

Structural Multi-Scale Semantic Modeling of 3D Building Models

Xuan Sun^{1,2}

¹Zhou Enlai School of Government, Nankai University, Tianjin

²Experimental Teaching Center for Applied Social Science, Nankai University, Tianjin

Email: sunxuan@nankai.edu.cn

Received: Sep. 22nd, 2018; accepted: Oct. 10th, 2018; published: Oct. 17th, 2018

Abstract

3D semantic building models conform to the construction needs of digital city and smart city. Structure is not only the main feature that distinguishes building models from those of the natural and ordinary man-made objects, but also the key factor which influences the recognition of human beings. Through structure recognition of 3D building models, we can obtain the shape and construction information of the original models, and build the semantic models that conform to the recognition habits of humans. This paper introduces the algorithms which are able to extract the constructive and functional semantics of the 3D building models from the perspective of structure recognition, and proposes the effective method to build multi-scale semantic model of 3D building models based on the geometric relationships between the main and detailed structures.

Keywords

3D Building Model, Structure Recognition, Semantic Modeling, Smart City

三维建筑物结构化多尺度语义建模

孙 轩^{1,2}

¹南开大学, 周恩来政府管理学院, 天津

²南开大学, 应用社会科学综合实验教学中心, 天津

Email: sunxuan@nankai.edu.cn

收稿日期: 2018年9月22日; 录用日期: 2018年10月10日; 发布日期: 2018年10月17日

摘 要

构建三维建筑物语义模型是数字城市和智慧城市建设需要。结构是建筑物模型区别于自然物体模型和

文章引用: 孙轩. 三维建筑物结构化多尺度语义建模[J]. 测绘科学技术, 2018, 6(4): 248-253.

DOI: 10.12677/gst.2018.64028

普通人造物体模型最主要的特征，也是人类模型认知的关键。通过对三维建筑物模型的结构进行识别，可以获得原始模型的形状和构造信息，进而建立符合人类认知习惯的语义模型。本文从结构识别角度介绍了三维建筑物模型的构造语义和功能语义信息提取算法，并提出基于主体结构和细节结构的几何关联性构建建筑物多尺度语义模型的有效方法。

关键词

三维建筑物模型，结构识别，语义建模，智慧城市

Copyright © 2018 by author 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

随着国家城镇化进程的推进，智慧城市当前已成为许多城市市政建设的重点内容。虚拟地理环境作为城市数字化管理的有效平台，是许多智慧化应用的基础。然而，为了对城市土地利用状况、房屋使用情况、人口分布模式等信息进行合理分析和利用，我们还必须在几何模型的基础上构建符合人类认知习惯的语义模型。建筑物作为城市地理环境中的最主要组成部分之一，其三维语义模型的构建对智慧城市建设具有重要意义。

以建筑领域专家为代表的众多学者曾提议通过 BIM (Building Information Model) 来实现三维建筑物精细化语义建模[1] [2]。但由于老旧建筑物大多建筑信息不全，而新建筑物往往又因为各种原因对其建筑细节进行保密，各大城市三维建筑物语义模型构建的进程举步维艰。与之对应，测绘和地理信息领域的学者则提出通过激光和摄影测量手段进行数据采集[3] [4] [5]，并通过三维建模手段构建三维建筑物语义模型的方法[6]。作为智慧城市建设的新思路，该方法方便、快捷，能够很好地满足国家地理国情普查和三旧改造的实际需要。但由于人类的认知过程和语义数据分析本身具有特定的尺度关联性，同一建筑物的几何模型存在着不同尺度下与之相对应的三维语义模型，如何基于测绘手段获取的几何模型构建统一的三维建筑物多尺度语义模型以满足不同部门的实际应用需要成为当前亟待解决的问题。

