

基于知识重用的服装 CAD 系统

金 鹏^{1,2}, 刘俊中^{1,2}, 马翠霞¹, 滕东兴¹

(1. 中国科学院软件研究所, 北京 100190; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 针对当前 CAD 软件对设计知识重用支持不足且大多基于 WIMP 交互方式等问题, 设计并实现一个基于知识重用的服装工艺设计系统。该系统框架主要包括知识推荐和知识编辑 2 个模块。针对知识推荐和知识编辑, 分别提出基于草图相似性的实时知识推荐算法和基于笔手势的知识编辑方法, 给出系统的应用实例。该系统已应用于北京某羊绒企业的生产中, 实践表明该系统能改善人机交互, 提高设计效率。

关键词: 知识重用; 知识推荐; 计算机辅助设计

Garment CAD System Based on Knowledge Reuse

JIN Peng^{1,2}, LIU Jun-zhong^{1,2}, MA Cui-xia¹, TENG Dong-xing¹

(1. Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

【Abstract】 The current CAD software lacks of designing knowledge reuse, and most of them are based on WIMP interaction. This paper designs and implements a garment CAD system based on knowledge reuse, whose architecture includes knowledge recommendation module and knowledge editing module. In the knowledge recommendation phase, it proposes a real-time knowledge recommendation algorithm based on similarity calculation of pen sketch. In the knowledge editing phase, it provides a knowledge editing method based on pen gesture, and gives the application instance of the system. This system is used in a cashmere factory in Beijing, and the practice proves this system can improve human-computer interaction experience, and improve the design efficiency.

【Key words】 knowledge reuse; knowledge recommendation; CAD

1 概述

随着经济的全球化, 制造企业面临日益激烈的市场竞争, 产品质量因素不再是竞争的核心因素, 交货期取代产品质量成为企业竞争力的主要因素, 在保证产品质量的前提下通过产品快速设计缩短产品交货期是提高企业产品竞争力的重要方面。有效的知识重用是实现快速设计的重要途径, 新产品开发大多根据已有的设计知识或设计成果, 据统计, 我国制造业中 70% 以上的设计工作是基于原设计的, 其中, 40% ~ 50% 是重用过去的部件设计, 30% ~ 40% 是对已有的零部件稍作修改, 只有 10% ~ 20% 是全新的设计^[1]。

当前的设计软件如 AutoCAD, SolidWorks 都关注于设计结果的表达^[2], 缺乏对过程知识的重用, 或者将设计知识固化在系统中, 不能适应当前产品设计周期短、更新快的现状。另外, 这些设计软件多数基于传统 WIMP (Windows, Icon, Menu, Pointing device) 的交互方式, 不符合人们用纸笔勾画的习惯, 设计过程中需要进行复杂的参数设置, 对用户的计算机水平要求较高, 这给从业人员普遍计算机水平不高的行业 (如服装行业) 造成了系统的应用障碍。

在分析上述问题和调研企业需求的基础上, 本文设计并实现了一个基于知识重用的服装工艺设计系统 KRGS (Knowledge-Reuse-based Garment CAD System)。

2 系统框架

如图 1 所示, KRGS 系统框架主要由 4 个部分组成: 知识库 (Knowledge Database), 笔画采集器 (Strokes Collector), 知识推荐器 (Knowledge Recommender), 知识编辑器 (Knowledge Editor)。

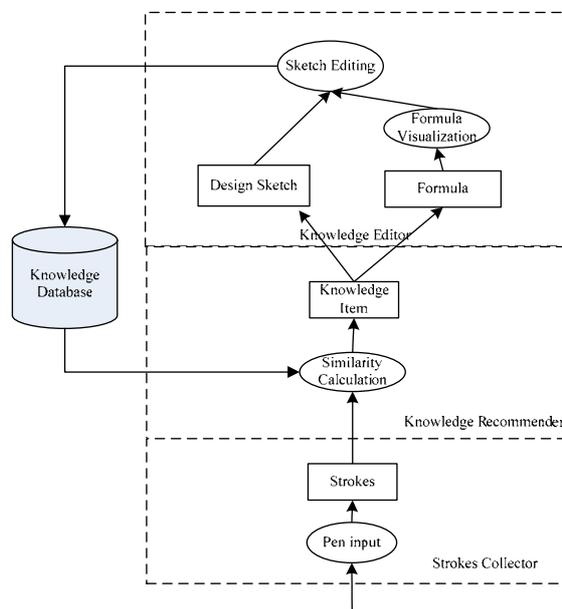


图 1 KRGS 系统框架

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60703078, 60703079); 国家“863”计划基金资助项目(2007AA04Z113); 国家“973”计划基金资助项目(2006CB303105); 国家科技支撑计划基金资助项目(2006BAF01A17)

