

# 笔式服装工艺设计系统的研究与实现\*

刘俊中<sup>1,2</sup>, 樊银亭<sup>2,3</sup>, 金鹏<sup>3</sup>, 张蓉<sup>3</sup>, 滕东兴<sup>3</sup>

(1.中国科学院研究生院 工程教育学院, 北京 100049;

2.河南工业大学 信息科学与工程学院, 河南 郑州 450052;

3.中国科学院软件研究所 人机交互与智能信息处理实验室, 北京100190)

**摘要:** 为了满足服装CAD的领域需求, 提高服装工艺设计的效率, 采用笔式用户界面进行草图勾画与知识编辑, 通过对用户设计意图的隐式理解, 利用几何约束求解技术, 设计并实现了面向非计算机专业用户的基于笔交互的服装工艺设计系统。该系统与传统CAD软件相比改善了人机交互的方式, 降低了用户的认知负担, 提高了设计效率。

**关键词:** 笔式用户界面; 计算机辅助设计; 几何约束求解; 人机交互

中图分类号: TP391.72

文献标识码: A

## Research and implementation of a pen-based garment CAD system

LIU Jun Zhong<sup>1,2</sup>, FAN Yin Ting<sup>2,3</sup>, JIN Peng<sup>3</sup>, ZHANG Rong<sup>3</sup>, TENG Dong Xing<sup>3</sup>

(1. College of Engineering, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. School of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China;

3. Department of Human Computer Interaction & Intelligent Information Processing Lab, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** In order to meet the needs of the garment CAD design and improve the efficiency, this paper adopt pen-based user interface to design the sketch and edit the knowledge. Through the sketch implicit understanding of the user's intent, using geometric constraint solving technology, it designed and implemented pen-based interactive garment CAD system in the face of non-professional users. Compared with traditional CAD software, this system improved the way of human-computer interaction, reduced the burden on the user's awareness and improved the efficiency of the design.

**Key words:** pen-based user interface; computer aided design; geometric constraint satisfaction problem; HCI

计算机辅助服装设计CAGD(Computer Aided Garment Design)最早出现于美国1972年研制的MARCON系统<sup>[1]</sup>。CAGD经过30多年的发展, 在纸样设计、推码和排料方面均得到了广泛的研究。然而, 服装设计集创造性与重复性于一体, 环节繁多、过程复杂, 既有大量的计算与绘图, 又有诸多的经验与技巧, 是一项劳动强度大、操作难度高、倍受管理者重视的工作<sup>[2]</sup>。虽然取得了一定的效果, 但实际应用与人们的期望尚有很大距离, CAGD的研究主要存在以下问题: (1)部分软件以“硬代码”的方式将设计方法固化在设计过程中, 限制了用户的创造性思

维, 难以适应市场灵活多样的需求; (2)交互技术主要基于WIMP(Windows, Icons, Menus and Pointer)界面范式, WIMP范式适于离散性交互而不能很好地适应连续性交互, 而服装设计过程是用户思维的连续性表达, 需要反复修改以达到满意设计结果的过程; (3)工艺公式计算是服装设计中的关键环节, 但在众多的CAGD产品中涉及工艺计算的也很少, 加之经验丰富的工艺人员的日渐稀缺, 这已成为服装生产工业发展的“瓶颈”问题<sup>[3]</sup>。

基于上述问题, 本文设计并实现了基于笔交互的服装工艺设计系统PGSD(Pen-based Garment Sketch Design System), 深入研究了适用于草图理解的识别方法和几何约束求解问题; 由于笔交互具备连续性与隐含性的特点,

\*基金项目: 国家自然科学基金(60703078); 国家863计划(2006AA04Z113); 国家793规划(2006CB303105); 国家科技支撑计划项目(2006BAF01A17)。

