

面向智能 CAD 的分层构造自动型方法*

潘云鹤 耿卫东 童欣

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

摘要 本文着重对由抽象符号转化成具体形体的技术作了研究,提出了分层构造的自动造型方法.它支持直接由抽象的设计方案自动生成设计结果的三维表示,因而更适合于以辅助方案设计为核心的智能 CAD 系统.一个基于该自动造型方法的椅子智能 CAD 实验系统已在浙江大学人工智能研究所投入运行.

关键词 智能 CAD,自动造型,分层构造.

智能 CAD 系统的目标是支持方案设计,这不仅要求系统能应用几何推理、约束满足等 AI 技术,而且还要求系统能根据设计对象的描述信息(一个完整的或部分的设计方案)自动生成设计结果的三维表示,从而使得设计人员(或用户)不为造型操作所涉及的繁琐细节所困扰,更注重其设计思维过程.^[1,2]

目前在 CAD/CG 领域,对自动造型技术已做了大量研究,并取得相当进展.其中最具代表性的自动造型方法有 3 类^[3-5]:(a)变动几何设计(Variational Geometry Design),即根据一类形体的变动模型,修改、调整其可变动信息,生成具有不同特性的形体;(b)特征造型,即通过添加、删除、修改一系列抽象的具有语义的特性描述,生成一个设计对象的三维表示;(c)参数化设计,参数化设计可以认为是变动几何设计的一种,其参数主要用来限定三维形体的几何特性.尽管这几类造型方法曾极大地推动 CAD/CG 领域造型技术的发展,但对智能 CAD 系统而言,它们还存在以下不足:

(1)造型方法过于呆板,不与持形状的推理与综合.设计形体的变动模型(或参数模型)、特征解释等都是由系统规定的,设计人员(或用户)很难对其修改或生成新的变动模型,使得落在其规定的几类模型之外的形体还必须由用户来通过繁琐的造型操作交互生成;

(2)参数模型中的参数、变动模型的变动信息等往往是一些“细节”,而“细节”多产生于详细设计阶段,在方案设计阶段这些信息是模糊的、不精确的.由于不支持由抽象到具体、由模糊到精确的设计过程,因而这几种造型方法很难应用于辅助方案设计,离智能 CAD 的目标——支持方案设计还有相当距离.

* 本文研究得到国家自然科学基金、攀登计划、国家 863 高科技项目、浙江省自然科学基金资助.作者潘云鹤,1948 年生,教授,浙江大学校长,主要研究领域为认知科学,人工智能,CAD/CG,形象思维等.耿卫东,1967 年生,现为浙江大学工控所博士后,主要研究领域为认知科学,智能 CAD.童欣,1971 年生,硕士生,主要研究领域为智能 CAD.

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 1995-03-03 收到修改稿

针对这些不足,我们对由抽象符号向具体形体的转化技术作了研究,提出了面向智能 CAD 的分层构造自动造型方法,并在我们的椅子智能 CAD 实验系统——AutoChair 中实现了该方法。

1 分层构造方法的提出

设计方案是设计结果的抽象描述,其表示既有抽象的符号信息(如概念、术语等),也有一些图形、图标(ICON)等形象信息。在方案设计阶段,随着设计过程的推进,设计方案逐步由抽象变具体,由模糊变清晰,最后形成一个完整的设计结果表示。但设计过程并不是线性的,设计人员不断地在各个抽象层上对设计方案进行分析、比较、评价、修改,直到获得满意的设计方案为止。这就要求智能 CAD 系统中的自动造型技术能够支持从各个不同抽象度的设计方案自动生成设计结果的三维表示(在极端的情况下,要从一个由抽象概念表示的设计方案生成一个具体可见的形体),以便设计人员及时对它作出评价,从而达到辅助方案设计的目的。而设计方案所具有的抽象性、模糊性与三维形体生成所要求的精确性、唯一性、具体性是不相容的,这就给自动造型的实现带来了很大困难。

