

# 基于实例的图案生成模型

方存好<sup>1</sup>, 张尧学<sup>1</sup>, 陈 纯<sup>2</sup>, 许端清<sup>2</sup>

(11 清华大学计算机系, 北京 100084; 21 浙江大学计算机系, 浙江杭州 310027)

**摘 要:** 基于实例的设计方法应用于图案 CAD 领域是一个新的尝试. 本文提出了一个基于实例推理的图案生成模型. 采用结构与数据相结合的实例描述方法, 将图案设计实例分解为基于框架描述的实例结构和基于多类型图元的实例数据. 而把整个图案生成过程视为特定的实例结构针对不同实例数据(图元)的例化过程. 对实例库的组织与检索、实例的改编与再设计等实例推理中的关键技术, 提出了新的求解策略. 同时, 利用知识推理方法, 在图案生成过程中引入了基于设计上下文的引导式交互技术以及局部操作到整体布局的自动提升等智能化交互技术, 简化了图案创作过程. 实际结果表明, 实例推理方法对于系列化、规格化的图案设计是一种有效的求解方法.

**关键词:** 图案设计; CASE 推理; 引导式交互技术; 自动提升

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 02-0298-05

## Modeling of Case Based Pattern Design

FANG Cunzhao<sup>1</sup>, ZHANG Yaoxue<sup>1</sup>, CHEN Chun<sup>2</sup>, XU Duanqing<sup>2</sup>

(11 Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

21 Department of Computer Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

**Abstract:** It is a new attempt to apply the case based reasoning (CBR) method to the pattern CAD domain. This paper presents a case based model for pattern design. We first decompose the pattern into pattern elements, and represents the pattern case by frame based case structure and element based case data, then the procedure of pattern design is modeled as the case making process of specific pattern case frame aiming to various pattern elements. We also present some new solving strategy for the key techniques used in CBR, such as the organization and query mechanics of case base, case adoption and redesign of case etc. Meanwhile, the conductive interaction technique based on design context and the knowledge based promotion from local operation to global layout are applied successfully in the model. Running the prototype system shows that CBR is an effective approach for the design of serial and regular pattern.

**Key words:** pattern design; CBR; conductive interaction technique; knowledge based promotion

## 1 引言

图案设计作为计算机辅助设计领域的一个分支, 其应用日益广泛, 已成为产品创新设计的重要内容<sup>[1,2]</sup>. 目前, 国内外已有众多的软件系统支持图案的辅助设计, 但它们中的大部分, 还仅仅局限于提供交互构图的功能, 即图案设计的主体还是设计人员<sup>[2]</sup>. 这类软件系统能够做到对设计人员创作思想的充分体现, 当然这是以复杂繁琐的交互过程为代价的.

对于图案设计的某些应用领域, 如轻纺图案设计、地毯图案设计, 图案本身的规格化程度较高, 类型对比鲜明, 同一类型的图案构成有规可循. 同时, 对设计活动的研究表明, 对于这类的图案设计, 设计人员通常是依据先前的设计经验和实例来指导完成当前的设计任务. 因此我们以此为对象进行了基于实例推理方法的图案生成模型的研究. 基于实例推理 (Case Based Reasoning) 是一种将人工智能技术应用于 CAD 系统中的有效方法, 是应用存储于计算机中的实例形成解决相

似或稍有变化设计问题的一种问题求解方法<sup>[3]</sup>. 它在图案创作过程中的引入, 将有助于设计人员利用先前的技术积累, 同时通过实例的交流, 也将有助于设计人员利用众多设计者的经验和智慧, 从而提高图案生成的速度和质量.

## 2 实例的分解表示

### 2.1 图案分解表示模型

图案设计的某些应用领域, 如纺织图案设计、地毯图案设计, 图案构成的基本单元)) 图元的重要性的很高, 图案类型对比鲜明, 构成有规可循, 设计活动本身的规格化程度较高. 为了提高创作过程的智能化, 支持更高的重用性, 我们引入了 / 图案分解模型, 将图案中的可重用部件抽取出来, 形成图元, 并组织在图元数据库中. 同时将脱离了具体数据的图案的抽象结构框架定义成模板. 这样, 图案的设计过程接可视为模板的调整和图元的选取和编辑. 使得图案设计师的操纵对象由一笔一画转变为整个图元, 在提高图元重用性的同时, 也减

