

“细胞自动机”建筑设计生成方法研究*

——以“Cube1001”生成工具为例

Search on Architectural Generative Design Methods Based on Model of “Cellular Automata Systems” : Taking “Cube1001” as an Example

李飏 钱敬平

Li Biao Qian Jingping

摘 要 在2006年“happyLattices”工具的基础上,2007年毕业设计生成研究组成功研究出效率更高的“Cube1001”平面、空间生成工具。详细记述“Cube1001”研究进程及对应程序规则,并使用该工具实现工程实例化的全过程。

关键词 “Cube1001” 细胞自动机 生成规则

ABSTRACT Based on the tool of “happyLattices” which was developed in 2006, the Generative Design Group of 2007 achieved much more powerful and efficient digital space generative software named “Cube1001”. The paper describes the whole process of the research which are the rules in the tool, and the instance of architectural space implements by “Cube1001”.

KEY WORDS “Cube1001”, Cellular Automata Systems, generative rules

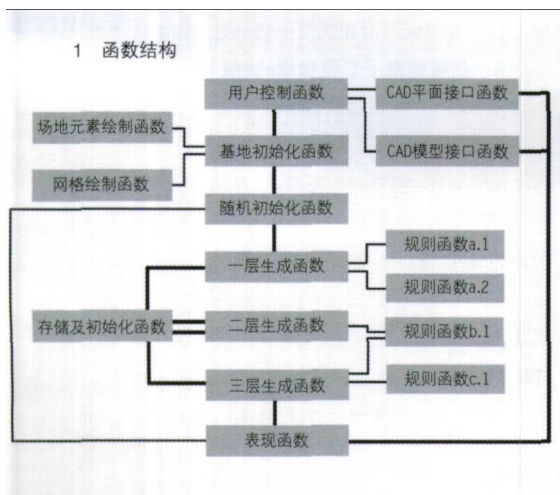
中图分类号 TU201.4 **文献标识码** B **文章编号** 1000-3959 (2009) 03-0103-06

“Cube1001”是东南大学建筑学院2007年毕业设计生成设计组开发完成的空间生成工具,它延续了2006年“happyLattices”^[1]工具的某些研究方法,如:均使用类似的算法模型系统,即“细胞自动机”(CAS: Cellular Automata Systems¹)模型;网格化建筑基地,并将基地数据化整为零输入计算机;对基地环境进行预定义,确定建筑功能分区及不参与运算的恒定单元;设计师比较生成成果并进行主观选择等等。但与“happyLattices_2006”相比,“Cube1001”寻求更高效率的算法规则。“happyLattices_2006”1.5分钟可以获得一个生成方案,而理论上讲,“Cube1001”生成效率可达到每分钟12种建筑空间布局方案。此外,“Cube1001”解决了ActionScript生成数据与AutoCAD应用程序数据的接口问题。“Cube1001”与“happyLattices_2006”均以“细胞自动机”为程序开发基础,但采用了不同的规则来控制生成结果。本文记述了“Cube1001”建筑设计生成工具开发过程。