视觉认知研究表明^[6]:人在进行由抽象符号向具体形体转化时存在着多层中间媒介,在这些中间媒介上进行形状的推理、综合等操作,逐步实现由抽象到具体。因此,我们提出了分层构造思想来实现由抽象设计方案到具体的结果形体的转化,通过引入一些抽象表达层作为中间媒体,并提供一些辅助操作来实现各抽象表达层之间信息的相互转换。这样的逻辑分层,不仅可以有效地应用几何推理及一些特殊形式的约束满足技术来逐步消除设计方案中的“模糊性”,还可以方便地引入形状的推理与综合,最终达到由设计方案(包括各种抽象度)自动生成设计结果的三维表示的目的。

在我们实现的椅子智能 CAD 系统——AutoChair 中,其设计知识表示是基于原型的^[7,8],设计方案被表示成原型空间的一个拓展,它通过概念术语解释、部件生成、结果装配 3 个层次来构造结果形体。下面结合 AutoChair 中的具体实现,对分层构造自动造型方法作一详细介绍。

2 概念术语解释

概念术语解释是将设计方案中的概念、术语等一些抽象的符号与形象的形状(或图形)相联系,实现符号信息向形象信息的转变。

在 AutoChair 中,概念术语解释分为 2 类:①部件式样解释,即把跟部件描述相关的概念术语解释成设计人员所能接受的图形模式;②设计风格解释,即把抽象的设计风格形象化,以形成设计对象的整体结构的图形模式。以“椅面”的式样解释为例,它的一个简单的术语描述表示如下:

```

〈椅面〉    ::= 〈〈椅面特征〉〉〈椅面式样〉
〈椅面特征〉 ::= 〈蒙面〉|〈园角〉|〈平整〉…
〈椅面式样〉 ::= 〈方形〉|〈圆形〉|〈椭圆形〉|〈梯形〉|〈自定义式样〉|〈复合式样〉
〈源式样〉  ::= 〈椅面式样〉〈相似度〉
〈复合式样〉 ::= 〈源式样〉〈源式样〉{〈源式样〉}

```

在进行解释时,根据符号匹配与检索的结果,首先检查是否为系统提供的几种基本式样(方形、圆形、椭圆形、梯形),如果是,则依据图 1 所示生成相应的图形模式;否则,检查是否为自定义式样,如果是,则检查用户是否已定义,如果用户没有定义,则提示用户使用系统提供的二维作图工具,绘出相应的图形模式,否则,与基本式样的解释类似。

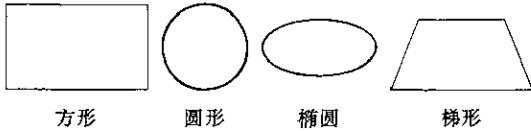


图1 系统提供的4种基本椅面式样

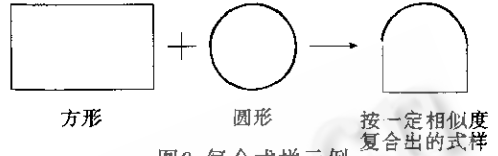


图2 复合式样示例

如果为复合式样,解释过程则稍微复杂一些. 首先将各个源式样解释为相应的图形模式,然后根据各个源式样的图形模式及相似度,采用 AI 中的符号推理与 CAD/CG 中的 Blend 技术相结合的方法,进行形状的推理与综合,生成所期望的复合式样模式. 例如,“方形”和“圆形”的复合式样如图 2 所示。

不难看出,通过概念术语解释,一方面直接为一些典型的抽象概念术语赋予可见的形状模式,另一方面通过对已知的形状模式进行形状综合,生成期望的式样模式,从而实现由抽象符号信息向具体形状模式的转化。

当然,在进行概念术语解释时,也允许用户通过修改抽象符号或已解释好的图形式样模式对设计方案进行进一步的补充或完善。

3 部件生成

对于部件而言,通过概念术语解释获得的只是部件式样图形模式,并不包含生成部件三维表示所必需的具体几何信息. 因此,在进行部件生成时,首先根据部件的特征,找出生成该部件的三维形体所必需的具体几何信息,然后调用生成该部件的造型操作,就可生成部件的相应三维形体。

AutoChair 在进行部件生成时,首先根据部件的名称从造型知识库中取出生成该部件所必需的信息,并且将目前已获得的信息作相应变换填入其中,检查一致性. 如果约束冲突,则根据系统的约束冲突调度策略作相应的调整,然后再根据部件的定义性特征(在 AutoChair 中,部件的特征被分为定义性特征、描述性特征 2 类)生成相应的几何信息. 如果定义性特征约束不足,则根据知识库中的人体工学原理及形式美的原则,推理得出约束不足的信息(或由用户交互输入). 在得到生成部件所必需的信息之后,调用生成该部件的造型操作,产生该部件的一个基本的三维描述;对于部件所附加的描述性特征,则采用特定的造型手段加以模拟(类似于特征造型),最终生成所期望的部件形体。

