

BIM 3D Architecture Model Transformation Based on CITYGML Standard

Chenghao Zhang¹, Lei Shu², Hanjiang Xiong³

¹State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan Hubei

²The 28th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing Jiangsu

³State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan Hubei
Email: 369373639@qq.com

Received: Mar. 2nd, 2017; accepted: Mar. 20th, 2017; published: Mar. 23rd, 2017

Abstract

With the development of the times, the focus of 3D Geographic Information System (3DGIS) is moving from outdoor to indoor. However, the indoor model is difficult to obtain. The existing methods have the problems of low efficiency, high cost and poor quality of model data. Building information model (BIM) is the product of the information of construction industry. The data of BIM is complete and comprehensive, and can be used as a source of potential 3DGIS indoor data. Based on the standards of CityGML and BIM, this paper studies the similarities and differences of the two standards. Furthermore, we establish the corresponding relationship between the two standards and conduct the transformation between the two models, transforming the BIM into the model that meets the CityGML standard.

Keywords

BIM, CityGML, Building Model Conversion

基于CITYGML标准的BIM三维建筑模型转换

张诚浩¹, 舒磊², 熊汉江³

¹测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉

²中国电子科技集团公司第二十八研究所, 江苏 南京

³测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉

Email: 369373639@qq.com

收稿日期: 2017年3月2日; 录用日期: 2017年3月20日; 发布日期: 2017年3月23日

摘要

随着时代发展, 三维地理信息系统(3DGIS)的重点正由室外转向室内, 但是室内模型获取较困难, 现有

方法存在效率过低、成本偏高,模型数据质量不佳等问题。建筑信息模型(BIM)是建筑行业信息化的产物,其数据完整、全面,可以作为潜在3DGIS建筑模型数据的一个重要来源。本文基于GIS的建模标准CityGML与BIM的IFC标准,研究了两种标准的异同点,建立两种标准的对应关系并进行了模型间的转换,将基于IFC的BIM建筑模型转换成了满足CityGML标准的3DGIS模型数据。

关键词

BIM, CityGML, 建筑模型转换

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市的发展,各种各样的建筑也随之建起。这些建筑物造型各异,内部设备也千奇百怪,想要准确的表达建筑模型室内的数据,有方法存在效率过低、成本偏高,模型数据质量不佳等问题。更多情况下,除了直接进入室内进行室内测绘,多数方法都只能获得建筑物的表面模型,模型实际上仅仅是“空壳”,难以进入模型内部,更不论室内空间信息的查询和分析[1]。

BIM (Building Information Model, 建筑信息模型)是随着信息技术在建筑行业中应用的深入和发展而出现的[2]。其精细程度高,包括几何、物理、规则等丰富的建筑空间和语义信息,可用来实现对工程全生命周期(设计、施工建造、运营、拆除)的数字化管理[3]。BIM 模型的标准数据格式是 IFC,所有 BIM 模型都可以转换为 IFC 标准数据文件输出[4]。

CityGML 是基于 OGC [5]发布的另一个标准 GML3 (Geography Markup Language 3, 地理标记语言)开发的,最早是由德国柏林科技大学的 Thomas H. Kolbe 教授开始研究。CityGML 充分考虑了区域模型中的几何、语义、拓扑以及纹理等信息,并且面向整个城市,定义了城市中各类地理对象之间的关系。对于室内外三维建模、数据共享具有非常重要的意义[6]。

目前,3DGI 在室内表达的一个问题在于如何快速、低成本地获取可用于室内空间三维建模的数据。

将 BIM 模型作为数据源集成到 3DGIS 中,包括两种方式:即直接方式与间接方式[7]。无论是否遵循 IFC 标准,均可尝试通过直接方式将 BIM 模型转换成 3DGIS 能够使用的数据格式。曹国等[8]基于 WorldWind 三维地理信息浏览平台(NASA 发布的开源地理科普软件平台),采用插件(Plug-in)的方式在 WorldWind 中添加了一个三维建筑漫游系统,实现了室内外场景的无缝衔接。然而,由于不遵循 IFC 标准的 BIM 模型本身就存在数据交换困难、语义信息不完整等先天不利于室内空间提取的缺陷;再者,IFC 模型在其较早版本(IFC2x3)中就有 600 多个实体定义以及 300 多个类型定义[9]。如何将蕴含丰富信息的 IFC 模型转换到 3DGIS 数据模型,是个非常艰巨的难题。

