

基于 BIM 与 GIS 数据融合的智慧地铁运维系统研究*

褚靖豫^{1,2},熊自明¹,姜逢宇¹,李先兵³,郭宇晶³,刘小龙⁴

(1. 陆军工程大学 爆炸冲击防灾减灾国家重点实验室,江苏 南京 210007;

2. 江苏省建筑设计研究院有限公司,江苏 南京 210000;

3. 新城控股集团股份有限公司,上海 200062;4. 山东大学 控制科学与工程学院,山东 济南 250061)

摘要:建筑信息模型(BIM)和地理信息系统(GIS)的融合为智慧地铁运维系统的实现提供了强有力的技术支持。论证了将 BIM + GIS 运用到地铁设备运维系统中的优势和可行性,从 BIM 和 GIS 模型的数据规范入手,提出了一种有效的 BIM 和 GIS 数据融合方案。通过运用 BIM 和 GIS,实现了设备智慧巡检、设备故障预警与智能维修和应急智能处置等智慧功能。BIM 和 GIS 数据的成功融合,为智慧地铁运维系统的建成提供了一种强有力的技术手段。

关键词:BIM;GIS;智慧地铁;运维系统;数据融合

中图分类号:U231+.92

文献标识码:A

DOI: 10.19358/j.issn.2096-5133.2020.05.015

引用格式:褚靖豫,熊自明,姜逢宇,等.基于 BIM 与 GIS 数据融合的智慧地铁运维系统研究[J].信息技术与网络安全,2020,39(5):75-79,85.

Research of intelligent subway operation and maintenance system based on BIM and GIS data fusion

Chu Jingyu^{1,2}, Xiong Ziming¹, Jiang Fengyu¹, Li Xianbing³, Guo Yujing³, Liu Xiaolong⁴

(1. State Key Laboratory for Disaster Prevention & Mitigation of Explosion & Impact, Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, China; 2. Jiangsu Provincial Architectural D & R Institute Ltd., Nanjing 210000, China; 3. Xincheng Holding Group Co., Ltd., Shanghai 200062, China; 4. School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract:The integration of building information model (BIM) and geographic information system (GIS) provides a strong technical support for the realization of intelligent metro operation and maintenance system. The advantages and feasibility of BIM + GIS applied to metro equipment operation and maintenance system are demonstrated in this paper. Starting from the data specification of BIM and GIS, an effective data fusion scheme of BIM and GIS is proposed. Through the use of BIM and GIS, intelligent functions are realized, including the intelligent inspection of equipment, equipment failure warning and intelligent maintenance and emergency intelligent disposal, etc. The successful data integration of BIM and GIS provides a powerful technical means for the construction of intelligent metro operation and maintenance system.

Key words: BIM;GIS;intelligent metro; operation and maintenance system;data fusion

0 引言

随着地铁建设的不断发展,地铁运维系统的智能化发展已成为当今世界发展的趋势^[1-6]。智慧地铁运维管理系统智能化的实现,需要高效的信息采集、强大的空间分析和有效的信息管理。现阶段,数据利用率低、可视化程度差、广度和细节难以有效结合等问题制约了地铁运维系统的发展。

建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)和地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的结合,为智慧地铁运维系统的发展提供了方向。国内外众多学者针对 BIM 与 GIS 结合实现智慧地铁运维展开了研究。郭二军^[7]结合北京地铁 19 号线的工程现状,深入结合 BIM + GIS 在现阶段地铁工程中的应用难点与痛点,阐述了当前地铁建设过程中多元数据融合的诸多问题。苏木^[8]针对目前国内地铁中遇到的相关问题进行研究,通

* 基金项目:国家自然科学基金青年项目(51608529)

