DOI:10.14188/j.2095-6045.20250326

文章编号:2095-6045(2026)05-0042-06

BIM向GIS三维模型转换的几何信息损失度量方法

李朝奎[1,2]　李　俊[2,3]　田　沁[1]　郭海宾[2,3]

1 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室,广东 深圳,518034

2 湖南科技大学测绘遥感信息工程湖南省重点实验室,湖南 湘潭,411201

3 湖南科技大学地球科学与空间信息工程学院,湖南 湘潭,411201

Geometric Information Loss Measurement Method for BIM to GIS 3D Model Conversion

LI Chaokui[1,2]　*LI Jun*[2,3]　*TIAN Qin*[1]　*GUO Haibin*[2,3]

1 Key Laboratory of Urban Land and Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Natural Resources, Shenzhen 518034, China

2 Hunan Key Laboratory of Surveying, Mapping, Remote Sensing and Information Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China

3 School of Earth Science and Space Information Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China

摘　要:建筑信息模型(building information modeling,BIM)是智慧城市重要的数据源。但由于其语义信息结构复杂,以及其IFC标准与GIS的CityGML标准的差异性,难以与GIS集成,极大地限制了BIM的应用及智慧城市的建设进程。这也导致BIM与GIS三维模型的转换必然存在信息的损失问题。不同的应用对BIM转换过程中的信息损失量的容忍程度不尽一致。目前,鲜有BIM与GIS模型转换过程中几何信息损失量的度量方法的研究。本文以IFC标准下BIM模型与GML标准下GIS三维模型转换为例,提出了两种标准下模型转换过程中几何信息损失的三种度量方法,并对转换损失进行综合评估,研究成果为BIM应用及智慧城市建设与精细化管理提供有效的数据转换质量参考,为后续信息损失控制方法的研究提供依据。

关键词:IFC;CityGML;几何信息损失;度量方法

中图分类号:P208;TU17;TP391

文献标志码:A

Abstract: BIM is an important data content for smart cities. Due to the data standards of BIM, it is difficult to integrate with GIS, greatly limiting the application of BIM and the construction process of smart cities. The conversion between BIM and GIS 3D models inevitably leads to information loss. The tolerance for information loss during BIM conversion varies among different applications. At present, there is no research report on the measurement method of geometric information loss in the process of BIM and GIS model conversion in academia and industry. This article takes the conversion of BIM models under IFC standards and GIS 3D models under GML standards as an example, proposes three measurement methods for geometric information loss during the model conversion process under two standards, and comprehensively evaluates them. The research results provide effective data conversion quality reference standards for BIM applications, smart city construction, and refined management.

Key words: IFC; CityGML; loss of geometric information; measurement method

BIM是基于数字化技术建立的建筑信息模型[1],具有数据量丰富、模型精细等特点,但是不便于系统管理与模型分析。GIS具有强大的分析功能,但无法直接接收BIM数据。BIM与GIS的集成可以解决数字城市与智慧城市建设对城市建筑模型数据的需求,更好地发挥BIM数据与GIS各自的优势,从而服务于智慧城市的建设。

BIM与GIS的集成研究主要可以分为数据格式转换、数据结构对接、数据质量保障、数据共享与集成等四个方面,其中数据格式转换一直是该领域研究的重点与关键性技术,且大多数研究都是围绕着

引用格式:李朝奎,李俊,田沁,等.BIM向GIS三维模型转换的几何信息损失度量方法[J].测绘地理信息,2026,51(5):42-47(LI Chaokui, LI Jun, TIAN Qin, et al. Geometric Information Loss Measurement Method for BIM to GIS 3D Model Conversion[J]. Journal of Geomatics, 2026, 51(5):42-47)

基金项目:自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室开放研究基金(KF-023-08-09);国家自然科学基金(42171418);湖南省自然科学基金(2024JJ8328);湖南省自然资源科技计划(20230122CH);实景三维建设与应用技术湖南省工程研究中心开放研究基金(3DRS2024H3)。

BIM中的IFC标准数据与GIS中的CityGML标准数据进行数据格式转换研究,如汤圣君等[2]基于IFC和CityGML标准提出IFC几何要素的过滤方法与IFC到CityGML的语义映射规则,为IFC与CityGML建筑模型的几何、语义信息互操作提供一种通用手段,并通过实例进行了验证;吕慧玲等[3]分析了IFC模型与CityGML模型中的建筑构件以及语义信息,建立IFC向CityGML的映射关系,以实现BIM模型向多层次细节GIS模型的转换。然而这些研究中,并没有对IFC标准数据转换到CityGML标准数据的几何信息损失度进行详细描述与量化,关于这部分的研究较为少见,例如,Adouane等[4]设计了一种将BIM-IFC数据集模型转换为CityGML的基于模型的方法,用于解决空间几何信息的丢失问题,并对生成的CityGML实例进行视觉检查,将IFC模型中的实例计数与CityGML模型中的实例计数进行比较,以判断其转换的精度。

本文根据IFC标准数据与CityGML标准数据中的主要几何信息,提出了其转换过程中几何信息损失的概念以及三种度量方法,对二者转换过程中损失的几何信息进行定量计算,以满足不同应用对BIM模型精度的需求。

1　几何信息损失度量指标

1.1　几何信息损失的原因

IFC标准数据向CityGML标准数据转换过程中的几何信息损失的原因可以分为两类:一类是由于转换方法而产生的几何信息损失,转换方法不同,则其几何信息损失的多少不一;另一类是由于IFC标准与CityGML标准本身的差异导致的,其差异可以归结为以下3个方面。