结构是三维建筑物模型区别于自然物体模型和普通人造物体模型最主要的特征，也是人类模型认知的关键。三维模型的语义信息与其几何结构之间存在着固有的联系，特定的语义属性在几何上往往会呈现出一些特殊的形态特征。虽然三维建筑物模型在语义上存在着尺度的差异，然而与不同尺度语义信息相对应的结构组件却在几何上存在着关联性。本文从宏观和微观两个方面对三维建筑物模型的主体结构 and 细节结构识别方法进行了介绍，并在此基础上对三维建筑物多尺度语义建模进行了探讨。

2. 建筑物三维语义模型的尺度特性

建筑物的三维语义模型是在其三维几何模型的基础上添加符合人类认知习惯的语义知识，将模型内部和表面的几何连接关系转化为其各组成部件间的实际语义联系，并能够承载城市管理所需的社会、人口、行政和地籍等各类属性信息的建筑物全息化数字模型。

在宏观层面，我们往往将建筑物的整体形状分为几个基本的结构部件，如屋顶、楼房，以及组成特定楼房的分层单元和主、附楼，这些共同反映了三维建筑物的构造语义信息。而在微观层面，建筑物在结构上则被认为是由许多更加具体的功能部件所组成，如阳台、窗户、门、烟囱等，这些描述了三维建筑物的功能语义信息。以前者为研究对象，我们可以构建三维建筑物的构造语义模型，以记录建筑物基

本结构部件间简单、直接的语义联系；而以后者为研究对象，我们则可以构建三维建筑物的功能语义模型，它能够展现建筑物细小功能部件间复杂、多样的语义联系(如图 1 所示)。

3. 主体结构识别与构造语义提取

从视觉感知效果来看，主体结构可以认为是模型在低分辨率渲染条件下的部件组织模式。由于人类的认知过程本身具有一定模糊性，因此我们通常可以迅速的掌握目标的主体结构，并根据主体结构的差异对目标进行分类识别。然而，利用计算机从三维建筑物模型中自动提取和识别其主体结构却是一个十分复杂的过程。

体元分析方法既可以从几何上对模型的空间分布范围进行描述，又能够有效防止表面细节特征对模型整体的形状造成影响，因此我们提出了一种基于结构化分割的建筑物模型主体结构提取算法[7]。该算法首先对建筑物模型进行体元化，计算每个内部体元与所有边界体元之间的最短距离，并将其作为体元特征参数构建空间距离场；然后运用极值判别方法，在各层空间距离场内提取能够有效表现建筑物在水平方向形状分布的局部中心体元，并对中心体元进行聚合；依据特定规则对模型内部体元和外部体元进行聚类，找到建筑物模型在空间上相对独立的主体结构单元；最后使用表面投影方式，将体元分析得到的建筑物模型主体结构识别结果扩展到模型表面，得到原始模型的结构化分割结果。一些典型三维建筑物模型的细节结构识别结果如图 2 所示。

4. 细节结构识别与功能语义提取

三维建筑物模型的细节结构可以通过对模型表面的几何特征进行提取和分析而获得。由于细节结构之间可能存在着重叠和嵌套等现象，特别是在类似建筑物模型的复杂三维模型中，细节结构的识别有时并不十分直观，必须综合考虑多个几何部件间的联系，通过特定的几何分析算法对其进行提取。

参照模型表面结构部件间的拓扑连接关系，我们将三维建筑物模型的细节结构分为嵌入结构、组成结构和连接结构三类，并借鉴图搜索算法对三类不同的细节结构进行有效提取[8]。该算法首先通过具有特殊约束的贪婪聚类算法对三维建筑物模型进行分割，得到组成该模型的所有几何平面；然后基于模型中相邻平面间二面角的凸凹性，构建对应的扩展属性邻接图；最后依据特定的图搜索规则分别对模型的三类细节结构进行提取和识别。一些典型三维建筑物模型的细节结构识别结果如图 3 所示。

