

中国古建筑的 L 系统建模新方法

郭武, 关菁华

(大连外国语学院 软件学院, 辽宁 大连 116044)

摘要: 中国古建筑的数字化保护问题日益成为计算机和建筑学科的研究重点,但其结构巧妙、类型丰富,且建模工程耗时等,给研究工作带来很多挑战。针对上述问题,提出了一种快速的数字建模方法,通过深入分析并抽取建筑特征,建立了古建筑 L 系统构件模型库及构件特征库,利用虚拟装配过程控制创建真实、精确的虚拟古建筑 3D 模型。结果表明,这种方法具有建模精确、生成快速等优点,可对中国古代建筑遗产进行有效的数字保护。

关键词: 建模; 宝塔; 建筑; L 系统

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)02-0789-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.02.105

New model method for ancient Chinese architecture with L system

GUO Wu, GUAN Jing-hua

(College of Software, Dalian University of Foreign Languages, Dalian Liaoning 116044, China)

Abstract: The preserving of the digital heritage for Chinese ancient architecture is the important part of architecture, and is becoming the research focus of computer researchers and architects. However, many challenges still exist in conducting pagoda modeling: the ancient Chinese architecture is of a great variety in structures and shapes, and the modeling task is time-consuming. To address these challenges, developed and applied a rapid digital modeling system in ancient Chinese pagoda. To implement the pagoda modeling system, this paper built a component model library of pagoda by L system and a corresponding component feature library in advance by deeply studying the Chinese architecture. The virtual assembly process ensured the coherent architecture styles of ancient pagodas. Because of the advantages (accurate modeling and rapid generating) of this modeling system, it can be applied to the preserving of the digital heritage in China ancient architecture.

Key words: modeling; pagoda; architecture; L system

0 引言

中国古代建筑遗产的数字遗产保护工作越来越受到人们的广泛关注。目前,除了用一些商业软件手工建模外,越来越多的自动建模技术应用到了数字化遗产保存工作中。自动建模是通过程序控制实现建筑模型的生成,利用形状语法或带参数的形状语法^[1]建模是其一种方式。通过使用这一建筑分析和设计工具,建模规则可从现有建筑物中抽取^[2],并且可以用一组建模规则设计出一些新的建筑^[3]。Muller 等人^[4]使用形状语法构建了城市道路网络模型,后来他与 Wonka 共同提出了一种通过建筑的校正图生成的过程模型^[5]。其中统计技术用来识别重复的特征(如窗户和地板),并且这些特征用来组装过程模型。但是,这些由形状语法写出的规则是基于二维或三维形状的,计算机并不能直接识别和表示这些形状规则,只能由建筑师决定选择和推导规则。所以,这不适合建筑结构的自动建模。Yoav 等人^[6,7]提出了一种使用随机的参数 L 系统生成建筑物的几何形状。参数 L-System 在植物造型方面具有很大的优势^[8]。在文献^[6]中,一种扩展 L-System 用来生成一个城市的街道,并使用城市的人口密度、高度图和水域图等作为输入参数影响这些街道的生成。Aliaga 等人^[9]提出了一种根据用户的绘制生成建筑模型的交互式系统。Liu 等人^[10]提出了一种基于语义的建模方法,利用改进的语法系统的产生

式对中国南部民宅进行建模,但其自动化程度较低。Du 等人^[11]提出了基于 3D GIS 的中国唐代木结构建筑的建模系统,其中将 LOD 策略与 CAD 数据相结合实现了虚拟漫游,但其存在数据量过大而速度缓慢的现象。文献^[12]提出了一种基于规则的自动建模算法,其使用地面激光扫描仪采集点云,对中国传统建筑的木制构件进行了详细分类,并用 CSG (构造几何法)表示,但其建模成本较高。

对中国古建筑进行数字建模和表示是一个复杂的过程,其中包括许多结构性和技术性的问题。因为中国每个朝代的每类建筑风格都具有各自的环境、特征和建筑目的,目前为止还没有一种通用的中国古建筑的建模方法。本文主要以我国古代宝塔为研究对象(主要以唐宋时期的宝塔为主),结合国外的研究经验,通过深入分析和研究中国古塔的建筑原理,提出了一种快速的过程建模方法,它大大地简化了传统的建模过程。其思想是开发一个鲁棒地表示建筑构件、构件之间的连接及其连接规则的数据模型,其建模的构建粒度从基本图元增大到构件,加快了建模速度;而且利用 L 系统的优势(其中用形状类型列表和结构特征表)来简化建筑数据库的概念。

