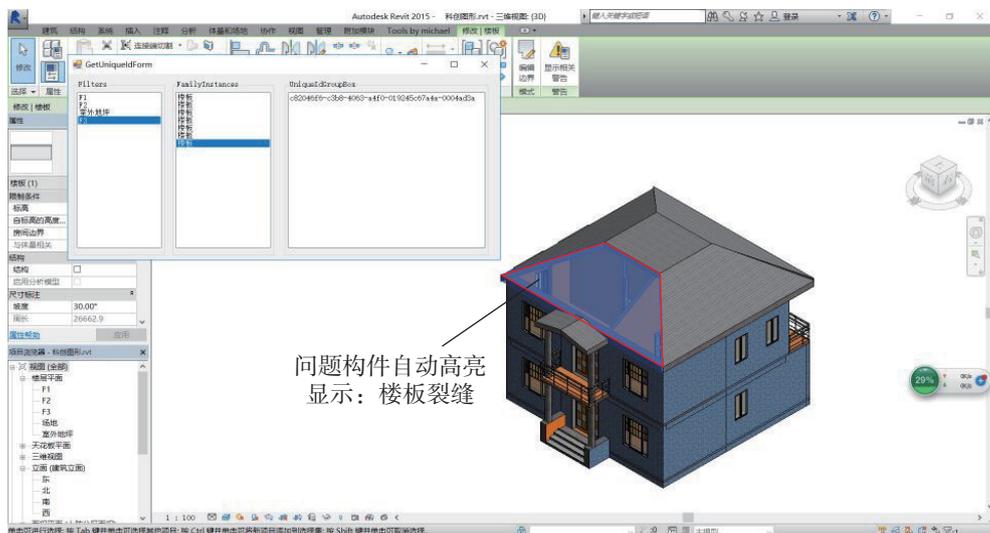


图 1 质检信息快速反馈

Fig. 1 Quick feedback of quality inspection information

4) 可视化施工交底。技术人员可通过 BIM 模型将质检信息与施工班组人员进行共享, 下达可视化施工交底。施工班组经返工维修, 质检人员验收符合质量要求后, 将维修信息及处理情况录入 RFID 标签中, 实现信息反馈和追踪。

3 结论

目前, BIM 技术+二维码技术智能检测系统具有同时实现智能化定位和可视化施工交底的功能, 因此在建筑施工质量检测中应用非常广泛。然而, 该系统的耐久性较差且不具备质检信息快速反馈功能, 在工程应用中有一定的局限性。本文采用 BIM+RFID 技术开发了一个新的智能检测系统并应用实例进行了验证, 证明本系统在实现智能检测功能的同时能够提升其耐久性, 可保证系统在整个建设项目施工阶段发挥高效、持续的作用。本文得到结论如下所示。

1) 基于 BIM&RFID 技术建筑质量智能检测系统可以实现 BIM 模型与 RFID 标签存储信息的关联交互。

2) 该系统可实现建筑质量问题信息共享, 进行可视化交底, 实现质量问题信息的实时反馈与定位追踪。

3) 本系统可用于恶劣的施工环境, 操作简便, 对质检人员的专业性要求不高。可实现人人管理和可视化管理, 提高施工质量管理效率。

参 考 文 献

[1] XUE F, CHEN K, LU W, et al. Linking radio-frequency identification to Building Information Modeling: Status quo, development trajectory and guidelines for practitioners[J]. *Automation in Construction*, 2018, 93: 241 – 251.

[2] CHEN Q, ADEY B T, HAAS C, et al. Using look-ahead plans to improve material flow processes on construction projects when using BIM and RFID technologies[J]. *Construction Innovation*, 2020, 20(3): 471 – 508.

[3] 刘琦. BIM 与 RFID 技术集成的建筑施工安全管理应用研究 [D]. 吉林: 长春工程学院, 2020.

LIU Q. Research on application of bim and rfid technology integration in building construction safety management [D]. Jilin: Changchun Institute of Technology, 2020.

[4] KIFOKERIS D, XENIDIS Y. Constructability: outline of past, present and future research[J]. *Journal of Construction Engineering & Management*, 2017, 143(8): 04017035.1 – 04017035.13.

[5] 王玉玲. 建筑工程施工技术资料管理探讨[J]. *房地产世界*, 2021(23): 129 – 131.

WANG Y L. Technical information on building construction management[J]. *Real Estate World*, 2021(23): 129 – 131.

[6] 潘月宇. 基于 BIM 技术的施工资料管理系统应用 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2020.

PAN Y Y. Application of construction data management system based on bim technology [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2020.

[7] 杨建文, 周思阳. BIM 技术与二维码技术相结合的应用尝试[J]. *建筑工程技术与设计*, 2015(22): 1792.

YANG J W, ZHOU S Y. BIM technology and two-dimensional code technology combined application attempt[J]. *Architectural Engineering Technology and Design*, 2015(22): 1792.

[8] 马智亮, 蔡诗瑶, 杨启亮, 等. 基于 BIM 和移动定位的施工质量管理体系 [J]. *土木建筑工程信息技术*, 2017, 9(5): 29-33.

MA Z L, CAI S Y, YANG Q L, et al. A construction quality management system based on bim and indoor positioning[J]. *Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture*, 2017, 9(5): 29-33.