过探讨 BIM + GIS 技术在地铁产业中的应用,提出了 BIM + GIS 技术的地铁应用思路及在地铁运营维护管理平台中的建设难点。胡林峰^[9]通过对 BIM + GIS 云平台的探讨研究,指出了 BIM + GIS 数据融合中数据结构难点与理念中的差异,并对融合方式提出了展望。杨国华等^[10]着重分析了 BIM 与 GIS 技术在城市地铁建设及运维中的模块构成,对其应用与云应用提出了探讨。黄杨成等^[11]着眼于基于 BIM + GIS 的智慧运营维护平台系统,通过对该系统的深入挖掘研究,不断架构一个三维立体、智慧的服务创新平台,便于用户快速查询信息,利于管理者分析管理。KANG T W 等^[12]在研究中提出了将建筑信息模型(BIM)有效集成到基于地理信息系统(GIS)的设施管理(FM)系统中的软件体系结构。Javier Irizarry 等^[13]将 BIM 和 GIS 集成到一个独特的系统中,用于改善建筑设备供应链管理的可视化。

BIM 与 GIS 的融合,极大地促进了地铁运维系统的智能化、信息化。但目前的研究表明,二者融合在地铁运维系统中的应用还不够成熟,成果功能较为单一,存在数据库如何合理建立、信息如何有效利用、如何与地铁运维现状更加有效结合等问题。解决好上述问题,实现地铁智慧运维的目标便可更进一步。针对地铁运维系统建设,本文从数据规范角度入手,提出了一种有效的 BIM 和 GIS 的数据融合方案,并将其运营到地铁运维系统的建设中。

1 BIM 和 GIS 融合的基础

1.1 可行性及必要性

地铁作为地理空间目标,属于长度为数十公里的线状目标,周围的地理信息以及地铁的自身信息对于地铁来说都至关重要。将 BIM 和 GIS 集成用于地铁运维系统,具有极好的适用性。BIM 和 GIS 融合可以做到宏观微观兼顾,广度和细节兼顾。GIS 表达了广度较大的地理信息,主要是建筑物外场地情况以及建筑物外表面情况。BIM 表达的是建筑物细致的内部构造,内部建筑的具体组成,各组成构件间的相互关系,以及组成构件的具体信息。因此,结合 BIM + GIS 技术将有效解决地铁全寿命周期中遇到的大多数问题,有效提高管理标准和管理效率,基于 BIM 和 GIS 技术融合的地铁运营维护系统,为城市地铁进入智慧地铁迈出了坚实的一步。

1.2 BIM 和 GIS 模型的数据规范

1.2.1 IFC 规范

建立 BIM 模型通常需要按初步设计、定义族库、加入基本建筑、加入细部元素和精细化设计 5 步来进行。IFC(International Foundation Classes)由 IAI(International Alliance for Interoperability)组织制定,是在建筑 BIM 领域被普遍认可和应用的标准,用于在不同的平台、系统间交换和共享数据。IFC 使用面向对象的 EXPRESS 语言描述,具有良好的平台无关性。目前 BIM 软件均支持 IFC 标准的模型数据的导入和导出。

IFC 中划分为 4 个功能层:资源层(Resource Layer)、核心层(Core Layer)、界面层(Interoperability Layer)和应用层(Domain Layer)。4 个功能层遵从阶梯架构,在具体描述建筑细节时采用树状结构,如图 1 所示。

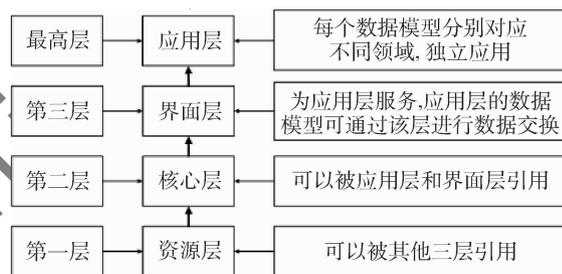


图 1 IFC 的阶梯架构

IFC 的几何模型支持边界表达(B-Rep)、扫描体和构造实体几何(CSG)的自由组合。模型渲染方面,BIM 模型中每种材质用单独的贴图表示。

1.2.2 CityGML 规范

CityGML 是一种基于 XML 的,用于编码、储存地理信息的语法格式。CityGML 以 GML3 为基础,扩展了 CityGML Core 和 Building 等模块,对城市建筑实体对象和对象之间的逻辑关系做出了定义。具体包括模型的几何、语义、拓扑、外观属性^[14]。CityGML 是 GIS 信息处理应用于城市领域的重要进展,在国内外重要的 GIS 平台如 ArcGIS、SuperMap 等都得到深度支持。本文使用的 Cesium 平台也通过开放 CityGML 转 3dTiles 的插件实现对该格式的支持。