目前,无论是建筑领域还是 GIS 领域,大多数的研究热点都是集中于利用 IFC 和 CityGML 这两种各自领域提出的数据标准进行转换以及信息交流。如何制定以 IFC 为代表的 BIM 模型向 3DGIS 进行转换的规则,成为本文和今后研究的重点。针对目前相关领域对于 BIM 模型与 3DGIS 融合的研究,本文遵循 CityGML 标准,设计制定一套可行的流程方案,将 IFC 标准建筑文件转换成附带语义信息的几何模型,为进一步实现室内空间应用做好铺垫。

2. IFC 与 CityGML 介绍

2.1. IFC 文件

IFC 标准是建筑行业信息化过程中必定会出现的产物，具有两个非常重要的特点：1. IFC 标准是完全开放的；2. IFC 是数据交换标准，用于异构系统之间交换数据、共享信息[10]。

IFC 定义超过 600 个建筑实体以及超过 300 个抽象类型，共计逾 900 种定义[11]。构件种类繁多，构件与构件之间的空间关系异常复杂[12]。要想对 IFC 进行模型转换，就需要对建筑构件进行归纳分类，根据转换的实际需求，保留需要转换的几何类型与语义信息，去除在 3D GIS 领域不需要的信息，避免为转换增加难度的同时又降低转换的效率。

IFC 建筑构件主要是在共享层中定义的，共享建筑构件以及共享建筑服务构件构成主要的构件实体与相关抽象类型所属超类。

共享建筑构件定义的实体数量总共为 47 个，可以大致归为 14 种类型。表 1 罗列了部分实体。

共享建筑服务构件定义的实体数量为 31 个。不过这些实体主要用于领域层内的暖通工程领域、建筑管理领域、防火管理领域等领域。这些领域有许多设备实体并不是 3D GIS 领域需要或者关心的内容，但也有一些可以为 CityGML 进入室内时提供一些实体结构的数据源。表 2 罗列了部分共享建筑服务构件定义的实体。

2.2. CityGML 文件

CityGML 是用以表达三维城市模板的通用数据模型。它定义了城市和区域中最常见的地表目标的类型及相互关系，并顾及了目标的几何、拓扑、语义、外观等方面的属性，包括专题类型之间的层次、聚合、目标间的关系以及空间属性等[13]。这些专题信息不仅仅是一种图形交换格式，同时可以将虚拟三维城市模型用于各种应用领域中的高级分析[14]，例如模拟、城市数据挖掘、设施管理、专题查询等。

在很多层面上，室内空间区别于室外空间。在 3D GIS 进入室内的过程中，诸多基本概念、数据模型以及相关标准都需要重新定义才能符合室内空间应用的要求，而室内空间信息的形式、内容都与具体的应用类型息息相关。

建筑模块的实体定义在 OGC 发布的 CityGML Schema 中的 building.xsd。表 3 罗列了抽象基类 `_AbstractBuilding` 的元素。

2.3. IFC 与 CityGML 比较

从时间上来看，IFC 的出生略早于 CityGML。由于各自应用的领域不同，IFC 与 CityGML 采用不同的策略进行何建模、语义表达等。IFC 采用 EXPRESS 语言规范进行描述，语句更为紧凑，而 CityGML 遵循 GML 规范，语句繁琐但更容易让人理解，两种表示方法见表 4。

3. 数据融合方法描述

IFC 作为一种精细建模的三维模型，其精度可以认为与 CityGML 的 LOD4 层级一致，而 CityGML 其他 LOD 层级的数据精度要求都小于 LOD4 层级。因此，理论上 IFC 模型是可以分别转换为符合 LOD1-LOD4 各层级精度要求的 CityGML 模型的。下面针对 LOD4 层次模型进行介绍。

CityGML 在 LOD4 层级进入室内进行真实表达，许多几何与语义定义都与其他层级不同，这个层级也是整个 IFC-3D GIS 转换最为关键同时也是最有难度的地方。图 1 为 OGC 发布的 CityGML LOD4 demo 数据。

