

基于 MSSR 的徽派建筑快速建模方法*

薛峰, 曹诗蔚

(合肥工业大学 计算机与信息学院, 合肥 230009)

摘要: 为了实现徽派建筑等特色建筑的快速建模,在总结现有城市建模技术的前提下,结合皖南徽派建筑的构造特点,提出了一种由模块、结构、风格、资源四个要素构成的建筑表示模型以及基于该模型的快速建模方法;并给出使用该建模方法的徽派建筑场景效果图,说明该算法适合于类似徽派建筑的特色建筑的快速、自动建模。

关键词: 建筑建模; 徽派建筑; 参数化; 模块化

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2010)08-3141-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.08.089

Rapid Anhui styled architecture modeling based on MSSR

XUE Feng, CAO Shi-wei

(School of Computer & Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: This paper proposed a new rapid modeling for traditional Chinese architecture like Anhui styled architecture. At first summarized urban modeling methods, and then introduced an intuitive building model representation, called MSSR, which consisted of modules, structures, styles and resources of Anhui styled architecture. Based on this MSSR representation, proposed a novel modeling method of Anhui styled architecture. Finally, present some experimental results, which shows that the method is fit for rapid modeling of Anhui styled architectures.

Key words: architecture modeling; Anhui styled architecture; parameterization; module creation

近年来,随着影视产业、游戏产业及城市数字化工程对虚拟场景的需求日益增加,大规模城市场景的计算机辅助建模越来越引起研究人员的关注。由于在大规模城市场景中建筑体不仅数目众多,而且形状各异,场景的复杂度较高,采用传统的基于 CAD 建模软件(如 3DMAX、AutoCAD 等)进行手工建模的方法成本较大,难以应付这类需求。因此,近几年来国内外学者对虚拟城市、大场景建筑群的快速、自动 CAD 建模进行了深入的研究,并取得了较好的效果。目前,这些虚拟建筑体(群)的自动建模方法大致可以分为以下两类:

a) 基于规则的自动建模方法。这类方法包括基于 L 系统和基于形状语法(shaper grammar)的建模方法,主要用于城市建筑群的自动生成^[14],其基本目标是使用最少的参数约束,实现城市三维建模的高逼真度、高自动化。Stiny 等人^[2]提出的方法证明了基于形状语法的建筑体几何建模是可行的。Wonka 等人^[3]给出一种即时建筑建模方法,通过在形状语法的基础上增加建筑体的属性语法(attribute grammar)和建筑生成过程中的控制语法(control grammar),有效地提高建筑物局部细节,改善了文献[2]中的不足。Müller 等人^[5,6]基于 split grammar 和 computer graphics architecture 的城市自动建模方法,成功地实现了意大利古都——庞培的自动建模。

b) 基于模块化、参数化的特色建筑建模技术。对于特色建筑体建模,由于受到建筑风格的约束,建筑体细节丰富、造型复杂,利用一般形式化的方法来实现比较困难。Birch 等人^[7]设计出生成当地民居的三维模型系统,以构建出丰富多彩的房

屋模型,但是过于依赖用户的交互,自动性不够。此后,Birch 等人^[8]又提出一种基于过程的建模技术,可以快速构建一些古建筑物模型。Ullrich 等人^[4]通过采集真实的模型,并对模型进行语义描述,构建可索引的模型库来辅助生成建筑体。Liu Yong 等人^[9]采用模块化思想和递归的形状语法实现了江南民居的快速建模,取得了良好的效果。随后,该研究组又提出一种基于语义的建模(semantic modeling)方法,简化用户建模操作^[10]。刘波等人^[11]通过综合模板库与规划图方法生成大规模城市场景,效果显著。

皖南徽派建筑具有鲜明的地域、文化和民族特色,其典型代表——黄山西递、宏村古民居已列入世界文化遗产保护地。研究徽派建筑的建模技术方法,对于保护徽派历史文化遗产具有重要意义。本文以徽派建筑的模块化结构为出发点,深入分析其布局、结构、模块特征,研究并提出了基于模块(module)、结构(structure)、风格(style)、资源(resource)四个要素(MSSR)的建模方法,实现徽派建筑的快速、自动建模。其本质是基于模块的参数化建模方法,但通过分离四种要素,使模块设计与结构组织解耦,同时引入风格来复用相同特征参数,相比较基于规则的建模方法,它更适合模块丰富、风格迥异的徽派特色的建筑场景建模。