1 中国古塔建模方法概述

我国的佛塔按建筑材料可分为木塔、砖石塔、金属塔、琉璃塔等,两汉南北朝时以木塔为主,唐宋时砖石塔得到了发展。

收稿日期: 2011-06-07; 修回日期: 2011-07-15

作者简介: 郭武(1972-),女,山东莘县人,副教授,博士,主要研究方向为计算机图形学、虚拟现实、图像处理(guowurita@gmail.com);关菁华(1979-),女,吉林长春人,讲师,博士,主要研究方向为智能工程、数据挖掘。

按类型可分为楼阁式塔、密檐塔、喇嘛塔、金刚宝座塔和墓塔等。塔一般由地宫、基座、塔身、塔刹组成,塔的平面以方形、八角形为多,也有六角形、十二角形、圆形等形状。塔有实心、空心,单塔、双塔之分。为了准确、真实地表现中国古塔的外部姿态,并实现快速高效的自动化建模,本文分析了大部分唐、宋代古建筑的建筑特点,抽取其建筑规则生成了古建筑模型特征库。另一方面,为了快速、逼真地表现古建筑的外部形态,根据古建筑的结构对称性及相似性将其分解成多个可以重用的构件,使用 L 系统技术建立构件模型库,利用虚拟装配技术使其得到有效控制。

灵活性和可扩充性是本系统的另一个重要目标,其利用构件重用技术将 L 系统高度封装,满足了各构件可重用、易于管理和升级等特点。其系统框架如图 1 所示。

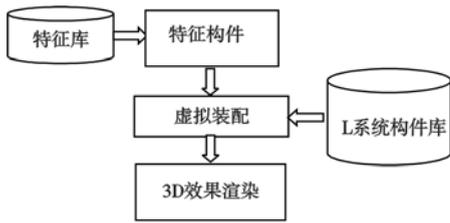


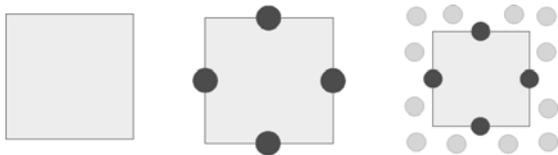
图1 框架结构

2 特征库

2.1 建筑样式

CAP 的风格主要表现在塔基、塔身和塔刹三个方面。它们各自的特点代表着 CAP 的基本结构变化(以方形塔为例)。

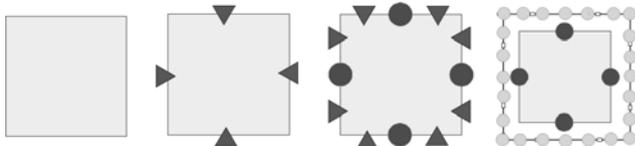
a) 塔基样式。其决定整个古塔的规模。如图 2 所示,它有三种不同的样式。



浅色圆点代表围廊廊柱,深色圆点代表塔门;正方形边代表塔墙

图2 塔基样式

b) 层塔样式。塔身包括塔墙和塔檐。塔墙的样式有四种(图 3),塔檐有一般塔檐和挑檐两种样式。



深色圆点代表门、深色三角形代表开窗;浅色圆点代表围廊廊柱;正方形边代表塔墙

图3 层塔样式

c) 塔刹样式。塔刹样式为塔的缩影,其结构分为刹座、刹身和刹顶三部分。

针对每个样式,本文都有相应的一组规则子集来描述它。

2.2 特征库的生成

构建特征库(规则库)是从文献[13,14]中的唐、宋代古建筑结构中抽取出来并形式化成的一些布尔函数。建筑元素如门、开窗、柱子、檐、梁等都可以看做是建筑语法中的构件。它们的所有参数作为属性。本文参考中国建筑历史文档,将其建筑规则解释并分为四类,分别包括形状、尺寸、位置和装配等规则^[8]。

