

智能化电脑刺绣编程环境的设计与实现*

刘海涛, 郭磊, 陈世福

(南京大学 计算机软件新技术国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

E-mail: lht@aiakel.nju.edu.cn

http://www.nju.edu.cn

摘要: 电脑刺绣机的发明导致了传统刺绣工业的革命, 因此各种电脑刺绣编程(打版)系统应运而生。但是, 目前的编程系统均缺少智能, 自动化程度低, 从而导致产品质量差和制造效率低。为了克服上述缺点, 研制了一个电脑刺绣智能集成环境。该系统通过采用人工智能技术、计算机辅助设计以及图像处理技术实现了刺绣图案的自动处理和针法的生成, 与目前已有的系统相比, 刺绣产品质量, 编针的自动化和效率大大提高。另外, 还介绍了该系统的结构和主要实现技术。

关键词: 电脑刺绣编程; 人工智能; 计算机辅助设计; 图像处理

中图法分类号: TP182 **文献标识码:** A

电脑刺绣的工艺流程是, 首先由工艺人员利用样稿编程系统制成样稿, 形成设计图样的针位数据, 并将其输出到软盘或磁带上, 然后利用这些针位数据控制电脑刺绣机批量生产出刺绣产品。所以, 电脑刺绣的关键技术是编程系统。目前比较流行的刺绣编程系统, 如天木、日本的百灵达和田岛以及德国的ZSK系统等。但是, 由于这些系统的编针智能化和自动化程度较低, 并且功能单一, 如图样的输入手段单一、针法简单, 因而产品质量和生产效率较低^[1]。

为了提高设计水平, 我们将人工智能技术和图像处理技术引入了电脑刺绣编程系统, 研制了智能化电脑刺绣编程环境(国家863高科技发展计划资助项目)。首先, 原始图稿可以通过摄相机、扫描仪、数字化仪或者鼠标, 以任何一种方式进行输入; 其次, 图稿中的轮廓通过图像处理形成刺绣轮廓; 最后, 通过推理机制和不确定推理自动生成针位数据。因此, 实现了从获取初始样稿到针位数据的智能化和自动化, 可形成高质量的刺绣样版。一年多的实际使用情况表明, 该系统可以明显地提高刺绣样版的生产效率和绣品质量。

1 系统结构

系统主要由图像处理、编针处理、针位优化和数据转换这4个处理模块以及4个知识库组成。这些模块之间相对独立, 由总控模块负责协调, 通过使用公用数据区交换数据。每个模块的功能描述如下:

图像处理模块 在图像处理模块中, 从原始设计图样中获取的图像通过图像处理功能自动处理, 如色彩聚类、图像增强、恢复以及边缘检测等等, 以获得图像画稿的轮廓。然后, 图像的形状、位置、内外标记以及其他特征信息可以根据轮廓, 通过基于概率的不确定性推理来获得, 轮廓特征

* 收稿日期: 2000-04-26; 修改日期: 2000-12-20

基金项目: 国家863高科技发展计划资助项目(863-306-2704-01-3)

作者简介: 刘海涛(1975-), 男, 安徽淮北人, 博士生, 主要研究领域为决策支持系统、神经网络、数据挖掘; 郭磊(1974-), 男, 江苏南通人, 博士生, 主要研究领域为机器学习、神经网络、数据挖掘; 陈世福(1938-), 男, 安徽砀山人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为机器学习, 知识工程, 神经网络。

信息可以提供推理机通过知识库选取最佳的绣法和针法。

编针模块 在编针模块中,推理机制由浅、深和元推理机组成。其中,浅推理即基于实例的推理(case-based reasoning,简称 CBR),深推理即基于规则的不确定性推理^[2]。这两个推理机能够在实例库、规则库和针法库中的知识以及画稿轮廓特征进行推理,从而确定最佳的针法和绣法以及走针序列。元推理则是在更高层次上的监控机制,在浅推理和深推理中挑选出最合适的推理,控制及监控二者的执行过程,并且在必要时对参数进行修改。