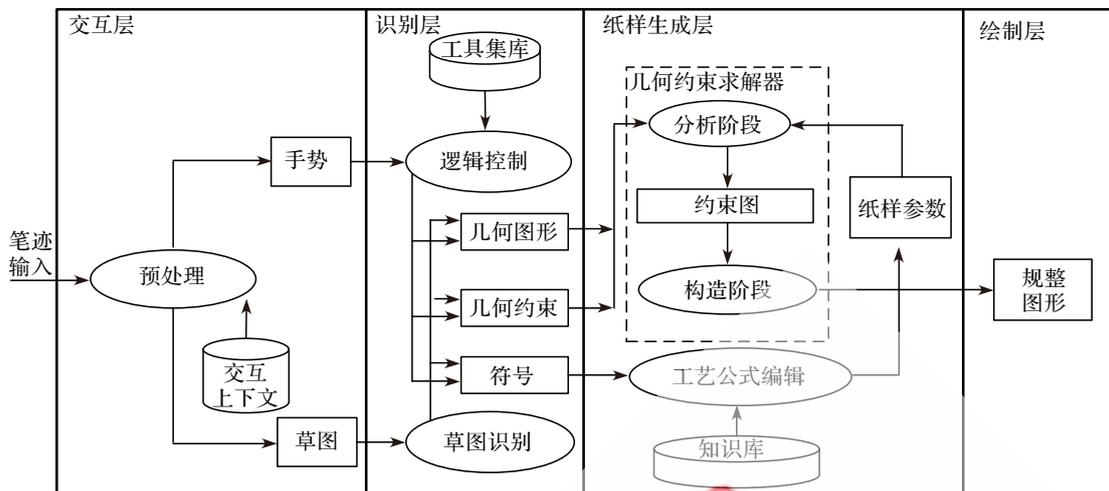


图1 PGSD系统框架

并且笔式用户界面具有一定智能性,能够对笔迹、草图进行识别,引入了笔式用户界面,提供多种笔手势操作界面元素;建立了笔式公式编辑器,使设计人员自然的输入工艺公式,并能够高效地重用已有的工艺知识。

### 1 PGSD系统框架

服装工艺设计系统框架如图1所示,共分为4层:交互层(Interaction Layer)、识别层(Recognition Layer)、纸样生成层(Pattern Generation Layer)、绘制和输出层(Render and Output Layer)。图中矩形代表数据结构,椭圆代表功能。

**交互层:**提供系统与用户交互的可视化界面,对外部输入信息做预处理和必要的响应,并将输入信息分类为草图(Sketch)和手势(Gesture),将结果交由识别层。

**识别层:**对交互层提供的笔画进行分类识别,交互层提供的草图信息可以识别为几何图形(Graphics)、几何约束(Constraint)和符号(Symbol),手势信息映射为辅助工具集中的逻辑工具,利用逻辑工具,可以对几何元素、几何约束和工艺公式进行编辑。

**纸样生成层:**服装工艺设计的核心组成部分。识别层识别的几何信息、约束信息与工艺公式计算的纸样参数经过几何约束求解器的处理生成规整图形的相关信息。

**绘制层:**纸样生成层的信息经过处理后得到符合最终设计形态的规整服装纸样图形显示输出。

### 2 基于笔交互的服装工艺设计关键技术

用纸笔进行计算机辅助设计是人们表达思想的自然方式<sup>[4]</sup>。但是,目前的设计工具大多要求用户在大量菜单和按钮选择中频繁切换进行设计。这种方法存在着诸多缺陷,例如输入不方便、不自然、不适合小屏幕设备<sup>[5]</sup>。为了将传统的纸笔设计方式同计算机辅助设计的优点结合起来,本文引入笔式用户界面,通过笔迹识别算法和几何约束求解方法将用户的不精确输入转化为精确的图形表示。

#### 2.1 笔迹的预处理

笔迹的主要数据以一组采样点的形式存在。每个采样

点又包括了多维信息,定义为如下五元组表示采样点:

$\langle\langle x,y \rangle, \text{Time-Stamp}, \text{Pressure}, \text{Inclination}, \text{Torsion} \rangle$

其中 $\langle x,y \rangle$ 表示采样点的X坐标、Y坐标,Time-Stamp为采样点时间戳,Pressure为笔尖压力,Inclination为笔的旋转角度,Torsion为笔的扭矩。采样点作为笔交互中的基本信息元素,不适于识别算法进行处理,而将用户落笔与起笔之间的一段笔画(Stroke)作为识别处理的输入值。笔划的数据以一组采样点(SamplePoint)的形式存在。通过基于上下文的交互,将笔画划分为草图和手势信息。