a) 形状规则。如一个梁定义为一个方形,在 L 构件库中,

一个方形由九个参数与之对应,其中三个参数是表示旋转的四元组,三个表示平移,另外三个为 X、Y 和 Z 的大小。

b) 尺寸规则。给每个参数一个特定的值或是值域,来表达相等和不等约束关系。

c) 位置规则。这个规则用来指明两个相同或不同的原型的两个参数之间的关系,如表示一个方形的轴和一个圆柱体的轴是平行或垂直关系等。

d) 装配规则。如额枋即是两个支柱之间的构件,它将两个支柱连接在一起。

3 古塔建模方法

3.1 L 系统构件库的生成

L 系统是一种将形式语言重写规则进行不断迭代和替换应用到生物学中而形成的一个并行重写系统^[3]。它侧重于植物拓扑结构的知识表达,可使用抽象出来的规则描述植物形态及生长规律,具有定义简洁、结构化程度高、易于实现的特点。本文利用以 L 系统重写规则的迭代和替换达到对宝塔构件的外形控制,加之宝塔的层塔构件间的相似性,分别采用封装的参数 L 系统与虚拟装配语法相结合的方式对我国古塔进行数字建模。

定义 1 L 系统是一个四元组 $G = \langle V, \omega, P, g \rangle$ 。其中: V 是符号的有限集合,称为字母表; $\omega \in V^+$, 称为公理; g 是环境符号,可不在字母表内; P 是形如 $\alpha\omega\beta \rightarrow \beta$ 的一组规则组,又称为产生式,且 $P \subset V \times V^*$ 。 $a, b \in V \times g, \alpha \in V, \beta \in V^+$, 对于当前串中如果满足形如 $\alpha\omega\beta$ 的上下文环境,则 α 由 β 重写。如果规则组中没有环境符号 g , 则 L 系统退化为一个三元组 $G = \langle V, \omega, P \rangle$, 也称 DOL 系统。

定义 2 参数 L 系统(parametric L-system)是一个四元组 $G = \langle V, \Sigma, \omega, P \rangle$ 。其中: Σ 是形参的集合; $\omega \in (V \times R^+)^+$, R 为实数集合; $P \subset (V \times \Sigma^+) \times C(\Sigma) \times (V \times \varepsilon(\Sigma))^+$, $C(\Sigma)$ 和 $\varepsilon(\Sigma)$ 分别为 Σ 的逻辑和算术表达式。

例 1 图 4 中的三维宝塔塔顶可用如下 L 系统规则的重写来描述:

```
#define recursion = 5
#define angle = 25
 $\omega: p > p > p > p$ 
 $p_1: p \rightarrow [\&[A] - [B]]$ 
 $p_2: A \rightarrow [\hat{g}A \cdot .]$ 
 $p_3: B \rightarrow B \hat{g}g \cdot \}$ 
```

例 2 将例 1 中的 p_1 和 p_2 产生式用参数 L 系统表述如下:

```
 $p_1: p \rightarrow [\&(90)[A] - (\theta_1)[B]]$ 
 $p_2: A \rightarrow [\cdot(\theta_2)g(t_1)A \cdot .]$ 
```

其中, t_i 和 $\theta_i (i=1, \dots, n)$ 为宝塔的塔顶控制参数,这些参数可以是宝塔的几何信息等。图 4(b)(c)为不同控制参数设置迭代次数不同而产生塔顶形态改变的参数 L 系统实例。

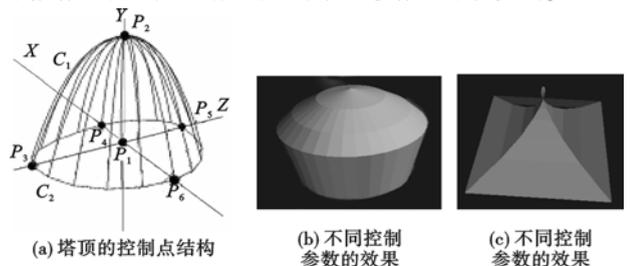


图4 L系统规则建模效果

塔顶的设计改进了文献[15]的方法,采用 6 个控制点和 2

个形状系数来定义,如图 4(a)所示。控制点 P_1 和 P_2 是塔顶的顶部和底部中心点。其他 4 个点从 P_3 到 P_6 描述一个投影到 xz 平面的塔顶最大宽度的外围线。最后,形状系数 C_1 和 C_2 描述了塔顶上围线 and 下围线的曲率。 P_2 至 P_3 、 P_4 、 P_5 、 P_6 的四条侧剖线的拟合曲线为

