

GIS 与 BIM 融合的研究进展与发展趋势

武鹏飞^{1,2}, 刘玉身¹, 谭毅³, 李建锋²

(1.清华大学 软件学院,北京 100084; 2.中车信息技术有限公司,北京 100084;
3.深圳市建筑工务署工程管理中心,广东 深圳 518028)

摘要: GIS 与 BIM 融合的应用领域非常广阔,已得到社会的广泛认同,且相关研究工作也在不断深入。本文对国内外 GIS 与 BIM 融合的相关研究从融合方法和集成应用两方面进行了总结概括,并做了相应的分析和讨论。GIS 与 BIM 融合方法大致可以分为数据格式转换、数据标准扩展和本体论 3 种模式,初步实现了 GIS 与 BIM 数据的相互转化和融合,但几何信息和属性信息丢失、语义信息歧义等是其中突出的问题。GIS 与 BIM 的集成主要用于工程建设管理、工程规划设计、市政设施管理和火灾应急处理等方面,但集成应用还处于理论设想和方法探讨阶段,并未得到广泛的实际应用。总的来说,GIS 与 BIM 融合不论在融合方法研究方面,还是在集成应用方面,都处于起步和探索阶段,发展新型数据模型,优化信息表达形式,兼顾几何实体表达和面向具体应用的语义知识表达需要,很可能是未来 GIS 与 BIM 融合的另一种解决途径。

关键词: 地理信息系统; 建筑信息模型; 数据融合; CityGML; IFC

中图分类号: P208.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-5867(2019)01-0001-06

Advances and Trends of Integration between GIS and BIM

WU Pengfei^{1,2}, LIU Yushen¹, TAN Yi³, LI Jianfeng²

(1. School of Software, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
2. CRRC Information Technology Co. Ltd., Beijing 100084, China;

3. Engineering Management Center, Bureau of Public Works Shenzhen Municipality, Shenzhen 518028, China)

Abstract: While the practical value of GIS-BIM integration has been widely accepted by the whole society, more research efforts have been focused on this topic. In this paper, researches at home and abroad on GIS-BIM integration were surveyed, and we made a conclusion about GIS-BIM integration methods and applications. Integration methods can be roughly classified into three classes: format conversion, standard extension and ontology, but all these methods have their limitations on the loss of geometry and property information. In the aspect of application, the integration of GIS and BIM is designed to be used in engineering construction management, project planning and design, municipal facilities management and fire emergency, but it still remains a theoretical target. In general, the integration of GIS and BIM is in the prototype stage, and the potential paths for future research will be focused on new data model design and information expression optimization.

Key words: GIS; BIM; integration; CityGML; IFC

0 引言

城市是人类集聚生活的主要场所,随着智慧城市概念的兴起,现代化城市的建设管理逐渐成为社会关注的热点。精细化、智能化、标准化是当今城市建设管理的核心要求,从目前的情况看,依靠单一技术已不可能满足未

来城市建设和管理的需要,多种技术间的融合和集成将是必然之路,GIS 与 BIM 融合为城市的建设管理提供了新的方法和手段。GIS 为当今城市的建设和管理提供了基础框架,BIM 为城市建设管理提供单栋建筑的精确信息模型^[1]。GIS 的特点在于全局整体的数据管理,侧重于室外的信息表达,而 BIM 侧重于局部单体建筑的精细表达。

收稿日期:2018-10-22

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFB0505400);国家自然科学基金(61472202);中国铁路总公司科研专项课题——铁路工程信息模型交付与制图关键技术研究(J2017X010)资助

作者简介:武鹏飞(1984-)男,北京人,工程师,博士,2013年毕业于首都师范大学地图学与地理信息系统专业,主要从事 GIS 与 BIM 融合方面的应用研究工作。

GIS与BIM的融合为建筑内部、单栋建筑、小区、园区、街道、整个城市等不同尺度的城市建设管理提供了数据基础和技术支持,城市三维建模已成为该领域重要的研究方向^[2]。

