

基于计算心象的 美术图案构图知识表达^{*}

诸葛源 潘云鹤

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 浙江大学人工智能研究所 杭州 310027)

摘要 美术图案构图知识表达是计算机辅助美术图案设计具有智能的基础。计算心象是根据认知科学的研究,对人脑心象的计算机模拟。本文根据计算心象的表示模型,提出了一个美术图案构图知识的深层表达、视觉表达和空间表达模型及其上的操作。它从表达子形状的视觉形状和空间关系出发,表达构图知识的形象信息与抽象信息。

关键词 智能计算机辅助设计,计算心象,美术图案构图知识表达。

中图法分类号 TP391

美术图案设计广泛应用于墙纸、地毯、印染等各行各业。提高图案设计的质量和速度已越来越成为设计师所面临的困境之一。利用计算机辅助图案设计可以加快图案的制作速度,但如何使计算机模拟人类思维,快速、自动地产生新颖美观的艺术图案是计算机辅助图案设计的一个重要课题。

为了使 CAD 系统具有自动创意的功能,人们提出了智能 CAD 的概念。它强调人类专家知识的运用。专家知识的运用要与人类的真正认知过程相符合。在人类的设计思维中,大量运用的是形象知识,形象知识的表达对提高 CAD 系统的智能性至关重要。目前,计算机科学所采用的形状表达主要有:自然语言、数学解析式、图象、平面图形、曲面模型、实体模型、分维模型等。这些形状信息的表达描述是精确的、具体的,适宜于图形学的变换、显示等操作。但在设计中,设计对象的形状描述经历是从概念到形状、从抽象到具体的过程。1978年,G. Stiny 提出了形状文法^[1](Shape Grammar)。它利用规则和图元来生成复杂的图形。图元为不可再分的简单图形,而规则是对图元进行组合的一组设计知识。1987年,S. K. Chang 提出了 Icon 理论,他把一个 Icon(可视实体)设计为一个 (X_m, X_c) 的双重表达式,分别表示一个可视实体的形与意两方面信息。但这些形状表达方法是基于符号的,在开放性、自适应性和学习机制等方面显得无能为力。另外,它们也忽视了对人类思维中的形状表达研究。

认知科学认为,形象信息在人脑中表现为心象。因此,在设计模型的研究中要充分考

* 本文研究得到国家自然科学基金、国家 863 高科技项目智能计算机主题、国家攀登计划和浙江省自然科学基金资助。作者诸葛源,女,1973年生,博士,主要研究领域为智能 CAD。潘云鹤,1946年生,教授,博士生导师,主要研究领域为智能 CAD,人工智能,CAD/CG,形象思维等。

本文通讯联系人:潘云鹤,杭州 310027,浙江大学人工智能研究所

本文 1996-11-27 收到修改稿

心象的作用. 计算心象^[2~4]是加拿大学者 Glasgow 提出的一类心象模拟表示模型. 它综合了心象的描述性表示、空间表示、视觉表示 3 种表示, 从表达能力和推理效率两方面出发研究形象知识的表达.

美术图案构图知识是图案创作的基础, 因而本文基于计算心象的表示模型, 提出了一个构图知识的表达模型. 它从表达形状中子形状的组成、空间关系的角度出发, 表达构图知识, 使之成为计算机模拟形象思维设计的有力支撑.

1 计算心象理论

目前, 对于心象在人脑中是如何表达的争论不一. 总结起来, 可以认为心象是层次结构的, 一个心象由若干子心象组成; 心象既有描述性表达(文字或命题形式), 又有描绘性表达(图象形式); 心象的描绘性表达既描绘子心象间的空间关系, 又描绘形状、大小等视觉信息.

心理学研究还表明人脑中存在一个长期记忆, 它描述性地保存心象. 当心象被激活时, 它转化为工作区的描绘表达: 视觉表达和空间表达. 相应地, Glasgow 的计算心象知识表示模式分为 3 个部分:

(1) 深层表示: 以框架形式保存心象在长期记忆中的存在形式, 实现心象的层次结构组织. 框架的主要槽名为: 心象名, AKO, PARTS. AKO(a kind of)槽指明形象之间的属性继承关系. PARTS 槽用于分解复杂心象, 它由若干子心象的名及其在空间矩阵(用以表示空间关系)中的位置索引组成. 另外, 框架还可包括其他用以生成视觉表达和空间表达的槽.

(2) 视觉表示: 与脑心象的视觉子部件对应, 表示形状的视觉形式. Glasgow 用占据矩阵表示视觉表达. 一个占据矩阵由一系列基本元组成, 每个基本元对应物体的一个空间子区域, 表达该区域的体积、光照、纹理等信息.