1)应用领域。IFC主要应用于建筑的设计、施工阶段,对建筑的描述十分详细,包括性能、材料等信息;而CityGML主要应用于国土空间规划、管理。

2)数据内容。IFC包含大量而丰富的语义和几何信息,例如几何形状、纹理等信息,但对建筑物外的空间数据信息描述较少,而CityGML包含城市中的大量信息,包括建筑物、道路等空间数据信息,对于建筑物主要包括内外空间信息、构件信息等,但对于建筑物内的描述与IFC相比较少。

3)数据结构。IFC标准文档是基于Express语言构建的且常用B-rep、CSG、Sweep三种模型表达方式,而CityGML标准文档是基于XML语言构建的,常用的只有B-rep一种模型表达方式。

因此,IFC标准模型向CityGML标准模型转换时,因二者的差异性与转换方法的不同,不可避免地会产生几何信息的损失。

1.2　几何信息损失的量化指标

IFC标准和CityGML标准中的实体是最小单位,是用来表示物体或空间的基本单元。IFC标准与CityGML标准中的实体主要几何信息包括建筑物的形状、大小、位置,这三种几何信息相互交叉、相互影响,例如建筑物中的实体位置发生改变时,建筑物整体的形状也可能发生变化。在本文的研究中,为了直观地衡量将IFC标准模型转换为CityGML标准模型的几何信息的损失量,定义了三种相互交叉、相互影响的几何信息损失的概念以及其几何信息损失计算的方法,对应于IFC标准与CityGML标准中建筑物的形状、大小、位置的几何信息。

1)平面位置信息损失。IFC中的实体转换为CityGML中的实体后,要进行坐标转换,其位置可能发生变化,导致几何信息受损。此外,在IFC标准模型与CityGML标准模型中,若实体为不规则的三维模型,如图1所示,以其实体所在空间长宽高的最大值作为该实体的长宽高。本文把位置变化引起的几何信息损失称为平面位置几何信息损失,以同一坐标系下,二者中心点的欧几里得距离占其实体长度的百分比作为衡量其平面位置几何信息损失度。

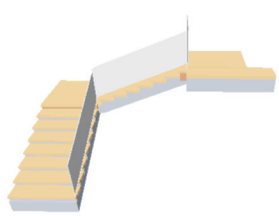


图1　IFC标准模型中的不规则楼梯

Fig. 1 Non-standardized Staircases in the IFC Standard Model

2)形状几何信息损失。IFC转换为CityGML后的实体,其几何形状可能发生变化,包括缩小、放大等,从而导致几何信息损失,在本研究中把实体因几何形状变化引起的几何信息损失称为形状几何信息损失,以转换前实体的长宽高减去变换后实体的长宽高的值作为衡量其形状几何信息损失度。

3)实体几何信息损失。IFC转换为CityGML后,因转换方法的不适用等原因,可能存在未转换成功的实体,导致比较严重的几何信息损失。本文把因实体未转换成功引起的几何信息损失称为实体几何信息损失,以转换前后实体的个数差以及个数差占IFC转换前全部实体的百分比作为衡量的指标。

1.3 IFC模型几何信息的提取

IFC标准文件是基于Express语言描述的[5]，其不属于编程语言。本文借助计算机编程语言对IFC文件进行解析，获取实体几何信息、属性信息与位置信息。

xBIM的全称为eXtensible Building Information Modeling，即可扩展的建筑信息模型。xBIM是一个支持IFC标准模型的“.NET开源软件开发工具包”，开发者可用IFC格式读取、创建、查看BIM模型。其几何引擎核心是基于C++编程语言，数据操作的核心库则基于C#编程语言。本文采用xBIM对IFC模型进行几何信息与部分属性信息的提取。因研究需要，本文对IFC标准数据信息的提取与处理可以分为以下三个部分：

1）获取IFC模型的所有实例数据。对于IFC标准数据模型几何信息的提取，应按照其自上而下的结构特点，因此首先要获取所有实例数据，图2为提取一个IFC模型的所有实例数据的部分示例。



图2 IFC模型实例数据

Fig. 2 Instance-level Data in IFC Models

2）信息合并与筛选。一般来说，实例数据与属性信息在文件中分开存储，需要将它们合并起来才能得到完整的IFC信息。例如，如果要得到构件的名称、尺寸、材料等信息，就需要将构件实例数据和构件属性信息合并起来。在本文研究中，IFC所包含的信息数量庞大且复杂，因此要对IFC信息进行筛选。

3）坐标转换。IFC标准中，采用的是相对坐标系或者绝对坐标系描述其各个构件的空间位置，在本文研究中，需对其坐标进行坐标转换，将其坐标系统转换到相应的CityGML模型的绝对坐标系统。坐标的转换公式为：

$$\begin{bmatrix} C_X \\ C_Y \\ C_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_X \\ I_Y \\ I_Z \end{bmatrix} \cdot M + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中，向量C为IFC转换为CityGML后，对应CityGML的绝对坐标系；向量I为IFC模型中的坐标系；M为旋转矩阵；ΔX、ΔY、ΔZ为平移参数。

$$M = \alpha_X(\theta_X)\alpha_Y(\theta_Y)\alpha_Z(\theta_Z) \tag{2}$$

$$\alpha_X(\theta_X) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_X & \sin\theta_X \\ 0 & -\sin\theta_X & \cos\theta_X \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\alpha_Y(\theta_Y) = \begin{bmatrix} \cos\theta_Y & 0 & -\sin\theta_Y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta_Y & 0 & \cos\theta_Y \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\alpha_Z(\theta_Z) = \begin{bmatrix} \cos\theta_Z & \sin\theta_Z & 0 \\ -\sin\theta_Z & \cos\theta_Z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