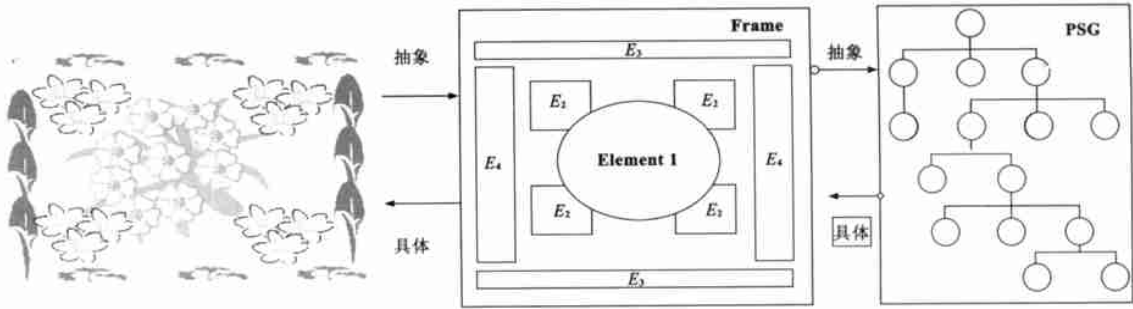


图1 图案分解模型

少了传统图案设计中的交互复杂性,从而提高了图案生成的速度和质量.

基于这一模型,图案可描述为一个二维的层次图结构,称为PSG. PSG通常是一个有向无圈图,它是图案中各种图元对象及其关系的动态表示,PSG上每个节点均为一个对象,其中叶节点是初等对象,用于表示图元对象的显示信息及属性等.非叶节点是管理对象,用于指定子节点的显示层次并决定对子节点的遍历策略.通过对子节点的遍历,管理对象将控制信息发送给相应的初等图元对象,图元对象根据当前的状态和所收消息触发相应的动作,从而实现图元对象的交互和控制机制.

根据图案分解模型,我们提出了/实例(Case)=实例结构(Case Structure)+实例数据(Case Data)0的实例描述方法,首先

将图元从设计实例中抽取出来,成为实例数据,而脱离了具体数据的设计实例的抽象结构框架就成了实例结构.实际应用中,针对实例结构和实例数据不同的存储要求,对两者分别建库并实现各自不同的存储管理功能.这样,一个实例就对应于实例库中的一条结构框架记录和素材库中的多个图元.实例的查询、检索、改编、维护主要针对实例结构进行并被转化成相应的数据库操作,简化了实例推理的难度.而在实际设计过程中,通过实例结构对实例数据的例化(Case Making Process),又使两者结合起来,直观地再现于用户.

21.2 实例结构的描述方法

实例结构是图案总体布局的大致描述,是对图案设计知识的抽象,本文采用框架(Frame)知识描述方法来定义实例结构,其一般形式如下:

```

Frame 3 Frame Name 4      in 3 Case Base Name 4
Isa      : 3 frame name 4 /* 框架继承关系槽,其值是上层框架名* /
Keyword  : 3 keyword value 4 /* 对该实例的关键字描述* /
Mark     : 3 mark value 4 /* 用户对特定实例框架所做标识,以上三个槽值构成实例检索的基础* /
With     : /* 指明该实例框架在各个不同侧面的参数和属性* /
  EleNum  : 3 number of elements 4 /* 该实例所用图元个数* /
  Cascad2prior : 3 prior list 4 /* 图元素材在实例显示时的显示优先数序列* /
  Cascad2mode : 3 mode list 4 /* 各图元按优先数序列显示时所用的层叠模式,具体值有覆盖,透明,半透明(参数可调)等* /
  Center  : center. position /* 表示该实例显示时的参考位置,该实例的所有图元在实际显示时都相对于 Center* /
  ElementSet : 3 element1, element2, . . . . ., element N 4 /* 所用的图元序列* /
  Always   : 3 constrain values 4 /* 实例改编时必须满足的约束* /
  I2modified : 3 constrain rules 4 /* 为维护 Always 而执行的过程操作* /
  . . . . .
EndFrame

```

其中, Always 槽值表明了实例所必须满足的约束,它或是一些构图知识约束,如某些图案所要求的中心辐射约束,或是一些领域知识约束,如纺织工业对图案的四方连续性约束等. I2modified 槽值则是对 Always 槽值约束性保护,一般是一组产生式规则,指明在不同的前提条件下为保持 Always 约束所做的一系列操作. Always 槽值约束和 I2modified 槽值的自动维护可以弥补实例分解而带来的散乱性缺陷.

