

# 基于空间推理的设计方法及其应用<sup>\*</sup>

庄越挺

潘云鹤

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

**摘 要** In this paper, we discuss two main techniques concerning spatial reasoning in the design field, representation of spatial relation and method of spatial reasoning. Based on this, we present a spatial reasoning model. Finally, we discuss an automatic advertising creation system which acts as an example of this model.

**关键词** Spatial reasoning, Design automation, Case-based reasoning, Advertisement creation

## 一、引言

空间推理(Spatial Reasoning)是推理的一种类型,其主要特征表现为推理所依赖的信息涉及空间数据,空间推理可广泛运用于许多领域,如机器人路径规划、自动车辆控制、空间货流管理、建筑布局、印刷电路板、GIS 等等。

人工智能界、认知心理学界和动物学界的专家,都从不同的角度对空间推理进行着研究,如动物学家从研究鸟类迁徙的导航中发现,鸟能根据其所记录的不同的视觉标记(Visual Landmarks)之间的局部的和短暂的关系去导航。这种所谓的标记和人工智能中研究的对象是相对应的。

空间推理在 AI 中,大多是关于积木块世界的讨论,由于其问题性质简单,且往往以理论探讨为目的,而并未有实际的应用,典型的系统如 STRIPS、GPS。

认知心理学界也有对空间推理的大量研究,如 Shepard 和 Metzler 所作的关于心理旋转的实验,目的在于探讨人脑中对于空间形状的操作手段,揭示形象思维的规律。

在设计领域中,空间推理表现得尤为活跃,如产品造型设计、建筑设计等都涉及了大量空间推理。

本文将着重研究基于空间推理的设计方法,并以广告设计为例,讨论了它的应用前景。

## 二、空间推理设计模型

如我们所熟悉的,AI 中提出的推理模型是以“事实+规则”为核心的正向、逆向或混合双向的推理。空间推理的主要特征是具有空间数据以及空间关系,而空间关系要比单纯的数据约束显得更为复杂。

设计问题有其自身的特点,设计的目的是得到一个设计物(Artifact),称为设计对象,从初始情况得到满足条件的设计对象为设计过程,设计对象和设计过程即为设计的二个主要方面。

设计对象中包含许多空间信息,空间推理则包含在设计过程之中。

一个典型的 GIS 的空间信息结构可表示成图1,空间数据库中包含了空间对象(弧、点、多边形)以及拓扑特征的定義,它可继续细分为:从数字化后的数据库经过过程计算出拓扑特征,并写入到拓扑数据库中。

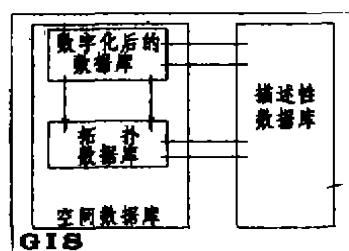


图1

<sup>\*</sup> 国家基础研究攀登计划、国家自然科学基金、国家863高技术智能机主题资助项目,庄越挺 在职博士生,研究领域:智能 CAD、专家系统、形象思维。潘云鹤 教授,博士生导师,研究领域:智能 CAD、形象思维、计算机美术等。

显然,和 GIS 模型不同,我们提出了一个空间推理的模型,表达如下:

- 一组基本设计部件  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ ;
- 一组空间约束关系集  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_l\}$ ;
- 一个操作算子集合  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ ,  $f_i \in F$  表示对空间部件的操作,如空间移动、旋转、合并、相交等等,其作用后的结果是得到一新的部件  $P_i$ ;
- 操作算子的运用是由设计知识库 KB 决定的,KB 中包含了设计师的经验知识、设计原理等等,如图2所示。

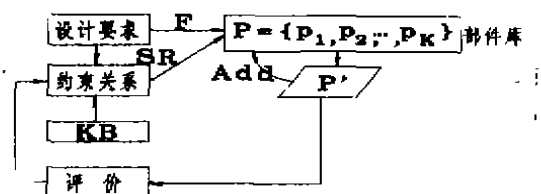


图2

以建筑设计中的平面布局为例。

$P = \{\text{厨房}(p_1), \text{卧室}(p_2), \text{卫生间}(p_3), \text{书房}(p_4), \text{客厅}(p_5)\}$