(3) 空间表示: 以多维符号数组形式, 符号化地表示空间各组成部分和它们的相对信息. 符号矩阵中的元素表示位于该元素位置的相应的形状组成部分的信息. 例如一杯水的空间矩阵

glass	water	glass
glass	glass	glass

图1 计算心象空间表达举例

表达如图 1. 空间关系和拓扑关系可以通过比较空间矩阵中的位置索引获得, 如上下左右、内外等. 空间矩阵可以嵌套表示细节的深入. 一个形状可以根据相对面积大小的不同, 占据多个元素位置.

2 构图知识表达

在图案构成中, 图案可以看作是由一些基本图元变形、组合构成. 图元是基本不可再分的最小单元. 图案的具体绘制过程是由基本图元开始, 对图元变形, 将变形后的各图元组合起来形成子图案, 子图案又以一定的规则变形、组合构成上层子图案, 如此类推, 最后构成图案初稿. 此时的初稿是未经加工、润色, 但具有结果图的基本结构的图案. 根据这种递归过程, 图元也是一种特殊的子图案. 这种组合、变形的结果, 本文称作布局.

因而, 美术图案的构图文法可以看成:

〈图案〉:: = 〈图元〉|〈图案〉组合〈图案〉|变形〈图案〉

根据计算心象理论, 将构图知识表达为:

Layout = <LDR,LSR,LVR>

LDR 指构图知识的深层表达,LSR 是空间表达,LVR 是视觉表达.下文结合对构图知识的分析,分别讨论构图知识的这几种表达模型.

2.1 构图知识的深层表达

由图案设计流程看,图案布局虽然在最终的形成结果上是平面的,但形成过程又呈嵌套的层次关系.因而,布局又可称为一棵布局树.布局树的根结点是图案结果,叶结点是图元,中间结点称为子布局.子布局形成子图案,是图案的一个组成部分.

一条布局知识包含两部分信息:各子布局的变形知识和子布局的组合知识.即

$$Layout = \{O, \{TranSub_1\}, \dots, \{TranSub_n\}\}$$

$$TranSub_i = \{Tran_i, Sub_i\}, \quad i = 1..n$$

O 是组合知识,TranSub_i 是各子布局的变形形式,Tran_i 是变形参数,Sub_i 是各子布局的形
状表达.其中组合方式是一种空间关系的体现,因而可以用具体的坐标值或抽象的空间关系
表示——空间矩阵两种方式表示.

构图知识的深层表达 LDR 的 BNF 如下.

::=代表“定义”;[]代表任选;|代表“或者”;
 []+代表“至少出现一次”;
 []*代表“出现零次或多次”
 <>代表“BNF 变量”;<>代表“终结符”

```

<LDR> ::= <NAME> <ATTRIBUTES> <TYPE> <ELEMPARA> <LAYPARA>
<ATTRIBUTES> ::= [ <ATTRIB> ] +
<ELEMPARA> ::= [ <CLOC> ] [ <TRAN> ] <ELEM>
<LAYPARA> ::= <SUBNUM> <COMPTYPE> <COMPPARA> <WIDTH> <HEIGHT> <SUBINFO>
<SUBINFO> ::= [ [ <SUB-CLOC> ] [ <SUB-TRAN> ] [ <SUB-LOC> <SUB-INDEX> ] <SUB-LDR> ] +
<SUB-CLOC> ::= <CLOC>
<SUB-TRAN> ::= <TRAN>
<SUB-LOC> ::= <LOC>
<SUB-INDEX> ::= <INDEX>
<SUB-LDR> ::= <LDR>
  
```

其中各部分的含义为

- NAME 是构图知识名.
- ATTRIBUTES 是构图知识的各种属性;具体的内容根据应用的要求决定.
- TYPE 指明该子布局是子图案的布局,还是子图元.
- ELEMPARA 是图元的使用参数.CLOC 是图元中心的位置;TRAN 是图元的几何变换参数;ELEM 是图元形状.

• LAYPARA 是子图案布局的使用参数.SUBNUM 是子布局的个数;COMPTYPE 是组合方式的类型,例如散点式、直线型等;COMPPARA 是组合方式的具体参数,例如散点图案的疏密度、直线排列的轨迹方程等;WIDTH 和 HEIGHT 是符号矩阵的宽、高.