一 程序结构设计及相关算法

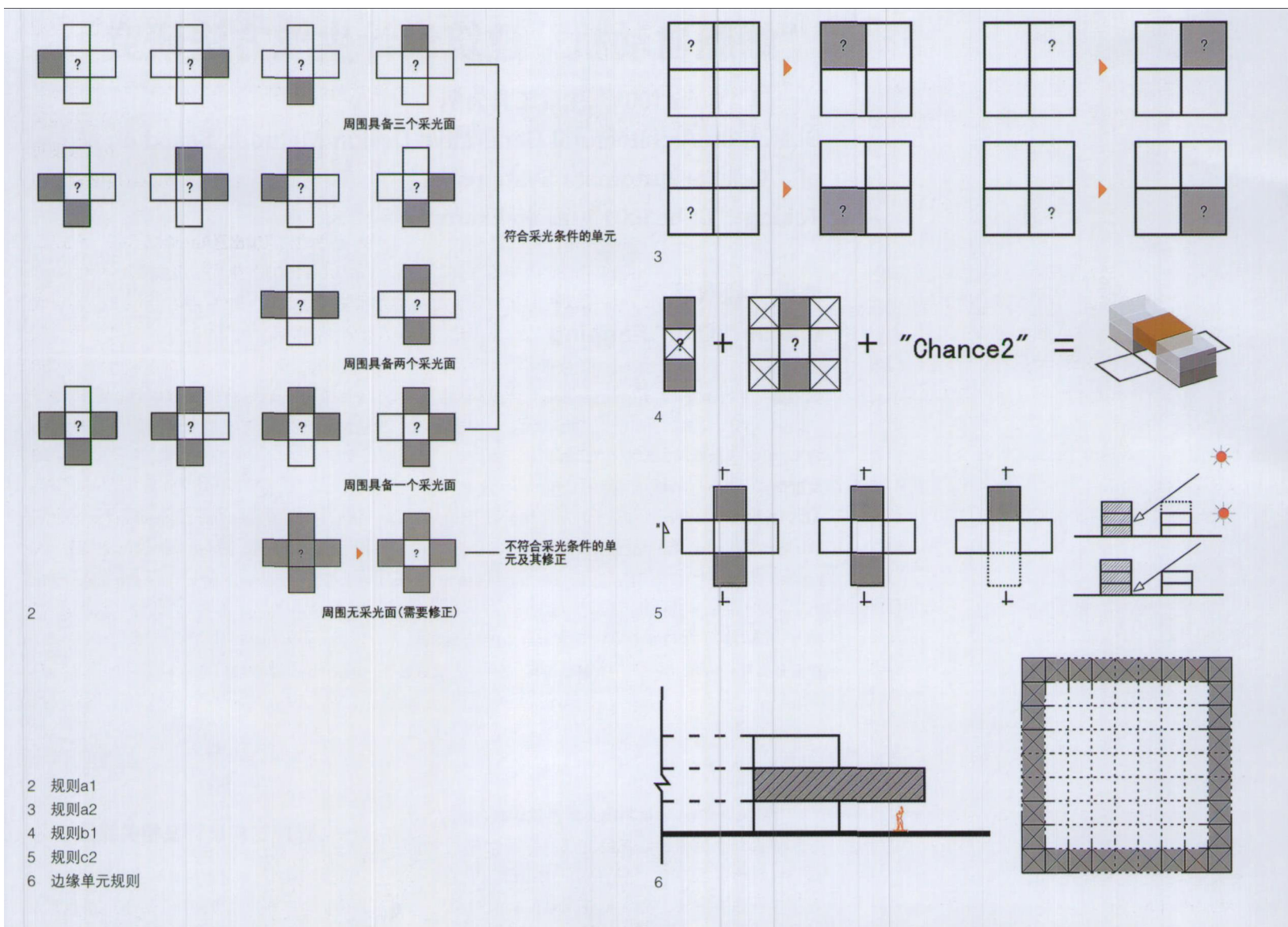
“Cube1001”生成系统具有高度的普适性,并可在调试中不断探索发展原型课题,最终基本达到开发预设的目标。程序由功能函数和结构函数的多级结构组成,结构函数是程序的主体,负责定义程序运行的全局变量及组织功能;不同功能函数实现不同的功能目标,整个生成系统的基本函数结构及其关系如图1所示。主程序包含的“基地初始化函数组”、“规则控制函数组”和“界面控制函数组”等等,基地初始化函数组负责将输入的基地参数存储并加以初步处理,在生成系统开始工作之前,建筑师对生成系统作初步的设定。界面控制包含按钮控制函数、覆盖率统计函数与结果录入函数。按钮控制函数用来定义各按钮的功能,以及它们之间的数据传递;覆盖率统计函数用来实时统计基地生成结果的覆盖率;结果录入函数将最后确定的生成结果所包含的数据录入到数组中,并通过程序文本框输出。

“Cube1001”比“happyLattices_2006”



作者单位:东南大学建筑学院(南京,210096)

*东南大学科技基金资助项目(KJ2009344)



生成系统更为精准、高效，并具备良好的操控界面。“Cube1001”用三个二维数组记录1~3层平面的单元生成数据及属性，单元可分为以下三种属性：①虚空间，如空地或上空用0表示；②建筑实体单元用1表示；③恒定单元，如设计者既定的道路或场地中不可更改的基地属性，用-1表示。

程序在运行过程中必须回避上述恒定单元的既定元素，“Cube1001”在制定规则时考虑到建筑功能单元的采光及其内、外部空间形态的变化，规则如下：

1 一层规则（二维数组a数据）

规则a0：运用随机函数，对场地各单元格子初始化，预先设定的恒定单元保持属性不变，其余单元分为实体（属性1）和虚空间（属性0）两种状况。

规则a1：在a0的基础上，检测每个单元是否符合如下条件：每个单元至少有一个采光面，该采光面可以为设计者预先定义的道路或广场，也可以是a0中生成的虚空间，如果当前单元周边无采光面则将该单元变成庭院（即虚空间，图2）。

规则a2：为了避免基地在a0生成过多的广场，同时保证足够的建筑密度，制定此规则。考察四种2×2的情况，若该单元正交、斜交方向均无相邻建筑实体则将当前单元变更为建筑实体（图3）。