1 算法的基本流程和徽派建筑的 MSSR 模型表示

分析徽派建筑及其环境,可以看出徽派建筑存在清晰的组合层次关系。在前期研究成果的基础上^[12,13],笔者发现典型

收稿日期: 2010-01-26; 修回日期: 2010-03-02 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60575023);安徽省自然科学基金资助项目(090412059,090412065)

作者简介: 薛峰(1978-),男,安徽舒城人,副教授,博士,主要研究方向为计算机图形学;曹诗蔚(1985-),男,安徽岳西人,硕士,主要研究方向为计算机图形学(caoshiwei@gmail.com)。

的徽派建筑均可通过固定的建筑模块(门、窗、墙、马头墙、天井、厢房等),按照其建筑结构特征进行组合,得到单体建筑模型。如图 1 所示,一个单体徽派建筑可由固定的建筑模块,辅以一定的细节修饰,按照一定的布局结构组合而成。基于此认识,对徽派建筑的建筑特点进行深入分析,结合徽派建筑的建筑模块丰富、结构相对稳定、风格装饰细腻的特点,提出了一种基于模块、结构、风格、资源四个要素(MSSR)的徽派建筑模型的快速建模方法。其中,模块用于表示建筑体中常见的构成单元如门、墙等;结构用于表示建筑框架结构如房屋结构、四合院结构;风格用于记录模块和结构的特征参数如门的尺寸、纹理类型;资源用于记录与模块和结构相关的纹理图片等元素。

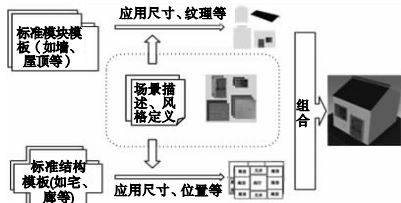


图1 徽派建筑建模模块组合示意图

2 基于 MSSR 的徽派建筑快速建模方法

2.1 算法建模流程

如图 2 所示,基于 MSSR 的建模方法中以建筑的 XML 描述为输入,经过建模系统处理输出建筑场景几何模型。其中 MSSR 建模系统是本文的研究重点,包含三个子系统,即建筑描述文件解析子系统、建筑场景渲染子系统和徽派建筑基础数据库。其中徽派建筑基础数据库包括模块库(M)、结构库(S)、风格库(S)、资源库(R)。

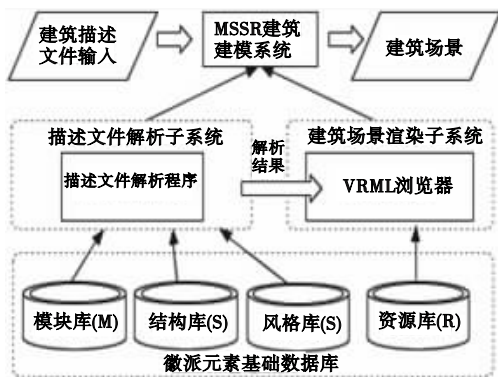


图2 基于MSSR的徽派建筑建模流程

在图 2 所示的建模过程中,首先由解析程序加载场景描述文件,自动识别其中的建模结构元素和模块元素,根据徽派建筑元素基础数据库提供的结构、模块信息,将建筑模型信息编译成场景渲染子系统可以识别的文件格式(如 VRML 虚拟现实建模语言);然后,由场景渲染子系统对建筑体(群)场景进行加载、绘制;最后输出建筑体(群)场景。本文的实验原型系统中,建筑描述文件采用自定义 DTD 的 XML 格式,场景渲染系统采用 VRML 浏览器。

在上述流程中提及的建筑体(群)XML 描述文件设计的具体过程如下:

- a) 将建筑场景按照基础数据库中的结构进行划分,为每个结构所涉及的模块设计具体的特征参数。
- b) 把相同结构或模块的参数归纳到自定义风格文件,把难以参数化的模块使用外部资源文件表示。

c) 使用 XML 文件对上述模块、结构、风格及资源进行组织,生成建筑场景描述文件。

d) 将描述文件输入建模系统检验是否满足要求,如果不满足则进行调整。

下面分别介绍图 2 中基于 MSSR 的徽派建筑快速建模方法的两个关键部分:徽派建筑元素基础数据库(MSSR)的构建、结构文件的解析方法。

2.2 基础数据库的构建

要实现基于 MSSR 的徽派建筑快速建模,首先要根据徽派建筑特征,构建徽派建筑元素的基础数据库,主要包括建筑模块数据库、建筑结构模式库、建筑风格数据库以及表示建筑细节的资源数据库。

基础数据库的构建过程分为以下三个步骤:

- a) 对现有建筑进行考察,通过分析现有建筑模块之间的组合方式,总结出典型模块和建筑结构。
- b) 使用基本图元(如点、线、多边形等基本几何元素)对典型模块进行描述,提取典型模块的特征参数,对模块进行参数化处理,建立模块库;对典型结构进行形式化描述,提取其特征参数,建立结构库;将建立模块库和结构库的过程中产生的资源文件纳入资源库进行管理。

c) 整理建筑中的典型模块实例和结构实例的特征参数,建立风格库。

按照上述步骤,本文对典型的徽派建筑——皖南民居进行实地考察和图片分析,得出徽派建筑的基本模块、基本结构以及常见的平面布局结构,如表 1、2 所示。

表1 徽派建筑的基本模块与结构

模块名	代号	模块描述	特征参数	相关纹理资源
屋顶	ROOF	屋顶主要以坡屋顶的形式出现,包括单坡、双坡及其组合而成的四坡屋顶、天井等	位置向量、方向向量、长度、宽度、张角、纹理	
墙	WALL	墙是最基本的建筑形式,是建筑最主要的构成部件,是屋顶的支撑体和墙面装饰及门、窗的载体	位置向量、方向向量、长度、高度、宽度、纹理	
窗	WINDOW	通过与门、墙模块一起构成完整的门窗墙模块	位置、方向、长、宽、纹理	
门	GATE	门纹理的载体,与墙组合成门窗墙模块	位置、方向、长、宽、纹理	

表2 徽派建筑常见的平面布局结构

布局类型	布局描述	布局平面图
“凹”字型	即三间式。为三间一进楼房,有厢房的称“一明两暗”,没有厢房的三间朝天井露明,称为“明三间”。明三间一般是在多单元组合的群屋中作大厅,又称“大厅式”。天井两侧用廊衔接	
“回”字型	即四合式,为三间两进楼高度房,是两组三间式相同的组合,即门厅与客厅相对的四合式组合	
“H”字型	俗称三间两进堂。中间为两个三间式相背组合。前后各有一个天井。前天井一侧沿正面高墙,后天井一侧沿屋后高墙	
“目”字型	为三间三进式。每进以三间式为一单元,按中轴线纵向排列三进,每进之间以天井分隔,天井两侧以廊连接。这种组合可以在纵向多单元延伸,如四个三间式单元,即为“目”型	

在建立徽派建筑模块库和结构库的过程中,将模块表面绘制所需要的纹理以及难以参数化的复杂三维模型(如典型的马头墙)等资源文件进行分类整理,建立建筑资源数据库。同时收集整理常见的模块和结构的属性参数,建立建筑风格数据库。

2.3 基于 MSSR 的自动建模方法

结合图 2 所示的 MSSR 建模系统架构,基于 MSSR 的徽派

建筑快速建模流程如下:结构解析子系统读取建筑体(群)描述文件和风格文件,根据基础数据库提供的信息进行解析,并使用图元(如点、线、多边形等基本几何元素)表示建筑场景,生成场景模型文件。最后,将生成的模型传递给场景渲染子系统,进行建筑场景的可视化。具体的执行流程如图 3 所示。