• SUBINFO 是子图案布局知识的各子布局的使用信息链.SUB-CLOC 是各子布局的位置;SUB-TRAN 是各子布局的几何变形参数;SUB-LOC 是各子布局中心的矩阵位置索引;SUB-INDEX 是各子布局所占据矩阵区域的左上角和右下角位置索引;SUB-LDR 是所使用的子布局的深层表达.

其中 *LAYPARA* 中的信息可分为 *COORD* 和 *SPACE* 两类. *COORD*:*COMPPARA*, *SUB_CLOC*, *SUB_TRAN*, 保存具体的坐标信息和组合、变形方式的特征参数. *SPACE*: *WIDTH*, *HEIGHT*, *SUB_LOC*, *SUB_INDEX*, 保存子布局的空间表达的符号矩阵宽高及其各结点元素的索引.

由以上分析,这种表达可以保存图案生成过程中图案与子图案的组成方式和变形信息以及相对空间位置.

2.2 构图知识的空间表达

构图知识的空间表达记为 *LSR*.

$\langle LSR \rangle ::= \langle FATHER \rangle \langle FINDEX \rangle \langle FLOC \rangle \langle GENMATRIX \rangle$

$\langle FATHER \rangle ::= \langle FLNR \rangle | \langle NULL \rangle$

$\langle FLNR \rangle ::= \langle LSR \rangle$

$\langle GENMATRIX \rangle ::= \langle MATRIX \rangle | \langle TRAN \rangle \langle ELEM \rangle$

其中 *FATHER* 指向父布局的空间表达; *FINDEX* 是该布局在父布局中所占据矩阵区域的左上角和右下角位置索引; *FLOC* 是该子布局中心在父布局矩阵中的位置索引; *GENMATRIX* 是一个广义的矩阵. 当布局是子图案的布局时, 其值为下文所描述的符号矩阵 *MATRIX*; 当它是子图元时, 保存图元的变形形式; *ELEM* 是图元, *TRAN* 是图元的变形参数; 记矩阵 *MATRIX* 的值为 *A*, *A* 是一个 *Width* × *Height* 的矩阵. 记 *Width* = *m*, *Height* = *n*.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad A \text{ 的每一项元素记为 } a_{ij}, i=1..m, j=1..n.$$

$a_{ij} ::= \langle VALUE \rangle \langle SUB_NAMELIST \rangle \langle SUB_LOCLIST \rangle$

$\langle SUB_NAMELIST \rangle ::= \{ [\langle SUB_NAME \rangle] + \}$

$\langle SUB_NAME \rangle ::= \langle NAME \rangle$

$\langle SUB_LOCLIST \rangle ::= [\langle SUB_LSR \rangle +$

$\langle SUB_LSR \rangle ::= \langle LSR \rangle$

其中 *VALUE* 是一个布尔量. 当 a_{ij} 被某一复合子图案或一图元覆盖时, *VALUE* 的值为 1; 否则为 0; *SUB_NAMELIST* 是一个字符串链表, 记录所有覆盖 a_{ij} 的子布局的名字; *SUB_LOCLIST* 是一个保存中心位置在 (*i*, *j*) 的子布局的空间表达的链表.

以符号矩阵表示空间关系的优点在于:

(1) 以符号矩阵的形式显式保存空间关系, 可快速、定性地获得一些空间属性. 例如, 比较索引位置获得上、下、左、右等空间关系; 布局的面积可以用 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot Value$ 计算.

(2) 一般的空间关系表达方法, 如一阶谓词逻辑、有向图等. 用一维的表示来表达二维或三维的空间关系, 因而对互相关联的复杂空间关系的表示会造成组合爆炸. 而矩阵形式与空间关系有同态性, 因而表达简便、准确.

(3) 不必具体输入子布局的坐标数值, 而可以获得它们的相对空间关系.

但另一方面, 矩阵空间表达也有不可避免的缺点:

(1) 符号矩阵的划分、定义必须是精确的, 因而难以表达二义性的信息, 例如, 欲表达“*A* 在 *B* 上或 *A* 在 *B* 左”这种规则时.

(2) 它的信息表达准确度与矩阵宽高划分的精度密切相关. 当粒度为最小时, 矩阵退化为点阵. 而矩阵空间表达的优势之一也正在于它将空间划分成若干区域, 消除冗余细节, 加快空间关系的提取. 因而矩阵的粒度对空间关系表达至关重要. 矩阵粒度与它的表达有效性可以看作如图 2 的关系.