式中，θ为旋转参数。通过以上述步骤，获取本文所需的IFC实体信息，并将其放入Excel表中，以方便后续处理。

图3展示了提取的一个IFC模型全部实体的GUID、Name、IFCEntity、绝对坐标、Tag等信息的部分示例。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Guid	Name	IFCEntity	Object type	Tag	绝对坐标x	绝对坐标y	绝对坐标z	Length	Width	Height		
2	1Y0OXIm_	Wendeltrej	IfcStair	Wendeltreppe:Wendel	200655	7.409511	3.053448	1.78	1.70892	1.596427	3.56		
3	1pPHnf7c	Bodenplat	IfcSlab	Bodenplatte:Bodenpla	200673	6	5	-0.1	12	10	0.2		
4	2pk5$TMe	Kuechensc	IfcFurnishir	Kuechenschrank 1	200708	1.502596	3.529313	0.45501	0.59983	0.91502	0.91		
5	167KXdKo	Kuechensc	IfcFurnishir	Kuechenschrank 2	200717	0.752816	3.536863	0.455015	0.89973	0.89992	0.91001		
6	1kKWqzbl	Kuechensc	IfcFurnishir	Kuechenschrank 3	200724	0.608211	2.146903	0.45661	0.61052	1.88	0.9132		
7	2qFCdxmL	Kuechensc	IfcFurnishir	Kuechenschrank 4	200731	1.502786	0.764683	0.45501	0.59983	0.91502	0.91		
8	0KDMedZJ	Kuechensc	IfcFurnishir	Kuechenschrank 5	200738	0.752911	0.757038	0.455015	0.89992	0.89973	0.91001		
9	1VSP6ZS2	Kuechensc	IfcFurnishir	Kuechenschrank 6	200745	3.300666	0.764683	0.45501	0.59983	0.91502	0.91		
10	0LxobFpaj	Kuechensc	IfcFurnishir	Kuechenschrank 7	200752	3.300476	3.529313	0.45501	0.59983	0.91502	0.91		
11	04zLn2PB	Kuechensc	IfcFurnishir	Kuechenschrank 8	200759	2.401536	3.683088	0.46001	1.19805	0.60747	0.92		
12	2weDLyVFI	Kuechensc	IfcFurnishir	Kuechenschrank 9	200766	2.401726	1.397173	0.57001	1.19805	2.18	1.14		
13	2v4ganR1	Kamin:Kam	IfcBuilding	Kamin	200773	9.373469	3.61	0.8	1.8	0.8	1.6		
14	1mwKshkE	Sessel:Sess	IfcFurnishir	Sessel	200782	10.89076	2.578076	0.3483251	1.248895	1.273835	0.69663		
15	3CF666a3f	Doppelbet	IfcFurnishir	Doppelbett	200793	8.663125	7.666351	0.34625	2	1.8	0.8		
16	20p4aMxX	Duschwan	IfcFlowTerr	Duschwanne	200806	6.96	6.44	1.15	0.9	0.9	2		
17	34$3o1rlX	Dusche:Du	IfcFlowTerr	Dusche	200815	6.96	6.44	0.075	0.9	0.9	0.15		
18	2kMJb9nSI	Badewann	IfcFlowTerr	Badewanne	200822	4.79	8.95	0.3	1.499999	1.5	0.6		
19	2aGMqTvE	Waschbecl	IfcFlowTerr	Waschbecken-1	200829	7.11	8.777815	0.8595375	0.6	0.5	0.290475		
20	1mH5QEel	Waschbecl	IfcFlowTerr	Waschbecken-2	200836	7.11	8.088927	0.8595375	0.6	0.5	0.290475		
21	34CRPiY0z	WC:WC:20	IfcFlowTerr	WC	200843	4.314188	7.233259	0.21	0.548363	0.370051	0.42		
22	3Xf76okXt	Buerotisch	IfcFurnishir	Buerotisch	200850	0.93	9.006364	0.235	1.3	1.5	0.75		
23	0_4FBVadE	Buerostuhl	IfcFurnishir	Buerostuhl	200947	1.413587	8.85498	0.4050038	0.647151	0.691175	0.810008		
24	09axaKU7	278949:2	IfcRailing	278949	200957	9.555	4.05	3.0933333	4.29	0.08	0.8		
25	0o5vgCKy	298306:2	IfcRailing	298306	201566	7.367626	1.901508	3.0933333	0.08	2.710036	0.8		
26	1FnVzZtET	Holzstuetz	IfcColumn	Holzstuetze-1	202173	7.4	6	4.1162476	0.08	0.08	2.832495		
27	1Q_VN7a9	Laufband:L	IfcFurnishir	Laufband	202208	3.627065	6.559148	3.3859135	1.719575	1.354033	1.296011		
28	2a9Ud53Ir	Rudermas	IfcFurnishir	Rudermaschine	202227	3.445048	3.435126	2.9164998	1.099188	1.027964	0.433		
29	0knNIAVBf	Wand-Ext-	IfcWallStar	基本墙:Leichtbeton:20	208187	0.15	5	4.3933757	0.3	10	3.386751		
30	25OWQvn	Wand-Ext-	IfcWallStar	基本墙:Leichtbeton:20	208230	6.15	9.85	3.0366025	11.7	0.3	0.673205		
31	3VCarUKg	Wand-Ext-	IfcWallStar	基本墙:Leichtbeton:20	208247	11.85	5	4.3933757	0.3	10	3.386751		
32	3Tjr$59XE	Wand-Ext-	IfcWallStar	基本墙:Leichtbeton:20	208283	6	0.15	3.0366025	12	0.3	0.673205		
33	31Jr0dMV	Holzhalker	IfcBuilding	Holzhalken-1 298639	208305	7.4	7.87	3.25	0.08	3.66	0.1		