2 二层规则（二维数组b数据）

规则b0：复制一层数据并根据如下b1规则修改该数据。

规则b1：如果在1×3或3×1连续单元的两端建筑实体被中间道路分隔，并且斜交四单元中至少有

一个单元为虚空间（保证具备足够的观察界面），那么根据随机函数“Chance2”所提供的跨立概率，将介于两建筑单元的中间虚空间变成建筑实体，其生成结果即为建筑过街楼形态（图4）。

3 三层规则（二维数组c数据）

规则c0：复制二层建筑单元数据，并根据如下c1、c2规则修改该数据。

规则c1：如果1×3或3×1连续建筑单元之间为道路分隔，并且斜交四单元中至少有一个单元为虚空间（保证具备足够的观察界面），那么根据“Chance3”所提供的跨立概率，将介于两建筑单元的中间虚空间变成建筑实体，其生成结果为建筑过街楼形态。

规则c2：如果存在采光院落，为保证一层单元的南向采光，则对应的三层单元必须由建筑实

体空间变成虚空间(图5)。

4 边缘单元规则

有边界的细胞自动机网格中,边界细胞都需要特别考虑。否则必须将该有限网格想像成无限网格,通过判定边界细胞的“无形”邻居来推算它们的虚实状态;或者将边界的一圈细胞分割出来,单独进行计算。将“Cube1001”程序应用于具体的建筑生成,必须对建筑基地边界单元作特殊处理,倘若二层或三层的实体建筑空间对应于一层的虚空间,那么,该一楼虚空间便自然而然形成供人活动和休憩的灰空间(图6)。

建筑形态主要由设计者进行主观判断,评价函数density输出该方案的容积率,作为选择方案的一个参考标准。density函数统计建筑总单元数与场地总单元数的比值,该值越高表明场地内的建筑单元越多。

二 “Cube1001”与AutoCAD应用程序的接口

为了实现“Cube1001”与AutoCAD应用程序的数据通讯,将“Cube1001”生成的建筑形体相关数据输出到AutoCAD进行方案深化,需要建立适当的软件接口。平面图与AutoCAD接口实现过程分为如下三步:①建立基地网格图层和单元绘制图层;②建立绘制基地的网格命令组;③建立绘制各建筑单元命令组。

“Cube1001”三维模型与AutoCAD接口和上述过程类似,只是将AutoCAD二维数据绘图命令转换为三维数据绘图命令。“Cube1001”使用“*.scr”(AutoCAD的输入脚本)实现上述文件格式的转换,并提供平面图、三维模型输出两种不同的模式。AutoCAD输入方式也非常便捷,输入script命令,选取需要输入的scr文件即可。

“Cube1001”作为一套完整的计算机辅助设计平台还需要将生成界面所生成的方格状态设定成符合建筑设计要求的建筑规模,并按预定的设计流程把基地参数输入该生成系统。根据“Cube1001”所提供的建筑空间的拓扑关系,在实际运用时,还需要为特定方案设定成特定的网格模数和网格规模。

三 “Cube1001”运行演示

“Cube1001”生成系统可分为以下5个步骤:

1 确定纵向单元数量

“Cube1001”生成系统运行之前需要对实际建筑基地作大致的预算,以确定基地东西、南北

方向的建筑单元个数及各单元模数(图7)。基地分别以 10×10 、 15×15 、 30×30 及 50×50 为纵向单元数量生成基地划分。如果输入 10×10 的单元划分,每个单元的基本模数为 $6 \text{ m} \times 9 \text{ m}$,那么基地内建筑控制线为 $60 \text{ m} \times 90 \text{ m}$ 。

2 确定基地恒定不变的单元

如前所述,恒定不变单元包括规划控制条件中不允许侵占的建筑用地,如山地、河流、湖泊等等;另一种恒定不变单元是设计者预先设定的主要道路网络,设计者可以基于基地环境内外文脉关系设置基地内道路网及广场,图8显示了四种不同的选择结果。根据基地环境分析,恒定不变单元提供点、面两种不同的选择方式,“Cube1001”以蓝色显示选中的恒定不变单元。

3 设定程序运行周期及跨立概率

生成周期、跨立概率主要应用于“Cube1001”生成结果与建筑师对此结果的主观感受之间的互动调试,该参数在程序后台由随机函数控制,它保证了“Cube1001”生成结果的多样性及生成建筑群体空间的丰富性。