作者简介: 金 鹏(1984 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 人机交互技术; 刘俊中, 硕士研究生; 马翠霞, 博士; 滕东兴, 副研究员

收稿日期: 2009-03-28 **E-mail:** jinpeng198484@126.com

知识库主要由知识片(Knowledge Item)组成,每个知识片记录每张设计的设计草图(Design Sketch)和公式(Formula)信息,其中,设计草图是指用户勾画服装外形过程中的笔画集合,这些笔画存在一定的约束关系,如垂直、相交、对称;公式主要包括计算型工艺公式,例如,后下摆针数=下摆宽×螺纹成品直密。

笔画收集器对笔的输入笔迹进行处理,转化为笔画(Strokes)模型的数据结构。知识推荐器根据这些笔画构成的草图通过草图相似度计算(Similarity Calculation)从知识库中实时向用户推荐知识片,所推荐的知识片包含的设计草图与输入草图有较大的相似度。

知识编辑器基于笔交互的方式对设计草图和公式进行编辑,其中,对公式需要先进行公式可视化(Formula Visualization)操作,最终将编辑后的设计草图和公式信息合成一个知识片,并保存到知识库中。

3 基于笔交互的知识重用

在 KRGS 系统中,对知识的操作主要包括知识推荐和知识编辑。在知识推荐阶段,系统在用户绘制衣服轮廓草图的过程中实时检索相似的设计草图提供给用户参考,使得用户不必完全重新设计,能够显著提高设计效率;在知识编辑阶段,系统为用户提供自然、高效的基于笔交互的知识编辑方式,有利于用户在原有设计的基础上快速地进行修改,形成新的设计。

3.1 基于草图相似性的实时知识推荐算法

对于草图检索,目前已有很多相关研究,文献[3]提出了一种基于轮廓的草图检索方法,文献[4]中提出一种基于空间结构的草图检索方法,这2种方法采用轮廓、空间结构等草图全局特征来表征草图,经实验证明具有很好的检索效果,然而这2种方法并不能很好地解决一张草图(输入草图)与另一张草图(库中的设计草图)的某一部分是否相似的问题。因此,本文提出一种实时推荐算法,其过程如图2所示。

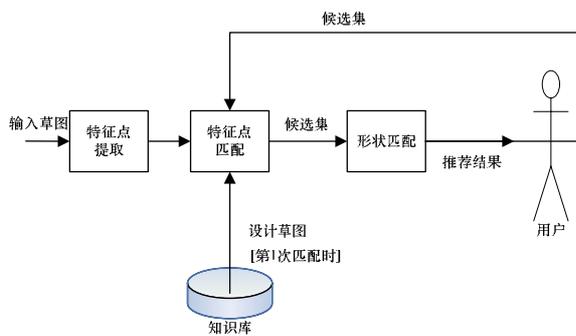


图2 推荐算法过程

在图2中,用户每输完一笔,系统首先提取输入草图中出现的新特征点,所谓特征点是指草图笔迹的交接凸点,特征点将草图划分为若干段曲线;如果新特征点数目不为0,系统将根据特征点匹配进行初级检索:如果是第1次匹配,系统遍历知识库中每一张设计草图,并将与新特征点匹配的设计草图加入到推荐候选集中,其中设计草图的特征点之前已作为草图索引保存在索引表中,否则,系统遍历推荐候选集中的每一张设计草图,如果与新特征点匹配,则保留,否则将其从推荐候选集中移除(图中没有表示出来);最后根据形状匹配进行检索求精:对匹配特征点对所在曲线构成的形状进行相似度计算,从推荐候选集中排除相似度较小的设计草图,将剩余的设计草图推荐给用户。

(1)特征点提取

根据对用户绘图习惯的观察,人们在绘制特征点部位时采取更慢更谨慎的方式,在特征点处,笔速会有明显的下降,笔触产生的压力值更大,并且曲率将会有明显的上升,因此,特征点是笔速局部极小值、曲率局部极大值和压力局部极大值三者采样点所重合的点。这里的重合并不是指3个点是一个点,由于存在计算误差,因此实际使用中需要用户选择一个更接近实际特征点的那个点,而将另外2个点消除。

