邓北京服装學院 硕士学位研究生学位论文

中文题目:	女裤样板智能CAD系统的设计与实现
英文题目:	Design and Implementation of the Intelligent
	CAD System of Pattern for woman's trousers

姓	名 :	王 宏 翱
专	业:	服装设计与工程
导	师:	姜延
学	院 :	计算机信息中心

学号: 201720001150

(学硕专用)

原创性声明

本人郑重声明: 所呈交的学位论文是本人在导师的指导下独立进行研究工作所取得的成果,论文中有关资料和数据是实事求是的。除文中已经注明引用的内容外,本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体,均已在文中以明确方式标明。

若有不实之处,本人愿意承担相关法律责任。

学位论文作者签名: 心气 和

日期: 2019年12月15日

学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解北京服装学院有关保留和使用学位论文的规定,即:研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京服装学院。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版,允许学位论文被查阅、借阅和复印;学校可以将学位论文的全部或部分内容公开或编入有关数据库进行检索,可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。

保密的学位论文在解密后适用本授权书。

学位论文作者签名: 之宏美科

日期: 2019年12月15日

导师签名: 姜延

日期: 2019 年 12 月 15 日

女裤样板智能 CAD 系统的设计与实现

摘 要

对于服装产业而言,由于生产依赖人力、自动化程度低,离智能制造的目标仍有巨大差距。其中,复杂和繁琐的服装制板环节是生产智能化的一大障碍,为此学界进行了许多关于服装样板智能 CAD 系统的研究。但是目前的服装样板 CAD 领域中,专家知识的数据化程度低,样板参数化建模过程复杂,导致制板系统的智能化程度受限。为了解决上述问题,本课题以女裤的样板设计为研究对象,基于对女裤款式设计及样板绘制原理的分析,设计并实现了女裤样板智能 CAD 系统。

本文首先从款式设计与样板绘制两方面分析了系统的业务需求,并据此对系统的架构与模块进行总体设计。然后,对女裤制板的专家知识进行分析,在此基础上设计了智能制板功能:对款式设计进行组件化,并为参数化制板过程设计了一种描述制板规则的领域特定语言。将与专家知识有关的业务逻辑抽象成数据,通过用数据驱动款式设计与制板的方法,实现系统的可进化性、可扩展性和智能化。接下来,介绍了基于 C++的图形框架 Qt 进行系统实现的技术细节,包括建立专家知识库、解析制板规则以及输出标准样板文件。最后,通过测试证明了系统的实用性,并对本课题的工作进行了总结与展望。

关键词: 服装 CAD: 专家系统: 组件化: 参数化制板: 领域特定语言

Design and Implementation of the Intelligent CAD System of Pattern for woman's trousers

Abstract

For the clothing industry, the dependence on human resources and low degree of automation make a huge gap from the goal of intelligent manufacturing. Among them, the complicated and tedious process of garment pattern-making is a big obstacle to the intelligent production. Therefore, many researches on the intelligent garment CAD system of patterns have been carried out in the academia.

But nowadays in the field of garment pattern CAD, the lack of expert knowledge digitalization and the complexity of parametric modeling lead to the low intelligence of the pattern-making system. In order to solve the problem above, this paper designs and development an intelligent CAD system of pattern for womans' trousers based on the analysis of style design of trousers and principle of pattern-making.

Firstly, this paper analyzes the business requirements of the system from two aspects, style design and pattern-drawing, and designs the overall architecture and modules of the system.

Then, based on the analysis of the expert knowledge of pattern-making for women's trousers, designed the intelligent pattern-making function: the componentized style design and a domain specific language describing the pattern-making rules for the parameterized pattern-making process. The business logic related to expert knowledge is abstracted into data, and the system's evolubility, expansibility and intelligence are realized by using the method of data-driven style design and pattern-making.

Next, this paper introduces the technical details of the system implementation based on the graphic C++ framework QT, including the establishment of expert knowledge base, the interpreting of pattern-making rules and the conversion of standard garment pattern files.

Finally, the practicability of the system is proved by testing, and the work of this subject is

summarized and prospected. Using this system, the user only needs two steps, component-based garment style design and size input, to get a customized clothing pattern, and it obviously improves the efficiency of pattern-making process in garment enterprises. The development of intelligent garment pattern CAD system has broad prospects and great potential.

Key words: Garment CAD; Expert system; Componentization; Parametric patternmaking; Domain specific language

目 录

		······································
Abst	trac	otV
第1	章	绪论1
1. 1	研	究背景1
1. 1.	1	信息化背景下的服装产业1
1. 1.	2	相关概念廓清1
1.2	智	能制板研究综述 3
1.3	研	究内容与意义4
1.4	研	究思路与预期结果4
1.5	本	文的组织结构5
第 2	章	需求分析与系统架构7
2. 1	系	统需求分析7
2. 1.	1	款式设计7
2. 1.	2	样板绘制8
2.2	系	统架构设计9
2. 2.	1	架构设计原则9
2. 2.	2	系统架构与框架10
2. 3	系统	充模块设计12
2. 3.	1	模块的划分12
2. 3.	2	模块间的耦合关系12
2.4	本	章小结13
第 3	章	女裤制板的专家知识分析15
3. 1	专	家知识获取15
3. 1.	1 ₹	专家系统简介15
3. 1.	2	知识获取的方法15
3. 2	专	家知识表示
3. 2.	1	知识表示的方法