$R: r_1: p_1$  和  $p_3$  相邻

$r_2: p_2$  和  $p_1$  相邻……

$F: f_1: \text{Adjacent}(x, y); //$  将  $x, y$  放于邻近位

$f_2: \text{Enlarge}(x); //$  将  $x$  的面积放大

$f_3: \text{Contract}(y); //$  将  $y$  的面积缩小

$f_4: \text{Left}(x, y); //$  放  $x$  于  $y$  左边

$f_5: \text{Right}(x, y); //$  放  $x$  于  $y$  右边

...

KB: 卧室( $p_1$ ) 在阳面为好;

如想有安静的读书环境,那么安排书房离客厅最远,...

基于上述模型,通过空间推理可得到布局方案(图3)。空间推理需着重解决的问题是:(1)空间关系的表达;(2)进行空间推理的方法,以下分别述之。

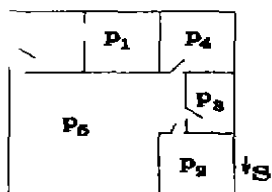


图3

### 三、空间关系的表示

进行空间推理的物质条件是需有空间信息的参

与,而空间关系则是最为重要的空间信息,归纳起来,主要有:

1. 由设计元素及其关系组成拓扑结构的描述,定义出一组关系,如“A 与 B 相接触”,“A 与 B 相连接”,“A 在 B 上面”,“A 在 B 下面”等等,在决定设计行为时,这些关系起了极为重要的作用。其一般形式为:

关系名(对象1,对象2,...,对象n)

由所有关系组成的集合构成空间推理的事实库。

2. 以“对象+特征”的形式表示设计元素的空间信息,其一般形式为:

对象::特征::值

对象的特征可分多种,包括拓扑、几何、物理、动态、功能等等。

关于设计元素自身的几何、拓扑特性的表示,比如:如何说明尺寸、设计元素的形状、置于空间中的什么位置等等,这些已在计算机图形学中作了大量的研究。

对于一个3D(2D 为其特例)实体,可采用 CSG 表示法以及 BP 表示法,一个实体的表示为了便于设计,要求具有:(1)清晰简明;(2)表达的信息丰富完整;(3)易于提取,便于空间推理的进行。

大量研究表明,表达一个3D 实体的最有效办法是 CSG+BP,通过知识的运用以及空间推理,得到将某种指定的操作施加于某些元部件这样的信息。因此空间推理的结果可看成是 CAD/CG 系统的输入,如图4。

输入设计空间推理某种规格化表达的中间语言 CAD/CG 子系统输出设计图

图4

3. 语义网络表示法。语义网络(SN)最初由 Quillian 在1968年提出,广泛用作为 AI 中的知识表达手段,应用于自然语言处理、各类智能系统之上。

SN 同样可用于设计,将设计对象看成 SN 的结点,各对象之间的空间关系以弧线相连接,弧上可标以名称。

节点的类型,可以是概念、事例、类别、特性等任何对象,由 SN 提供了一种组织空间信息的直观且模块化的途径,用它实现的空间组织可用来解决空间设计问题,图5表示从一种语义网络到空间设计的过程。

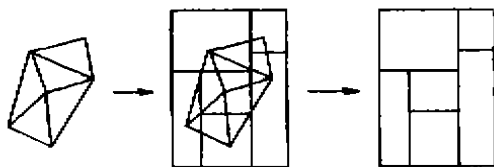
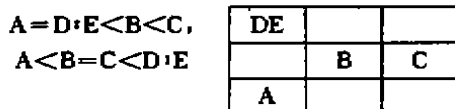


图5

从实现的角度看,语义网络结构可以表示成(object,attribute,value)这种形式的三元组,与框架表示法一样,其缺点为:①需要将语义网络翻译成计算机可操作的形式;②如果节点或节点间连接众多,则SN的维护显得很笨拙。