GIS与BIM的融合可以用于城市应急管理、市政资产管理、城市公共安全等方面,提高了城市建设管理的质量和效率。GIS与BIM的融合将为城市的建设和管理带来新的思路和方法,大量高精度的BIM模型是城市三维模型的重要数据来源,为城市管理提供详细的建筑信息,并为城市三维模型构建提供更加丰富的信息^[3]。GIS和BIM的融合可以实现从微观到宏观的多尺度城市管理,在室内导航、公共场所的应急管理、城市和景观规划、3D城市地图、各种环境状况模拟、大型活动安全保障等方面都将产生难以估量的价值^[4],BIM与GIS的融合已成为国内外相关领域研究的前沿。GIS与BIM的融合研究虽然有明确的方向和迫切的需求,但二者的融合研究工作仍处于起步和探索阶段。现有的相关研究基本都是围绕CityGML(City Geography Markup Language,城市地理标记语言)和IFC(Industry Foundation Classes,工业基础类)两个标准展开的,这两个标准是当今GIS和BIM融合研究的载体。

CityGML在地理信息领域并不陌生,主要用于城市虚拟三维模型的数据存储与交换。CityGML定义了城市和区域中最常见地物的类型及相互关系,兼顾地物的几何、拓扑、语义、外观等方面的属性,且定义了LOD0-LOD4共5个细节层次的信息模型,可以实现所有专题在不同尺度上的几何和语义信息表达^[5]。相对于GIS,BIM的起步和发展较晚,目前在一些欧美国家及日本、韩国、澳大利亚等国家已有较为广泛的应用^[6]。BIM技术在中国还处于起步阶段,但发展前景广阔^[7]。BIM的数据存储和共享标准是IFC标准,其作用与CityGML类似。IFC采用面向对象的、规范化的数据描述语言(EXPRESS)对所有用到的数据进行定义,其对建筑构件定义的详细程度要远远高于CityGML^[8]。CityGML和IFC作为GIS和BIM进行数据交换的标准,在应用场景、几何信息表达、语义信息表达、建模语言等很多方面存在差异(见表1),这些差异给基于CityGML和IFC两个标准的GIS与BIM融合工作带来了较大困难。

表1 CityGML和IFC标准的差异

Tab.1 Differences between CityGML and IFC

	CityGML	IFC
应用场景	城市模型	建筑模型
几何信息表达方法	边界描述(B-rep)	边界描述(B-rep),扫描体,构造实体几何方法(CSG)
几何信息表达形式	表面表达	实体表达
语义信息表达	多层次的城市语义信息	大量建筑详细信息
建模语言	XML	EXPRESS
LOD级别	LOD0-LOD4	LOD4

1 GIS与BIM的融合方法

围绕二者的融合问题,国内外学者和组织开展了大量研究工作,其中OGC开展了CAD/GIS/BIM三种技术的集成尝试^[9]。在全球范围内,荷兰、德国、韩国等欧亚国家在GIS和BIM融合方面做了大量工作,已成为该领域研究的前沿。到目前为止,GIS与BIM融合研究主要围绕CityGML和IFC两个标准开展,包括数据格式转换和标准扩展两个方面。

1.1 基于数据格式的GIS与BIM融合(从BIM到GIS)

数据格式转换是目前主流的GIS与BIM融合方式,数据格式的转化研究绝大部分集中在从IFC向CityGML的转换,也有部分研究侧重于CityGML向IFC的转换^[10]。从BIM数据到GIS数据转换是精细化数据进行粗化处理的过程。数据格式的转换包括几何和语义两个方面,且均已开展了大量研究工作。

1) 多层次几何信息提取和转换

数据格式转换最初只关注几何信息的转换,将IFC格式的数据转化为CityGML格式,并在GIS环境中进行显示。针对IFC和CityGML的实体转换规则,IFC向CityGML的自动转换是主要方式,通过设计转换规则为CityGML的每个层次定义不同的IFC实体转化规则^[11]。除了CityGML标准外,GML标准也是IFC标准转换的方向,基于坐标变换实现了部分BIM数据在GIS环境中的可视化表达。针对CityGML与IFC之间的数据格式转换,市场上已有一些软件平台提供支持,如IFCExplorer、BIM-Server、FME等均可实现IFC向CityGML的自动转换。Autodesk Revit和ArcGIS等商业软件已实现BIM和GIS数据的转化和同平台显示^[12]。目前,GIS与BIM融合研究的成果主要集中在BIM数据在GIS环境中的可视化表达,并进行一些简单的基于空间信息的查询检索。数据格式转化会出现几何和语义信息的丢失,同时会出现数据量增加的情况^[13]。