21.3 实例数据的描述方法

作为实例数据的图元,主要有三种类型:点阵图元、矢量

图元和文字图元,它们的显示技术和处理算法都存在很大差异.采用面向对象的数据描述方法,则可以封装这些差异性,为上层应用提供一个图元操作的通用接口.以下是基本图元类 CElement 的定义,如图 2 所示.

(1) Interpreter: 负责上层应用调用消息的解释执行,即更改自身状态,以对来自上层应用的调用消息作出响应.

(2) Knowledge Base: 存放有该图元 Agent 的当前状态、反应能力(能够提供的操作集合),以及触发机制等.

(3) Trigger: 定义了 Agent 的哪些状态变化会引起事件的

发生.如图元位置的改变将会引起自身及位移路径上图元  
的重画,而图元旋转角度的变化将使图元 Agent 自动调用相应  
算法去完成图元数据的调整等.Trigger 监视图元 Agent 的状态  
变化,并条件满足时自动触发操作集中的相应操作,以维护图  
元状态与表示的一致性.

(4)Operation Set: 针对图元类型的不同,图元对象管理着  
不同的图元数据(Representation Information),并实现依类型不  
同的原子操作,如图元的显示、旋转、平移等.同时利用面向对  
象的数据封装和多态性技术实现统一的调用接口,从而为上层  
应用的服务请求提供透明的一致支持.面向对象的一些  
优点,如封装性、继承性、多态性,将不同图元在处理上差异封  
装在对象内部,从而可以在更高层次对不同类型的图元作统  
一的透明处理,使它们作为一个独立个体参与图案布局,简化  
了推理难度.

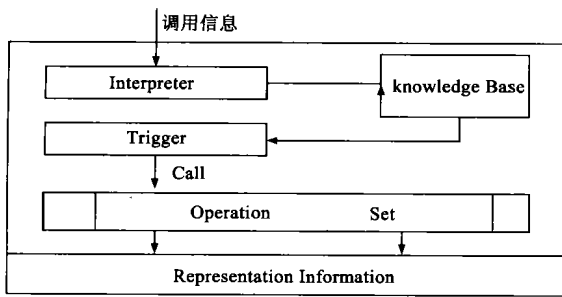


图 2 实例结构(图元)的内部表示

### 3 基于实例的推理方法

#### 3.1 实例的检索方法

实例结构描述的紧凑性给实例检索的有效性提供了可  
能.在实例库中,根据实例框架的 Isa 槽值,所有实例被组织  
成一个标准树形的层次结构,从根结点到任一实例的遍历就  
决定了实例结构大的类别特征,如印染图案设计实例、墙纸图  
案设计实例等,同时这也提供了一种最简单的实例检索形式.  
但这种检索方式仅仅依靠 Isa 槽值,信息量不足,在检索过程  
中又使用了严格的布尔操作,从而导致了查全率和查准率的  
下降;另外它对检索出来的元素不区分其重要性,不能进行相  
关排序<sup>[4]</sup>,这也不能符合设计人员的检索要求.

实例框架中的 Keyword 槽值是实例结构的索引,决定实  
例框架的索引属性及其上的隶属度.如一实例框架关于工艺  
适用性属性上的值是: { / 毛毯 0 / 0.75, / 服装面料 0 / 0.10, / 针  
织物 0 / 0.23, / 装饰品 0 / 0.15 }, 则表明该素材元素有 75% 的应  
用场合适用于毛毯图案, 0.10 适用于服饰图案, . . . 基于  
Keyword 槽值, 可实现对实例结构的索引属性的模糊查询.

基于隶属度的模糊检索函数的构造, 不仅应考虑属性的  
隶属度, 还应考虑该属性对整个检索结果的权重以及用户对  
检索结果的精确度要求<sup>[4]</sup>. 为此引入了 P 次开方模型. 例如,  
图案设计师对设计实例的下列属性提出了检索要求: / 含有红  
花(A<sub>1</sub>)、绿叶(A<sub>2</sub>)的适用于纺织(A<sub>3</sub>)毛毯(A<sub>4</sub>)的图案设计实  
例 D. 其中, 属性 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>4</sub> 对检索结果的影响程度分别是

$d_1, d_2, d_3, d_4$  ( $\sum_{i=1}^4 d_i = 1$ , 缺省情况下  $d_i = 1/n$ ), 任一设计实

例 Element<sub>i</sub> 在这些属性上的隶属度是 [S<sub>i1</sub>, S<sub>i2</sub>, S<sub>i3</sub>, S<sub>i4</sub>], 则检  
索函数为:

$$SeekFuc(Element_i) = 1 - p \sqrt[n]{\frac{d_1^p(1 - S_{i1})^p + d_2^p(1 - S_{i2})^p + d_3^p(1 - S_{i3})^p + d_4^p(1 - S_{i4})^p}{d_1^p + d_2^p + d_3^p + d_4^p}}$$

系统按检索函数 SeekFuc 作用于每一实例结构上的值来  
对检索结果排序, 并提交给用户. 其中, p 表示对检索结果的  
精确度要求, p 值越大, 符合条件的检索结果越少, 也越精确,  
当然我们应尽量避免检索条件的过约束情况.