针位优化模块 该模块可以对走针序列进行编辑、转换、修改和优化,提高走针的质量和效果,以便提高绣品的质量。

数据转换模块 数据转换模块可以将样版数据转换为适合于国内外各种型号的电脑刺绣机的针位数据。

知识库 系统包括:实例库、绣法库、针法库和元规则库这 4 个知识库^[3]。其中,实例库包含 500 多个刺绣实例,支持基于实例的浅推理;绣法和针法库包含支持基于规则的深层不确定推理的刺绣规则。这 3 个库又称为域知识库。元规则是关于域知识的规则,比如,如何选择恰当的域规则、如何选择最好的推理策略等。

另外,系统还具有解释接口、动态数据库以及其他支持模块和接口。所有支持的构件均可集成为一体,并协同工作,有效地完成系统功能。

2 数据结构

图像的数据结构是一个二维数组,数组的下标与图像的坐标(X, Y)相对应,数组值与图像色彩值相对应。轮廓的数据结构是一个动态链表结构,由指针头和若干动态生成的、互链的数据项组成。指针头纪录一些综合信息,而每一个数据项存放折线边缘数据以及每个区域标记的信息。

在系统中,我们将绣品数据样版组织成绣段的链表。一幅刺绣图案可能由一个或多个绣段组成,每个绣段分别包含各自的编针信息,如参数、轮廓点坐标的动态数组、针位点坐标的数组^[4]。在实现中,我们将绣段设计成对象的形式,每一个绣段自身根据轮廓和参数信息产生它的针位数据。

3 系统实现技术

系统在 Windows 98 环境下采用 Visual C++ 2.0 编程实现智能化电脑刺绣编程环境。其中主要有图像处理算法、知识表示和推理策略、针位优化算法以及数据转换算法等实现方法和技巧。下面我们主要介绍图像处理、知识表示和推理策略。因篇幅有限,其他部分的实现技术不再赘述。

3.1 图像处理

在图像处理模块中,我们设计并实现了一种高效的映射算法,能够快速而方便地完成图像的聚类转换;设计并实现了对图像中点、线、块的若干个局部修改操作和噪声消除与区域平滑两个自动匹配操作,能够很好地增强和复原图像;采用了改进的 Laplacian 算子进行边缘检测;设计并实现了边缘匹配和区域填充这两个快速有效的算法进行边缘提取;对提取出来的点阵形式的区域边缘,利用离散点跟踪的方法,同时引入当前方向优先法则和惯性法则这两条启发性规则进行向量化处理,生成折线图形形式的区域边缘;设计并实现了最小区域边缘识别算法,使得在由若干区域的多条边缘相交以及存在边界公用的情况下,能够正确地识别出每一个最小区域的完整的区域边缘;设计并实现了基于边缘的区域标记算法,描述各个区域之间的几何关系以及区域的整体性质。通过上

述处理,系统可以生成令人满意的适合编针推理的轮廓图形^[5,6]。

为了支持编针推理,我们使用一种基于概率的不确定性推理机来获得每一个目标的关键特征,如形状、位置、内/外标记以及关于整体设计的全部信息.对每一个被识别出的特征给出一个可信度因子(CF)进行量度.这些特征和它们的可信度因子(CF)在编针中将被用来进行规则推理。

3.2 知识表示

系统中的知识包括针法知识、绣法知识、实例以及元知识等.为了适应各种推理机制,我们采用了下面的知识表示方法。

3.2.1 实例(case)表示

系统采用面向对象的方法表示实例.每个实例,或称为对象,由接口、数据和功能这3部分组成.接口是不同对象之间的交流机制;数据是关于对象的描述;功能则是对数据所做的操作.对象具有4种特性:封装性、抽象性、继承性和多样性.在系统中,每个实例由一个对象表示.例如:

```

Class Tflower::public Tscene{
    Public
        Tflower();
        ~Tflower();
    protected
        EmbroInformation embro_info[3];
        TOutline *outline_array[MAX_OUTLINES];
    Public
        UNIT outline_number;
        UNIT line_number;
        UNIT tape_number;
        UNIT area_number;
        ToperationPlan *pOperation; //CASE Solution
        ...
        void show_outline(void);
        void show_embro_plan(void);
        int edit_case(void);
        virtual void Embroider(void);
        ...
}
class Tpeony::public Tflower{
    public
        Tpeony();
        ~Tpeony();
    private
        OutcomeType outcome;
        CaseStyleType style;
    Public
        TpeonyClass *next_peony;
        ...
        void Embroider(void);