2) 语义信息的映射

除了单纯的几何信息转换外,语义信息的映射也是GIS与BIM融合的重要内容。单纯的数据格式转换并没有实现GIS与BIM的融合,利用CityGML和IFC标准的结合形成新的数据模型,实现BIM数据和GIS数据的同平台应用。CityGML与IFC之间存在交集,在IFC的900多个实体中有60—70个可以在语义上直接与CityGML匹配。在CityGML与IFC之间的数据格式转换过程中,数据信息丢失基本是不可避免的^[14]。究其原因可以归纳为以下两个方面:一是几何表达形式的差异,IFC中有边界描述、拉伸或旋转形成的扫描体、构造实体几何等3种表达形式,而CityGML仅有边界描述一种几何表达形式,在IFC转化为CityGML后,利用拉伸或旋转形成的扫描体和构造实体几何方法表达的几何信息只能用边界描述方法表达,需要大量的坐标数据来表达多个面片信息,这必然

会造成几何信息的丢失和数据量的增加;另一方面是对对象语义的差异,由于 IFC 和 CityGML 对空间对象的表达和理解是不同的,也没有相关的对象语义标准化研究工作,因此,在 IFC 向 CityGML 转化的过程中,语义信息的丢失也是不可避免的。

CityGML 与 IFC 之间数据格式转换研究,主要集中在两个标准融合方法的探讨方面,实际应用的方向性并不强,不是针对特定的问题需求开展研究工作。从已有研究来看, CityGML 与 IFC 之间数据格式转换基本已达到瓶颈,数据转换过程中的信息丢失基本是不可避免的,近期在 CityGML 与 IFC 之间的数据格式转换研究方面取得突破性进展的可能性不大。

1.2 基于标准扩展的 GIS 与 BIM 融合

开展 CityGML 和 IFC 标准的扩展研究,在此基础上形成新的数据交换标准,也是 GIS 与 BIM 融合研究的重要方向。该部分的研究工作大致分为两部分:一部分是以 IFC 和 CityGML 标准的并集操作为主的新数据模型建立;另一部分是基于 CityGML ADE(Application Domain Extension) 扩展机制的标准融合, CityGML 扩展相应的实体类型

支持 IFC 的实体构件。

1) IFC 和 CityGML 结合形成新的数据模型。城市信息模型(City Information Model, CIM) 是其中一个比较有代表性的案例^[15]。将城市设施、建筑、交通、设备与管道和墙体等信息通过模型进行表达, IFC 和 CityGML 将各自定义的实体分别按照相应专题数据进行再分类,分类后的 IFC 和 CityGML 进行集成形成新的数据模型。除了大尺度的城市模型外,室内信息模型也是一类重要的数据模型^[16]。室内信息模型可以用于室内精确定位、室内导航、室内外联合火灾逃生等方面。室内信息模型包含室内建筑信息、室内实时信息和室外信息等,对数据的准确性、实时性、敏感性等有较高要求。类似的新数据模型还有统一建筑模型(UBM)^[17]、城市信息模型(UIM)^[18]、校园信息模型(CIM)^[19]等,本质上都是 IFC 和 CityGML 的并交集运算。

本文对相关文献进行了整理,对于类似的几类数据模型进行了比较(见表 2),这些数据模型与 IFC 和 CityGML 相比并没有本质区别,都是两个标准之间的交集简单运算,只是应用的侧重点有所不同。

表 2 基于 IFC 和 CityGML 的相关数据模型比较

Tab.2 Comparison of relative models based on IFC and CityGML

名称	文献	特点	用途
城市信息模型(CIM)	[15]	CityGML 和 IFC 分解为城市设施、建筑、交通、设备与管道和墙体五部分	城市消防路径规划
室内应急空间模型(IESM)	[16]	由室内 IFC 数据、室内实时数据和室外 GIS 数据组成	火灾的室内外联合路径规划
统一建筑模型(UBM)	[17]	CityGML 和 IFC 针对建筑信息的融合,并在 GIS 环境中管理	规划方案有现有建筑在空间上的碰撞检查
城市信息模型(UIM)	[18]	GIS 和 BIM 在语义层面的融合	城市设施管理
校园信息模型(CIM)	[19]	CityGML 和 IFC 几何和非几何信息的融合	校园的景观规划
地理网络模型(GNM)	[20]	IFC 在 GIS 环境中的面积、距离等计算	室内火灾模拟和应急