#### 2.2 草图识别引擎

根据处理数据的类型,笔迹识别算法可以分为离线识别与在线识别。根据识别的实时性,在线识别又可以分为异步识别与同步识别。本文采用同步在线识别的方法。当用户用笔与系统交互时,存在4种状态:勾画草图、添加约束、工艺参数计算和约束驱动精确图生成。为了减少用户频繁按钮切换状态所造成的交互连续性的中断以及交互效率的下降,服装工艺系统将几种状态统一为支持隐式交互的系统状态。在隐式交互状态中,笔交互默认处于勾画草图状态。

通过对获取的笔迹信息,进行切分和分类,对符号进行识别。本文采用了最小生成树的切分方法进行切分<sup>[6]</sup>。对于每一个笔画,重采样之后由36个点组成,这些点的x、y坐标值组成了这个笔画的基本特征。由此而得到字符的75维特征向量: $C=[t_1 t_2 \dots t_{74} t_{75}]^T$ ,其中 $t_1, t_2 \dots t_{36}$ 是36个横坐标的值, $t_{37}, t_{38} \dots t_{72}$ 是36个纵坐标的值, $t_{73}$ 是36个横坐标对笔划长度的二阶微分平方之和, $t_{74}$ 是36个纵坐标对笔划长度的二阶微分平方之和, $t_{75}$ 是字符外包装盒的长宽比例。然后,应用主分量分析PCA(Principal Component Analysis)方法对C进行降维,把C从75维矢量空间降维到15维矢量空间,得到 $C'=[t_1' t_2' \dots t_{15}']^T$ 。

本文使用高斯分类器对这个15维的向量进行分类,计

算待识别符号  $s$  匹配模式  $i$  的概率密度的高斯公式为:

$$d_i(s) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{D}{2}} |\Sigma_i|^{\frac{1}{2}}} \exp\left(-\frac{(x-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (x-\mu_i)}{2}\right)$$

并把匹配概率最大的模式作为识别的结果。

### 2.2.1 基本几何图形识别

图形勾画是草图工艺设计的基本功能。经过草图识别将草图拟合为规整的基本几何图形。本文在对服装工艺设计领域调研的基础上,设计如下的图形进行识别:直线(Line)、折线(Polyline)、圆弧(Arc)和任意线(Spline)。原始图形和识别结果如图2所示。

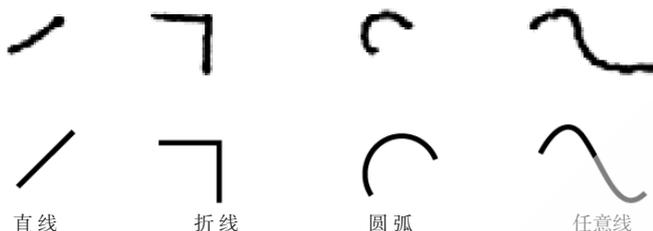


图2 原始图形与识别结果

### 2.2.2 符号识别

服装设计是根据服装的款式、横密、直密等工艺参数,通过特定的工艺计算公式计算出各部位的针数、转数以及收放针数,而且不同的部位还牵扯到先收后收或先放后放以及先快收快放还是后快收快放的问题,因此符号识别是服装设计中至关重要的环节。将笔式用户界面引入到系统中,设计人员利用笔输入工艺公式计算中用到的符号包括数字、字母和各种运算符号等,可以提高设计的效率,并且有利于设计资源的重用。符号识别实例如图3所示,其中上面显示的符号为用户笔输入的笔迹,下面显示为的识别结果。



后下摆针数(s)=下摆宽(a)×成品横密(b)

图3 笔输入的公式及在线识别结果

### 2.2.3 手势识别

手势是笔式界面中的主要命令交互技术。若识别结果为一个手势,则通过手势映射为相应的操作。选择手势是选中自身所包围覆盖的笔划;取消手势为清除笔划的选中状态;删除手势是把具有选中状态的笔划删除;撤销手势为取消最后的一个操作;恢复手势为恢复上一步的操作。图4给出了系统中的手势集合。



图4 手势集合

### 2.3 辅助工具集

逻辑设备作为基本操作工具的一个可扩充的辅助工具集,对草图进行编辑、修改。工具集以日常生活中用户的案头工具为隐喻。该工具集包括:

笔:映射为物理世界的笔,可以用其进行勾画输入草图;

尺:映射为物理世界的直尺,可以用其进行尺寸的测量;

手:映射为物理世界的手,可以用其进行选择、移动;

剪刀:映射为物理世界的剪刀,可以用其对线段、曲线进行编辑,将其一分为二;