(2)特征点匹配

文献[5]提出一种特征点匹配算法,其主要思路是:以每个特征点为圆心将圆心角 N 等分,每一等分 $360^\circ/N$,计算所在曲线上其他点到该特征点的角度 θ ,统计曲线上的点落入各圆心角中的像素点个数,计算落在各个区域内点的概率(各个区域内点的个数除以曲线上总的点数),最终得到一个 $1 \times N$ 的特征向量。计算特征向量的余弦相似度:

$$Sim(u, v) = \frac{\sum_i u_i v_i}{|u_i| |v_i|} \quad (1)$$

如果相似度大于某个阈值 $D1$,那么特征点匹配。KRGS系统中 $D1$ 取0.75。

(3)形状匹配

本文采用基于傅里叶描述子的方法对匹配特征点对所在曲线构成的形状进行形状匹配。傅里叶描述子是分析和识别物体形状的重要方法之一,实验表明,基于物体轮廓坐标序列的傅里叶描述子具有最佳的形状识别性能。

傅里叶描述子的基本思想^[6]是:假定物体的轮廓是一条封闭的曲线,曲线上的每一个点 P 的坐标 $z = x + iy$ (坐标用复数形式表示)是一个以形状边界周长为周期的函数,将这个周期函数展开为傅里叶级数形式,级数中每一项的系数与边界曲线的形状相关,称为傅里叶描述子。记 C_k 为第 k 项的傅里叶描述子:

$$C_k = \sum_{n=0}^{N-1} z_n e^{-\frac{2\pi i k n}{N}} \quad -N/2 \leq k \leq N/2$$

其中, N 为形状边界上点的个数,当系数项取到足够阶次时,它可以将物体的形状信息完全提取并恢复出来。对上述得到的傅里叶描述子进行归一化等处理,使其具有旋转、平移和尺度不变性,最终得到的特征向量为

$$\left(\frac{|C_{-L}|}{|C_1|}, \dots, \frac{|C_{-1}|}{|C_1|}, \frac{|C_2|}{|C_1|}, \dots, \frac{|C_L|}{|C_1|} \right)^T \quad (2)$$

其中, L 是介于2和 $N/2$ 的一个常量,KRGS系统中 L 取10。同上,采用式(1)计算形状相似度,如果相似度大于某个阈值 $D2$,那么形状匹配。KRGS系统中 $D2$ 取0.75。

基于傅里叶描述子的方法比较的是2个外形封闭的草图,然而匹配特征点所在曲线构成的草图并不是封闭的,解决方法是由系统提取连通的曲线段,并添加不可见的辅助笔画连接曲线端点(非特征点)使草图封闭。

以图3为例,假定图3(a)为用户的输入草图,只有一笔,图3(b)为库中的一张设计草图。系统首先提取图3(a)的特征点,分别为 $P0'$, $P1'$, $P2'$,接着进行特征点匹配,分别匹配图3(b)中的特征点 $P0$, $P1$, $P7$,然后对匹配点对所在曲线构成形状Shape1, Shape2进行形状匹配,最终由于2个匹配都成功,向用户推荐图3(b),其中,虚线为系统添加的辅助笔画。这种方法通过2次检索提高了检索准确率,经实验,检索准确率达到90%以上。在检索时间方面,目前KRGS系统中有500多张设计草图,对每一笔检索时间在1s以内。

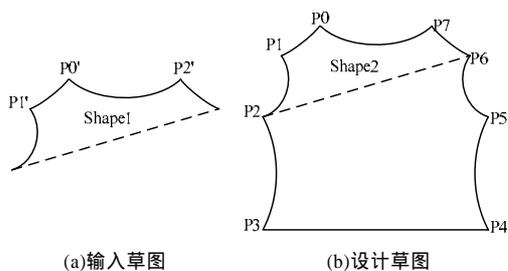


图3 草图推荐实例

3.2 基于笔交互的知识编辑

工艺计算公式是设计知识的一个重要组成部分,本文提出基于笔交互的方式对公式进行编辑,在编辑之前需要构建公式的分层网状结构对公式进行可视化,即将公式及公式间的关系以图形化的方式表示出来。在编辑过程中,系统提供笔式手势完成基本的操作,有利于用户自然、高效地进行设计,提高设计效率。

3.2.1 分层网状结构构建

在服装工艺设计中,计算型工艺公式形如 $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 的结构; y, x_i 是服装术语的符号表示, y 为因变量, x_i 为自变量。