2.3 构图知识的视觉表达

布局的视觉表达是一幅生成的图案.

$$\begin{aligned}
 LVR: \{Tran, (SubP_i)\}, & \quad i=1..SubNum \\
 SubP = \{tran_j, (subp_j)\}, & \quad j=1..SubP.SubNum \\
 \text{或 } SubP = \{tran_j, (Elem_j)\}, & \quad j=1..SubP.SubNum \\
 Elem = \{c(x, y)\}, & \quad (x, y) \in ElemShape
 \end{aligned}$$



图2 矩阵粒度与表达有效性关系

视觉表达 LVR 由子图案的视觉表达 $SubP$ 经过变换 $Tran$ 后组合而成. $SubP$ 是下一层的子图案经变换或由图元 $Elem$ 经变换后组成. 图元是一个象素点的集合, 每个象素点具有色彩 c .

3 基于计算心象的构图知识操作

在构图知识表达上, 我们定义了一系列操作. 表达之间

的转换和操作之间的关系可以总结为图 3. LDR 的 $COORD$ 可通过 $reconstruct$ 操作转化为 LVR , LVR 上可进行 $transform$ 操作, 对其变形. LDR 中 $SPACE$ 通过 $retrieve$ 转化为 LSR , LSR 上可进行 $put, delete, move$ 操作, 更改子布局的空间关系. LSR 可用 $store$ 操作转存为 LDR .

(1) 深层表达上的操作 知识库相当于人脑的长期记忆, 因而知识库上的操作是对深层表达进行的. 知识库上支持知识的输入 $finput$, 修改 $fmodify$, 查询 $fget$, 删除 $fdelete$ 操作.

(2) 视觉表达上的操作 $transform$ 操作是对视觉表达 LVR 进行变形. 一般, 变形操作可为: 旋转、比例缩放、平移、错切. $reconstruct$ 操作从深层表达构造布局的视觉表达, 是图案的生成操作. 它首先构造布局树的根结点—图元的视觉表达, 从图元库中取出图元的形状; 而后对图元按指定的变形参数做 $transform$ 操作, 根据空间组合方式, 组合变形图元, 获得上层子图案的视觉表达; 递归直至布局树的根结点.

(3) 空间表达上的操作 put 操作将一个子布局的空间表达 Lsr_{sub} 插入另一布局的空间表达 Lsr 中, 使 Lsr_{sub} 的中心位于 Lsr 的矩阵 A 的指定位置, 覆盖 A 的某一区域. $delete$ 操作将一个子布局的空间表达 Lsr_{sub} 从它的父布局的空间表达 Lsr 中删去. $move$ 操作将一个子布局从它在父布局的中心位置移到另一位置.

$focus$ 将注意力聚焦于特定的子布局. $unfocus$ 将受聚焦状态指向当前布局的父布局.

$retrieve$ 操作从深层表达重造空间表达. 它有两种空间表达获取方式: (1) 从深层表达的 $SPACE$ 参数部分, 直接获取空间矩阵; (2) 从 $COORD$ 参数中, 计算各子布局在网格划分中所占的网格位置, 从而获得 $SPACE$ 参数, 获得空间矩阵. 其中网格划分是根据矩阵的宽高将图案划分成一个一个小网格区域.

$store$ 操作根据空间表达 LSR 和 $COORD$ 参数转化为 LDR 中有关的槽值.

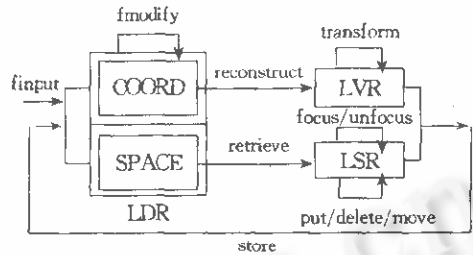


图3 表达上的操作关系

4 构图知识空间表达举例

图4是一个画面的分析结果. A是一个画面, 它的空间矩阵由B与C两个子矩阵组成, B由D与E子矩阵组成, D又是由H知识的两个不同变化的空间矩阵组成, E由F与G穿插排列而成. 图中的树, 即表示各子布局的空间矩阵的层次组成关系.