胶水:映射为物理世界的胶棒,可以用胶棒圈选某两段曲线的相近端点,使之合二为一,从而将两段线段或者曲线连接起来。

### 2.4 公式编辑器

在服装工艺设计中,工艺计算公式形如 $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 的结构, $y$ 、 $x_i$ 是服装术语的符号表示。例如存在如下公式:后身长转数=(身长-下摆高)×成品直密/20,可采用 $s=(a-b) \times c/20$ 表示,其中 $s$ 代表后下摆针数, $a$ 表示身长, $b$ 表示下摆高, $c$ 表示成品直密。公式编辑器基于知识库可进行领域知识的复用,提高设计的效率。公式计算的结果是服装工艺的数值参数,传递给几何约束求解器。

### 2.5 几何约束求解器

几何约束满足问题GCSP(Geometric Constraint Satisfaction Problem)可描述为:给定一组几何元素和一组描述几何元素间关系的约束条件,求解这组几何元素以满足这组约束。几何约束求解的方法主要有:基于图论的方法、基于规则的方法、基于数值计算的方法、基于符号计算的方法。由于基于图的求解方法效率高,且能处理过约束和欠约束的情况,因此本文采用基于图论的方法设计实现了一个二维几何约束求解器,该求解器分为2个阶段。

#### 2.5.1 分析阶段

利用约束图(constraint graph)表示一个约束问题。GCAD系统的GCSP可描述为:给定一个GCAD系统 $G=(V, E)$ 的约束图。其中,图的顶点 $V=\{v_i, i=1, 2, \dots, n\}$ 为服装特征线的集合,图的边 $E=\{e_j, j=1, 2, \dots, m\}$ 为特征线之间的几何约束集。变动约束图的某一顶点 $v_i \in V(1 \leq i \leq n)$ ,找出 $E$ 中相关顶点 $e_j$ 的位置以使所有的边 $v_i \in V$ 所表示的约束均得到满足。

$\forall v \in V$ ,用 $DOF(v)$ 表示几何体 $v$ 的自由度,即用于固定该结点所对应的几何体所需的独立参数的个数,显然 $DOF(V)=\sum_{v \in V} DOF(v)$ 。

$\forall e \in E$ ,用 $DOF(e)$ 表示约束 $e$ 的约束度,即确定与该边对应的约束所需的标量方程的个数,显然

$$DOF(E)=\sum_{e \in E} DOF(e)$$

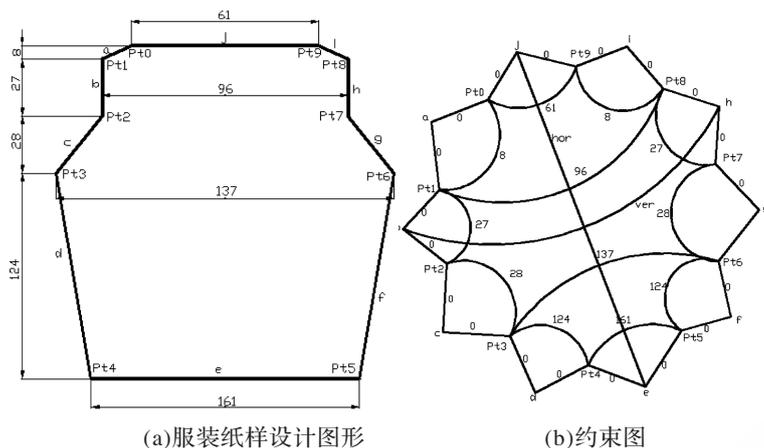


图5 服装纸样设计图形及约束图表示

$\forall v \in V$ , 用  $DEG(v)$  表示所有与几何体  $v$  关联的边的约束度之和, 即

$$DEG(v) = \sum_{e=(v,vj) \in E, vj \in vDOC(e)}$$

如图5的(a)、(b)分别表示一个二维几何约束问题及该几何约束问题的图表示。

在分析阶段可得到一个几何元素的构造序列。本文采用LIM0算法<sup>[8]</sup>。

输入: 一个几何约束问题的约束图;

输出: 包括所有几何元素的构造序列;

步骤1: 如果约束图  $G$  中存在定点  $v$ , 且满足条件  $DEG(v) \leq DOF(v)$ , 转向步骤2; 否则如果约束图不含顶点, 则该约束问题可以顺序构造, 转向步骤3; 如果约束图中仍然有顶点, 则该约束问题不能顺序构造;