$$\frac{R_i^t}{R_{\max}^t} + \frac{h_i^t}{C^t} = 1 \quad (1)$$

其中: R_i 是半径(如若为方形塔,则为对角线距离,最大半径记为 R_{\max}); h_i 是 p_1 到 p_2 连线间的任意点到塔顶的距离; C 为 R_{\max} 处的外围线总长度。 t 为形状参数,当 t 趋于 0 时,塔的半径很大,看上去很平;当 t 趋于无穷大时,塔的半径变得很小;当 $t=1$ 时,形状是圆锥形;而当 $t=2$ 时,形状是椭球。根据塔顶形状不同,实验中取值为 1 或者 2。

塔顶控制参数可根据曲率半径计算为

$$t = K_1 \frac{(1+y'^2)^{\frac{3}{2}}}{|y''|} \quad (2)$$

$$\theta_1 = K_2 \left(\frac{y'(1+y'^2)}{y''} \right) \quad (3)$$

$$\theta_2 = K_3 \left(\frac{1+y'^2}{y''} \right) \quad (4)$$

其中: K_i ($i=1,2,3$) 为比例常数, y' 为拟合曲线。这种方法也可运用到塔檐的设计中。

3.2 虚拟装配

本文中的装配语法是形状语法的一种特殊形式,其目的主要是选择构件的模型装配。该语法操作的原子对象为构件。

定义 3 构件是指建筑结构模型中的一个基本建筑块。它可以用一个五元组 $\langle N_1, N_2, P, A, S \rangle$ 来表示。其中: N_1 是构件分类的名称,也即是塔的形状名称,如方形、六边形等; N_2 是构件的名称,表示该构件的语义; P 是一个原始形状; A 是一组属性的有限集合; S 描述组成的状态,它是一个枚举变量,记录了建模过程中的构件信息,这有助于控制模型的装配过程。

定义 4 构件列表是指一组构件的一个序列,这个序列表明这些构件的建模顺序。一个最简单的构件列表是只有一个构件组成。

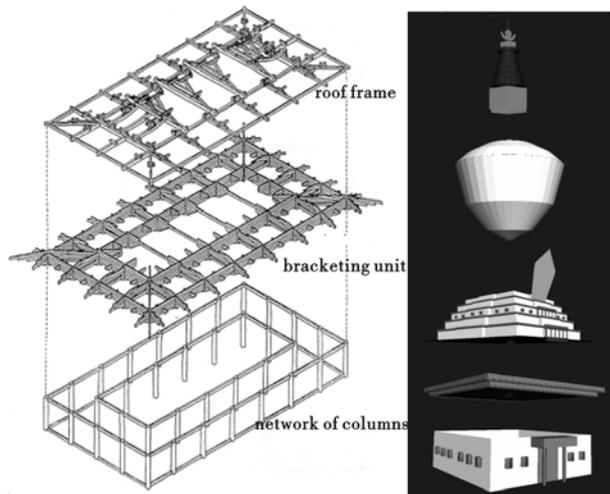
定义 5 装配语法定义是由 $\langle C, R, S, \$ \rangle$ 来定义的,其中:

- C 是一组构件的有限集合;
- R 是一组规则的有限集合,其形式为 $\alpha \rightarrow \beta$, 其中 α 是一个构件, β 是一个构件列表;
- S 是一个构件列表占用空间的有限集合;
- $\$$ 是在 S 中的一个初始空间。

装配语法是集合 $V = \{t(m) | m \in M, t \in T\}$, 其中 T 是一组转换集合,包括旋转、平移和比例变换等。装配规则从功能上划分为结合和转换两类规则。结合规则是用来增加新的构件和保持原有的构件,而转换规则是用新构件取代原有构件。

根据中国传统木质结构建筑构架原理,如图 5(a),使用 XML 的知识表示方法来描述构件间的拓扑结构,如图 5(b)。利用 XML 代码可以方便地定义出构件的组合和比例关系等^[10]。XML 代码用在建模系统中的另一个好处是,XML schema 对模型的整体风格和完整性提供了一个灵活的控制手段。XML 代码分为分析器和校验器两个部分。分析器将建筑构件转换为图元。校验器是基于古建筑风格设计的。建筑的风格由每个构件的类型决定,它是这些构件的组合结果。构件的类型有限,所以很容易处理。为了保证建筑的整体性,校验器必