4 设计师主观选择理想的生成结果

对生成方法产生结果的最终选择权取决于建筑师,建筑师根据自己制定的算法规则审视

程序运行结果,并将生成结果与自己的预测相对照,从而逐步修正程序规则(图9)。尽管这种调试过程大部分其实在程序内核代码中进行,“Cube1001”依然从界面上提供了修改生成结果的可能。一旦设计师确定了理想的生成结果便可以通过该工具将数据转换到AutoCAD中作进一步调整。

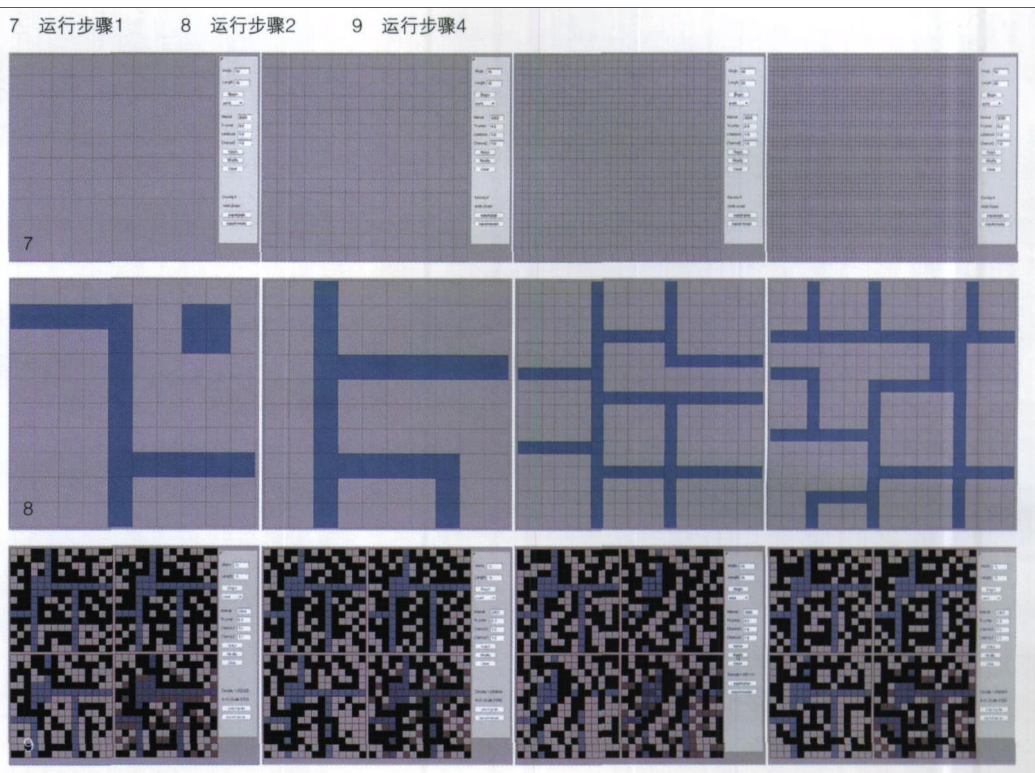
5 将生成结果输出至AutoCAD作进一步加工

“Cube1001”生成结果输出至AutoCAD的编程需要了解scr文件结构,scr文件逐行编写AutoCAD需要的命令以便AutoCAD按照提供的数据依次读入并执行;ActionScript可以便捷地将scr按需要的文件格式输出,这便提供了ActionScript与AutoCAD之间良好的程序接口²。

“Cube1001”将生成数据按AutoCAD输入需求编写成scr格式,通过文本格式文件输入至AutoCAD中,实现代码程序与应用程序之间的转换。图10为不同基地规模运行数据输出到AutoCAD应用程序截幕。

根据以上程序运行步骤,设计组对“Cube1001”做如下测试:

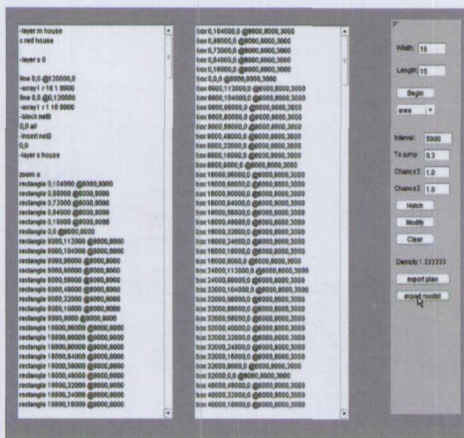
根据居住建筑的建筑尺度要求,设定建筑网规模模为 15×15 。根据单体建筑的消防规范以及