由表 2 可知,以上信息模型最大特点在于 IFC 与 CityGML 的物理集成,并不进行数据格式的转换,主要的应用方向是城市管理。这些信息模型重点不在于实现 CityGML 和 IFC 之间的数据格式转换,而是在应用时抽取相应的 CityGML 和 IFC 信息,有效规避了数据转换中的信息丢失问题,同时针对具体应用需求解决实际问题。

2) 基于 CityGML ADE 扩展实现融合。CityGML 作为一个“开放的”城市三维模型建模标准,提供了基于 Application Domain Extension (ADE) 的扩展机制,可以从底层实现对 CityGML 的扩展。目前,也有大量研究通过对 CityGML 标准进行 ADE 扩展,实现与 IFC 标准的融合。这一融合方式的原理是根据 IFC 实体的定义和分类方式,针对特定的应用需求对 CityGML 进行 ADE 机制的扩展,将特定的 IFC 实体分类和定义结果融入 CityGML 中,这一方面典型的研究成果当属 GeoBIM。除了理论层面的研究外,还有研究针对 CityGML 和 IFC 的具体应用领域进行扩展^[21]。

针对 CityGML 和 IFC 标准的扩展,大致有 3 种扩展方

式。一是底层开发,定义新的实体类型和属性,也就是对 Schema 文件进行修改。上述的 CityGML ADE 机制扩展就属于该种方式, IFC 标准也支持类似的扩展方式。这种方式的特点是可以准确、完整地表达待扩展信息,但需要对底层的 Schema 文件进行修改,工作量大,且需要研发特定的平台来支持扩展结果的可视化。二是基于通用类的扩展, CityGML 和 IFC 都提供相应的扩展机制,分别基于 Generic 和 Proxy 方式实现,该方式的特点是不用修改底层的 Schema 文件,直接对 CityGML 和 IFC 的实例进行修改,但该类扩展的问题在于没有对待扩展内容进行定义而造成语义歧义^[22]。三是通过引用外部分类的方式进行扩展, CityGML 可以通过自身的 link 功能,通过 UUID 调用 IFC 中定义的实体,也可以通过 URL 调用待扩展实体的分类结果,既可以实现对实体的扩展,还可以获得相应的属性信息,这种方式的不足之处同样是语义信息不一致。

1.3 基于本体的 GIS 与 BIM 融合

本体最初是哲学领域的概念,后来被引入人工智能和信息科学领域,随后在地理信息领域也得到了广泛的

应用。本体建设的目标是形成人与计算机对结构化信息的共同理解,实现语义一致性基础上的人机交互。CityGML和IFC标准在用户、应用目的等方面存在差异,对同一实体在语义、时空表达、数据存储、信息模型等方面的理解不一致。因此,以本体论为基础构建适合CityGML和IFC标准的本体系统,消除不同标准对同一实体的语义理解偏差,是基于本体论实现GIS和BIM融合的关键,也是未来GIS和BIM融合研究的重要方向。

CityGML和IFC都是复杂的本体系统,包含大量的空间对象和属性信息, CityGML和IFC标准之间的本体信息匹配则是建立本体系统的基础。根据语义信息特点将CityGML和IFC的语义信息进行分类,并基于统一资源标识符、WordNet词典等工具实现语义信息匹配是其中的基本方法^[23]。除了简单的语义信息匹配外,创建新的本体数据模型,定义新的语义信息,并根据语义信息的特点划分不同的层次,实现语义信息的分类管理。在语义信息集成的基础上,将空间结构要素和拓扑关系要素引入数据模型中,丰富本体信息的表达维度,有效增强CityGML和IFC标准之间的本体信息的区分度。

虽然本体技术在地理信息领域已有广泛应用,但作为GIS和BIM融合的新方法,其在CityGML和IFC标准融合研究中的应用还很有限,还存在一些技术问题需要解决,例如CityGML和IFC之间语义信息的映射,RDF、SPARQL、URLs等相关技术的应用,本体系统分类架构研究等,都是本体理论在GIS和BIM融合中所要面对的基础技术问题。