须按照装配规则来进行检查。



(a) 中国传统木质结构建筑构架 (b) 虚拟装配语法的示意图
图5 建筑构架虚拟装配图

3.3 与中国古建筑传统建模方法的比较

本文基于 L 系统构件库的虚拟古塔仿真系统与传统建模方法相比可以看出:

a) 用传统建模方法进行建模,时间长,成本高,且参数繁多比较复杂,难以理解且使用困难。而本文利用 L 系统的特点对其进行构件化,并使用构件化的 L 系统将抽象的 L 系统加以封装,只需通过选择各种构件和颜色等即可实现数字建模过程,具有良好的封装性、可扩展性、可重用性和完备性。

b) 传统建模方法完成建模为一次性、完整建模且不可重用,每个建筑的建模都将是—次新的工作任务,在每次建模过程中都会遇到分部实现时产生迭代次数不匹配、难以控制等缺点,而本文模型基于虚拟装配语法利用构件库很容易完成构件的控制和装配过程。

c) 利用传统建模方法不仅费时,在外观的渲染方面也需要大量的人力、物力,而本文模型利用 L 系统的速度快、外观真实等特点对中国古代宝塔建模是 L 系统植物建模领域中的—次大胆尝试。

4 实验结果

本文实验是在配置为一个 Pentium[®] D 3.0 GHz CPU, 1 GB 内存和一个有 128 MB 显存的 NVIDIA GeForce 7300 LE 图形卡的微机上完成的。图 6(a) ~ (f) 分别展示了我国西藏白居寺班根塔和应县木塔使用本文算法生成的模型。

5 结束语

本文提出了一种新的中国古代建筑的建模仿真方法,并以古代宝塔为例进行了数字建模。与其他构造方法相比,该算法主要有两个优点:a) 能快速并自动生成中国唐、宋代古塔的建筑架构;b) 比其他专业建模软件如 AutoCAD、Maya 等简单实用且效果逼真。

本文方法是基于 L 系统构件库的一种快速的过程建模方法。这种方法适用于建造外观有相似特征或是可提取建筑规则的一类建筑,以及生成包含具有类似风格的建筑群布局。该方法中关键的步骤是从建筑结构中提语义规则。为此,必须仔细分析建筑的特点并将其形式化成语义规则,有些规则不是

可以直接获取的。另外,本文还将 L 系统构件库模型与虚拟装配过程创造性地结合起来,对古建筑的建模进行了有效控制。实验表明,本文系统模拟效率稳定且能逼真地表现出虚拟古建筑的数字化模型。下一步将探索一个更有效的方法方便提取建筑规则或甚至可通过机器学习技术自动抽取,同时在塔内虚拟漫游也将是个有意义的研究工作。

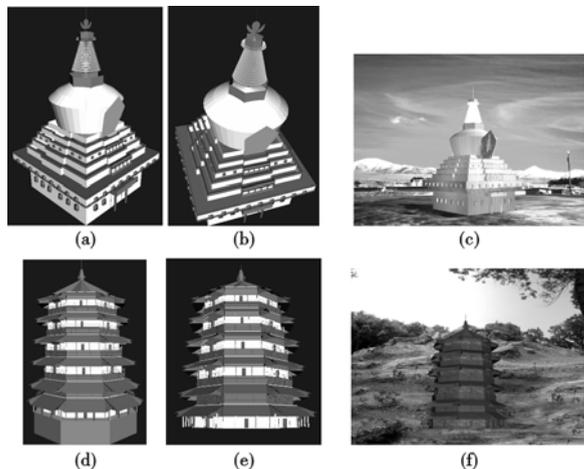


图6 使用本文算法生成的中国古代宝塔模型

参考文献:

[1] STINY G. Introduction to shape and shape grammars[M]//Environment and Planning B 7. London:Pion Ltd,1980;349-351.
 [2] STINY G, MITCHELL W J. The palladian grammar[M]//Environment and Planning B 5. London:Pion Ltd,1978;5-18.
 [3] KNIGHT T W, Designing with grammars[C]//Proc of Computer-Aided Architectural Design Conference.1992;33-48.
 [4] MULLER P, WONKA P, HAEGLER S, et al. Procedural modeling of buildings[C]//Proc of SIGGRAPH'06. New York:ACM Press, 2006;614-623.
 [5] MULLER P, ZENG Gang, WONKA P, et al. Image-based procedural modeling of facade [J]. ACM Trans on Graphics,2007,26(3):85.