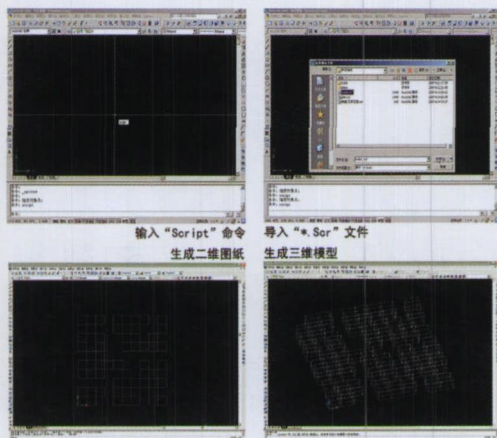
10 运行步骤5

11 基地空间划分

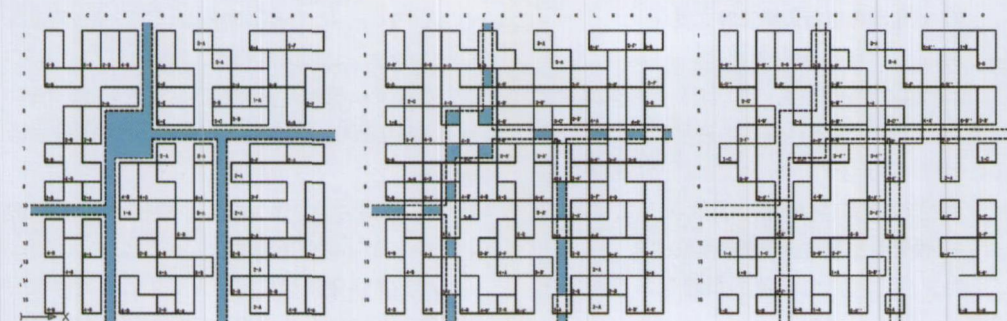
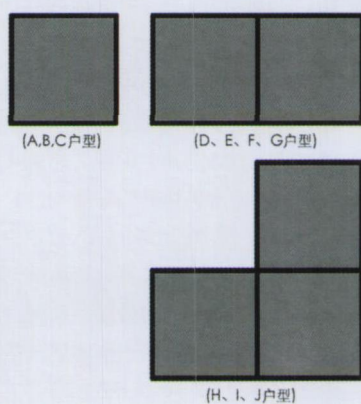
12 平面模块



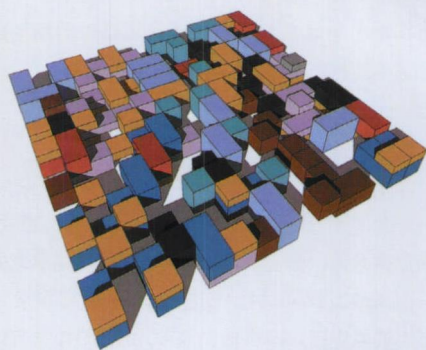
10



12



11



疏散要求，将既定的网格划分为五块，由道路和内部中心疏散广场来划分空间区域（图11），以此确保每个分区具有足够的规模和各自独立的出入口空间。这些以蓝色方格单元表示的“细胞”单元在程序运行中被认定为基地预设条件。通过该方式，可以将必要的基地现状及道路网直观地输入程序。程序开始运行时，基地中的方格在短时间内变换调整，趋向符合预定的各项规则，最后渐渐稳定在某种状态。设计者记录若干生成结果，根据主观审美要求挑选形态较为满意的成果予以保存，选取图9的第三个生成结果作为深化方案设计的基础。

以8 m×8 m模数虚拟网格中每个单元，通过“Cube1001”的运行，一、二、三层的建筑平面已经清楚区分为建筑实体、外部空间、道路布局等等，但建筑实体不规则的平面却尚未被合理划分。根据公寓住宅每户面积指标需求及多样性居住空间的设计理念，将三种基本平面划分拓扑原型引入平面布局中，并对基地空间如图12划分。在这个空间网格中，任意1个、2个、3个或4个单

元组合都可能成为公寓套型。按此原理将没有空间剖分的生成方案有序地进行套型的划分。依据这三种原型，最终可变化出若干种户型。

四 建筑平面深化

根据上述对基地空间单元的划分和建筑套型特征，可以组织若干种住宅户型，以下列举其中几种套型（图13）：1_ABCD、2_ABC、2_D……6_E等等（前面的数字表明该套型构成的单元“细胞”数目）。经过旋转、镜像，用它们“合成”整个基地的内外建筑空间。