5. 建筑物多尺度语义建模

三维建筑物模型的构造语义信息所对应的主体结构实际上表达的是模型的体组成，而其功能语义信

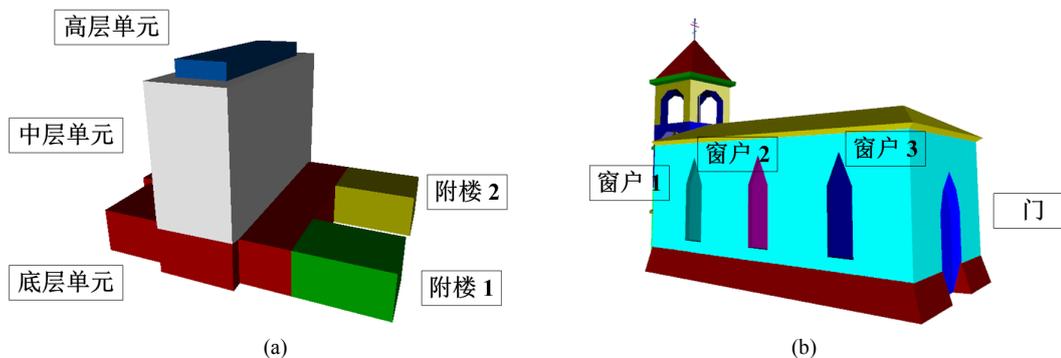


Figure 1. Multi-scale characteristics of the semantic building models in 3D space. (a) The constructive semantic 3D building model in 3D space in the macro scale; (b) The functional semantic 3D building model in the micro scale

图 1. 建筑物模型三维语义模型的多尺度特性。(a) 宏观尺度下，三维建筑物的构造语义模型；(b) 微观尺度下，三维建筑物的功能语义模型

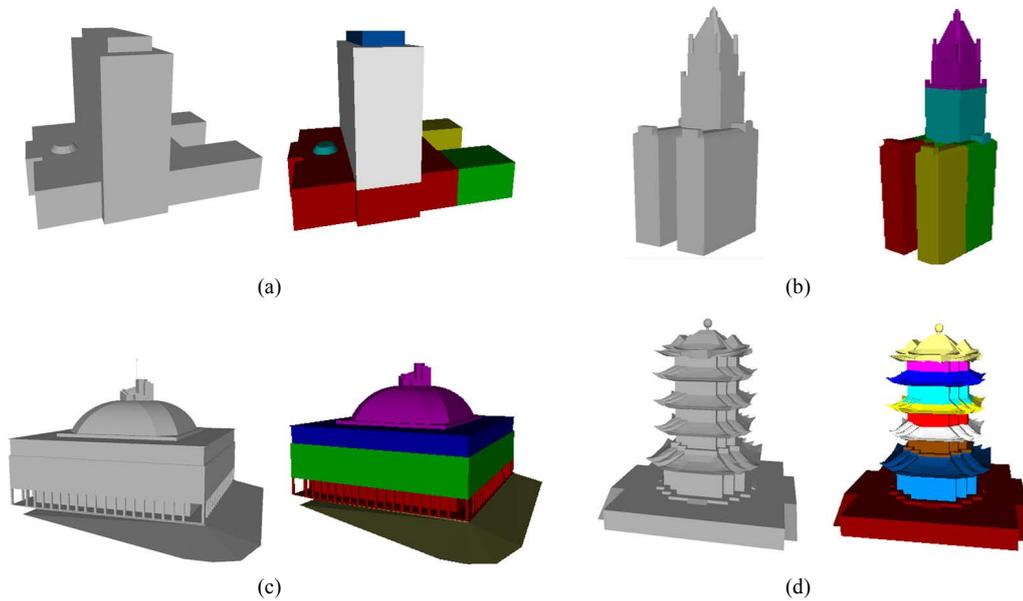


Figure 2. Recognition of the major structures of typical 3D building models
图 2. 典型三维建筑物模型主体结构识别结果

