

古建筑三维建模技术的研究与实现

刘 锂,段芃芃

(成都理工大学 工程技术学院,四川 乐山 614007)

摘 要:随着三维数字城市的发展,古建筑三维模型技术的研究日益增长。目前多数三维古建筑的建模技术是采用传统的建模技术,依靠软平台件机械化建模,建模周期长,灵活性差,后期修改工作量大,数据量大,无法满足当今三维数字古城海量建模的需要。文中提出了基于 CityEnigne 平台,根据 CGA 语言编程实现三维古建筑模型的思想,通过分析古建筑物的建筑思想、空间布局、结构组成、几何关系等数据,设计古建筑数字模型,采用平移、旋转、拉伸、缩放、循环、递归等建模函数,实现了三维古建筑模型。通过实验证明和与传统技术的比较,该技术具有高自动化程度、建设周期短、灵活性好、模型精度高、数据量小以及便于后续维护等优点。满足了城市规划和三维古建筑建模的需要,为三维古建筑建模提供了新的技术方法和技术参考。

关键词:古建筑;三维建模;数字模型;CityEnigne;CGA 语言

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)08-0188-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.08.033

Research and Implementation of 3D Modeling of Ancient Architecture

LIU Li, DUAN Peng-peng

(School of Engineering and Technology, Chengdu University of Technology, Leshan 614007, China)

Abstract: With the development of 3D digital city, the research on 3D model technology of ancient architecture is increasing day by day. At present, most of the 3D ancient architecture modeling technology adopts traditional modeling technology, relying on the mechanical modeling of soft platform parts, with a long modeling cycle, poor flexibility, large amount of late modification work and data, unable to meet the needs of today's 3D digital ancient city mass modeling. The CityEnigne-based platform is proposed. According to the thought of realizing 3D ancient architecture by CGA programming language, by analyzing the architectural idea, spatial layout, structural composition, geometric relationship and other data of ancient architecture, the digital model of ancient architecture is designed, and the 3D model is realized by using the modeling functions of translation, rotation, stretching, scaling, circulation and recursion. Through the experiment and comparison with the traditional technology, the proposed technology has the advantages of high degree of automation, short construction period, strong flexibility, high precision of the model, small amount of data and easy follow-up maintenance, which meets the needs of urban planning and 3D ancient architecture modeling and provides a new technical method and reference for 3D ancient architecture modeling.

Key words: ancient architecture; 3D modeling; digital model; CityEnigne; CGA language

0 引 言

随着人民日益增长的物质文化需要,旅游业在当代社会得到迅速发展,大众对旅游景点虚拟化的需求也逐渐扩大,所以旅游虚拟化平台的实现是大势所趋。随着数字化城市发展的相对成熟,虚拟技术逐渐向古建筑领域迈进,但目前对于古建筑建模研究学术较少,大部分是对现代城市的快速建模,相比于古建筑模型而言,现代建筑比较中规中矩,样式简而平整,但古建筑样式建立就比较复杂^[1-4],如:屋顶的建立方式,它

有垂脊的上翘弧度,比较难控制。目前多采用传统建模技术实现。

传统的技术有 SketchUp、3dsMax、Creator 等三维建模软件,建立的模型可以达到足够精细,但是过程相对复杂;模型制作周期相对较长、效率较低,也不具备坐标信息,不适合用于建立大规模的三维数字城市场景。

文中主要是根据国内外对于古建筑模型研究方面较为空白的现状所展开,以阆中古城的古建筑为例进

收稿日期:2019-10-12

修回日期:2020-02-20

基金项目:2017 年度四川省教育理科重点项目(17ZA0043);2015 年度四川省教育科研项目(15ZB0366)

作者简介:刘 锂(1978-),男,讲师,硕士,研究方向为计算机图像处理。

行基于 CityEngine 的模型建立,建立方式是通过 CGA 文件的编写,根据建模理论进行规则优化^[5-6],对所设计内容中的古建筑院落、门窗、屋顶、阁楼塔、防哥特式建筑等进行原理精确分析,所涉及原理包括平移、旋转、拉伸,说明原理算法在规则中该如何应用才能把建筑模型建立,然后分析最终模型呈现效果,对它的展现方式和精确度进行分析。