继续以“椅面”部件为例,系统首先找出椅面生成所必需的信息,并且把式样模式等相关信息填入其中,然后根据椅面的大小等定义性特征,确定椅面的具体几何信息(如约束不足,则通过知识库作省缺推理获得). 再调用椅面的造型操作,即可生成椅面的基本形体;假如椅面还附加有描述性特征,则调用相应的造型方法加以模拟. 以“椅面”的“蒙面”特征模拟为例,其模拟方法如下:首先根据椅面的式样模式拟合一闭合 Beizer 曲线,并根据椅面的厚度、椅子的总体结构、大小等信息,推算出椅面的蒙面高度,然后采用 Blend 方法与扭切

(Twist)操作相结合的技术,逐步逼近该 Beizer 环,最后生成具有蒙面特征的椅面。

4 结果装配

在生成设计对象的所有设计部件后,根据设计对象的结构关系约束,把这些部件装配成设计结果,才能获得一个完整的设计对象的三维表示。在分层构造中,其结果装配的一般方法为:首先根据设计对象的总体结构关系模式,建立各设计部件与结构图形模式间的匹配映射关系,并对装配过程作出规划,然后根据各部件的具体三维信息,确定各部件的确切装配位置、角度等相关装配细节,再根据相应的装配知识,执行相关造型操作,即可生成一个设计对象的完整三维表示。

在 AutoChair 中,其具体的装配步骤为:

(1)从设计方案的原型描述中提出取各部件(主要指椅面、支架、靠背、扶手等)间的连接关系,并对应概念解释阶段所获得的结构图形模式,检查一致性;

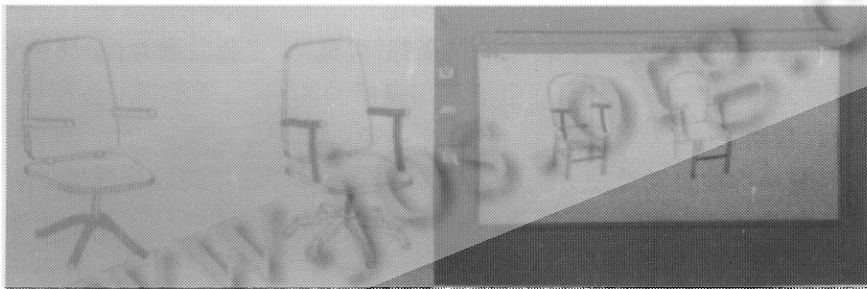
(2)如果约束冲突,则根据一定的策略进行调整(或人工干预);如果约束不足,则根据人体工学原理及美学原则推理得出所需的信息(或由用户交互输入);

(3)建立总体结构图形模式与各设计部件间的匹配映射,确定椅面、支架、靠背、扶手(如果存在的话)间的连接方式等信息,并进行装配规划;

(4)进一步确定各部件的具体装配位置、方向等装配细节;

(5)根据各部件的连接关系、方式及相关具体装配细节,按照规划好的装配次序,由装配知识作出解释,并执行相应的造型操作,最终获得椅子的一个完整的三维表示模型。

至此,一个抽象的椅子设计方案在经过概念术语解释、部件生成、结果装配 3 个层次后,已转化成一个具体的三维模型,图 3~5 分别为几个运行实例。



(a)

(b)

图 3

5 实验结果分析

我们在 Sun sparc LX 工作站上,用 C 语言实现了上述分层构造的自动造型方法,并把它应用于椅子智能 CAD 实验系统——AutoChair 中,运行实例参见图 3~5。

将设计对象进行逻辑分层构造,使得设计人员可以在多个抽象层上对结果形体进行修改、补充(图 3 为进行式样修改的例子),而不仅仅是对一些参数、变动信息等细节作调整,从而支持动态生成新的设计对象模型,在相当程度上克服了变动几何设计、参数化造型等方法

不支持生成新模型的缺陷,较好地满足了辅助方案设计对造型操作的要求,特别适合于以支持方案设计为目标的智能 CAD 系统.