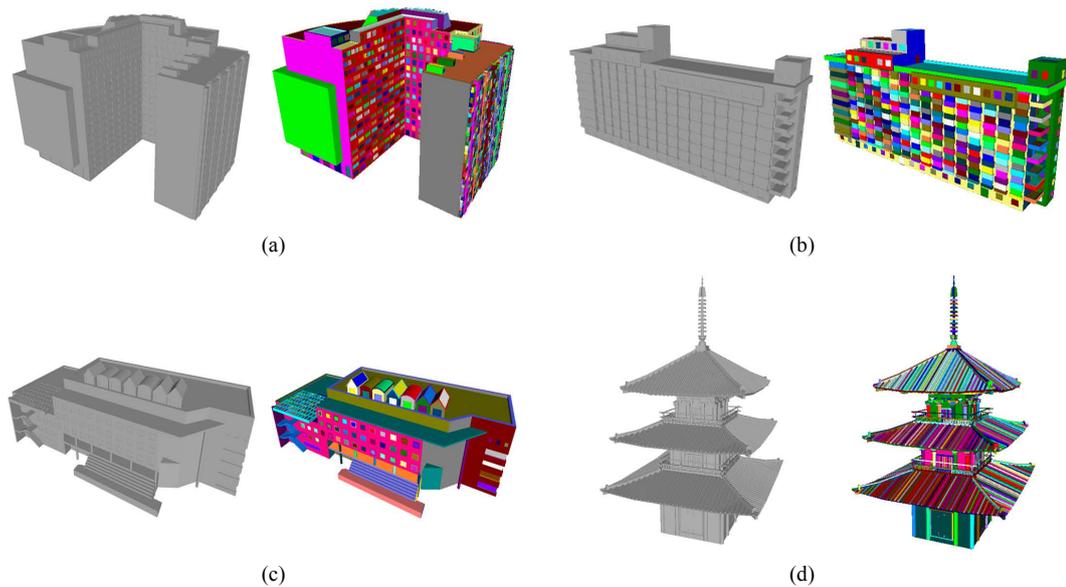


Figure 3. Recognition of the detailed structures of typical 3D building models
图 3. 典型三维建筑物模型细节结构识别结果

息对应的细节结构则反映了模型的表面特征。依据表面与体之间在几何上的构成关系，我们认为模型的功能语义可以被看作是其构造语义的组成元素，二者分别描述了三维建筑物模型在不同层次上的语义信息。具体而言，通过建筑物主体结构识别和细节结构识别过程，建筑物三维模型表面的每个面片都将同时对应两个归属关系，即主体结构归属关系与细节结构归属关系。将微观尺度下的细节结构作为语义模型的基本单元，对每个细节结构组成平面的主体结构归属关系进行判别，我们即可将该功能语义对象划分到特定的上层构造语义对象中，并最终构建统一的三维建筑物多尺度语义模型(如图 4 所示)。