如图 1 所示，从图中可以看到室内有一把红色座椅，代表可移动的家具。不可移动的室内设施在图

Table 1. IFC Shared Building Components List
表 1. IFC 共享建筑构件列表

实体名称	类别	实体名称
IfcBeam	横梁	IfcRailing
IfcColumn		IfcRelConnectsPathElements
IfcColumnType	柱	IfcConnectionTypeEnum
IfcColumnTypeEnum		IfcRoof
IfcCurtainWall		IfcRoofTypeEnum
IfcCurtainWallType	窗帘幕墙	IfcSlab
IfcCurtainWallTypeEnum		IfcSlabType
IfcDoor		IfcSlabTypeEnum
IfcDoorStyleOperationEnum	门	IfcWallStandardCase
IfcMember		IfcWallType
IfcMemberType	支撑板	IfcWallTypeEnum
IfcMemberTypeEnum		IfcWindow
IfcPlate		IfcWindowLiningProperties
IfcPlateType	平板	IfcWindowPanelProperties
IfcPlateTypeEnum		IfcWindowStyle
IfcRamp		IfcWindowPanelOperationEnum
IfcRampFlight	斜坡横梁	IfcWindowPanelPositionEnum

Table 2. List of shared building service components
表 2. 共享建筑服务构件列表

实体名称	实体名称
IfcDistributionChamberElement	IfcFlowSegmentType
IfcDistributionChamberElementType	IfcFlowStorageDevice
IfcDistributionChamberElementTypeEnum	IfcFlowStorageDeviceType
IfcDistributionControlElement	IfcFlowTerminal
IfcDistributionControlElementType	IfcFlowTerminalType
IfcDistributionFlowElement	IfcFlowTreatmentDevice
IfcDistributionFlowElementType	IfcFlowTreatmentDeviceType
IfcElectricalBaseProperties	IfcFluidFlowProperties
IfcEnergyConversionDeviceType	IfcSoundValue

中没有明显表现。由于涉及到室内空间 Room 的提取与生成以及连通设施在不同界面之间的逻辑归属(射击孔面),这一层级的转换要考虑许多层面的因素。IFC 中有一个定义为 IfcSpace 的实体概念,是指建筑内外部具有特定功能或特别指定的空间区域,一般是与楼层相关联的。其与 CityGML 中的 Room 有相似的地方,但并非是同一个概念,也不能直接由 IfcSpace 转换生成 Room。LOD4 层级中内外墙、地板天花板等界面要根据空间位置以及语义信息从 IfcSlab、IfcMember 以及 IfcPlate 中选择最为合适的进行转

Table 3. _AbstractBuilding Element list
表 3. _AbstractBuilding 元素列表

元素(element)	数据类型
class	gml:CodeType
function	gml:CodeType
usage	gml:CodeType
yearOfConstruction	xs:gYear
yearOfDemolition	xs:gYear
roofType	gml:CodeType
measuredHeight	gml:LengthType
storeysAboveGround	xs:nonNegativeInteger
storeyHeightsAboveGround	gml:MeasureOrNullListType
lod0FootPrint	gml:MultiSurfacePropertyType
lod1MultiSurface	gml:MultiSurfacePropertyType
lod2TerrainIntersection	gml:MultiCurvePropertyType
interiorBuildingInstallation	IntBuildingInstallationPropertyType
boundedBy	BoundarySurfacePropertyType
interiorRoom	InteriorRoomPropertyType

Table 4. Comparison of IFC and CityGML Data
表 4. IFC 与 CityGML 数据表达比较

	IFC	CityGML
	边界描述	
几何建模	拉伸、旋转扫描体 构造实体几何	边界描述
语义信息	大量的建筑细节描述以及建筑构件之间的空间关系	多层次语义信息分类
模型外观	不支持纹理贴图，以材质呈现为主	丰富的纹理特征，定义 Appearance 模块进行模型外观管理
空间定位	工程坐标系与构件坐标系组合定位	带有坐标基准的全球坐标系或局部坐标系