2 GIS与BIM的集成应用

相比于GIS与BIM融合的理论方法研究, GIS与BIM在集成应用方面研究成果相对较多。GIS与BIM的集成应用往往是针对特定的应用领域,以实际问题为出发点,充分发挥GIS和BIM技术的优势,二者相互配合共同解决实际问题。GIS和BIM的集成应用成果大致可以划分为以下4类。

1) 规划设计中的GIS与BIM集成应用

GIS和BIM技术在规划设计中的应用是最多的,也是最成熟的。BIM技术优势在于建筑的精细化模型创建,将设计成果进行可视化表达,在工程项目建设中实现建设成果的前置。GIS的作用在于大场景地理信息的管理和分析, BIM技术主要是依托模型进行一些诸如日照分析、阴影分析、视域分析等详细的性能分析,评价规划设计的合理性,达到改善和优化设计方案的目的。到目前为止, GIS和BIM技术已在轨道交通、公路交通、单体建筑、校园景观等方面的规划设计工作中得到应用。

铁路勘察设计是GIS和BIM结合应用的重要方向^[24], BIM技术用于工程的模型设计和性能分析, GIS数据提供大尺度的地理信息数据辅助线路设计,实现工点设计结果的整体表达。GIS和BIM技术不仅在轨道交通设计方面得到应用,在公路交通设计中也发挥了重要作用。BIM技术主要用于一些交通设施实体的可视化表达,

GIS则用于大场景的交通流量分析,对高层建筑周边交通状况进行模拟和分析,合理规划建筑周边的停车、人行道、信号灯等交通设施的分布。针对建筑的规划设计, GIS和BIM技术也发挥着重要作用。这类研究的特点是将建筑模型放置到GIS环境中,利用GIS中的地形和周边地物信息,对建筑在特定时间的日照情况以及在建筑中特定位置所能看到的室外视域进行分析。在建筑选址、环境分析的基础上, GIS和BIM技术在建筑节能、节水等绿色理念的实现上也发挥着重要作用^[25]。

在规划设计中, GIS和BIM的分工是十分明确的。GIS的应用重点是规划,对大场景信息的管理和分析,从宏观的角度对工程的空间分布进行定义。BIM的应用重点是设计,在GIS的大场景规划完成后, BIM技术对局部的工点工程进行详细设计,并在GIS的大环境中进行展现,以及进行一些基于地理信息的空间分析。

2) 工程建设管理中的GIS与BIM集成应用

BIM技术本身是以三维模型为信息载体,以可视化和参数化为核心功能,集成了建筑工程项目各种相关信息,是工程项目建设管理的数据基础。文中结合GIS大场景地理信息管理优势,实现了工程建设从微观到宏观的多尺度精细化管理^[26]。在施工阶段, GIS和BIM技术可以用于建筑供应链管理,从工程项目的整体角度对工程建设所需材料进行调度、跟踪和管理,结合射频识别(RFID)、GPS、物联网等多种技术,实现在GIS的大环境下对建筑材料供应的可视化管理。不仅是施工建设阶段应用,涵盖规划、设计、施工、竣工验收、运营维护等全生命周期的GIS与BIM结合应用也已有相关成果。

总的来说, GIS和BIM的结合在工程项目管理中的应用还处于理论探索阶段,特别是在施工和运维阶段。GIS在工程项目管理中的作用更多的还是宏观层面,大尺度的地理信息、经济社会信息的管理和分析,真正的工程项目精细化管理还是依靠BIM技术。在工程项目管理中,设计模型顺利向施工阶段沿用至关重要^[27]。因此,在充分考虑GIS应用的基础上,制定基于施工和运维阶段实际需求的数据标准,是保障GIS与BIM技术在工程项目全生命周期发挥管理作用的基础。

3) 市政设施管理中的GIS与BIM集成应用

市政设施是城市内各种具有基础服务功能的建筑物、构筑物、设备等的总称,是城市正常运转的重要保障。以GIS和BIM为核心的信息化管理手段,可以优化传统市政设施的管理方式,显著提高市政设施的管理效率。目前, GIS和BIM技术已在电力、供水、道路、国有资产等多个方面的管理中得到应用。

管线是市政设施的重要组成部分,水暖电系统(MEP)管理又是其中的重点,也是GIS和BIM技术应用的重点。将IFC格式表达的电缆和管道数据转化为CityGML格式,并在GIS环境中进行管理。在前面研究的基础上,利用CityGML的ADE扩展机制对相应管线的IFC实体信息进行扩展,并以BIM数据存储的管网信息在GIS环境中的管理。市政设施的另一个重要组成部分就