步骤2: 删除该顶点及与其相关联的边, 对于余下的约束图执行步骤1;

步骤3: 按照与删除顺序相反的顺序输出顶点的序列, 即构造序列。

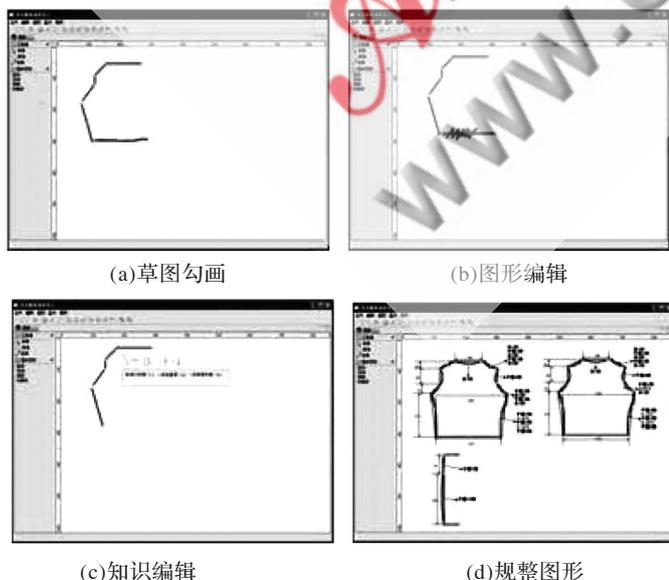


图6 PGSD应用实例

如果一个几何约束问题能够用LIM0算法求解, 那么这个几何约束问题一定是无循环约束的几何约束问题。该算法的复杂度为  $O(n+e)$ 。

### 2.5.2 构造阶段

根据分析阶段所得到的构造序列, 采用基于点簇归约的构造方法依次构造各几何元素, 重构几何模型, 生成服装工艺的规整图形。

### 3 应用实例

基于上述研究, 开发并实现了一个基于笔交互技术的服装工艺设计系统。通过设计人员的自由勾画如图6(a), 并操作手势对图形进行编辑如图6(b), 操作结果如图6(c), 系统隐式提取笔迹信息和约束关系与公式编辑器的计算结果提供给几何约束求解器, 最终获得精确的设计图纸如图6(d)。该系统已初步应用于某羊绒企业的生产实践中, 并取得了较好的效果。

本文针对服装工艺设计中环节繁多、过程复杂的问题, 设计并实现了基于笔式用户界面的服装工艺设计系统(PGSD)。首先提出了PGSD的系统框架, 然后分析了PGSD的主要组成部分, 如笔迹的预处理、草图识别、几何约束求解器等, 最后给出了PGSD在羊绒企业的应用实例。实例表明, PGSD采用符合用户思维的笔交互, 构建和谐、自然的设计环境, 并通过隐式的约束提取和知识编辑方式, 可满足一般服装企业工艺设计短周期、小批量、多品种的市场需求, 同时减轻了设计人员的劳动强度, 提高了设计的效率。下一步的主要工作是扩充辅助工具集的内容和服装工艺知识的重用研究。

### 参考文献

- [1] 刘卉, 许端清, 陈纯. 服装CAD综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000,12(6): 473-480.
- [2] 张鸿志. 服装CAD原理与应用[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2005.
- [3] 王元瑾, 龙海如. 计算机辅助羊毛衫设计[J]. 上海毛麻科技, 2002(2): 33-35.
- [4] MA Cui Xia, DAI Guo Zhong, TENG Dong Xing. Research of interaction computing based on pen gesture in conceptual design[J]. Journal of Software, 2005,16(2):303-308.
- [5] 孙建勇, 金翔宇, 彭彬彬. 一种快速在线图形识别与规整化方法[J]. 计算机科学, 2003,30(2): 172-176.
- [6] 冯海波. 基于手势和两级分类器的联机手写公式识别[D]. 北京: 中国科学院软件研究所, 2003.
- [7] IOANNIS F, CHRISTOPH M, HOFFMAN N. A graph-constructive approach to solving systems of geometric constraints[J]. ACM Transactions on Graphics. 1997,16(2):179-216.
- [8] 林强. 智能动态几何软件系统[D]. 北京: 中国科学院软件研究所, 2004.

(收稿日期: 2008-12-16)