#### 3.1.2 实例回溯求解策略

回溯是实例再设计的基本控制策略. 它支持设计过程  
中的试探性行为 and 实例设计过程的再现. 当设计者认为某一  
时刻上的设计状态是有保留价值的, 他可以在此设置一个保存  
点. 实际上, 保存点就是系统状态在该时刻的快照(snapshot).  
它通过保存系统在该点的设计状态来实现回退机制.

设计状态是一个四元组: (PatternFrame, ElementSet, ActiveElement, Tools), 其中 PatternFrame 是当前图案布局的框架表  
示, ElementSet 是图元集合, 包括图元的当前位置, 操作状态  
等. ActiveElement 是 ElementSet 的一个成员, 表示当前编辑图  
元, Tools 则是它调用编辑工作.

将各保存点的设计  
状态组织起来就形成  
了一个设计过程序  
列(Design Process  
Series), 如果图 3  
所示. 设计者可以  
通过 Undo 和 Redo  
操作在设计过程序  
列上作线性搜索以  
便寻求一个有用  
的设计点, 同时对  
设计过程的标签记  
忆可以实现跨越  
多个设计点的状  
态恢复.

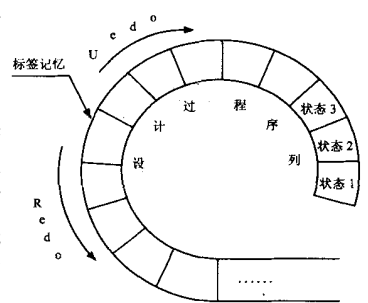


图 3 设计过程序列与回退机制

这种描述的紧凑性, 使得对整个设计过程的记忆成为可  
能. 将设计过程序列用于实例记忆, 即把实例的整个设计过  
程序列存储于实例库中, 则可实现实例的整个设计过程的再现.  
所需做的工作仅仅依次取出系统的每一保存点上的设计状  
态, 通过实例结构框架针对具体图元的例化过程, 将实例的  
设计过程直观地再现于用户. 其间, 通过响应用户输入, 使实例  
的解答改编细化到交互点上进行.

#### 3.1.3 实例改编技术

可以说, 几乎不存在处境与需解决的新问题绝对相同的  
设计实例. 所以基于实例的推理方法必须改变实例提供的解  
答, 使其适合于新问题. 实例改编取新问题的处境描述和实例  
提供的解答作为输入, 并采用一定的方法修改此解答, 使其更  
好地适配于新问题处境. 以下是几个在基于实例的图案生成  
模型中常用的实例改编技术:

(1)对象取代 用新的图元取代实例结构中的图元. 由于  
图元是图案布局的基本单位, 也是图案创作的基础, 它的选择  
直接影响着图案的最终效果, 因此对象取代是一种最常用的  
实例改编技术.

(2)参数调整 可以通过对图元位置、旋转角度、层叠优先数、层叠模式等实例结构参数的调整来改变图案的整体布局。

(3)封装编辑 提供图元内部信息的编辑修改功能,使其适合于新的设计问题。针对图元类型的不同,编辑功能的实现也会不同。如点阵图元改编操作常是透明色、透明区域设置、模糊化处理、亮度对比度调节等;矢量图元改编操作常是色彩变换、层叠效果搭配、非线性变形;而文字图元则是字体变换、大小调节、填充模式选择等。

(4)推倒重用 重用实例中产生解答的推导方法,去推导出适用于新问题处境的解答。如某一童装服饰图案的设计实例中以/唐老鸭0的造型作为一个图元,是通过某种推理方式)))选择某种儿童喜欢的卡通人物(/唐老鸭0曾风靡一时)而产生的解答。但目前/灌蓝高手0的造型更为儿童所喜爱,则可通过重新推导的方式来选用/灌蓝高手0作为新的图元。