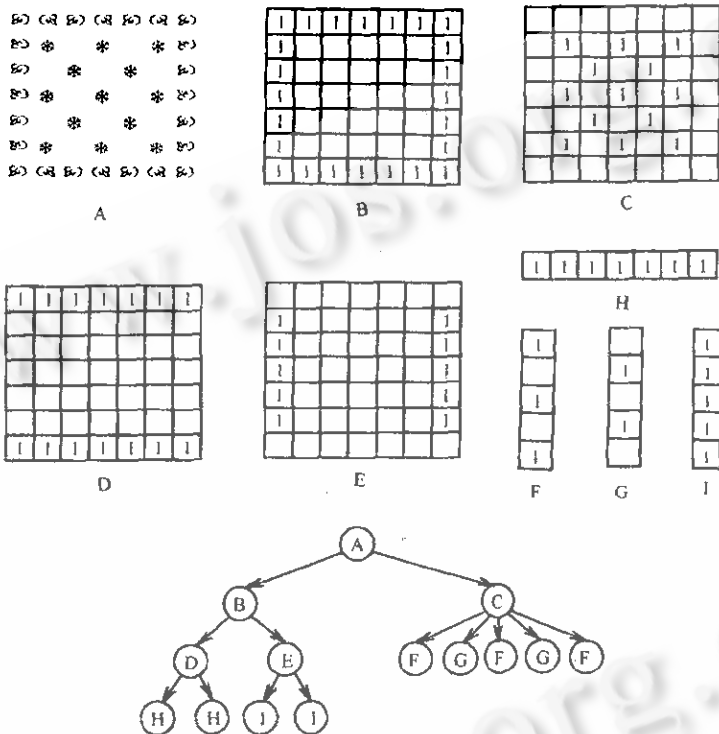


图4 布局知识的空间表达

5 讨论

以上的构图知识表达具有如下特征:

(1) 可以对不完全信息作出表达. 例如在 $\langle SUBINFO \rangle$ 中, $\langle SUB_CLOC \rangle$, $\langle SUB_TRAN \rangle$, $\langle SUB_LOC \rangle$, $\langle SUB_INDEX \rangle$ 分别为任选项, 即其中某些信息可以不明确指出. 当 $\langle SUBINFO \rangle = [\langle SUB_LOC \rangle \langle SUB_INDEX \rangle \langle SUB_LDR \rangle]$ 时, 表明该知识指明一类子布局的空间位置(上、下、左、右)关系确定, 但各子布局的具体坐标位置和变形参数未知的构图知识. 即它指示一类具有指定的子布局空间组合方式共性的构图知识.

(2) 它显式描写了子布局的组合方式类型(旋转式、散点式、直线式)以及相应的组合特征参数等语义信息. 而且, 该知识表达可以对不完全信息作出表达, 指示一类构图知识的共性. 因而可以对构图知识进行归纳分类, 抛弃具体的细节, 提取空间关系、组合方式等特征.

(3) 利用构图知识表达的嵌套性, 可以将布局分解成子布局. focus, unfocus 可以用于遍历布局树, 用于布局分解过程. 视觉表达的 transform, 空间表达上的 put, delete, move 可

以在推理过程中,根据要求修改构图知识生成新的图案构成方式.因而可实现分解综合的形状设计思维过程.[5]

但是,本文所提出的构图知识表达只表达了图案构成过程中的图案变形、组合结构,而并未涉及诸如均衡效果、黄金分割等美学原则的表达.空间关系的符号矩阵表达具有很多灵活性,但也有天生的缺点,因而对空间关系的表达需要拓展与优化.计算机辅助图案设计是美术与计算机相结合的边缘领域,本文只是对形象知识表达在美术图案领域的应用的初步尝试,有待于进一步的深化.

参考文献

- 1 Stiny G. Introduction to shape and shape grammars. *Environment and Planning B*, 1980,7:343~351.
- 2 Glasgow J I. Artificial intelligence and imagery. In: *Proceedings of Tools for AI*, Washington, 1990.
- 3 Glasgow J I, Papadias, Dimitri. Computational imagery. *Cognitive Science*, 1992,16:355~394.
- 4 Glasgow J I. The imagery debate revisited: a computational perspective. *Computational Intelligence*, 1993,9(4).
- 5 潘云鹤.形状设计思维过程的模式. *浙江大学学报*,27(3):363~368.

COMPUTATIONAL IMAGERY-BASED ART PATTERN COMPOSITION KNOWLEDGE REPRESENTATION

ZHU-GE Yuan PAN Yunhe

(*State Key Laboratory of CAD&CG Artificial Intelligence Institute Zhejiang University Hangzhou 310027*)

Abstract Art pattern composition knowledge representation is the basis of the intelligence of computer-aided art pattern design. Computational imagery is a simulation of the human mental image. The paper describes an art pattern composition knowledge representation scheme based on computational imagery. It includes the deep representation, visual representation and spatial representation, and the operations of these three representations. It represents the art pattern layout's subshapes' visual shape and spatial relation to constitute the representation of the layout, contains their abstract and image information.

Key words Intelligence CAD, computational imagery, art pattern composition knowledge representation.

Class number TP391