CityGML 使用细节层次分类,在不同尺度上实现模型几何和语义的表达。规范中定义了 LOD0、LOD1、LOD2、LOD3、LOD4 共 5 个细节层次,每个层次表述的细节如下:

- (1) LOD0: 大范围地域模型;
- (2) LOD1: 将建筑物体量表现为简单块体;
- (3) LOD2: 增加建筑附属结构和粗模;
- (4) LOD3: 增加详细几何外观;
- (5) LOD4: 增加室内细节表达。

CityGML 格式的表达特点是几何和语义的协同表达^[14]。CityGML 侧重于城市区域建筑外部特点的描述,因此使用 B-Rep 表达几何模型。语义表达则将面向对象的实体表达与 LOD 分层表达相结合。模型渲染方面, CityGML 应用于 GIS, 对大范围城市场景的表现需求较多, 通常使用外部纹理贴图而非材质贴图做渲染。

2 BIM 和 GIS 融合方案

2.1 BIM 和 GIS 融合方法

使用 IFC 格式表示的 BIM 模型和使用 CityGML 格式表达的 GIS 模型目的都是对建筑物进行三维表达, 但应用领域不同导致侧重点不同。IFC 和 CityGML 的主要异同点如表 1 所示^[14]。

表 1 IFC 和 CityGML 的主要异同点

	IFC	CityGML
几何信息	B-Rep、扫描体、CSG	B-Rep
语义信息	丰富的细节描述和 构件间的语义连接关系	5 个 LOD 层级
模型外观	材料贴图	外部纹理贴图
坐标定义	局部坐标	整体坐标
表达尺度	单个或多个建筑模型	多建筑场景

IFC 模型和 CityGML 模型仅能从几何信息、属性信息及相关类出发进行数据融合。融合后的模型将通过 GIS 平台进行展示, 因此数据融合应以用 CityGML 表示大场景和模型外表面, 用 IFC 表示模型内部细节构造为思路进行, 以 CityGML 结构为框架, 将 IFC 数据格式处理后作为细节填充。构造 CityGML 各 LOD 层级模型方法可概括为:

- (1) LOD1 模型: 从 IFC 模型中提取 IfcSlab、Ifc-Wall、IfcBuildingStorey 组成建筑外部块体模型。
- (2) LOD2 模型: 从 IFC 模型中提取 IfcBeam、IfcRoof、IfcColumn, 丰富建筑外部细节。
- (3) LOD3 模型: 从 IFC 模型中提取 IfcDoor、IfcWindow 等数据, 对 LOD2 模型的建筑外轮廓进行丰富。
- (4) LOD4 模型: 从 IFC 模型中提取 IfcSpace、If-

cFurnishingElement 等数据, 对 LOD3 模型内部细节进行补充, 达到可以进行室内漫游的 LOD4 精度要求。

BIM 数据的处理和转换方法可概括为:

(1) 提取、筛选 IFC 文件中所需族内容和参数。提取数据分为对几何数据的提取和对语义信息的过滤。提取几何数据时, 需对模型进行几何转换和坐标转换; 过滤语义信息时, 需按构件属性进行过滤。