#### 4 图案创作中的智能交互技术

设计过程中系统状态的迁移,或曰设计过程的推进,是由

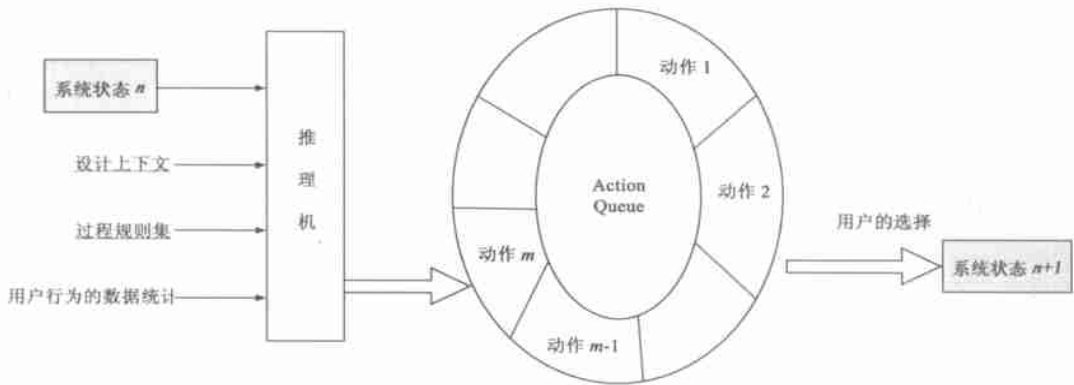


图 4 动作推理过程

设计上下文(Design Context)描述了系统不同设计状态之间关系。依据设计上下文环境,可以确认出每一交互点上的设计状态和可能的状态迁移,并根据状态迁移导出一系列用户可能的交互动作,这是推理的主要依据。设计上下文可由设计上下文树(Design Context Tree)来表述,如图 5 所示。

过程规则集反映了领域知识对动作执行顺序的约束。有顺序型、并发型的几种形式。它用一组规则来确定动作的执行顺序。如启动图元库操作总是发生在图元选择之前,而局部的

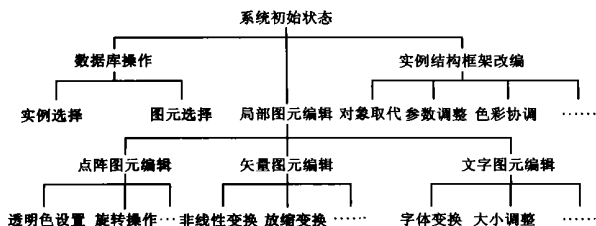


图 5 设计上下文实例  
(灰色结点表示系统当前设计状态)

系统与用户的交互过程来驱动的。交互技术的好坏,直接影响着系统的性能。传统交互技术已由最原始的命令输入技术发展到了以窗口、弹出式菜单、对话框图标和按钮为代表的图示化交互技术,使用户更加容易理解,操作起来更加方便<sup>[5]</sup>。但应该看到,这些技术的使用在提高操作的简易性的同时,复杂的交互过程仍然一点也没有得到简化。

人工智能和知识推理技术的引入将有助于改变传统的/拨一拨、动一动0的呆板的交互模式,更加注重计算机在人机交互中的主动地位和引导作用,在充分尊重用户交互意图的前提下,使人与计算机之间的信息交换获取更大的带宽。

##### 4.1 基于设计上文文的引导式交互技术

研究发现,在图案设计中的不同交互点上,用户可以选择的事件是不一样的,它较大程度上依赖于该交互点上的系统状态,即设计上下文环境,同时也受领域知识以及用户行为习惯的制约。运用知识推理技术,可以在每一交互点上导出一系列用户可能的交互动作,并组织成一个动作队列(Action Queue),经过用户的确认响应后,自动地执行相应动作。其动作推理过程如图 4 所示。

图元编辑又总在实例改编之后等。

这样,动作推理过程可表述如下:

- (1)确认该交互点上的系统当前状态。
- (2)根据系统当前状态匹配设计上下文树,用广度优先算法搜索出系统可能的状态迁移。
- (3)针对不同的状态迁移,产出相应的动作,放入动作队列,并依据过程规则集和对用户行为特征的数据统计排序。
- (4)弹出动作列表,等待用户确认。

##### 4.1.2 提升操作

由于采用了面向对象的构造方法,图元内部信息的编辑修改封装在对象内部,由此可以在图案布局时对不同类型的素材元素作统一的透明处理,从而作到了图元内部信息的局部修改和图案的整体布局分离。但也应该看到,对象内部信息的改动也会引起图案整体布局的不一致,如图元的放缩、旋转操作等。显然由用户机械地完成图案布局的一致性维护是不合理的,有时也不精确。利用实例结构框架中的 Always 槽和 I2modified 槽,可以实现局部操作到整体布局的自动提升(Pro2motion),其中在 Always 槽中加入图案布局的一致性约束,同时

在 I2modified 槽中加入一组产生式规则,由它来推导出相应的提升操作.