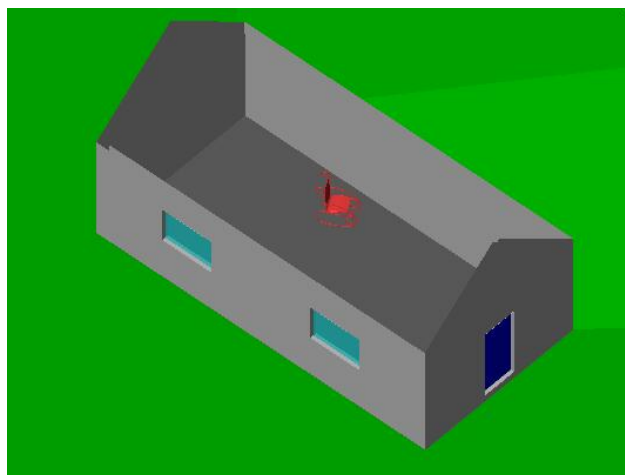


Figure 1. CityGML LOD4 Model example
图 1. CityGML LOD4 模型实例

换获取。对应 CityGML 中 IntBuildingInstallation，IFC 中没有特意定义这种类型，只能根据具体的实体定

义与语义信息来判断是否属于 IntBuildingInstallation, 例如 IfcBeam、IfcColumn、IfcStair、IfcRailing 以及 IfcRamp 等实体; 而对于 BuildingFurniture, IFC 中将可移动的家具统称为 IfcFurnishingElement。要注意的是, 无论是 IntBuildingInstallation 亦或是 BuildingFurniture, 具体的数据类型为表 5 所示的 AbstractCityObjectType。表 5 说明了 LOD4 映射关系中相关的 IFC 实体与 CityGML 实体。

4. 实验结果展示

本文实验数据来自德国卡尔斯鲁厄理工学院(Karlsruhe Institute of Technology)用于科研的共享标准 IFC 数据。进行转换实验的 IFC 模型为两层民居“BIEN-ZENKER Jasmin-Sun”, 模型在 FZK Viewer 中的可视化效果如图 2 所示。

本文采用 OBJ 格式保存转换后的模型。OBJ 文件[15]的特点如下:

1. OBJ 文件是一种非常标准的三维模型文件格式, 非常适合在三维软件之间进行三维模型互导, 目前常见的三维建模软件几何都支持 OBJ 文件的读写。本科研小组自主研发的三维 GIS 平台 VirtualWorld

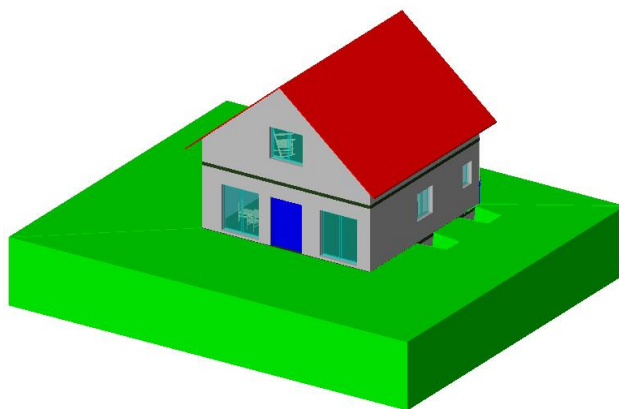


Figure 2. BZ IFC format visualization
图 2. BZ IFC 格式可视化效果

Table 5. IFC transition to CityGML

表 5. IFC 转换至 CityGML

IFC 相关实体	CityGML LOD4 相关实体
IfcProject	Building
IfcSite	lod3Solid
IfcBuilding	lod3MultiSurface
IfcBuildingStorey	RoofSurface
IfcWallStandardCase	WallSurface
IfcSlab	GroundSurface
IfcRoof	Door
IfcDoor	Window
IfcWindow	AbstractCityObjectType
IfcFurnishingElement	Room
IfcStair	
IfcSpace	

亦支持 OBJ 格式的导入与可视化；

2. OBJ 文件是一种文本文件格式，相较其他几种常用三维模型格式，其结构简单，采用单纯的字典状结构排列，可以直接通过记事本等文本编辑器打开或编辑；

3. OBJ 主要采用三角面片进行模型构建，这样的方式类似于 IFC 与 CityGML 中边界描述(B-rep)，使得 OBJ 能够较真实地还原 IFC 模型的特点。最新的标准 OBJ3.0 除了支持三角面片为主的多边形(Polygon)，还支持表面(Surfaces)、直线(Lines)以及自由形态曲线(Free-form-Curves)；

4. OBJ 文件不使用文件头来描述文件属性，但支持注释内容，以“#”开头。IFC 模型中的语义信息可以作为注释内容添加入 OBJ 文件；

5. OBJ 文件本身不含模型的颜色材质等信息，但可以扩展引用材质库(mtl)，材质库信息记录在后缀名为.mtl 的同名文件中，材质库包含材质的漫射(diffuse)、光泽(specular)、环境(ambient)的定义值以及折射(refraction)、反射(specularity)、透明度(transparency)等其他特征，OBJ 文件中可由关键字“usemtl”来制定材质库中的材质。