在细节结构与主体结构进行关联的过程中，各细节结构可能存在有两种不同的归属情况，即：1) 细

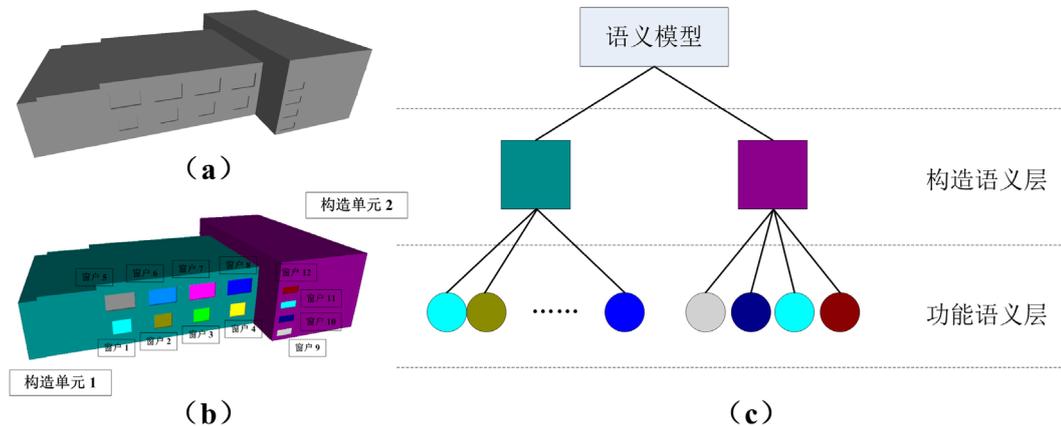


Figure 4. Multi-scale semantic modeling of the building. (a) The 3D geometric building model; (b) The multi-scale semantic building model; (c) The hierarchical relationship of the multi-scale semantic model

图 4. 建筑物多尺度语义建模。(a) 三维建筑物几何模型；(b) 三维建筑物多尺度语义模型；(c) 多尺度语义模型的层次关系

节结构属于单一主体结构；2) 细节结构属于多个主体结构。前者在三维建筑物模型中最为常见，只有在一些形状比较特殊的建筑物中会有个别细节结构属于后者。对于前者，我们直接将该细节结构对应的功能部件划分到特定构造部件中即可；而对于后者，我们则需要对该功能结构的归属关系进行一些额外的判定，如：最简单的方法是通过“投票”原则将该细节结构划分到大多数组成片面所属的主体结构中。

6. 结语

三维建筑物语义模型具有尺度特性，不同的应用根据其需求不同，往往对三维建筑物语义认知的尺度也不同。本文对三维建筑物多尺度语义建模进行了一些前期的探讨和研究，介绍了通过主体结构和细节结构识别对三维建筑物模型构造语义和功能语义信息进行提取的有效算法，并提出基于主体结构和细节结构的几何关联性构建建筑物多尺度语义模型的方法。

后期的研究将集中于室内、室外一体化的三维建筑物多尺度语义模型的构建，并从智慧城市的实际应用出发，对语义模型的有效性进行深入探讨。

基金项目

国家自然科学基金项目(41501427)；中央高校基本科研业务费专项资金项目(NKZXB1483)。

参考文献

- [1] Cerovsek, T. (2011) A Review and Outlook for a 'Building Information Model' (BIM): A Multi-Standpoint Framework for Technological Development. *Advanced Engineering Informatics*, **25**, 224-244. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.06.003>
- [2] Isikdag, U., Zlatanova, S. and Underwood, J. (2013) A BIM-Oriented Model for Supporting Indoor Navigation Requirements. *Computers, Environment and Urban Systems*, **41**, 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.05.001>
- [3] Yang, B., Wei, Z., Li, Q. and Li, J. (2012) Automated Extraction of Street-Scene Objects from Mobile Lidar Point Clouds. *International Journal of Remote Sensing*, **33**, 5839-5861. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.674229>
- [4] Nan, L., Sharf A., Zhang H., Cohen-Or, D. and Chen, B. (2010) Smart Boxes for Interactive Urban Reconstruction. *ACM Transactions on Graphics*, **29**, 1-11. <https://doi.org/10.1145/1778765.1778830>
- [5] Furukawa, Y., Curless, B., Seitz, S. and Szeliski, R. (2010) Towards Internet-Scale Multi-View Stereo. 2010 *IEEE*

Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Francisco, 13-18 June 2010, 1434-1441. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2010.5539802>

- [6] 朱庆, 胡明远. 基于语义的多细节层次 3 维房产模型[J]. 测绘学报, 2008, 37(4): 514-520.
- [7] 孙轩, 杨必胜, 李清泉. 基于体元分析的三维建筑物模型结构化分割方法[J]. 测绘学报, 2011, 40(5): 582-586.
- [8] Li, Q., Sun, X., Yang, B. and Jiang, S. (2013) Geometric Structure Simplification of 3D Building Models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **84**, 100-113. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.07.006>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-549X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

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

期刊邮箱: gst@hanspub.org