本方案分布空间较为丰富多变，在垂直交通上采用了散点式分布，除去跃层式户型内部垂直交通，在室外还设置了轻便的入户楼梯，丰富了二层及三层用户入口空间（图14）。

一层平面在“Cube1001”生成软件的基础上，经由平面合理调整，形成各自院落的休闲空间。每个小庭院作为不同住户的入户空间。部分室外空间由于过街楼的覆盖而具有更强的使用和停留价值（图15）。

二层建筑在一层的基础上“有增无减”，建筑覆盖面积也更大，为一层空间提供了与“过街楼”、“吊脚楼”类似的灰空间界面。二层与一层相似，也为主要的入户层，通过架设轻便的户外楼梯，方便二层和三层用户的直接入户（图16）。

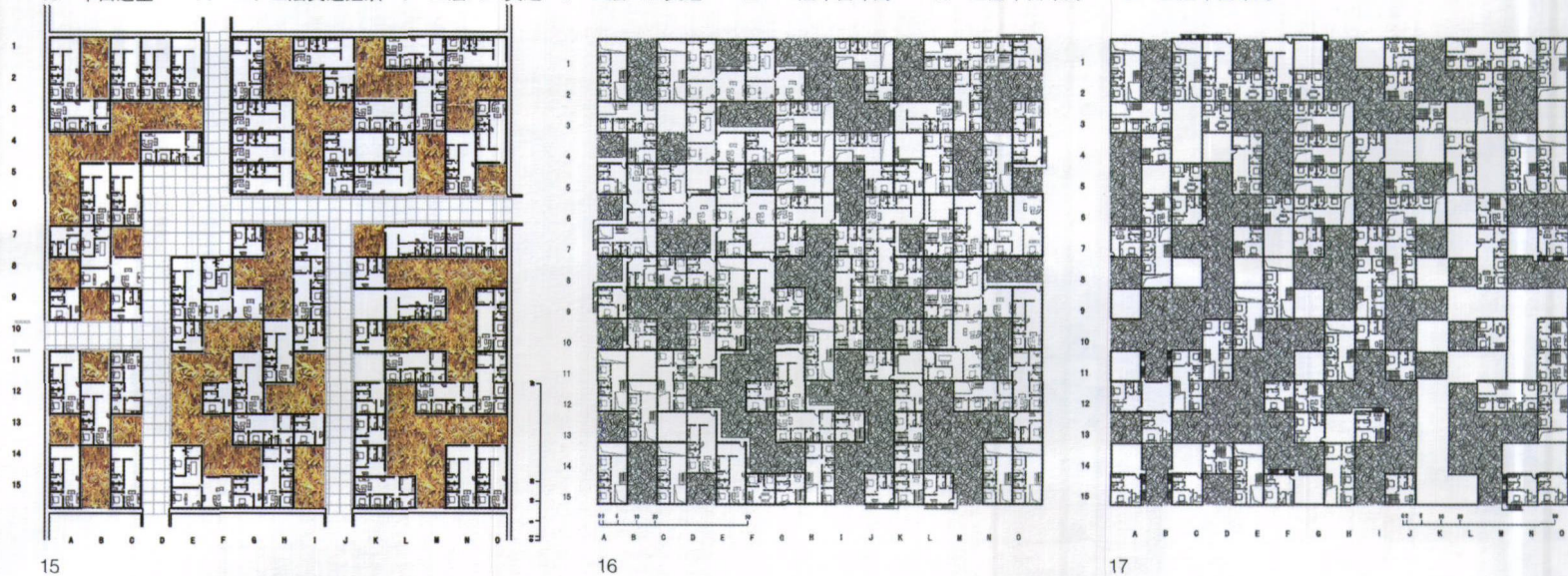
“Cube1001”的三层主要为跃层户型的顶层房间，部分套型为从二层屋顶入口的单层户型。由于三层采用了退台，二层大量屋顶形成屋顶阳台，提供了足够的室外活动空间（图17）。

“Cube1001”运用生成手法将计算机程序算法和建筑设计相关原理相融合，方便地解决了传统方法需要花费很长时间才能解决的建筑课题：套型的采光要求、建筑间距、平面形式创新等等，并带有明显的数码特征（图18）。

五 “Cube1001”的缺陷及进一步发展

虽然在随机生成的方案中，“Cube1001”已经选定了相对理想的方案，然而计算机生成方案和真正的建筑还是具有一定的差距的，许多工作尚需手动划分建筑平面。与“happyLattices”