本文使用微软 Visual Studio 2008 开发平台并借助 IfcOpenShell 软件库，开发相应功能，实现将 IFC 文件按照 CityGMLLOD4 精度要求转换为遵循 CityGML 标准的三维模型。转换的流程如下：

1. 对 IFC 文件使用 IfcOpenShell 提供的解析函数进行数据解析；
2. 按照 CityGML 不同层级 LOD 的数据表达精度要求提取出符合 LOD4 精度的实体；

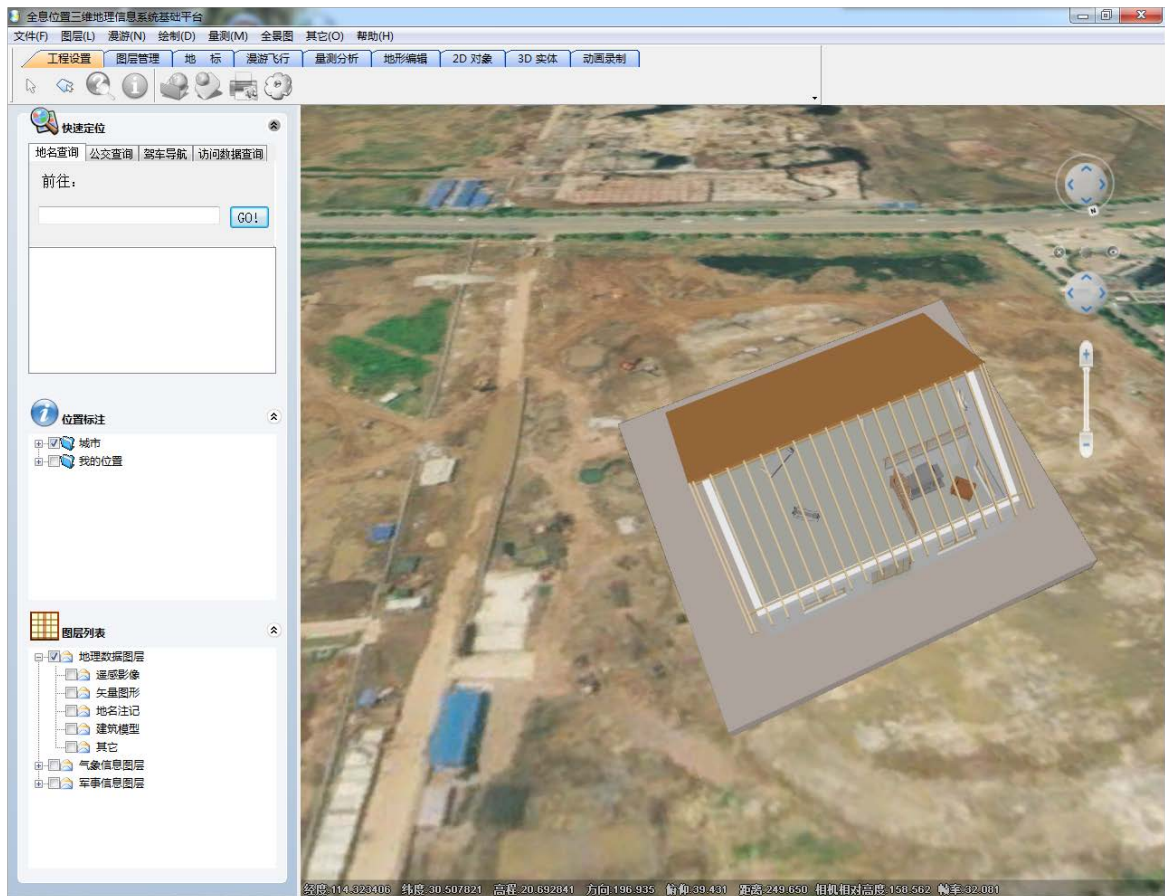


Figure 3. BIEN-ZENKER integrates visualization in VirtualWorld
图 3. BIEN-ZENKER 在 VirtualWorld 中集成可视化

3. 整理 IFC 实体的语义信息, 在转换过程中根据 LOD 精度要求输出语义;
 4. 输出附带语义信息的 OBJ 文件;
 5. 输出的 OBJ 文件加载至本科研小组自主研发的三维 GIS 平台 VirtualWorld 进行集成可视化显示, 对比转换前后的模型。