```

```
}

```

所有的实例均存放在实例库中。

另外,系统还建立了一个索引类和一个快速实例索引,以便提高检索(推理)效率。

3.2.2 产生式表示

电脑刺绣编程系统中的主要知识是绣法和针法,所有的刺绣都是生产者通过绣法和针法加以组织的,其中绣法是指那些为获得最满意的刺绣效果而选择最佳路径和最合适的针法的知识,针法则表示了在一个最小单元上的走针序列。

每个产生式规则均带有可信度,推理机制利用知识库中的产生式规则,根据图形轮廓的形状及几何关系选择所需要的针法和绣法。

3.2.3 元知识表示

元知识由问题解决策略和推理策略组成,也就是说,如何根据现有的对象特征选择合适的推理机、如何选择已有的规则、如何搜索(向前/向后/双方向)以及推理参数失败时如何改变参数等。

3.3 推理策略和编针

该系统环境采用了正、反向混合推理策略以及基于实例的推理方法(CBR),并采用启发式信息加速推理的过程。根据给定轮廓的几何形状和相互关系以及工艺经验知识,选择最佳针法和最佳绣法,对相应轮廓进行编针,实现了编针的自动化和智能化,使刺绣的效率和质量得以极大地提高。下面所描述的是基于实例的推理方法和基于规则的推理方法的混合应用。

CBR推理机的主要工作是给出从实例库中搜索的实例和现有问题之间的相似度,根据新的设计要求,从实例库中检索最佳的实例。假设实例集 $R = \{R_1, \dots, R_m\}$,实例的特征 $A = \{A_1, \dots, A_n\}$,权重用矩阵表示:

$$W = \begin{array}{cccc|c} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1m} & A_1 \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2m} & A_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{n1} & W_{n2} & \dots & W_{nm} & A_n \\ R_1 & R_2 & \dots & R_m & \end{array}$$

再假设实例 P_1, P_2 的属性分别为 $\{a_{1i} | i=1, \dots, n\}$ 和 $\{a_{2i} | i=2, \dots, n\}$,那么相似度为

$$S(P_1, P_2) = \sum_{i=1}^n W_{ij} \times (a_{1i}, a_{2i}), \quad 1 \leq j \leq m.$$

我们得到相似测量数据后,通过“转换分析”的过程从若干相似实例中获取最佳方案,其步骤描述如下:

```
Step 1. new_solution = new(TOperation *); // 创建一个新的解决方案
Step 2. TransAnalogy(0, new_solution); // 对新方案转换分析,以获得最佳解决方案
Step 3. new_case.pOperation = new_solution; // 确定获得的解决方案为新实例的解决方案
The recursive function TransAnalogy(0, new_solution) can find the best solution;
TransAnalogy(int k, TOperation * ptr)
{TOperation * old_ptr, * p;
old_ptr = case_selected[k].pOperation;
do
{p = old_ptr++;
check node (* p), determine whether it can solve the new problem;
```

```

if (* p can)
    add (* p) into the (* ptr) queue
else
    {modify (* p);
    if (new solution can solve the new problem)
        add (* p) into the (* ptr) queue
    else if (k+1 < n-1)
        TransAnalogy(k+1, ptr);
    }
}
while (* ptr is not the target && old_ptr != NULL)
}