13 平面选型 14 二、三层交通组织 a 二层入口交通 b 三层入口交通 15 一层平面布局 16 二层平面布局 17 三层平面布局



相比，在解决建筑顶角布局方面甚至有所退化，这些情况有可能造成建筑的建造或使用问题。

“Cube1001”需要增加一些额外的细胞自动机规则，使之更符合建筑设计基本特征及建筑学方法。

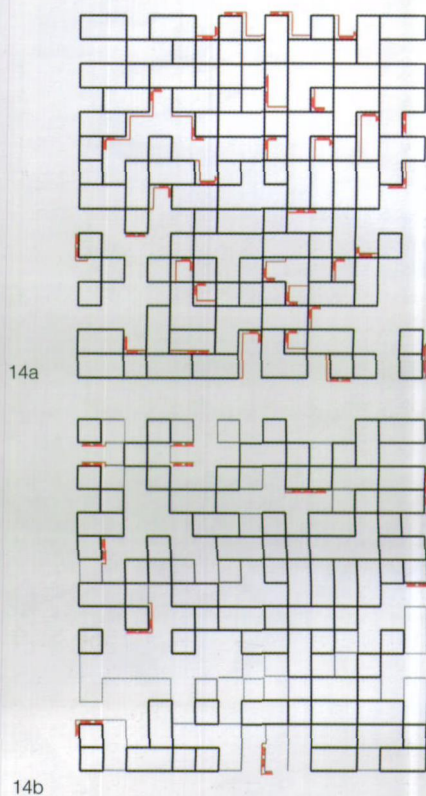
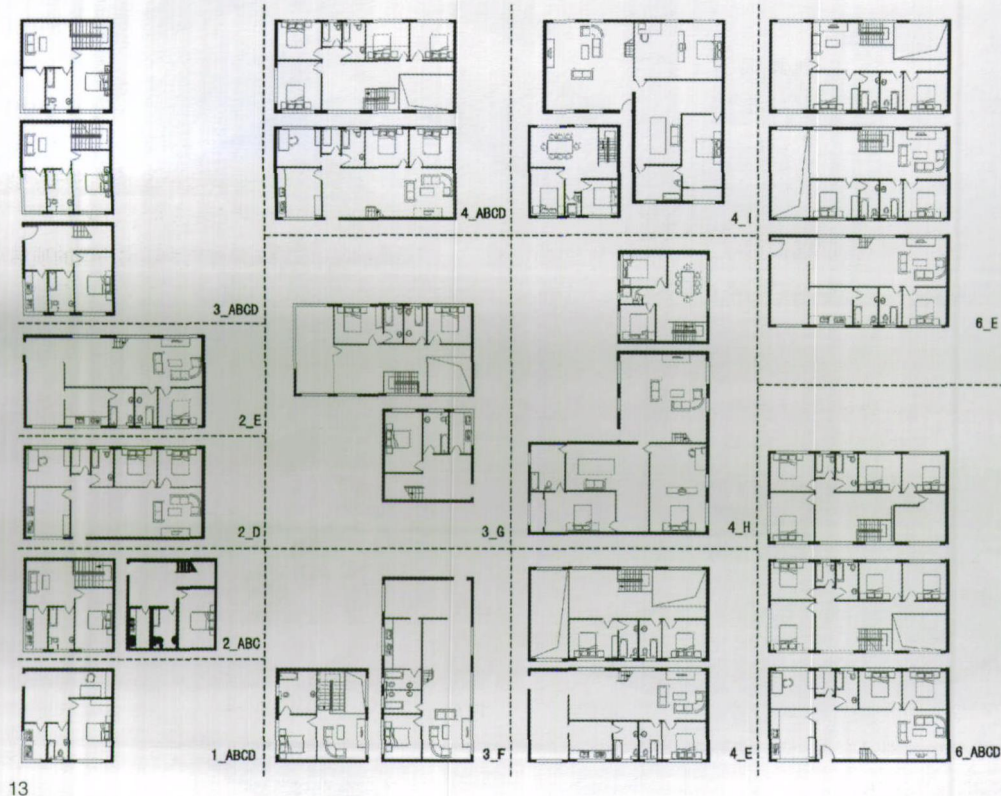
此外，“Cube1001”还需要在建筑空间设计上作更多的探索，如超过三层以上的多层甚至高层建筑的空间设计组合。另外，java或C++程序平