(2) 重构并生成多 LOD 模型。根据转换后的几何数据进行几何重构, 并将语义信息按 LOD 精度需要进行分类后, 依据 LOD 精度要求进行重构。

(3) 模型优化。从数据结构和可视化结果两方面对以上结果进行检查, 生成符合标准的 CityGML 文档。

2.2 地铁运维系统中 BIM 和 GIS 融合方案

实现地铁运维系统的可视化管理, 首先必须建立地铁站的三维模型。在本文涉及的工程项目中, 前期已根据模型的应用阶段制定了 BIM 建模方案, 依照方案确定了各部分的建模精度, 之后进行了全项目的 BIM 建模。BIM 建模精度为 LOD500 水平, 表 2 中列出了模型的精度水平对应的应用范围。

表 2 BIM 建模的各族精度

精度水平	等级	应用阶段
LOD100	概念级	规划设计
LOD200	方案级	初步设计
LOD300	设计级	施工图设计
LOD400	施工级	施工图深化
LOD500	运维级	运营维护

依据地铁运维系统开发的需求, 从前期模型数据中筛选, 得到运维系统所需的 BIM 模型数据库, 如表 3 所示。

表 3 运维系统所需的 BIM 模型数据库

模型类型	族内容	参数
建筑及结构模型	建筑物模型, 隧道主体模型	尺寸、材质、材料、成本信息
交通及道路模型	包括垫层、基层、面层、人行道、安砌侧石、树池、栏杆、挡墙等模型	尺寸、材质、材料、成本信息
管线模型	通风空调模型, 供配电照明设备模型, 监控报警设备模型	材质、材料、成本信息

融合后的模型按 4 个 LOD 显示,且不同 LOD 对模型的精度要求不同,如表 4 所示。根据 LOD 精度要求,可将模型分为体块模型、基础模型、标准模型、精细模型。依照分类原则,对以上模型类型在不同 LOD 下进行分类。分类后,按上述的数据转换步骤,对 BIM 和 GIS 数据进行转换、融合。

表 4 融合后的模型的分级显示

模型类型	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
地形模型	DEM	DEM + DOM	DEM + DOM	高精度 DEM + 高精度 DOM
建筑及结构模型	体块模型	基础模型	标准模型	精细模型
交通及道路模型	道路中心线	道路面	道路面 + 附属设施	标准模型
管线模型	管线中心线	管线体	管线体 + 附属设施	标准模型
景观及其他模型	通用符号	基础模型	基础模型	基础模型

3 基于 BIM + GIS 的运维系统构建及主要功能实现

3.1 运维系统平台的构建

基于 BIM + GIS 的智慧地铁设备运维系统以开源 GIS 平台 Cesium 为基础进行搭建。系统分为基础平台、功能模块、底层数据三个层级。三个独立功能模块在接收指令后从统一的数据库中调用数据进行分析,分析结果在可视化平台中进行展示。系统的框架设计如图 2 所示。

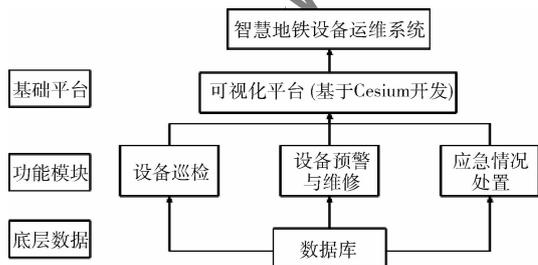


图 2 地铁运维系统框架设计

3.2 基于智慧运维系统的主要功能实现

3.2.1 设备智慧巡检

智慧地铁设施管理信息系统中的中心服务器可以记录每个巡检或检修人员的运动轨迹、速度,统计在巡检路径上设定的重要设备“关注点”附近

的“关注时间”、行进时间、静止时间等重要指标,为进一步进行“巡检/检修人员绩效评估”、“巡检路径和时间优化”、“最佳逃生路径”等分析提供大数据。

基于对大数据的采集、处理,地铁运营公司可以以此来提高资源利用率、研发新成果加以应用、做出更合理的工作布局等。综合大数据和高效能的分析,将有利于:

(1)快速找出故障、问题和缺陷的来源,以此为公司降低资金成本。

(2)综合所有在线工作人员的工作日程及工作内容,实时评定工作人员的工作绩效,从而提高企业效率。

(3)事故发生时,分析所有可逃生路径,以安全、效率最大化为目标来制定逃生路线。

(4)根据设施设备的损坏及故障程度,为巡检人员提供高效的巡检路线。

此外 BIM、GIS 与室内定位系统的结合还为巡检和检修人员导航快速找到陌生设备,以及快速调取系统中该检修设备的相关资料提供自动定位关联操作。检修人员只要到达待检修设备旁边,移动端终端检修系统上的地图就会根据人员的位置突出显示其旁边的设备,在地图上点击相关设备即可调取该设备的相关资料,实现信息的快速获取,提高了工作效率。

3.2.2 设备故障预警与智能维修

设备故障预警与智能维修功能,是基于 BIM 模型中提供的设备信息及 GIS 平台对设备的定位,实现对运维阶段的地铁设备使用状况的持续跟踪监控,对可能出现故障的设备提前预警。当设备出现故障时,系统能够根据数据库中内容,及时对设备信息、设备故障类型、故障影响范围、维修方案等做出研判。系统功能主要通过以下模块实现:

故障预警及可视化分析:依托设备运行监控系统,实现设备故障实时检测、自动报警、故障影响范围可视化展示(比如某个水泵损坏,这个设备的影响范围有哪些下级设备,同时在 BIM + GIS 可视化平台展示出来)。

故障智能诊断:建立设备常见故障诊断知识库,实现常见故障的自动诊断。

故障智能处置:建立设备常见故障处置方法知识库,并基于 BIM 将各种故障处置方法步骤模拟三维可视化,便于维修人员理解掌握,实现常见故障

的智能处置。

耗材与备件调配:与 EM 系统对接,存储与管理耗材和备件,并可定位查询耗材和备件的详细情况。设备发生故障时,根据设备故障处置方法,计算所需耗材和备件的数量,依据耗材和备件所在位置,计算确定耗材与备件的最优调配方法。

维修数据统计与智能分析:报修记录中,根据数据自动计算出故障率,并按照故障原因将其分类,同时用列表列出故障率最高的前五项;统计报修时间到维修、响应时间(0.5 h 内,0.5 h ~ 1 h,1 h ~ 2 h 等)分别是多少,所占比例多少。

计算每种故障的平均维修总时间(总的维修时间算术平均值)、响应时间(发到维修人员处的时间减去报修时间)、处理时间(维修完成时间减去接到报修时间)、维修总的时间(维修完成时间减去报修时间)。

故障记录:每种设备类型设备的维修率,每个供应商的设备维修率,列表列出各项的前五名。

3.2.3 应急智能处置设备故障

应急智能处置功能是基于 BIM 的数据库中的数据,使用系统中的规划算法,对可能出现的紧急情况 and 紧急情况出现时的设备运转、人员疏散做出应急预案。应急处置主要通过以下模块实现:

疏散路线规划:基于室内定位技术实现火灾、恐怖袭击等灾害事故的疏散逃生路线规划,即:根据人员位置信息,基于规划算法优化,计算出最优的一条疏散逃生路线。

内涝淹没分析:分析计算水淹到什么位置,淹没哪些设备。

应急预案与仿真:存储与管理应对各种灾害事故的应急预案;应用 BIM + 计算机模拟仿真技术动态展示与分析应急预案,辅助决策。利用应急预案仿真推演,以三维可视化形式,对地铁人员进行安全培训教育,对乘客进行安全警示教育。

4 结论

地铁运维系统的智能化发展需要更加先进的信息采集、空间管理、信息分析的手段。本文从数据规范角度,论述了 BIM 和 GIS 数据融合过程中需解决的技术问题。详细介绍了 BIM 模型采用的 IFC 格式和 GIS 模型采用的 CityGML 格式的应用范围、组织表达方式和编码格式。