```

当 CBR 没有匹配出合适的实例,即没有解决当前的问题时,将通过基于规则的不确定性推理寻找一个合适的解决方案。

通过上述推理策略,系统可自动地根据轮廓进行编针,选择合适的针法和绣法,使针点在区域内的分布能够满足一定的工艺要求,保证直线的均衡性、一致性和表面的整洁性等。系统采用了平衡、最短距离匹配、最佳方向匹配、缩短针位、插入针位等一些来自技术经验和知识的技巧,提高了刺绣产品的视觉效果和质量。

4 与相关系统的比较

目前市场上流行的电脑刺绣编程系统有日本的田岛(TianDao)、百灵达(BaiLingDa)以及德国的 ZSK 等。这些系统功能单一、编针质量差、原始图样的输入方法单一,只是通过数字仪或鼠标手工输入,智能化和自动化程度低,生产效率和质量不能满足市场要求。

该系统将计算机图像处理、软件技术、计算机辅助设计和人工智能等技术集成为一体,具有鲜明的特色,形成了一个功能齐全、智能化和自动化水平很高的电脑刺绣编程环境,同时,解决了其他系统中的一些缺陷。系统可以满足不同用户的需求。在进入市场一年以后,获得国内外用户的广泛认可,得到了一致的好评。

另一方面,系统采用的图像处理、知识表示、CBR 以及基于规则推理机制等算法不仅适用于刺绣领域,而且也适用于其他领域。

References:

- [1] Chen, Shi-fu, Luo, Qiu-qing, Pan, Jin-gui. CEIP: the image preprocessing system for computerized embroidery punching system. *Journal of Software*, 1992, 3(1): 42~48 (in Chinese).
- [2] Janet, Kolodner. Case-Based reasoning. *IEEE Expert*, 1992, 17(5): 163~173.
- [3] Sun, Pei-lan. *Stitch Patterns and Stitching Techniques in Suzhou-Style Embroidery*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1989. 12~45 (in Chinese).
- [4] Chen, Shi fu, Pan, Jin-gui, Ha, Bin, *et al.* Algorithms for region edge recognition and edge mark and their applications. *Journal of Software*, 1995, 4(3): 20~25 (in Chinese).
- [5] Zhou, Se. Region competition; unifying snakes, region growing and bayes/MDL for multiband image segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996, 18(1): 884~900.
- [6] Chen, Ke. Image segmentation and edge detection based on fuzzy enhancement techniques. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 1992, 5(1): 18~25 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [1] 陈世福, 罗秋清, 潘金贵. CEIP: 用于电脑刺绣的图像预处理系统. 软件学报, 1992, 3(1): 42~48.
[3] 孙佩蓝. 苏绣针法与技巧. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989. 12~45.
[4] 陈世福, 潘金贵, 胡滨, 等. 一种区域边界的识别和区域标记算法与应用. 软件学报, 1993, 4(3): 20~25.
[6] 陈科. 基于增强的模糊文法的图像分割和边缘识别研究. 模式识别与人工智能, 1992, 5(1): 18~25.

Design and Implementation of Intelligent Environment for Computer Embroidery Programming*

LIU Hai-tao, GUO Lei, CHEN Shi-fu

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

E-mail: lht@aiake1.nju.edu.cn

<http://www.nju.edu.cn>

Abstract: Various punching systems for computerized embroidery have appeared since the invention of computer-controlled embroidery machine, which led to an innovation in traditional embroidery industry. But few of these systems are really efficient because of little intelligence and poor automation, thus the products' quality and manufacture efficiency are kept in a low level. In order to overcome the imperfections of the function above, an integrated intelligent environment for computerized embroidery is developed. So embroidery patterns automatically processing and stitch generation are achieved depending on the adopted AI, CAD and image processing techniques. As a result, the products' quality and efficiency of embroidery programming are improved greatly. The architecture and the implementation techniques of the system are described in this paper.

Key words: computerized embroidery punching; artificial intelligence; computer-aided design; image processing

* Received April 25, 2000; accepted December 20, 2000

Supported by the National High Technology Development Program of China under Grant No. 863 306 2704-01 3