Sheet1

图3 IFC模型信息提取的示例

Fig. 3 Exemplars of IFC Data Extraction

1.4　CityGML 几何模型信息的提取

CityGML 是一个基于 XML 语言的开放数据模型,CityGML 标准数据的几何信息提取可以从 XML 语言开始。XML 是一种通用的可扩展标记语言,主要用于数据在客户端和服务器之间的发送、接收。XML 的解析方法可以分为 DOM 解析、SAX 解析、JDOM 解析、DOM4J 解析[6],前两种为官方提供的解析方法,后两种是前两种的扩展[7-15],如表 1 所示,这四种方法各有特点。

基于上述方法的特点,本文选择使用 DOM4J 的方法对 CityGML 标准数据进行处理。针对本文实验的需要,结合 CityGML 标准数据的结构与组成要素,对 CityGML 信息的提取,可以简略为以下几个阶段:

1)获取 Document 对象。根据 CityGML 标准文档的特点,其中 Document 对象表示整个 XML 文档的根节点,因此首先需要通过 DOM4J 的 API 接口,使用 parse 方法来加载和解析 CityGML 文件,得到 Document 对象。

2)选定节点与元素。节点(Node)是 XML 文档中的任意一个元素,而元素(Element)是一个特定类型的节点,元素包含开始标签、属性、子元素等内容。根据研究的需要选择特定的节点或元素,通过 XPath 可以获取这些节点或元素的信息。

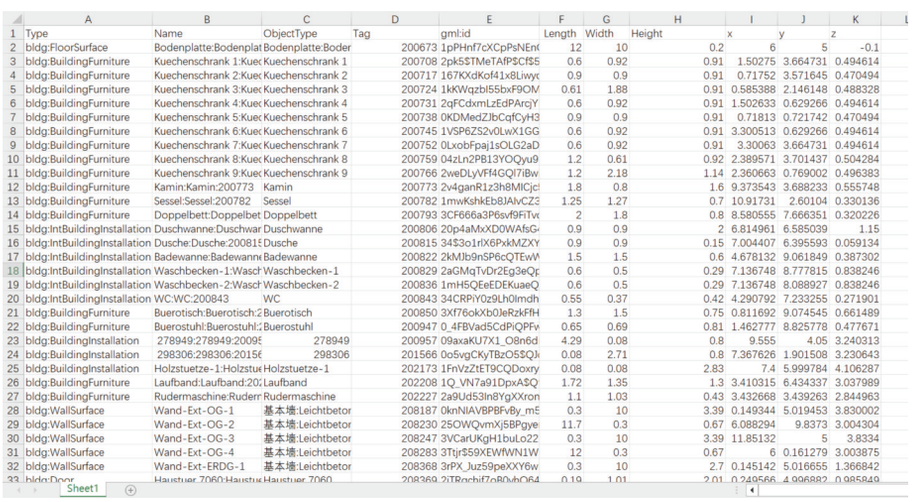
3)整理与输出。对通过 XPath 获取的 CityGML 信息进行整理并导入 Excel 表中,以便后续处理。

图 4 展示了提取的一个 CityGML 模型全部实体的 Type、Name、Object type、Tag、长宽高等信息的部分示例。

表 1　XML 解析方法对比

Tab. 1　Comparison of XML Parsing Methods

方法	平台	特点
DOM	—	树结构,便于编写代码、修改、理解掌握
SAX	—	事件驱动模式,内存消耗小,适用只处理数据时
JDOM	Java	仅使用具体类,API 大量使用 Collections 类
DOM4J	Java	JDOM 的智能分支,使用接口、抽象基本类,优点多