1 古建筑设计

对于古建筑的建立必须遵从古建筑营造特征,是中轴对称的等级布局形式,这体现着一种礼制规范,如“三孔”的院落布局特点,主体建筑风格保持一致,建筑群沿着一条从南到北的中轴线左右对称排列,根据建筑的营造对称特点,对于阆中古城的院落建筑均采用该方式,左右对称,整体风格保持一致;对于比较有特色的四合院院落,根据潜意识的诱导作用,往往人们会有先大后小的观赏意识,所以对于该种建筑,在 CGA^[7-8] 文件编写时主厢方位的房屋要体量大,造型繁复有特色;中国古代的屋顶体型很大,庄重雄伟,空间上有一种压抑感,所以通过让屋顶出檐,反曲向上,使它在空间上达到和谐统一;在《中国传统建筑门窗、隔扇装饰艺术》一书中说明门是一个通道,是建筑内部与外部的连接出口,它不是单体结构,所以门的建立一般是几扇门并排在一起,设置在屋身的中轴线上;柱子是古建筑当中重要的角色,往往位于建筑最突出的部位,古时的柱子多为木柱,为了预防柱脚潮腐,柱下会修建台基,为了保持稳定性,柱与柱之间会有穿插枋,抱头梁进行连接,这不仅能起到固定作用,还具有审美效果。

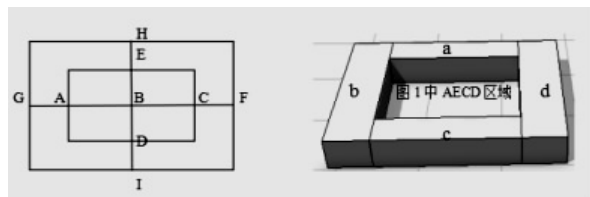
(1) 中轴对称。

中国传统建筑文化有“尊者居其中”的方位意识,这是受儒家文化礼制、等级的要求所影响,而这也符合美学的观点,古希腊哲学家毕达哥拉斯曾说,“一切美的形体都必须有对称形式”,所以这种美学意识由来已久。对称分为左右对称,上下对称,古建筑院落的布局采用的是左右对称,它的中轴对称是以大门中点为起点到大门所对正屋的中点为终点的一条直线,建筑整体以该条直线镜面对称,所以在编写规则时所依据的分割数学理论是,空间当中任意一条直线的中点到两端的距离都相等原则,即如图 1(a) 中轴对称理论所示。

$$XBA = XBC, XBD = XBE, XGA = XCF, XHE = XDI$$

(1)

其中 AECD 表示院落活动区域,均有对称性质融入,图 1(b) 是该原理在规则中的运用, a、b、c、d 为建筑区域。



(a) 中轴对称理论

(b) 中轴对称理论规则运用

图 1 中轴对称规则

(2) 旋转角度。

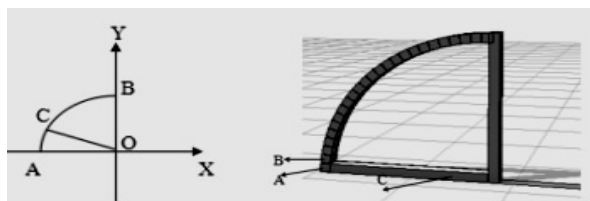
球形比任何一种立体形状都要坚固,这是因为它的每一个地方都能受力,且受力均匀。拱形的受力特点与球形相似,它的受力方式是从顶点出发,扩散到端点。因此在建筑中弧形样式备受青睐,因为它的受力扩散,能起到很好的巩固作用,对于外观的美化程度也尤为明显。在实际运用中,旋转角度影响着建筑的稳定性,在规则编写时如旋转角度不确定,就必须一点点调试,这大大降低了建模速度^[9],而且如果角度不适合,还影响着建筑的整体呈现效果。