是城市建筑物和构筑物^[28]。一些城市模型概念的提出,集成了部分 GIS 与 BIM 数据,实现了城市建筑物和构筑物的全生命周期管理。除了城市尺度的市政设施管理外,建立一套覆盖国家、区域、城市、社区、建筑等不同尺度的数字化建筑资产管理系统有重要的实际应用价值。除了具体的管理工作外,城市道路路径规划、建筑能耗评估等也是 GIS 和 BIM 结合应用的重要内容。

市政设施管理分为多个尺度,建筑尺度的电力、供水等市政设施管理以 BIM 技术为主,社区、城市、区域、国家等尺度的市政设施管理依靠 GIS 实现。GIS 与 BIM 融合是多尺度市政设施管理的现实需求,对市政设施的合理、高效、科学管理具有重要的现实意义。

4) 火灾应急处理中的 GIS 与 BIM 集成应用

随着 BIM 技术的兴起,在城市火灾应急管理中,管理者的需求不再局限于利用 GIS 进行简单的室外路径规划,对建筑内部的结构、资源分布、建筑内路线规划等都提出了新的要求^[29]。GIS 和 BIM 技术的集成应用确实能在火灾响应时间、火灾精细化处理、人员应急疏散等方面提供技术支持,国内外学者在这方面也做了大量研究工作。

相关的研究工作主要集中在理论探讨和不同情景的模拟演练方面。在火灾应急方面集成应用上,BIM 数据转化为 GIS 数据,并在 GIS 环境中进行消防救援路径规划。利用 GIS 与 BIM 融合形成的数据模型,在 GIS 环境中对室内的逃生路线和城市内的救援路线进行规划。除了静态规划外,以建筑信息模型中的楼道信息为链,以具体的房屋为节点,形成建筑内部的几何网络模型,对火灾发生一定时间内烟雾和火势的扩展情况进行动态模拟,并对室内的逃生路径进行动态规划。在室内规划的基础上,建立室内外联合应急空间模型,为多种情景下的室内外联合路径规划和应急救援提供技术支持。

总的来看,这些研究工作基本都是将 IFC 和 CityGML 进行集成形成新的数据模型,IFC 用于室内的信息管理和路径规划, CityGML 用于室外的路径规划和资源管理,最终形成室外的联合应急响应。对消防员来说主要作用是规划合理的救援路线,快速定位建筑内楼梯、消防栓等救援设施的空间位置,减少应急响应时间。对室内人员来说主要是根据室内的火情变化实时规划科学、合理的逃生路径,增加逃生概率。针对未来 GIS 和 BIM 技术在城市消防中的应用,可以考虑在建筑内借助传感器,使用物联网、室内导航等新技术,提高火灾应急响应能力。

3 结束语

GIS 与 BIM 融合具有广泛的应用价值,是城市精细化、智慧化管理的基础。现有研究已实现 GIS 与 BIM 数据的初步融合,并在城市管理、工程规划、应急预案等方面尝试应用,并取得了一定的成果。

在 GIS 与 BIM 融合方法研究方面,当前研究重点集中在几何信息和语义信息两个维度的融合上。在几何信息融合方面,主要通过 CityGML 与 IFC 的几何信息转化实现,且主要是从 IFC 向 CityGML 方向,也有部分研究实现

CityGML 向 IFC 的转换。几何信息层面的融合基本能够实现 BIM 数据与 GIS 数据的同平台表达,但存在信息丢失。在语义信息融合方面,IFC 标准和 CityGML 标准的大部分专项内容能够建立映射关系,形成统一的语义表达,但也有部分专项内容无法建立语义映射,导致语义歧义的产生。IFC 标准的语义表达内容主要是墙、梁、柱、板、门、窗等建筑实体构件,而 CityGML 标准表达的则是城市范围内的地物语义信息,如绿地、水体、道路、建筑等相对大尺度的语义信息。这就造成了 IFC 与 CityGML 数据在语义层面不对等的情况,这也是两个标准融合过程中语义信息丢失的主要原因。虽然 GIS 与 BIM 数据融合取得了阶段成果,能够实现两类数据之间相互转化和同平台展现,但融合过程中会产生几何信息和语义信息丢失。