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Type	Name	ObjectType	Tag	gml:id	Length	Width	Height	x	y	z
2	bldg:FloorSurface	Bodenplatte:Bodenplat	Bodenplatte:Boder		200673 1pPHnf7cXCpPsNEn(	12	10		0.2	6	5 -0.1
3	bldg:BuildingFurniture	Kuechenschrank 1:Kuec	Kuechenschrank 1		200708 2pkS$TMeTAfP$Cf$5	0.6	0.92		0.91	1.50275	3.664731 0.494614
4	bldg:BuildingFurniture	Kuechenschrank 2:Kuec	Kuechenschrank 2		200717 167KXdKof41x8Liwyc	0.9	0.9		0.91	0.71752	3.571645 0.470494
5	bldg:BuildingFurniture	Kuechenschrank 3:Kuec	Kuechenschrank 3		200724 1kKWqzbl55bxF9OM	0.61	1.88		0.91	0.585388	2.146148 0.488328
6	bldg:BuildingFurniture	Kuechenschrank 4:Kuec	Kuechenschrank 4		200731 2qFCdxmLzEdPArcjY	0.6	0.92		0.91	1.502633	0.629266 0.494614
7	bldg:BuildingFurniture	Kuechenschrank 5:Kuec	Kuechenschrank 5		200738 0KDMedZJbCqfCyH3	0.9	0.9		0.91	0.71813	0.721742 0.470494
8	bldg:BuildingFurniture	Kuechenschrank 6:Kuec	Kuechenschrank 6		200745 1VSP6ZS2v0LwX1GG	0.6	0.92		0.91	3.300513	0.629266 0.494614
9	bldg:BuildingFurniture	Kuechenschrank 7:Kuec	Kuechenschrank 7		200752 0LxobFpaj1sOLG2aD	0.6	0.92		0.91	3.30063	3.664731 0.494614
10	bldg:BuildingFurniture	Kuechenschrank 8:Kuec	Kuechenschrank 8		200759 04zLn2PB13YOQyu9	1.2	0.61		0.92	2.389571	3.701437 0.504284
11	bldg:BuildingFurniture	Kuechenschrank 9:Kuec	Kuechenschrank 9		200766 2weDLyVFf4GQI7iBw	1.2	2.18		1.14	2.360663	0.769002 0.496383
12	bldg:BuildingFurniture	Kamin:Kamin:200773	Kamin		200773 2v4ganR1z3h8MICjc	1.8	0.8		1.6	9.373543	3.688233 0.555748
13	bldg:BuildingFurniture	Sessel:Sessel:200782	Sessel		200782 1mwKshkEb8JAlvCZ3	1.25	1.27		0.7	10.91731	2.60104 0.330136
14	bldg:BuildingFurniture	Doppelbett:Doppelbet	Doppelbett		200793 3CF666a3P6svf9FiTw	2	1.8		0.8	8.580555	7.666351 0.320226
15	bldg:IntBuildingInstallation	Duschwanne:Duschwar	Duschwanne		200806 20p4aMxXD0WAfsG	0.9	0.9		2	6.814961	6.585039 1.15
16	bldg:IntBuildingInstallation	Dusche:Dusche:20081	Dusche		200815 34$3o1rlX6PxkMZXY	0.9	0.9		0.15	7.004407	6.395593 0.059134
17	bldg:IntBuildingInstallation	Badewanne:Badewanne	Badewanne		200822 2kMJb9nSP6cQTEwV	1.5	1.5		0.6	4.678132	9.061849 0.387302
18	bldg:IntBuildingInstallation	Waschbecken-1:Wasch	Waschbecken-1		200829 2aGMqTvDr2Eg3eQp	0.6	0.5		0.29	7.136748	8.777815 0.838246
19	bldg:IntBuildingInstallation	Waschbecken-2:Wasch	Waschbecken-2		200836 1mH5QEeEDEKuaeQ	0.6	0.5		0.29	7.136748	8.088927 0.838246
20	bldg:IntBuildingInstallation	WC:WC:200843	WC		200843 34CRPiY0z9Lh0lmdh	0.55	0.37		0.42	4.290792	7.233255 0.271901
21	bldg:BuildingFurniture	Buerotisch:Buerotisch:2	Buerotisch		200850 3Xf76okXb0JeRzkFfH	1.3	1.5		0.75	0.811692	9.074545 0.661489
22	bldg:BuildingFurniture	Buerostuhl:Buerostuhl:2	Buerostuhl		200947 0_4FBVad5CdPiQPFv	0.65	0.69		0.81	1.462777	8.825778 0.477671
23	bldg:BuildingInstallation	278949:278949:20095	278949		200957 09axaKU7X1_O8n6d	4.29	0.08		0.8	9.555	4.05 3.240313
24	bldg:BuildingInstallation	298306:298306:2015(	298306		201566 0o5vgCKyTBzO5$QJ(	0.08	2.71		0.8	7.367626	1.901508 3.230643
25	bldg:BuildingInstallation	Holzstuetze-1:Holzstue	Holzstuetze-1		202173 1FnVzZtET9CQDoxry	0.08	0.08		2.83	7.4	5.999784 4.106287
26	bldg:BuildingFurniture	Laufband:Laufband:20	Laufband		202208 1Q_VN7a91DpxA$Q	1.72	1.35		1.3	3.410315	6.434337 3.037989
27	bldg:BuildingFurniture	Rudermaschine:Ruderr	Rudermaschine		202227 2a9Ud53ln8YgXXron	1.1	1.03		0.43	3.432668	3.439263 2.844963
28	bldg:WallSurface	Wand-Ext-OG-1	基本墙:Leichtbetor		208187 0knNIAVBP8FvBy_m$	0.3	10		3.39	0.149344	5.019453 3.830002
29	bldg:WallSurface	Wand-Ext-OG-2	基本墙:Leichtbetor		208230 25OWQvmXj5BPgye(	11.7	0.3		0.67	6.088294	9.8373 3.004304
30	bldg:WallSurface	Wand-Ext-OG-3	基本墙:Leichtbetor		208247 3VCarUKgH1buLo22	0.3	10		3.39	11.85132	5 3.8334
31	bldg:WallSurface	Wand-Ext-OG-4	基本墙:Leichtbetor		208283 3Tjr$59XEWfWN1W	12	0.3		0.67	6	0.161279 3.003875
32	bldg:WallSurface	Wand-Ext-ERDG-1	基本墙:Leichtbetor		208368 3rPX_luz59peXXY6w	0.3	10		2.7	0.145142	5.016655 1.366842
33	bldg:Door	Haustuer 7060:Haustue	Haustuer 7060		208369 2iTRqchjf7oR0vhO64	0.19	1.01		2.01	0.249566	4.996882 0.985849