6. 在遵循 CityGML 标准完成对 IFC 模型的转换之后, 将转换后的 OBJ 模型导入本科研小组自主研发的三维 GIS 平台 VirtualWorld 进行集成可视化实验。VirtualWorld 除了支持基础地理数据(影像、矢量、地形)加载, 还支持多种格式的三维模型、天地图公共服务查询、定位信息、实时视频接入、地下管网可视化等多源数据的集成。

图 3 为“BIEN-ZENKER”模型集成效果。为了表示内部转换结果, 去掉了半扇房顶。通过对比图 2 和图 3, 可以看出, 图二中的房屋模型, 包括底座, 墙体, 屋顶, 房梁, 门以及内部家具全都在图 3 中有所体现, 说明了两种格式模型的转换是成功的。

5. 结束语

本文基于 IFC 与 CityGML 两种标准, 根据两种标准的特点, 分析两种模型实体的映射关系, 在遵循 CityGML 标准的前提下, 制定可行的转换方案将 IFC 模型转换为符合 CityGML 标准的三维建筑模型并于 3D GIS 平台上集成可视化。实验证明, 由 IFC 模型作为数据源, 将 BIM 模型与 3D GIS 集成进行室内空间研究是可行的。3D GIS 在走进室内的过程中, 室内数据的获取是一个十足的挑战。IFC 为代表的 BIM 模型对建筑细节进行详细的描述, 理论上 BIM 模型能够为 3D GIS 提供高精度、低成本的室内空间数据源。

几何实体在两种标准下存在一定差异, 本文的研究工作仅限于将基本的几何语义信息进行了传递记录, 模型转换过程中丢失了大量的语义信息, 因此当 IFC 模型转换后的模型能够承载越来越多的语义信息后, 如何有效管理语义信息, 是今后设计中的重点与难点。

基金项目

测绘地理信息公益性行业科研专项(编号: 201512009)资助。

参考文献 (References)

- [1] 李明涛. 基于 IFC 和 CityGML 的建筑空间信息共享研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京建筑大学, 2013.
- [2] 李德超, 张瑞芝. BIM 技术在数字城市三维建模中的应用研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2012, 4(1): 47-51.
- [3] 汤圣君, 朱庆, 赵君娇. BIM 与 GIS 数据集成: IFC 与 CityGML 建筑几何语义信息互操作技术[J]. 土木建筑工程信息技术, 2014, 6(4): 11-17.
- [4] 贺灵童. BIM 在全球的应用现状[J]. 工程质量, 2013, 31(3): 18-25.
- [5] Gröger, G., Kolbe, T.H., Nagel, C., *et al.* (2012) OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. 4 April 2012.
- [6] 葛广昊. 基于 CityGML 的大型建筑室内三维模型研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2011.
- [7] 杨俊杰. BIM 技术在三维数字城市建设中的应用[J]. 科技经济市场, 2014(3): 11-12.
- [8] 曹国, 高光林, 丘衍航, 曹君. 基于 WorldWind 平台的建筑信息模型在 GIS 中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013, 5(5): 114-118.
- [9] 邱奎宁, 张汉义, 王静, 王琳. IFC 技术标准系列文章之一: IFC 标准及实例介绍[J]. 土木建筑工程信息技术, 2010(1): 68-72.
- [10] 邱奎宁. IFC 标准在中国的应用前景分析[J]. 建筑科学, 2003, 19(2): 62-64.
- [11] buildingSMART. Industry Foundation Classes (IFC2×4). 2011-10.

<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x4/rc3/html/index.htm>

- [12] Lin, Y.H., Liu, Y.S., Gao, G., *et al.* (2013) The IFC-Based Path Planning for 3D Indoor Spaces. *Advanced Engineering Informatics*, **27**, 189-205.
- [13] 周宁. 基于 CityGML 的城市三维信息描述方法研究[D]: [硕士学位论文]. 阜新, 葫芦岛: 辽宁工程技术大学, 2009.
- [14] 柳翠明. 三维城市模型 CityGML 初探[J]. 城市勘测, 2010(S1): 5-7.
- [15] 汪永刚. 3DS 与 OBJ 格式的三维模型文件在 OpenGL 中的输入与处理[J]. 电子世界, 2013(6): 86-87.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: csa@hanspub.org