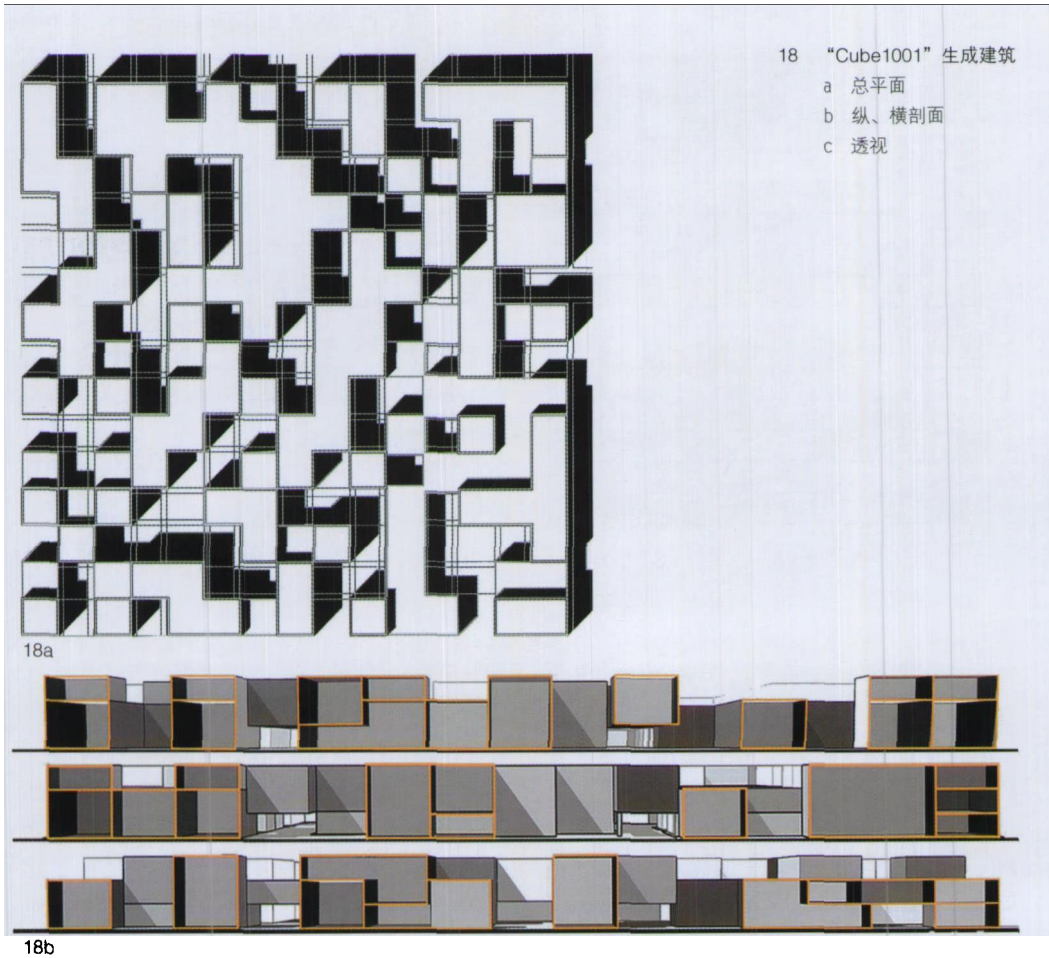
台可以获得更高的运行效果，“Cube1001”的下一步工作将运用更高效的程序平台。

细胞自动机系统（CAS）为建筑设计提供大量重复形式及元素的有效生成方法。

“happyLattices”、“Cube1001”程序的下一步工作就是要把CAS用于高密度、多空间层次居住区及大型公共建筑生成系统，并在建筑学领域

中得到充分运用。在亚洲高密度建筑需求中，细胞自动机系统能为大型公共建筑发展提供设计方法，同时满足设计过程中的高速性、高效性。与传统的设计方法相比，细胞自动机系统模型生成工具开发也许能获得更多资源，细胞自动机系统对特定功能类建筑显示的环境变化敏感特征可以产生大量经济效益，建筑设计工程将从变异的、





更专业的细胞自动机系统特征中受益。实际工程对具体建筑问题的考虑也将大大增加CAS生成系统的功效。为了把细胞自动机系统用于特殊的问题，专业的CAS属性将随着它们所需的用途而不断发展进化。□

参与“Cube1001”研究的学生有胡琦琦、陈嘉等，特此致谢。

图片来源：东南大学建筑学院建筑设计生成方法研究组（2007）。

注释

- ① 细胞自动机（CAS）：一种自生成计算机图像系统，其基本概念由数学家Stanislaw M. Ulam（1909~1984）与John von Neumann（1903~1957）于1950年提出，CAS形态表现为一种离散的动态系统。本文不详细介绍其内部机制。
- ② ActionScript和java、C++一样具有类似的功能，只是笔者目前只能通过中间程序，如notebook等，实现程序代码与应用程序间的接口，而java、C++提供程序文件的直接输出类库。

参考文献

- [1] 李飏. 生成建筑设计合作教学实践初探. 南方建筑, 2006（12）：122-125.

收稿日期 2008-09-20