Sheet1

图 4　CityGML 模型信息提取

Fig. 4　Information Extraction from CityGML Model

2　实验与结果分析

2.1　数据来源

本文的 IFC 标准模型数据来源于 IFC 开放模型库中的示例模型,其结构相对完整,包含内外墙、屋顶、家具、栏杆、建筑物替代物、楼梯等,其三维视图如图 5 所示。CityGML 标准模型数据则由该模型经 FME 构建的 IFC 标准数据向 CityGML 标准数据转换的工作空间转换而来,如图 6 所示。

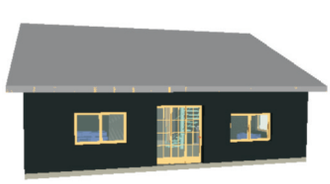


图 5　IFC 实验 BIM 模型

Fig. 5　Experimental BIM Models in IFC Format

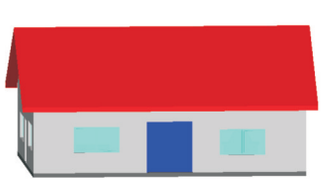


图 6　CityGML 三维建筑模型

Fig. 6　CityGML 3D Building Models

2.2　几何信息损失度量

综合上节定义 IFC 转换为 CityGML 的三种几

何信息损失的概念以及提取到的二者的几何信息，根据计算得到以下结果：

1)实体几何信息损失度。以N_a与N_b分别表示转换前与转换后的实体个数，ΔN记为其实体损失个数，计算公式为$\Delta N = N_a - N_b$，实体损失个数占IFC全部实体个数的百分比记为ΔN_a，计算公式为$\Delta N_a = \Delta N / N_a$。如图7所示，IFC标准的模型$a$转换到相对应的CityGML标准的模型$b$的实体损失个数ΔN为117减去65为52，实体损失个数占IFC全部实体个数的百分比ΔN_a为44.44%。经由对比可得，其损失的实体共有两类，共52个建筑构件。其中一类有51个建筑构件，皆为房顶下面支撑的房梁与瓜柱，另一类为1个不规则楼梯，如图8所示，其转换损失实体的三维图像。



93	2EQh_jhP1	EG-Fenster-6 8545:EG-Fenste	IfcWindow	EG-Fenster-6 8545	208378
94	1bzfVsJqnl	Wand-Ext-ERDG-2	IfcWallStandardCase	基本墙:Leichtbeton:20	208379
95	1TAl4ouKrH	EG-Fenster-6 8545:EG-Fenste	IfcWindow	EG-Fenster-6 8545	208380
96	2Q9w7oR0	EG-Fenster-6 8545:EG-Fenste	IfcWindow	EG-Fenster-6 8545	208381
97	1DiYqhfzH	EG-Fenster-6 8545:EG-Fenste	IfcWindow	EG-Fenster-6 8545	208382
98	1$wmdwM	Wand-Int-ERDG-5	IfcWallStandardCase	基本墙:Leichtbeton 1:	208383
99	2XPyKWYC	Wand-Int-ERDG-4	IfcWallStandardCase	基本墙:Leichtbeton 1:	208384
100	2ptk1k7qn	Wand-Int-ERDG-1	IfcWallStandardCase	基本墙:Leichtbeton 1:	208385
101	3jjW3rL65	Wand-Int-ERDG-3	IfcWallStandardCase	基本墙:Leichtbeton 1:	208386
102	0pGAjUMF	Innentuer-2 18741:Innentuer-	IfcDoor	Innentuer-2 18741	208387
103	2qiPPF3Fr	Innentuer-2 18741:Innentuer-	IfcDoor	Innentuer-2 18741	208388
104	3PfS_Y_DI	Wand-Int-ERDG-2	IfcWallStandardCase	基本墙:Leichtbeton 1:	208389
105	1Oms875s	Innentuer-1 19551:Innentuer-	IfcDoor	Innentuer-1 19551	208390
106	2ACmFFQf	OG-Fenster-1 223746:OG-Fe	IfcWindow	OG-Fenster-1 223746	208391
107	1zOBw0Gc	OG-Fenster-2 236183:OG-Fe	IfcWindow	OG-Fenster-2 236183	208392
108	2IuD6UufP	楼板:Slab-033:208396	IfcSlab	楼板:Slab-033	208396
109	1Y0OXIm_	基本屋顶:Dach-1:208411	IfcSlab	基本屋顶:Dach-1	208411
110	1Y0OXIm_	基本屋顶:Dach-1:208419	IfcSlab	基本屋顶:Dach-1	208419
111	3Sf2p7VyL		1	IfcSpace		
112	17JZcMFrfl		6	IfcSpace		
113	0Ut8qR_E9		5	IfcSpace		
114	347jFE2yX		4	IfcSpace		
115	0e_hbkIQ5		3	IfcSpace		
116	2RSCzLOB		2	IfcSpace		
117	2dQFggKE		7	IfcSpace		
118						
119						