4. 2D 字符串表示法。多用以描述一幅图象中各元素间的空间关系,最初由 S. K. Chang 提出,其基本方法是:先用方块将图像中具有特定含义(如山、河、湖、建筑物等)划分出来,标上符号,如图6表示的简单例子,可用字符串描述成:



其中使用了三个空间关系操作符:< 左右或下上空间位置关系;= 同一空间位置;  
· 同一集合中。

图6

文[4]中作者总结出了2D 空间中所有可能出现的169类空间关系,在这一完备的2D 空间关系集上建立的基于关系代数、谓词逻辑演算可进行2D 图象关系数据库的查询,GIS 中研究的空间关系大部分属于此种类型。

对于一个设计问题,形体之间的空间位置关系却不象2D 图像中那样可以寻求全集。

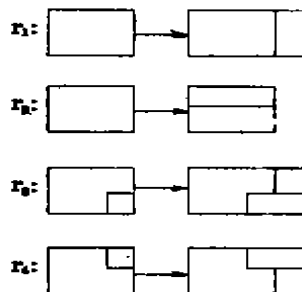
#### 四、空间推理方法

由于每一设计问题之间性质不同,且表达设计元素空间信息的方法不同,因此空间推理的方法也有很多。归纳起来,主要有:

##### 1. 形状文法方法(Shape Grammar)

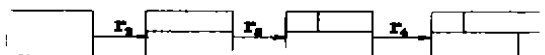
一个物体的空间结构蕴含在它的各部件的空间关系上,空间结构文法则能提供一种表达结构以及产生空间结构的重写机制。形状文法最早由 Stiny 教授提出,即用产生式规则表示文法,作用于形状(Shape)之上,产生出设计结果,如:

• 16 •



其中  $r_1$  通过扩展结构的左边而增加一间房子,  $r_2$  通过扩展结构的顶部而增加一间房子,  $r_3$  增加一间房子,并把位于结构右下角的房子扩展,  $r_4$  增加一间房子,并将位于右上角的房子扩展。

根据  $r_1 \sim r_4$ , 很容易生成如下一种新房子的结构:



用形状文法可以产生许多设计,著名的有 Stiny 和 Mitchell 教授的 Palladio 风格的庭院生成;Gips 教授的中国古典建筑窗户格子的生成等等。

基于形状文法的空间推理机制简单,与 AI 中经典的产生式系统完全一样,只是此处的规则操作的对象是具有结构的形状。

虽然形状文法看似十分精致,但并非适用于任何设计领域,原因为:(1)要表示成规整的形状文法很难;(2)人类的设计过程并非那样简单的生成就能达到。

事实上,创造性的设计中所参与的联想、想象这些形象思维活动是无法以形状文法表达的。

##### 2. 谓词演算方法

将设计对象及其相互间的空间关系表达成为一阶谓词逻辑,空间推理规则表达成为谓词演算公式。

比如,如果 a 比 b 高, c 比 b 矮,试推出 a, c 间的空间关系。这一陈述可表达成为: taller(a, b), shorter(c, b)。而且我们有如下的推理知识:①  $\forall x, \forall y$  shorter(x, y)  $\leftrightarrow$  taller(y, x);②  $\forall x, \forall y, \forall z$  taller(x, y) AND taller(y, z)  $\rightarrow$  taller(x, z)。由此得出: taller(a, c)

在 AI、数理逻辑中,人们已经总结出了多种谓词演算的方法,主要有:

1) 应用归结原理的归结反演,通过将公式化为子句形式,并把目标公式否定,力图推出一个矛盾的

空子句,如 GPS 的目的-手段分析法。

2) 规则演绎系统, 以原始给定的蕴涵形式来使用每一公式(而不再化为子句形式, 后者将失去固有的额外信息), 可细分为正向、逆向以及混合系统。斯坦福大学的 STRIPS 即是这样的问题求解系统。