分层网状结构是指通过提取公式中的变量作为节点插入形成的网状结构,其中,自变量节点($XNode$)是因变量节点($YNode$)的子节点,并且保证对每一个公式, $XNode$ 在 $YNode$ 的下方。分层网状结构的构建过程描述如下:遍历每个公式,调整节点层次使 $XNode$ 在 $YNode$ 的下一层,记为 $Level(XNode) = Level(YNode) + 1$,根节点层次为0。变量可能会出现在多个公式中,当其作为因变量时 $Level$ 值不变,作为自变量时取在各个公式中 $Level$ 值的最大值,然后递归更新其他节点的层次,最终建立分层网状结构。

3.2.2 公式结构图的笔式编辑

手势是草图用户界面的主要交互方式,根据对公式草图进行操作的基本需求的分析, KRGS 系统支持6种基本手势,包括点选、圈选、拖拽、删除、创建、关联。其中,点选手势类似于 WIMP 范式中的鼠标指点操作,可用于选择变量节点或执行按钮功能;圈选手势使用不规则笔画圈选多个变量节点;拖拽手势类似于 WIMP 范式中的鼠标拖放操作,拖放选中的节点;删除手势使用多折线笔画删除选中界面元素;创建手势通过勾画符号创建一个变量节点;关联手势用于在2个变量节点间建立父子关系,如图4所示。其中,手势1~4依次为圈选、删除、关联和创建。

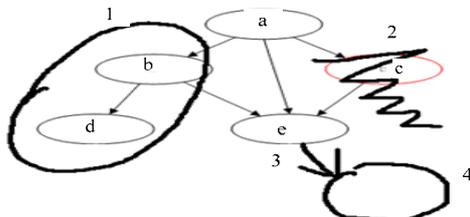


图4 圈选、删除、关联和创建手势

对这些手势的识别方法如下:(1)如果笔画的起笔点和终笔点较为接近,并且包含1个或多个节点,则识别为圈选手势;(2)如果选择的节点不为空,输入的笔画与选择节点包围盒相交且存在较多的角拐点和顿笔分布,则识别为删除手势;(3)如果笔画的起笔点和终笔点较为接近,且判断不是圈选手

势,则识别为创建手势;(4)关联手势规定由2个笔画构成,其中一个为直线,另一个为箭头,且直线的一个端点在箭头所在的包围盒内,如果笔画的包围盒很小,并且存在尖锐的拐点,则认为是箭头。

在 KRGS 系统中,基于手势对公式的编辑主要有5个基本操作,分别是添加节点、删除节点、添加连接、删除连接和输入公式,通过这些操作进行公式的创建和修改。

4 应用实例

基于上述研究开发的基于知识重用的服装工艺设计系统 KRGS 的系统界面如图5所示。该系统首先根据用户勾画的服装轮廓实时推荐相似的设计草图(图5(a)),用户选择系统推荐的某一张设计草图后,通过笔交互的方式编辑该设计草图(图5(b))及相关联的公式(图5(c)、图5(d)),最终生成一个新的知识片保存到知识库中。该系统已初步应用于某羊绒企业的生产实践中,取得了较好的效果。



图5 系统界面

5 结束语

针对目前常见的工艺设计软件对知识重用支持的不足以及操作过于复杂的问题,本文研究并实现了一个基于知识重用的服装工艺设计系统 KRGS。实践表明 KRGS 系统能够显著地提高服装工艺设计效率。下一步工作是扩充手势库取代目前系统中存在的 WIMP 操作,并且加入推理型公式的草图编辑,另外需要进一步研究面向海量知识的可视化呈现方法。

参考文献

- [1] 沈斌, 宫大. 产品设计知识重用研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(18): 186-188, 210.
- [2] 马翠霞. 支持概念设计的手势描述和草图设计系统的研究[D]. 北京: 中国科学院软件研究所, 2003.
- [3] 李曼舞, 孙正兴, 顾庆东. 基于轮廓的手绘草图检索研究[J]. 计算机应用, 2005, 25(2): 344-347.
- [4] 李彬, 梁爽, 孙正兴. 基于空间关系的手绘草图检索[J]. 计算机科学, 2005, 32(1): 227-231.
- [5] 冯晓伟, 田裕鹏. 基于形状内容描述子的点特征匹配[J]. 光电工程, 2008, 35(3): 108-111, 116.
- [6] 王涛, 刘文印. 傅里叶描述子识别物体的形状[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(1): 1714-1719.

编辑 张正兴