(a) IFC实体个数

46	bldg:WallSurface	Wand-Int-ERDG-5	基本墙:Leichtbetor	208383
47	bldg:WallSurface	Wand-Int-ERDG-4	基本墙:Leichtbetor	208384
48	bldg:WallSurface	Wand-Int-ERDG-1	基本墙:Leichtbetor	208385
49	bldg:WallSurface	Wand-Int-ERDG-3	基本墙:Leichtbetor	208386
50	bldg:Door	Innentuer-2 18741:Inn	Innentuer-2 18741	208387
51	bldg:Door	Innentuer-2 18741:Inn	Innentuer-2 18741	208388
52	bldg:WallSurface	Wand-Int-ERDG-2	基本墙:Leichtbetor	208389
53	bldg:Door	Innentuer-1 19551:Inn	Innentuer-1 19551	208390
54	bldg:Window	OG-Fenster-1 223746:	OG-Fenster-1 223	208391
55	bldg:Window	OG-Fenster-2 236183:	OG-Fenster-2 236	208392
56	bldg:FloorSurface	楼板:Slab-033:208396	楼板:Slab-033	208396
57	bldg:RoofSurface	基本屋顶:Dach-1:2084	基本屋顶:Dach-1	208411
58	bldg:RoofSurface	基本屋顶:Dach-1:2084	基本屋顶:Dach-1	208419
59	bldg:Room	6	---	---
60	bldg:Room	1	---	---
61	bldg:Room	2	---	---
62	bldg:Room	3	---	---
63	bldg:Room	5	---	---
64	bldg:Room	7	---	---
65	bldg:Room	4	---	---
66				
67				

(b) CityGML实体个数

图7　模型a转换前后的实体个数

Fig. 7　The Number of Entities in Model a Before and After Conversion



图8　转换过程损失的全部实体

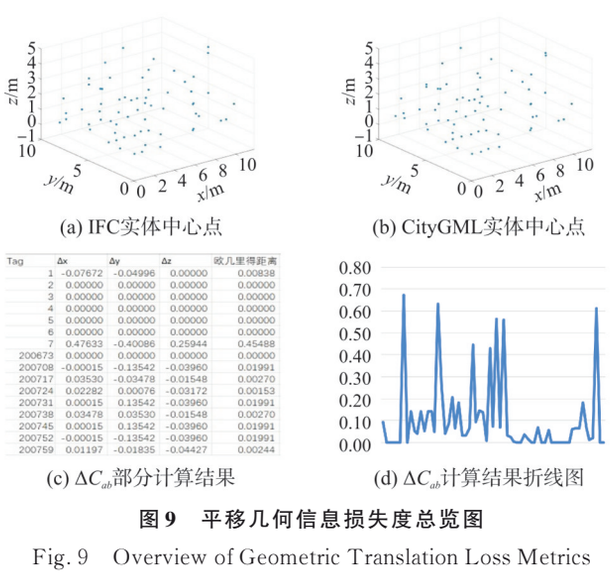
Fig. 8　All Entities Lost During the Conversion Process

2)平移几何信息损失度。本示例中以(x_a, y_a, z_a)、(x_b, y_b, z_b)分别表示转换前的IFC标准的模型a与转换后的CityGML标准的模型b的实体中心点三维坐标，ΔC_{ab}记为其转换前后的欧几里得距离，则其计算公式为：

$$\Delta C_{ab} = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2} \tag{6}$$

如图9所示，取小数点后五位，模型a与模型b的实体的中心点位于三维坐标系中的位置、欧几里得距离ΔC_{ab}的部分计算结果以及其全部结果的折线图。

3)形状几何信息损失度。本文以实体转换前后的长宽高的差值作为衡量其形状几何信息损失的指标，转换前IFC标准的模型a的实体长宽高分别记为L_a、W_a、H_a，转换后的CityGML标准的模型b的长宽高分别记为L_b、W_b、H_b，则其转换前后的差值记为ΔL、ΔW、ΔH，其计算方式为IFC模型实体的长宽高减去转换后的CityGML模型实体对应的长宽高。如图10所示，取小数点后五位数字，ΔL、ΔW、ΔH的部分计算结果以及其全部结果折线图。



(a) IFC实体中心点　(b) CityGML实体中心点

Tag	Δx	Δy	Δz	欧几里得距离
1	-0.07672	-0.04996	0.00000	0.00838
2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7	0.47633	-0.40086	0.25944	0.45488
200673	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
200708	-0.00015	-0.13542	-0.03960	0.01991
200717	0.03530	-0.03478	-0.01548	0.00270
200724	0.02282	0.00076	-0.03172	0.00153
200731	0.00015	0.13542	-0.03960	0.01991
200738	0.03478	0.03530	-0.01548	0.00270
200745	0.00015	0.13542	-0.03960	0.01991
200752	-0.00015	-0.13542	-0.03960	0.01991
200759	0.01197	-0.01835	-0.04427	0.00244

(c) ΔC_{ab}部分计算结果　(d) ΔC_{ab}计算结果折线图

图9　平移几何信息损失度总览图

Fig. 9　Overview of Geometric Translation Loss Metrics

2.3　结果分析

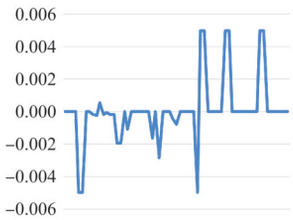
1)模型在本文FME工作空间的实体几何信息损失度量中，损失实体的类型一共有两类：一类为瓜柱与房梁，个数为51个；另一类为楼梯，个数为1个。损失的实体总数为52个，占原本IFC实体数量的44.44%。

2)在平移几何信息损失度中，有11个实体未损失其几何信息，平移几何信息损失的平均值为0.133 59 m，标准差为0.177 88 m。IfcSpace中Name为7的平移几何信息损失最大，为0.674 45 m；IfcWindow中Tag为208 382的平移几何信息损失最小，为0.001 66 m。