I2modified:

```

, ,
/* I2modified 槽值的其他侧面* /
Facetm: Promotion from local edition to global layout
/* 提升操作规则侧面* /

values:
{Promotion2rule1:
if (Pattern. Always. Is Symmetry = TRUE)
/* 有对称关系的图案布局,如中心辐射图案* /
and (there is a edition in the symmetry region)
then (the edition should be reflected to all the symmetry regions)
/* 对某一区域的编辑将反映到相应的对称区域* /
Promotion2rule2:
if (Elementi appears in Pattern. ElementSet several times)
/* 同一图元在图案布局时出现多次,如四方连续图案* /
and (Elementi. IsChange = TRUE)
then (All the instances of Elementi should be edited in same way)
/* 对该图元的编辑将反映到它的所有实例* /
, ,
}
endslot.

```

## 5 总结

将 Case 推理技术应用于图案 CAD 领域是一个新的课题,本文就此作了一些有益的初步的尝试.提出了一个基于 Case 推理的图案生成模型,目的是使计算机在图案的辅助设计过程中,不仅能够代替笔、墨、纸,而且能代替人的部分低层次的、有规律的思维,从而提高图案生成的速度和质量.以该模型为基础的原型系统已应用于国家 863 项目 / 新一代轻纺图案 CAD/CAM 系统<sup>[0]</sup>中,实际运行结果表明,Case 推理方法对于系列化、规格化的图案设计是一种有效的求解方法.

参考文献:

- [ 1 ] Chen Chun, et al. An intelligent CAD/CAM system for silk printing [J]. Acta Automatica Sinica, 1991, 7(5): 623- 626.
- [ 2 ] SUN Yanming, et al. Method of design hydraulic cylinders based on

CBR [J]. Journal of CAD&CG, 1999, 11(2): 176- 179.

- [ 3 ] Marculescu D, et al. Challenges and opportunities in electronic textiles modeling and optimization [A]. 2002 39<sup>th</sup> International Conference on Design Automation Conference Proceedings [C]. New Orleans, IEEE Press, 2002. 175- 180.
- [ 4 ] 刘革章, 苏东庄. 基于 Client/Server 体系结构的信息检索系统 [A]. 中国青年计算机研究新进展. 96 [C]. 杭州: 浙江大学出版, 1996. 288- 293.
- [ 5 ] 俞瑞钊, 史济建. 人工智能原理与技术 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1993.
- [ 6 ] 潘云鹤. 智能 CAD 方法与模型 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [ 7 ] Polzeitner W, et al. Invariant pattern location using unsupervised color2 based perceptual organization and graph2based matching [A]. 2001 International Joint Conference on Neural Networks Proceedings [C]. Washington DC, IEEE Press, 2001. 594- 599.
- [ 8 ] Burchard B, et al. Devices, software, their applications and requirements for wearable electronics [A]. 2001 International Conference on Consumer Electronics Proceedings [C]. Los Angeles, CA, IEEE Press, 2001. 224- 225.
- [ 9 ] Rantanen J, et al. Smart clothing for the arctic environment [A]. 2000 the Fourth International Symposium on Wearable Computers Proceedings [C]. Atlanta, GA, IEEE Press 2000. 15- 23.
- [ 10 ] Li Sheng, et al. Application of pattern emulation on weave CAD automation [A]. 2000 the 3<sup>rd</sup> World Congress on Intelligent Control and Automation Proceedings [C]. Hefei, China, IEEE Press, 2000. 2412- 2416.

作者简介:

方存好 男, 1976 年 4 月生于安徽省寿县, 清华大学计算机系博士生, 主要研究方向 Agent 技术, 网络体系结构等.

张尧学 男, 1956 年 1 月生于湖南省常德市, 工学博士, 清华大学计算机系教授, 博士生导师, 主要研究方向为计算机网络, 包括网络路由器、网络协议工程, 服务质量控制方法与网络操作系统等.

陈 纯 男, 1955 年生于浙江省象山县, 工学博士, 浙江大学计算机系教授, 博士生导师, 主要研究方向为图像处理, CAD/CAM 等.