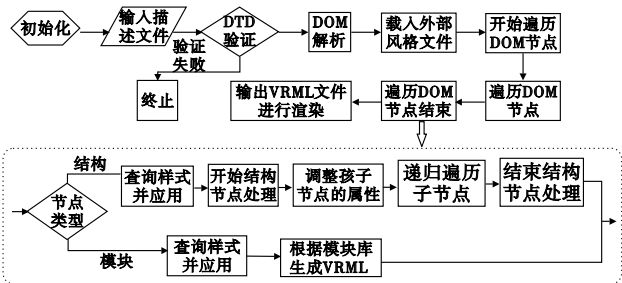


图3 基于MSSR的建筑建模结构文件解析流程

a) 系统初始化。将基础模块、基础结构、默认风格注册到系统中,完成基础数据库的初始化。

b) 输入建筑描述文件,验证文件有效性。利用 DTD 文档类型定义验证描述文件的结构,解析成 DOM 形式。

c) 读取并解析建筑风格文件,与默认风格文件进行合并。

d) 遍历建筑场景的节点,这些节点分为模块和结构类型,按以下步骤进行处理:

(a) 调用风格管理程序应用风格(风格应用顺序为标签、类、ID、内联),根据风格来调整节点参数。

(b) 如果当前节点为模块,调用模块管理程序处理节点。根据模块的特征参数实例化模块模板,将模块用图元进行描述并返回。

(c) 如果当前节点为结构,调用结构管理程序处理节点。根据结构的特征参数,调整组成该结构的子节点的相关属性;然后,对子节点进行递归遍历。

e) 遍历结束,将生成的建筑体(群)的图元描述输入场景渲染子系统,由其进行可视化,并输出最终的建筑场景。

在图 3 所示的执行流程中,通过合并自定义的风格文件与默认风格文件,并将之映射到模块节点和结构节点,从而调整模块的默认属性。这样做的优点是:每个模块、结构初始时都具有默认风格,用户既可以在建模时直接使用,也可以通过覆盖部分属性对默认风格进行修改,实现模块、结构的定制,从而降低建筑描述文件的复杂度,减少建筑场景描述工作,提高建模效率;另一方面,将模块与风格分离,便可通过改变风格文件,使同一结构或模块具有不同的建筑样式,提高生成建筑体的多样性。

3 实验结果与讨论

本文使用 XML 格式文件定义建筑描述文件,按照 Smarty 语法^[14]进行模板化处理,并采用 VRML 浏览器对本文算法所创建的模型进行了显示、验证。如图 4 所示,系统以左半部分简单的 XML 格式结构描述文件为输入,利用本文 MSSR 建模方法得到如图 4 右半部分的单体建筑场景。

图 5 给出了表 2 中所示的“回”字型、“凹”字型、“目”字型、“H”字型平面布局的徽派建筑模型建模效果。由图 5 可以看出,系统可根据输入描述文件对其进行解析,并从基础数据库中自动加载相应建筑模块,应用相应的建筑风格和资源,自动生成不同平面布局、不同风格的徽派建筑模型。