根据图 2(a), 弧长 AC 表示旋转基础线的宽度用 a 表示,角 AOC 代表旋转的角度用 θ 表示, AO 是圆的半径用 r 表示(O 在实际中是门或窗边上的中点),根据弧长公式得出旋转角度^[10-11],即

$$a = \theta \times r \times \pi / 4r \Rightarrow \theta = 4a / \pi \quad (2)$$

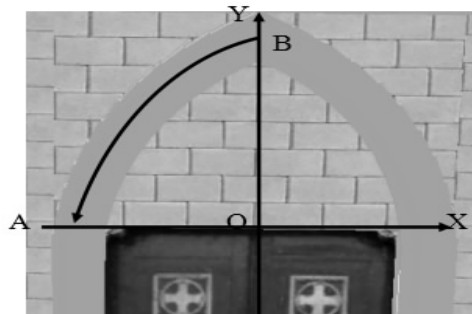
在 CGA 文件编写中,还要确定循环次数才能将弧形表示出来,循环次数用 n 表示,由图可知,从 A 到 B 是四分一的圆,则

$$n \times a = 2\pi r / 4r \Rightarrow n = r\pi / 2a \quad (3)$$



(a) 旋转角度示意图

(b) 规则运用



(c) 生成效果

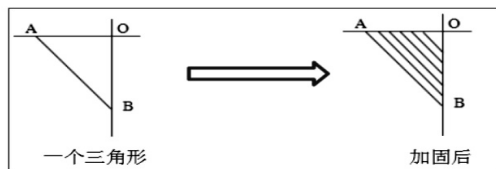
图 2 通过旋转实现的古建筑

由旋转角度与循环次数的公式可知旋转角度与基础直线的宽度成正比,循环次数与直线宽度是反比例函数关系,为了让弧形边缘更圆滑,就让循环次数增加,即设置基础直线的宽度时尽量减小。在规则实际

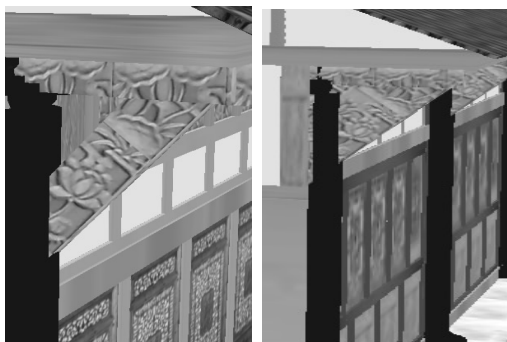
运用中,如图2(b)所示,它的旋转角度通过公式推出为AB之间的角度为3.2,由A的宽度决定,生成图中所示效果的循环次数为23次,由C的长度与A的宽度所决定,图2(c)为效果图。

(3) 稳定性。

给定三条边,就能确定三角形的形状及其角度,而四边形就不能两者都确定,这是三角形具有稳定性的原理,在古建筑建模中处处都能体现它的作用。如屋顶侧面具有三角形形状,撑拱与柱子或墙构成的也是三角形,但建模时撑拱只由一根柱子构成,为了加强其稳定性,将它设置成牛腿,这是将三角形稳定性原理的加强,是撑拱时三角形只有一个,如图3(a)所示,加强后是许多个三角形共同给予房屋的稳定。图3(b)是将稳定性运用于规则中的撑拱,图3(c)是稳定性加固后的牛角。



(a) 三角形稳定性



(b) 撑拱

(c) 牛角

图3 古建筑稳定性规则设计

(4) 黄金比例。

在古建筑建模中运用最多的就是分割函数,而所分割的比例大约为0.618,能让分好的每一块显示出最美的效果,在设计楼层高度时,就让高层建筑的二层高度比上一层的高度等于一层的高度比上建筑整体高度,黄金比例为:

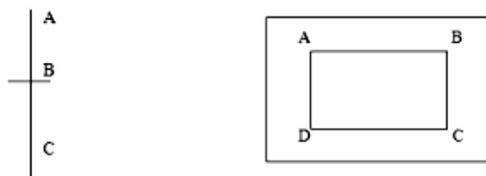
$$AB/BC = BC/AC = 0.618 \quad (4)$$

该原理的应用还表现在院落的活动区域上,活动区域一般为矩形,分割时使它的较短边比上较长边的比例为黄金比例,就能建立出平时所说的黄金矩形,如图4(a)所示。

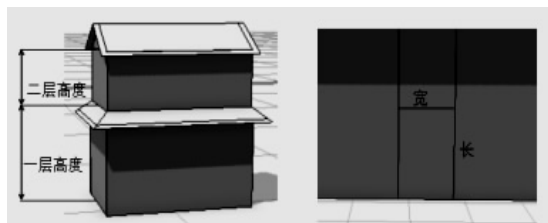
$$BC/AB = 0.618 \quad (5)$$

当分割建筑门窗时,将黄金矩形的原理运用其中,这是将数学、美学、建筑学合三为一。其中二层高度/一层高度=黄金比例,如图4(b)所示,门宽/门长=黄

金比例,构成黄金矩形。



(a) 黄金比例与黄金矩形



(b) 黄金比例的运用楼层、门窗

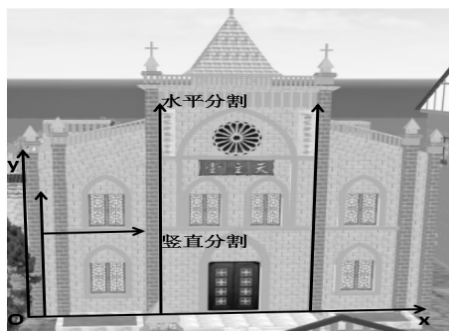
图4 黄金比例设计规则

2 教堂规则设计

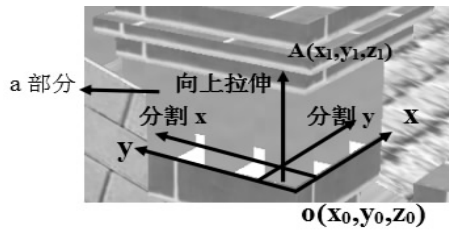
阆中古城天主堂的建立区别于其他古建筑院落,它的平面是矩形,在对整体平面进行分割时,将右边单独分开,进行传统古建筑的建立,然后将其余三边分割出一小部分,这是周边围墙的建立,以此和右边房屋将天主堂包围在其中,天主堂的位置分割在靠后的位置,将前面留出一定区域就是教堂广场位置;建筑中主要运用的是循环语法,本次设计中涉及的方式为模型循环。

如下为建模流程,由于天主堂是中轴对称建筑,首先依据右手法则将建筑分为三个部分进行分块建模,再对第一部分按比例进行划分。图5(a)为分块划分示意图。如图5(a)所示的两个建筑,它们的整体结构基本是一致的,不同的地方是:墙面材质、窗户样式和装饰物样式。只需要在其规则中修改对应的对象参数代码即可实现,不需要重新编写新的规则。这样可以对规则进行重复利用,从而提高建模的效率。

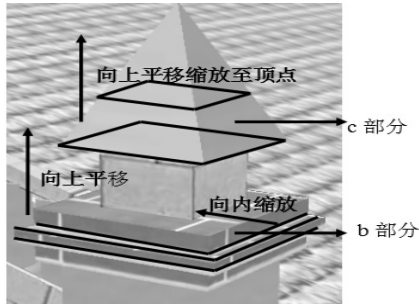
柱子上部结构的建立方式是将柱子顶部正方形作为基础面,运用模型循环进行建立,在x,y方向上进行划分,综合使用院落生成的拉伸原理使a部分建立完成,如图5(b)所示。



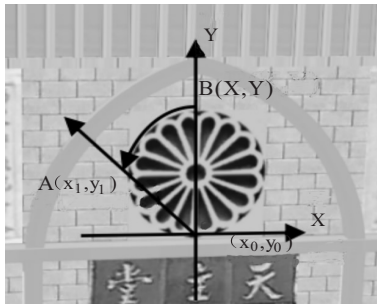
(a) 分块划分示意图



(b) a 部分生成示意图



(c) b 和 c 部分生成示意图



(d) 圆弧形生成示意图

图5 古教堂设计

b 部分的建立采用与上文所提的迭代算法,通过平移加缩放共同完成,所涉及的缩放公式为:

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 & y_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中, S_x , S_y 是在 x, y 方向上的缩放量,图 5(b) 所示的缩放只需在 x, y 方向上进行, z 方向的量采用平移公式达到效果。该方式比运用三个方向的缩放简便,也易于执行,图中向外放大的缩放量为 1.1,即 $S_x = S_y = 1.1$,向内缩小的缩放量为 0.9, z 方向的平移量由以下平移公式得出:

$$\begin{bmatrix} m_1 & n_1 & p_1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 & n_0 & p_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ F_x & F_y & F_z & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

它的平移量与拉伸量相同,当运用该公式获得平移高度时,拉伸量同步确定,图中所示的平移量为 0.08,当迭代结果的平面与基础迭代面相同时,算法结束。

顶部尖状结构的建立与四面坡建立方式类似,四面坡迭代完成时矩形成一条直线,图中所示 c 部分效

果是矩形迭代过程中的平移缩放,当矩形成为一个顶点,在基础矩形中心处上方时迭代结束,如图 5(c) 所示。

图 5(d) 中圆形建筑部件建立方式是循环加旋转的迭代算法所完成,主要形成代码如下:

```
smbail-->
R(0)
R(n)-->
case n<shuliang+2:
[t(0,0.22,0)r(0,0,-5.1) R(n+1) mbai]
else;NIL
mbai2-->
split(y){~1;kong|baibiank*1.9;smbai2}
smbai2-->
B(0)
B(n)-->
case n<shuliang:
[t(0,0.22,0)r(0,0,6.1) B(n+1) mbai]
else;NIL
```

拱形门窗的建立也可以采取该方式,算法中它的循环次数与旋转角度要根据所要进行旋转的基础小方块的大小与旋转原点来决定,由于旋转平面在二维内,所运用的旋转公式为:

$$\begin{cases} x_1 = (x - x_0) * \cos\theta - (y - y_0) * \sin\theta + x_0 \\ y_1 = (x - x_0) * \sin\theta - (y - y_0) * \cos\theta + y_0 \end{cases} \quad (8)$$

任意一点 (x, y) 绕一个坐标点 (x_0, y_0) 逆时针旋转 θ 角度后新的坐标为 (x_1, y_1) , 图中所示是根据循环加该公式完成,旋转总角度为 360 度,每一次从 B 到 A 的旋转方向的角度要很小,以该种方式形成的圆弧保证了它的光滑度。

3 实验分析与数据对比

古建筑模型建立过程与现代建筑方法类似,只是在屋顶处理上有所不同,最开始都是拉伸、分割,对于特殊物件需要进行缩放、旋转等操作,现代建筑多为平顶,而古建筑当中是双面坡、歇山顶式的屋顶结构。

在本次设计完成的古建筑模型中,大多建筑是相对比较有特色的院落,它的周围是有特色的围墙,大门边有石墩,院落内有照壁、绿化,建筑为两层结构,三面环绕。对于它的建立不需要建立多个图层,然后进行拼接,在 CityEngine 中建立是在开始时对整体平面进行各部分的划分,包括围墙,大门,院落,绿化,房屋,台阶,还有照壁,然后对每一部分根据相应原理进行规则编写。

根据古建筑的建立过程,将 CityEngine 规则[]编写方式与传统建模方式进行对比,明显比对本设计中的建立方式更为优越。CityEngine 古建筑建模,

规则统一编写,前期设计时间长,后期实现和维护时间短,灵活性强。传统工具古建筑建模,需要建立多个图层、进行拼接,前期长,后期长,不灵活,不利于后续的修改和维护。

通过对文献[12]的研究,运用 3ds Max 方法进行建模,它的建模成果与实际有较大的偏差,精度不高,这对古建筑的场景复原效果不大。在《基于 SuperMap 的图形处理技术》中看出矢量图的精度与控制点的精度,密度还有分布情况有关,但控制点是通过人工操作,必然会有一定偏差,这就导致最终模型不够精确。