[9] 安莹. 二维 CAD 与三维 BIM 设计对比分析[J]. *信息记录材料*, 2021, 22(4): 245 – 247.

AN Y. Comparative analysis of 2D CAD and 3D BIM design[J]. *Information Recording Materials*, 2021, 22(4): 245 – 247.

[10] 郑晶晶. BIM 与 RFID 技术在装配式建筑中的应用研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2018.

ZHENG J J. Research on the application of BIM and RFID technology in prefabricated buildings [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2018.

[11] WU J, LEPECH M D. Incorporating multi-physics deterioration analysis in building information modeling for life-cycle management of durability performance[J]. *Automation in Construction*, 2020, 110: 103004.

[12] 李洁, 王亮, 张瑞强. 基于 Revit 模型与清单映射的二次开发研究[J]. *北京建筑大学学报*, 2021, 37(4): 9 – 18.

LI J, WANG L, ZHANG R. Research on the secondary development based on revit model and bill mapping[J]. *Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture*, 2021, 37(4): 9 – 18.

[13] 李亚克. 基于 Revit 平台的 BIM 应用系统二次开发研究 [D]. 石家庄: 河北科技大学, 2019.

LI Y K. Research on the secondary development of BIM application system based on revit platform [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2019.

[14] 方睿. 基于 Revit 二次开发在放样及变形监测中的应用研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.

FANG R. Application research of redevelopment based on revit in lofting and deformation monitoring [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.

[15] 阎超. 基于 Revit 的建筑模型信息二次开发应用 [D]. 太原: 中北大学, 2020.

YAN C. Secondary Development and application of architectural model information based on revit [D]. Taiyuan: North University of China, 2020.

[16] 李熊飞. 基于 BIM 技术 revit 二次开发工程应用研究 [J]. 建设科技, 2021(23): 109 – 111.

LI X F. Research on application of bim technology revit secondary development project [J]. Construction Science and Technology, 2021(23): 109 – 111.

[17] CHEN P H, NGUYEN T C. Integrating web map service and building information modeling for location and transportation analysis in green building certification process [J]. *Automation in Construction*, 2017, 77: 52 – 66.

[18] 李成渊. 射频识别技术的应用与发展研究 [J]. *无线互联科技*, 2016(20): 146 – 148.

LI C Y. Application and development research on ra-

dio frequency identification technology [J]. *Wireless Internet Technology*, 2016(20): 146 – 148.

[19] FISCHER M, FERDIK M, RACK L O, et al. An experimental study on the feasibility of a frequency diverse UHF RFID system [J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 132311 – 132323.

[20] 李健. BIM 技术在建设项目管理中的应用 [J]. *产业与科技论坛*, 2021, 20(16): 283 – 284.

LI J. Application of BIM technology in construction project management [J]. *Industry and Technology Forum*, 2021, 20(16): 283 – 284.

[21] 惠之瑶. 基于 BIM-RFID 的装配式建筑施工阶段的信息集成应用研究 [D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2020.

HUI Z Y. Research on information integration application of prefabricated building construction stage based on BIM-RFID [D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science and Technology, 2020.

[22] GOLDUP K, KOSTURA Z, TAVOLARO T, et al. Advanced Engineering with Building Information Modelling: Establishing Flexible Frameworks for the Design and Documentation of Complex Buildings [J]. *Architectural Design*, 2017, 87(3): 120 – 127.

[23] MIRZA H, ELAHI M F. A UHF-RFID tag antenna for commercial applications [C]// International Conference on Electrical & Computer Engineering. Dhaka: IEEE, 2009: 764-767.

(编校: 叶超)

(上接第 61 页)

[18] WU J, ZHANG G, REN Y. A balanced modularity maximization link prediction model in social networks [J]. *Information Processing & Management*, 2017, 53(1): 295 – 307.

[19] 吕琳媛. 复杂网络链路预测 [J]. *电子科技大学学报*, 2010, 39(5): 651 – 661.

LV L Y. Link Prediction on Complex Networks [J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2010, 39(5): 651 – 661.

[20] ADAMIC L A, ADAR E. Friends and neighbors on the web [J]. *Social Networks*, 2003, 25(3): 211 – 230.

[21] NEWMAN M E J. Clustering and preferential attachment in growing networks [J]. *Physical Review E*, 2001, 64(2): 025102.

[22] MCCOY K, GUDAPATI S, HE L, et al. Biomed-

ical text link prediction for drug discovery: a case study with COVID-19 [J]. *Pharmaceutics*, 2021, 13(6): 794.

[23] BARBER M J. Modularity and community detection in bipartite networks [J]. *Physical Review E*, 2007, 76(6): 066102.

[24] ZHANG X, NEWMAN M E J. Multiway spectral community detection in networks [J]. *Physical Review E*, 2015, 92(5): 052808.

[25] KUMAR P, SHARMA D. A potential energy and mutual information based link prediction approach for bipartite networks [J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 1 – 14.

[26] LV H, ZHANG B, HU S, et al. Deep Link-Prediction Based on the Local Structure of Bipartite Networks [J]. *Entropy*, 2022, 24(5): 610.

(编校: 叶超)