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
- <building>
  <base/>
- <room height="3">
  <base/>
  <wall type="4"/>
  <wall/>
  <wall/>
  <wall/>
  <roof/>
</room>
</building>
```



图4 由MSSR系统生成的典型的徽派建筑单体

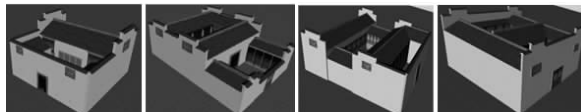


图5 最简单的房屋描述文件及其造型

为了说明本文算法的有效性,笔者将几个不同平面布局的描述文件进行组合,然后采用本文建模方法得到如图 6 所示的更大规模的建筑群场景。由于在建模过程中,对多个相同结构仅需要执行一次解析,本文算法对于模块大量重复存在的大规模建筑场景,可以有效提高建模效率,节省时间。如表 3 所示,对大场景优势明显。

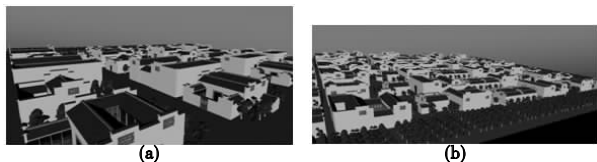


图6 由MSSR系统生成的徽派街区场景

表 3 MSSR 建模方法的描述文件解析时间

序号	房屋数量/幢	解析时间/ms
1	100	50
2	500	152
3	1 000	177

4 结束语

徽派建筑风格突出、样式丰富、造型细腻,因此大场景的建筑体(群)建模是一个复杂工程。本文在总结徽派建筑特点的基础上,提出基于 MSSR 模型的建筑表示方法及其建模流程。其根本思想是,抽象建筑模块及建筑结构以模块化手段,通过特征参数化的方式对这些信息进行形式化描述,利用风格对重复特征参数进行表达,并自动映射到模块与结构当中。该方法不仅适用于徽派建筑的自动化建模,而且经过简单的扩展可应用于其他特色建筑的场景建模。但是,由于 MSSR 中的模块、结构特征参数的个数与场景模型的精细度有关,精度越高,要求的特征参数越多,因此,MSSR 很难应付精细度要求较高的场景建模。此外,本文中的建模方法依赖于 XML 格式的建筑描述文件,如何快速生成准确的建筑描述文件是笔者下一步需要深入研究的课题。

参考文献:

[1] PARISH Y I H, MÜLLER P. Procedural modeling of cities [C]// Proc of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive techniques. New York:ACM Press,2001:301-308.

[2] STINY G. Pictorial and formal aspects of shapes and shape grammars [M]. Basel, Switzerland: Birkhauser,1975:107-114.

[3] WONKA P, WIMMER M, SILLION F, et al. Instant architecture [J]. ACM Trans on Graphics,2003,22(4):669-677.

[4] ULLRICH T, SETTGAST V, FELLNER D W. Semantic fitting and reconstruction [J]. Journal on Computing and Cultural Heritage, 2008,1(2):560-574.

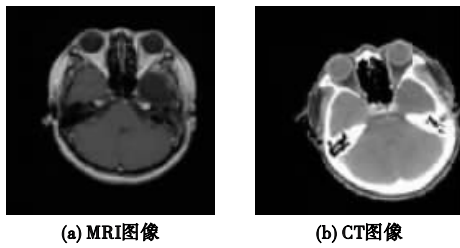


图1 参考图像和浮动图像

表1 配准算法的性能比较

算法	Δ_x	Δ_y	$\Delta\theta$
PSO	-11.00	-9.60	-16.53
CRPSO	-11.00	-9.72	-16.70
CPSO	-11.00	-9.82	-16.82
CRCPPO	-11.00	-10.00	-16.98

算法	平均时间/s	最短时间/s	平均最大互信息
PSO	25.488 9	15.358 3	1.364 8
CRPSO	18.601 0	11.893 6	1.365 2
CPSO	61.409 3	45.319 2	1.369 3
CRCPPO	45.655 6	31.813 5	1.370 0

由结果可以看出, PSO 算法虽然收敛速度很快,但是找到的只是全局最优解附近的一个较优解;基于遗传思想改进的 PSO 算法(CRPSO)可以更好地搜索粒子间的空间,两个在不同局部最优点的粒子经过繁殖后,明显加快了配准算法的收敛速度,而且找到了同样好或者更好的解;基于混沌思想的 PSO 算法(CPSO)以粒子群当前搜索到的全局最优位置为基础迭代产生一个混沌序列,然后将序列中的最优粒子位置随机替代当前粒子群中某一粒子的位置并进行迭代,在解决了因为粒子停滞导致的算法早熟问题的基础上明显提高了配准的精度,然而这种算法所需要的时间很长。本文提出的混合算法,克服局部极值方面较 PSO 经典算法有明显优势,在保证精度的前提下,收敛速度比 CPSO 有较大提高,可以有效应用于多模态医学图像的配准中。

5 结束语

用最大互信息作为医学图像配准测度进行配准,由于无须进行分割和特征提取,避免了由这些预处理所造成的精度损失,也容易实现配准过程的自动化;对两幅待配准图像关联特征的先验知识要求比较低,其配准的鲁棒性也就比较强。使用基于遗传思想改进的混沌粒子群优化算法,不仅找到了与混沌

粒子群优化算法同样好甚至更好的解,而且加快了算法的收敛速度。本文只对 CT 和 MRI 图像的二维刚性体配准进行了实验,但很明显,本文的方法也适合于其他模式,适合于三维刚性体以及非刚性体的非线性配准,只不过随着配准参数的增加,配准所需要的时间明显加长。要把此方法应用于临床,还需要进一步研究优化算法以提高方法的配准速度,这也正是笔者下一步研究的目标。

参考文献:

- [1] BROWN L G. A survey of image registration techniques[J]. *ACM Computing Survey*, 1992, 24(4):325-376.
- [2] MAES F, COLLIGNON A, VANDERMEULEN D, *et al.* Multimodality image registration by maximization of mutual information[J]. *IEEE Trans on Medical Imaging*, 1997, 16(2):187-198.
- [3] HOLDEN M, HILL D L G, DENTON E R E, *et al.* Voxel similarity measures for 3-D serial MR brain image registration[J]. *IEEE Trans on Medical Imaging*, 2000, 19(2):94-102.