由于建筑建模实现原理主要是通过 CGA 文件编写来激活二维对象,驱使二维数据生成三维立体模型。CGA 是计算机生成器 (computer generated architecture)^[13-15] 的缩写,它有一系列的 CGA 规则(决定模型如何生成),在规则中调用函数就能实现相应的功能,所以本次设计的古建筑模型建立时所进行的每一步操作,都有具体的数字精度,这就促使最终完成的模型精确度很高,从而增加了场景的真实感,与现实实物有很高的还原度。

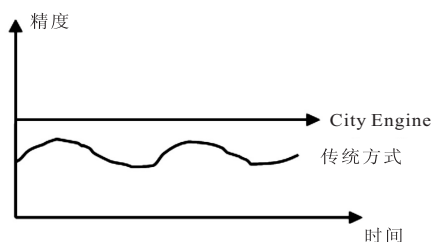


图 6 精度分析对比图

4 结束语

三维城市化建模的发展日新月异,但对于古建筑的计算机语言所形成的最后场景虚拟化还需要进行更深一步的研究与探索。文中以阆中古城的古建筑建模为研究方向来进行探讨,古镇模型主要包括了中国传统古建筑和教堂等,根据古镇内的不同建筑样式进行了设计,采用古建筑的建筑思想,分析了古建筑的结构,通过从中轴对称、旋转角度、稳定性结构和黄金比例进行设计,并采用了 CGA 语言进行规程模型的代码的编写,能快速实现复杂的古建筑模型。对于教堂模型,采用了结构分析,结构分割,拉伸模型设计、平移模型设计,缩放模型设计等,进行了 CGA 代码实现,可以通过改变文件中的相关参数即可实现对相应模型的调整、修改。该技术可以实现大规模区域不同建筑的生

成,极大地满足了城市规划和三维古建筑建模的需求,为古建筑三维建模技术提供了新的技术参考。

参考文献:

- [1] 郭武,关菁华. 中国古建筑的 L 系统建模新方法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(2): 789-792.
- [2] 王丹婷, 蒋友燊. 古建筑三维虚拟建模与虚实交互软件实现[J]. 计算机应用, 2017, 37(z2): 186-189.
- [3] 杜志强, 李德仁, 朱宜萱, 等. 基于 3D GIS 的木构建筑群三维重建与可视化[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(7): 1884-1889.
- [4] 薛峰, 张键, 陆华锋, 等. 一种徽派建筑快速建模方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(11): 1595-1600.
- [5] 龚雨, 刘媛, 王亮, 等. CGA 参数化快速建模的研究与实现——以雨母山古寺庙建筑群为例[J]. 测绘通报, 2017(4): 112-115.
- [6] 王星捷, 卫守林. 面向规则的三维古城虚拟技术的研究[J]. 计算机应用与软件, 2019, 36(5): 7-14.
- [7] 谢衍忆, 黄良平, 陈元增, 等. 基于 CityEngine 的城市三维快速建模方法及应用[J]. 地理空间信息, 2016(2): 39-40.
- [8] 何鸿杰, 颀耀文, 翟世常, 等. 规则的兰州古城三维建模方法[J]. 测绘科学, 2018, 43(8): 116-121.
- [9] 王星捷. 基于 MapGIS 三维数字城市的实现[J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(12): 96-98.
- [10] 袁连海. 面向规则的三维建模技术的研究[J]. 计算机技术与发展, 2019, 29(1): 194-197.
- [11] 李朝奎, 严雯英, 杨武, 等. 三维城市模型数据划分及分布式存储方法[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(12): 1442-1449.
- [12] 李永强, 牛路标, 杨莎莎, 等. 大型仿古建筑三维精细建模方法研究[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2015, 34(5): 640-644.
- [13] BUTNER J D, CRISTINI V, WANG Z. Development of a three dimensional, multiscale agent-based model of ductal carcinoma in situ[C]//39th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society. [s. l.]: IEEE, 2017: 86-89.
- [14] ZHANG C, MAO B. Distributed processing practice of the 3D city model based on HBase[C]//International conference on advanced cloud and big data. Shanghai: IEEE, 2017: 159-163.
- [15] KIM K H, WILSON J P. Planning and visualising 3D routes for indoor and outdoor spaces using CityEngine[J]. Surveyor, 2015, 60(1): 179-193.