逻辑方法进行空间推理,优点是步骤严谨,但本质上它是在状态空间中进行搜索,一旦问题复杂,效率就会很低。为此,AI学者提出了很多的优化策略,以改进逻辑推理的效率。

事实上,纯粹的逻辑系统应用于实际的空间推理系统是不可能成功的,大多是作为基本原理应用于专家系统之上。

### 3. 基于约束的空间推理

设计通常可被看成是一个约束满足问题(CSP),约束集限制下的子空间即为设计的解空间,整个求解过程——空间推理,则是基于约束进行的。设计空间可视为变量及可能值范围组成的约束集,约束可表达成约束网络(CN),约束关系可在CN上进行传播。

许多实际问题,如城市小区规划、码头集装箱堆放、衣片排料等,都可归之为这一类问题。

### 五、空间推理的一个实例

我们目前正在从事的研究课题是“广告自动创意系统”，该系统根据用户的要求，如表现的商品、品质、消费对象等，再根据以前的设计实例（即CASE），通过知识的推理得到一个自动创意，图7所示为该自动创意系统的总体结构。

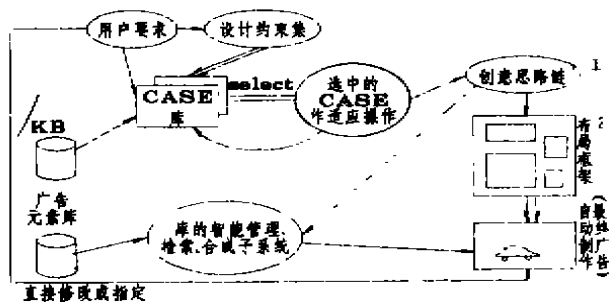


图7 广告自动创意系统的模型

有关此系统的详细过程,我们将另文发表,这里着重讨论从I→2的过程.即从一个创意思路链,得到一个广告的各部分的布局关系图.为简化问题,广告的每一构件以方块表示,因此方块间存在多种约束关系:

1. 每一方格自身内部的约束:如商标需要多大,采用何种字形等等;这些约束将决定该方块所占大小及在画面上的位置。

2. 方格之间的排列布局,如广告插图、厂商商标、产品牌子之间便存在着一定的比例约束关系。

这里,空间推理的任务是根据创意所得到的若干广告要素以及广告设计的一般原则,得出最佳的  
空间布局。

比如,我们现在要做一则关于女士手表的广告。根据图7的模型,运行结果是从case库中选出关于“哈格长裤”的时装广告,其画面是这样的:在法庭上,审判长和观众都紧盯着被审判者所穿的“哈格长裤”,而进入了忘我的境界。以此突出“哈格长裤”的引人注目。对此case作适应操作,我们得到的创意思路链是:某姑娘戴着此手表上飞机,众人紧瞪着姑娘手腕上的手表而忘记了应该登上舷梯了。并根据原case中的布局以及设计知识,得到当前广告的布局,这便是空间推理。

## 六、结论

空间推理在 AI、GIS 中的研究方兴未艾, 其设计中的研究更是前途广阔。为了使设计更具智能、创造性, 我们认为应该着重研究认知模型以指导空间推理的进行。从文中对于空间关系的表达以及推理来看, 我们发现一个问题:

需要有一个介于 CSG-Image 之间的设计对象表达方法, CSG 过于精确的形体表示方法限制了空间信息参与推理的灵活机动性, 另一方面, Image 的表示失去了对象中重要的空间关系, 在上面的广告系统中便是如此, 一个先前的设计 case, 纯粹的 Image 无法推理, 必须在其上加上一层描述层, 介于 CSG 和 Image 之间。

应该指出,本文的空间推理模型以及对认知模型的讨论,仅仅是我们工作的初步结果,介绍给国内同仁,以作交流。

### 参考文献

- [1] R. D. Coyne, et al., Knowledge-based design systems, Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1990
- [2] H. Yoshikawa (eds), Intelligent CAD. I, Amsterdam, North-Holland, 1990
- [3] Suh-Yin, Lee, et al., Spatial Reasoning and Similarity Retrieval of Images Using 2DC-STRING Knowledge Representation, Pattern Recognition, Vol. 25, No.3, 1992
- [4] [美] R. 安德森著,《认知心理学》,吉林教育出版社,1989