基于以上论述,给出了以 CityGML 模型为框架,

将 IFC 数据按照 LOD 精度要求进行细节填充的数据融合思路,并给出了构造 CityGML 各 LOD 层级模型方法和 BIM 数据的转换和处理方法。根据以上方法,给出了在地铁运维系统中实现 BIM 和 GIS 数据融合的方案。

通过 BIM 与 GIS 技术相互融合的方式,实现对几何空间、坐标系统、物体属性等信息的融合,进而实现地铁智慧巡检、智能维修和应急智能管理等智慧功能。通过采集、分析、管理一体化的方式,将智慧地铁的实现推向与智慧城市建设一脉相承的伟大战略布局,城市地铁将不仅立足于公共交通,更为整个城市的智慧建设添砖加瓦。

参考文献

- [1] 李兆君,刘志臣,孔华,等. 地铁机电专业“四化一平台”运维管理系统[J]. 设备管理与维修,2018(7):19-21.
- [2] 林云志,祁小兵,陈浪先,等. 基于综合监控系统数据的城市轨道交通 3D 运维平台应用研究[J]. 机电工程技术,2018,47(10):39-42,168.
- [3] 李松峰,王洋,姚伟国,等. 基于大数据的城市轨道交通运维信息化技术应用[J]. 铁路技术创新,2018(2):75-80.
- [4] 陈爱丽,朱微维. 西安地铁设备运维管理系统研究[J]. 自动化与仪器仪表,2016(4):115-117.
- [5] 张志鹏,赵晗. 地铁机电设备运维管理和故障分析系统的研究[J]. 计算机光盘软件与应用,2015,18(2):15-16.
- [6] 章伟. 深圳市智能交通系统运维模式及评价体系研究[D]. 大连:大连海事大学,2012.
- [7] 郭二军. BIM + GIS 在地铁工程建设中的应用[J/OL]. 城市建设理论研究(电子版),2018(20):79 [2020-02-04]. http://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=101k0m80c45m0rt06s1e0t90h9464002&site=xueshu_se&hitarticle=1.
- [8] 苏木.“GIS + BIM”技术在城市轨道交通保护中的应用[J]. 智能城市,2018,4(18):73-74.
- [9] 胡林峰. 轨道交通项目 BIM + GIS 云平台建设研究[J]. 工程建设与设计,2018(16):254-255.
- [10] 杨国华,刘春艳. 轨道交通项目 BIM + GIS 云平台建设研究[J]. 土木建筑工程信息技术,2017,9(2):103-106.
- [11] 黄杨成,李健,张蓉. 基于 BIM 与 GIS 的智慧运维服务系统建模技术研究[J]. 山西建筑,2018,44(10):256-258.

(下转第 85 页)

- [7] 裴昌幸, 聂敏. 现代通信系统计费原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [8] FITZGERALD M. Introducing regular expressions[M]. O'Reilly Media, 2012.
- [9] FLANNERY R. Informix 实用全书[M]. 邱仲潘, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004.

(收稿日期: 2020-03-02)

作者简介:

郭湘(1974-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 通信网络与安全、软件开发、通信工程与技术。

(上接第 79 页)

- [12] KANG T W, HONG C H. A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration [J]. Automation in Construction, 2015, 54: 25-38.
- [13] IRIZARRY J, KARAN E P, JALAEI F. Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management [J]. Automation in Construction, 2013, 31: 241-254.
- [14] 张佳琪. BIM 与 GIS 数据融合方法研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2019.

春工程学院, 2019.

(收稿日期: 2020-03-18)

作者简介:

褚靖豫(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 快速、有效数据融合及其应用。

熊自明(1980-), 通信作者, 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 土木工程信息化. E-mail: xzm992311@163.com.

姜逢宇(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 基于 BIM 与 GIS 融合的快速建模。

www.pcachina.com

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《信息技术与网络安全》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《信息技术与网络安全》编辑部
中国电子信息产业集团有限公司第六研究所