[6] YOAV I, PARISH H, PASCAL M. Procedural modeling of cities [C]//Proc of SIGGRAPH'01. New York:ACM Press, 2001;301-308.
 [7] WONKA P, WIMMER M. Instant architecture[J]. ACM Trans on Graphics,2003,22(4):669-677
 [8] PRZEMYSLAW P, MÜNDERMANN L, KARWOWSKI R, et al. The use of positional information in the modeling of plants [C]//Proc of ACM SIGGRAPH. New York:ACM Press,2001;289-300.
 [9] ALIAGA D G, ROSEN P A, BEKINS D R. Style grammars for interactive visualization of architecture [C]//Proc of ACM SIGGRAPH. New York:ACM Press,2007;786-797.
 [10] 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.
 [11] DU Zhi-qiang, LI De-ren, ZHU Yi-xuan, et al. 3D GIS-based reconstruction and visualization of timber-frame building cluster[J]. Journal of System Simulation,2006,18(7):1184-1189.
 [12] ZHU Ling, SHI Ruo-ming, ZHOU Ke-qin. Rule-based 3D modeling for Chinese traditional architecture[C]//Proc of the 2nd ISPRS International Workshop on 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures. Switzerland: ISPRS Congress, 2007; 341-349.
 [13] 桑子长,徐彩霞,李颀. 中国名塔[M]. 重庆:重庆出版社, 2001; 34.
 [14] 徐华镔. 中国名塔[M]. 北京:轻工业出版社, 1986;61.
 [15] CESCATTI A. Modelling the radiative transfer in discontinuous canopies of asymmetric crowns I: model structure and algorithms [J]. Ecological Modeling,1997,101(2-3):263-274.
 [16] LIU Y, XU C F, PAN Z, et al. Semantic modeling project: building vernacular house of southeast China[C]//Proc of VRCAI 2004-ACM SIGGRAPH. New York,ACM Press, 2004;412-418.

(上接第 768 页)



图5 秘密提取过程

3 结束语

视觉密码是一项被广泛应用的秘密共享技术。本文提出的基于视觉密码的家纺花样设计方案,通过引入数字签名技术和有效期,并由可信第三方权威机构对签名进行审核;由视觉密码技术在次图案上产生公私分享图像(私有分享由第三方权威机构秘密保存,公有分享分发给各客户)。若客户对图案设计的正版与否则有疑问,则将拥有的公有分享图案交于第三方权威机构来裁决。

参考文献:

[1] 张大兴,张明敏,潘志庚,等. 基于数字水印的提花织物品牌认证方法[J]. 中国图象图形学报,2009,14(12):2470-2477.

[2] NAOR M, SHAMIR A. Visual cryptography[C]//Lecture Notes in Computer Science, Advances in Cryptology EUROCRYPT'94. 1995; 1-12.
 [3] XIA Guang-sheng, YANG Yi-xian. A new technology for key sharing [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications,1993,22(1):57-61.
 [4] 郭洁,颜浩,刘妍,等. 一种可防止欺骗的可视密码分享方案[J]. 计算机工程,2005,31(6):126-128.
 [5] CHIN M H, WEN G T. Cheating prevention in visual cryptography [J]. IEEE Trans on Image Processing,2007,16(1):36-45.
 [6] GENU-MDAL P, EUN-JUN Y. A new copyright protection scheme with visual cryptography [C]//Proc of the 2nd International Conference on Future Generation Communication and Networking Symposium. 2008;60-63.
 [7] JENA D, JENA S K. A novel visual cryptography scheme[C]//Proc of International Conferenace on Advanced Computer Control. 2009; 207-211.
 [8] 张海燕,李元媛,储晨昀. 基于图像分块的多尺度 Harris 角点检测方法[J]. 计算机应用,2011,31(2):356-357.
 [9] 柳毅,郝彦军,庞辽军. 基于 ElGamal 密码体制的可验证秘密共享方案[J]. 计算机科学,2011,37(8):80-82.