- [4] HE Ren-jie, PONNADA A N. Global optimization of mutual information: application to three dimensional retrospective registration of magnetic resonance images[J]. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 2002, 26(4):277-292.
- [5] YASUDA K, IWASAKI N, IDE A. Adaptive particle swarm optimization[C]//Proc of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 2003:1554-1559.
- [6] 高鹰, 谢胜利. 免疫粒子群优化算法[J]. *计算机工程与应用*, 2004, 40(6):4-6.
- [7] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization[C]//Proc of IEEE International Conference on Neural Networks. Perth: IEEE Press, 1995:1942-1948.
- [8] EBERHART R C, SHI Yu-hui. Particle swarm optimization: developments, applications and resources[C]//Proc of Congress on Evolutionary Computation. 2001:81-86.
- [9] LIU Sheng-song, HOU Zhi-jian. Weighted gradient direction based chaos optimization algorithm for nonlinear programming problem[C]//Proc of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation. 2002:1779-1783.
- [10] 李, 胡云昌, 余建星, 等. 加速混沌变尺度混合优化算法[J]. *系统工程学报*, 2002, 17(1):41-44.
- [11] 高鹰, 谢胜利. 混沌粒子群优化算法[J]. *计算机科学*, 2004, 31(8):13-15.
- [12] LOVBJERG M, RASMUSSEN T K, KRINK T. Hybrid particle swarm optimizer with breeding and subpopulation[C]//Proc of the 3rd Genetic and Evolutionary Computation Conference. 2001:607-614.

(上接第 3143 页)

- [5] MÜELLER P, ZENG Gang, WONKA P, *et al.* Image-based procedural modeling of facades[J]. *ACM Trans on Graphics*, 2007, 26(3):85.
- [6] MÜELLER P, WONKA P, HAEGLER D, *et al.* Procedural modeling of buildings[J]. *ACM Trans on Graphics*, 2006, 25(3):614-623.
- [7] BIRCH P, JENNINGS V, DAY A M, *et al.* Procedural modeling of vernacular housing for virtual heritage environments[C]//Proc of ACM Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques: Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage. New York: ACM Press, 2001:187-196.
- [8] BIRCH P J, BROWNE S P, JENNINGS V J, *et al.* Rapid procedural-modeling of architectural structures[C]//Proc of Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage. New York: ACM Press, 2001:28-30.
- [9] LIU Yong, XU Cong-fu, PAN Zhi-geng, *et al.* Semantic modeling project: building vernacular house of southeast China[C]//Proc of

ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry. New York: ACM Press, 2004:412-418.

- [10] LIU Yong, XU Cong-fu, ZHANG Qiong, *et al.* Ontology based semantic modeling for Chinese ancient architectures[C]//Proc of the 21st National Conference on Artificial Intelligence (AAAI). Boston, Massachusetts: AAAI, 2006:16-20.
- [11] 刘波, 王章野, 王丽英, 等. 大规模城市场景的高效建模及其实时绘制[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2008, 20(9):1153-1162.
- [12] 薛峰, 张键, 陆华峰. 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):1596-1600.
- [13] 薛峰, 张键, 陆华峰. 基于图的广度遍历的徽派建筑快速建模方法[C]//全国第 19 届计算机技术与应用(CACIS)学术会议论文集(下册). 2008.
- [14] HAYDER H, MAIA J P, GHEORGHE L. Smarty: PHP template programming and applications[M]. Birmingham: Packet Publishing, 2006:20.