在 GIS 和 BIM 的集成应用方面,工程项目的规划设计、工程项目的建设管理、市政设施管理、城市火灾应急处理等方面都已有部分研究成果。通过 GIS 和 BIM 的集成应用,工程项目勘察设计、建设过程管理、材料跟踪等方面的管理质量和效率得到了明显的提升,为市政设计管理、火灾应急处理等也提供了新的手段和方法。相对于传统方法,GIS 和 BIM 的集成应用可以极大地提升管理效率,节约人力、财力成本。结合物联网、传感器等技术的应用,更可以提供动态、实时的解决方案。

虽然 GIS 与 BIM 在融合方法和集成应用方面取得了一定的成果,但 GIS 与 BIM 融合整体上还处于起步阶段,需要面对几何信息丢失、语义信息丢失、应用范围拓展等诸多问题。针对 GIS 与 BIM 融合研究现状,以下几点可能是下一阶段研究的重点:

1) 针对几何信息丢失问题,可以开展 BIM 模型的多分辨率层次模型创建研究。利用轻量化模型实现不同比例尺细节下的信息表达,与 CityGML 不同 LOD 层级的可视化模型进行对接,是解决 IFC 向 CityGML 转化过程中几何信息丢失的一种潜在方法。另外,可以开展 CityGML 向 IFC 转化的探索研究,实现 CityGML 与 IFC 在几何信息方面的相互转化,减少转化过程中几何信息的丢失。

2) 针对融合过程中语义信息丢失,本体论是可行的解决方法,利用本体来规范 IFC 和 CityGML 中构件信息的唯一性,避免融合中产生专项信息歧义。因此,从 IFC 与 CityGML 融合的角度出发,开展城市建筑信息本体分类方法研究,并建立相应的本体系统,是未来研究的一个重要方向,最终利用语义网技术实现 IFC 与 CityGML 在语义方面的相互识别和融合。

3) 未来 GIS 与 BIM 集成应用的领域应该还是主要集中在工程项目的建设和管理、城市设施管理、城市公共安全(大型活动安保、突发事件处理、火灾应急救援、室内导航等)等方面,但是应该在现有基础上进行深化。未来 GIS 与 BIM 集成应用还可以与物联网等先进技术结合,物联网可以提供建筑内外的一些实时监测信息,借助 GIS、BIM 以及物联网技术的集成应用,相关管理工作在精确性、时效性等方面将得到极大的提高。

4) 发展新型数据模型,建立多维度的信息表达方式,

优化信息表达形式,兼顾几何实体表达和面向具体应用的语义知识表达需要^[30],很可能是未来 GIS 与 BIM 融合的有效解决途径。

参考文献:

- [1] Liu H, Liu Y S, Pauwels P, et al. Enhanced explicit semantic analysis for product model retrieval in construction industry [J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2017, 13(6): 3361-3369.
- [2] Amirebrahimi S, Rajabifard A, Mendis P, et al. A data model for integrating GIS and BIM for assessment and 3D visualisation of flood damage to building [J]. *Locate*, 2015, 15: 78-89.
- [3] 张楼香, 张春敏, 陈玲. 基于 BIM 技术的城市三维建筑模型的探讨 [J]. *测绘与空间地理信息*, 2017, (12): 84-86.
- [4] Varduhn V, Mundani R P, Rank E. Multi-resolution Models: Recent Progress in Coupling 3D Geometry to Environmental Numerical Simulation [M]. New York: Springer, 2015.
- [5] Gao G, Liu Y S, Lin P P, et al. BIMTag: Concept-based automatic semantic annotation of online BIM product resources [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2017, 31: 48-61.
- [6] Lowner M O, Benner J, Groger G, et al. New concepts for structuring 3D city models - an extended level of detail concept for CityGML buildings [C]//International Conference on Computational Science and Its Applications. New York: Springer, 2013.
- [7] 周勃, 任亚萍. 基于 BIM 的工程项目施工过程协同管理模型及其应用 [J]. *施工技术*, 2017, 46(12): 85-90.
- [8] 田峰. 使用 BIM 方法发展三维规划管理系统势在必行 [J]. *上海城市规划*, 2010(4): 9-12.
- [9] 薛梅, 李锋. 面向建设工程全生命周期应用的 CAD/GIS/BIM 在线集成框架 [J]. *地理与地理信息科学*, 2015, 31(6): 30-34.
- [10] Saran S, Wate P, Srivastav S K, et al. CityGML at semantic level for urban energy conservation strategies [J]. *Annals of GIS*, 2015, 21(1): 27-41.
- [11] Isikdag U, Zlatanova S. Towards Defining a Framework for Automatic Generation of Buildings in CityGML Using Building Information Models [C]//3D Geo-Information Sciences. New York: Springer, 2009.
- [12] Meouche R E, Rezong M, Hijazi I. Integrating and managing BIM in GIS, software review [J]. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2013, 1(2): 31-34.
- [13] 汤圣君, 朱庆, 赵君峒. BIM 与 GIS 数据集成: IFC 与 CityGML 建筑几何语义信息互操作技术 [J]. *土木工程信息技术*, 2014, 6(4): 11-17.
- [14] Hwang J R, Kang T W, Hong C H. A Study on the correlation analysis between IFC and CityGML for efficient utilization of construction data and GIS data [J]. *Journal of Korea Spatial Information Society*, 2012, 20(5): 49-56.
- [15] Xu X, Ding L, Luo H, et al. From building information modeling to city information modeling [J]. *Journal of Information Technology in Construction*, 2014, 19: 292-307.
- [16] Tashakkori H, Rajabifard A, Kalantari M. A new 3D indoor/outdoor spatial model for indoor emergency response facilitation [J]. *Building and Environment*, 2015, 89: 170-182.
- [17] El-Mekamy M, Östman A, Hijazi I. A unified building model for 3D urban GIS [J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2012, 1(2): 120-145.
- [18] Mignard C, Nicolle C. Merging BIM and GIS using ontologies application to urban facility management in ACTIVE3D [J]. *Computers in Industry*, 2014, 65(9): 1276-1290.
- [19] Paula G, Matthew S, Pedro S, et al. Campus landscape information modeling: Intermediate scale model that embeds information and multidisciplinary knowledge for landscape planning [J]. *Blucher Design Proceedings*, 2014, 1(7): 61-65.
- [20] Chen L C, Wu C H, Shen T S, et al. The application of geometric network models and building information models in geospatial environments for fire-fighting simulations [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2014, 45: 1-12.
- [21] Hijazi I, Ehlers M, Zlatanova S, et al. Initial investigations for modeling interior Utilities within 3D Geo Context: Transforming IFC-interior utility to CityGML/UtilityNetworkADE [M]. New York: Springer, 2011: 95-113.
- [22] Steuer H, Flurl M, Donaubaue A, et al. Collaborative planning of inner-city-railway-tracks: A generic description of the geographic context and its dynamic integration in a collaborative multi-scale geometry modelling environment [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2014, 28(4): 261-271.
- [23] Delgado F, Martinez G M M, Finat J. An evaluation of ontology matching techniques on geospatial ontologies [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, 27(12): 2279-2301.
- [24] 任晓春. 铁路勘察设计中 BIM 与 GIS 结合方法讨论 [J]. *铁路技术创新*, 2014(5): 80-82.
- [25] Mostafa A B E, Ibrahim M, Jhab Y A E. Building Construction Information System Using GIS [J]. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2016, 41(10): 3827-3840.
- [26] 张邻. 基于 BIM 与 GIS 技术在场址分析上的应用研究 [J]. *四川建筑科学研究*, 2014, 40(5): 327-329.
- [27] 桑培东, 肖立周, 李春燕. BIM 在设计-施工一体化中的应用 [J]. *施工技术: 下半月*, 2012, 41(8): 25-26.
- [28] Lee S H, Park S I, Park J. Development of an IFC-based data schema for the design information representation of the NATM tunnel [J]. *KSCSE Journal of Civil Engineering*, 2016, 20(6): 2112-2123.
- [29] 叶凌, 杜羿. 英国建筑行业 BIM 发展概述 [J]. *施工技术*, 2017, 46(6): 60-64.
- [30] 张树清, 周成虎, 张俊岩, 等. 泛知识化三维 GIS 表达模型(UKRM) [J]. *中国科学: 地球科学*, 2016, 46(2): 214-228.

[编辑: 任亚茹]