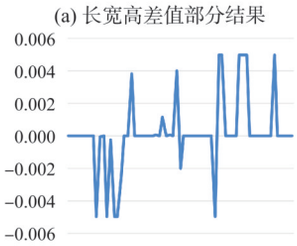
3)形状几何信息损失度中，正值表示转换后的

Tag	ΔL	ΔW	ΔH
208419	0.00000	0.00000	-0.00160
208411	0.00000	0.00000	-0.00160
208396	0.00000	0.00000	-0.00160
208392	0.00000	0.00000	-0.00160
208391	-0.00500	0.00000	-0.00160
208390	0.00000	0.00000	-0.00160
208389	0.00000	0.00000	-0.00160
208388	0.00000	0.00000	0.00000
208387	-0.00017	0.00000	0.00000
208386	-0.00027	-0.00008	0.00001
208385	0.00052	0.00000	0.00320
208384	-0.00017	-0.00498	0.00000

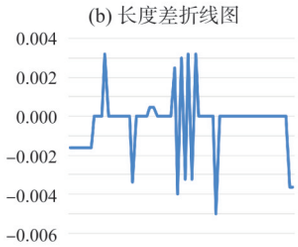
(a) 长宽高差值部分结果



(b) 长度差折线图



(c) 宽度差折线图



(d) 高度差折线图

图 10　形状几何信息损失度总览图

Fig. 10　Overview of Shape Geometry Information Loss Metrics

实体长宽高比转换前的实体长宽高缩小,负值则表明转换后实体的长宽高增大。其实体长度改变的有 23 个,7 个为正值,16 个为负值,平均值为 0.000 16,区间为[−0.005,0.005];实体宽度改变的有 20 个,11 个为正值,9 个为负值,平均值为 0.000 46,区间为[−0.005,0.005];实体高度改变的有 24 个,正值为 10 个,负值各为 14 个,平均值为 0.000 86,区间为[−0.005,0.004 8]。

3　结束语

针对 BIM 向 GIS 转换过程中的几何信息损失问题,定义了几何信息损失的基本概念,提出了信息损失的三种度量方法,用以衡量转换过程中几何信息的损失。以 IFC 开放模型库中的示例模型为例进行了实验,得出了几何信息损失的综合性评估结果。

1)由于 IFC 标准与 GML 标准不同,其精细程度不同,同一模型在转换中存在几何信息丢失问题。

2)在 IFC 标准三维模型转换到 CityGML 标准三维模型时,可以根据不同需求,对这三种量化指标设置不同的权重,进行较为全面的几何信息损失综合性评估;

3)基于 IFC 标准的 BIM 模型与 CityGML 标准的三维 GIS 模型转换中存在信息丢失问题,提出的三种度量方法均能精确度量出转换后模型的量化损失;

4)模型转换后实体信息损失主要存在于瓜柱与房梁、楼梯中,平移几何信息损失范围在 0～0.7 m,形状几何信息损失中长、宽、高均有不同程度的形变,但发生形变的范围较小。

研究结果帮助从业人员开发更加精确和高效的数据转换算法,减少并控制模型转换过程中的几何信息损失,提高数据转换的质量和效率,为智慧城市建设及精细化管理提供更加精准的数据支持。

参考文献

[1] 孙薇莉. BIM 在绿色建筑中的应用探析[J]. 重庆建筑, 2015, 14(2): 5-7

[2] 汤圣君, 朱庆, 赵君峤. 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

[3] 吕慧玲, 李佩瑶, 汤圣君, 等. BIM 模型到多细节层次 GIS 模型转换方法[J]. 地理信息世界,2016,13(4):64-70

[4] Adouane K, Stouffs R, Janssen P, et al. A Model-Based Approach to Convert a Building BIM-IFC Data Set Model into CityGML [J]. Journal of Spatial Science, 2020, 65(2): 257-280

[5] Nour M, Beucke K. An Open Platform for Processing IFC Model Versions[J]. Tsinghua Science & Technology, 2008, 13: 126-131

[6] 宋凯歌. 产品交互式电子手册的设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2018

[7] 唐玥蘅. 智慧城市网络舆情监测研究[D]. 武汉:武汉大学, 2019

[8] 朱亮, 邓非. 基于语义映射的 BIM 与 3DGIS 集成方法研究[J]. 测绘地理信息, 2016, 41(3):16-19

[9] 胡瑛婷, 马骏, 石玉, 等. 基于扩展语义匹配的 BIM 和 GIS 三维建筑数据融合[J]. 土木建筑工程信息技术, 2022, 14(3):9-15

[10] 卢勇东, 庄典, 金星, 等. 基于 IFC 与 CityGML 标准的 BIM-GIS 集成技术研究 [J]. 工程建设, 2021, 53(7):6-11

[11] 赵杏英, 陈沉, 杨礼国. BIM 与 GIS 数据融合关键技术研究[J]. 大坝与安全, 2019(2):7-10

[12] 袁春兰, 熊宗龙, 周雪花, 等. 基于 Sobel 算子的图像边缘检测研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(1):85-87

[13] 张红霞, 王灿, 刘鑫, 等. 图像边缘检测算法研究新进展[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(14):11-18

[14] 陈波, 王茂林, 王宏, 等. 一种基于网络拓扑关系的地图匹配算法[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23(5): 331-334

[15] de Laat R, van Berlo L. Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension[M]// Kolbe T, König G, Nagel C. Advances in 3D Geo-Information Sciences. Heidelberg: Springer, 2011:211-225, doi:10.1007/978-3-642-12670-3_13

修回日期:2026-07-19

第一作者:李朝奎,博士,教授。研究方向为三维地理信息系统及智慧城市。E-mail: 616059644@qq.com