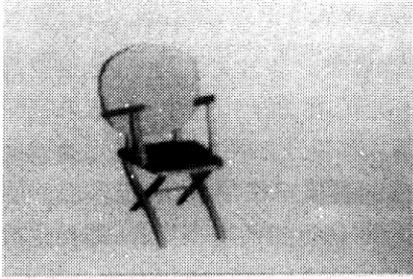


图 4

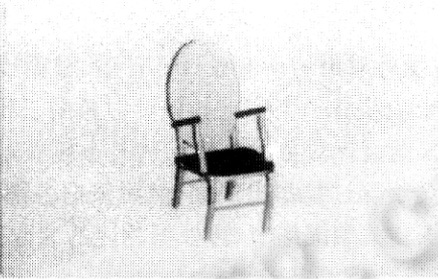


图 5

当设计方案表示较为抽象、生成设计结果的三维表示所需的细节比较模糊时,分层构造方法支持通过省缺推理机制从知识库中获取,避免了设计人员进行方案设计时直接对一些不重要的、繁琐的细节进行处理,从而更为有效地把握设计人员的设计意图.这样一方面使得设计人员更能注重其思维过程;另一方面也为常规设计自动化提供了可能(图 4、图 5 为 AutoChair 根据设计要求自动“设计”出的椅子).

6 小 结

本文对由抽象符号向具体形体的转化技术作了研究,提出了适合于智能 CAD 系统的分层构造自动造型方法,并在椅子智能 CAD 实验系统——AutoChair 中实现了该方法.

在 AutoChair 中,它可以由用户输入一些高层的设计要求,如椅子的风格、样式、美观程度、使用地点等,自动设计出一把“可见”的椅子,也允许用户在多个抽象层上对所产生的设计结果不断作修改、精致(每次修改、精致的结果都“可见”),直到满意为止.这不仅充分满足了辅助方案设计对造型操作的要求,而且展现出良好的实用性,通过进一步研究,完全可以使一些常规设计自动化.

不难看出,分层构造自动造型方法也为抽象符号向具体形体的转化提供了有效的方法和途径,这对于创造性设计的模拟、智能 CAD 新方法、形象思维的研究都具有十分重要的意义.

参 考 文 献

- 1 Nadel B A, Wu X, Kagen D. Multiple abstraction levels in automobile transmission design; constraint satisfaction formulations and implementations. *International Journal of Expert Systems*, 1993,6(4):489~559.
- 2 高飞,叶尚辉,孙文焕. 实体造型中的几何约束. *计算机辅助设计与图形学学报*, 1994,6(2):112~118.
- 3 Gupta S, Turner J V. Variational solid modelling for tolerance analysis. *IEEE CG&A*, 1993,13(5):64~74.
- 4 Chang J C H, Ratel D R. Feature-based modelling for mechanical design. *Computers & Graphics*, 1990,14(2):189~200.
- 5 Rossignal J R. Issues on feature-based editing and interrogation of solid models. *Computers & Graphics*, 1990,14(2):149~172.
- 6 章明. 视觉认知心理学. 上海:华东师范大学出版社,1989.

- 7 耿卫东,潘云鹤,何志均. 基于原型的设计知识表达. 模式识别与人工智能,1993,6(3):196~204.
- 8 耿卫东,潘云鹤,何志均. 基于原型的设计模型. 计算机科学,1993,20(3):61~66.

ICAD—ORIENTED AUTOMATIC MODELLING BASED ON HIERARCHICAL CONSTRUCTION METHOD

Pan Yunhe Geng Weidong Tong Xin

(Institute of Artificial Intelligence Zhejiang University Hangzhou 310027)

(State Key Laboratory of CAD & CG Zhejiang University Hangzhou 310027)

Abstract This paper mainly discusses the technology of transforming abstract symbol into concrete 3D model. A hierarchy—construction automatic modelling method is proposed, it supports transforming abstract design sketch into expected result 3D model, and meet the modelling demand of computer aided sketch design, so it is suitable for intelligent CAD systems. This method has been implemented in an intelligent chair—design system, which is running in AI Institute of Zhejiang University.

Key words Intelligent CAD, automatic modelling, hierarchical construction.