3. 2. 2	女裤款式设计知识表示1	. 7
3. 2. 3	女裤制板规则知识表示1	9
3.3 专	· 家知识应用	21
3.4 本	章小结2	21
第4章	智能制板功能的设计2	23
4.1	3件化款式设计2	23
4.1.1	组件化的概念与特点2	23
4.1.2	女裤款式设计的组件化2	23
4. 1. 3	女裤款式的组件管理模块2	24
4.2 参	数化样板绘制2	24
4. 2. 1	参数化制板原理2	24
4. 2. 2	样板参数分类2	26
4. 2. 3	制板公式分析2	27
4. 2. 4	约束求解方法2	27
4.3 制	板规则的领域特定语言2	28
4. 3. 1	约束求解方法的封装2	29
4. 3. 2	制板规则的统一语言3	30
4.4 本	章小结	32
第5章	系统实现	33
5.1 知	1识库的实现	3
5. 1. 1	款式部件数据库设计3	3
5. 1. 2	制板知识数据库设计3	3
5.2 款	x式设计与制板规则调用3	34
5. 2. 1	模型/视图结构3	34
5. 2. 2	款式设计的数据绑定3	}5
5.3 样	板图形的自动生成3	36
5. 3. 1	图形数据类 MyPathData3	36
5. 3. 2	绘图工具类 MyPainter 3	37
5. 3. 3	规则解析类 MyRule 3	}9

5.4 样板数据的可视化管理	40
5.4.1 基于点的样板编辑	40
5.4.2 样板工艺信息管理	41
5.4.3 样板数据的格式化输出	42
5.5 本章小结	45
第 6 章 系统测试	47
第 7 章 总结与展望	53
7.1 总结	53
7.2 展望	54
参考文献	55
攻读硕士学位期间发表的学术论文	59
 孙	61

第1章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 信息化背景下的服装产业

近十几年,信息通信技术的发展日新月异,制造业的发展则显得相对缓慢。每个行业的制造业升级,都要先后经历机械化、自动化、信息化和智能化的过程。完成工业资源的信息化,是实现智能化的基础,可以产生巨大的创新推动力。信息化的目标是将物理世界的事物数据化,使得在物理世界进行的实际生产成为对数字化计算的验证,达到"验证即生产,实体即数据"[1,2]。工业信息化在德国叫做工业 4.0,其重要性堪比前三次工业革命^[3,4]。在我国,类似的战略构想被称为智能制造,它是推动中国制造业转型升级的关键所在^[5],极大地提升了产品的设计、生产、管理效率,整合了整个产品生命周期^[6-8]。

随着未来几年我国人口红利的消失,服装企业的升级和转型迫在眉睫。另外,单一化的成衣生产越来越无法满足消费者个性化的需求,降低定制服装的成本从而实现大规模定制已经成为服装企业亟待解决的问题。发展工业 4.0 与智能制造,实现信息化,能够提高服装的生产效率,有助于服装企业解决上述痛点、增强竞争力。

据此,一些软件公司纷纷推出了服装信息化的整体解决方案,涉及服装设计、制板、生产、管理及销售等多个环节,但是在非标准化的服装工艺流程面前,多数因不够专业化而折戟沉沙。对于如何降低成本、实现大规模的服装定制,国内外都有不少企业进行了尝试,如美国的 Stitch Fix、亚马逊(Amazon Wardrobe 服务)、安德玛公司以及中国的服装定制公司酷特智能。

然而,大部分中小企业作为我国服装产业的主体,仍然在使用低生产效率的方法。以服装制板为例,多数资深制板师是从文化程度不高的缝纫工做起的,主要采取手工制板或使用智尊宝纺、ET等服装 CAD 软件制板,而且制板具有高度依赖经验的特性^[9]。这种非标准化和不可复制性,严重制约了服装生产的信息化。

1.1.2 相关概念简介

大规模定制

服装定制,是指根据消费者的个人情况量体裁衣,实现服装的量身定制 (MTM, Madeto-Measure),它能够提升消费者对服装产品的满意度、消费者在服装设计上的参与度。大

规模定制(MC, Mass Customization)是指用工业化方法进行大批量服装定制。但是由于个性化服装的板型、制作流程上有差别,导致流水线生产效率降低、服装生产成本抬高,所以大规模定制难以实现。

智能 CAD

传统的 CAD 系统并没有达到智能化,人们希望 CAD 除了能提高工作效率之外还能取代设计师的一部分智力活动,即让计算机像设计师那样具有思维、能自动进行设计,于是便开始展开智能 CAD (ICAD)的研究^[10]。ICAD 系统既具有传统 CAD 系统的数值计算和图形处理能力,又有设计工程师所具有的推理和决策能力,所以能满足设计过程自动化、智能化的要求^[11]。虽然智能 CAD 的概念已经提出很久了,与之相关的课题和研究也不在少数,但是我们仍不能看清楚智能 CAD 的样貌,或者至少,还没有被广泛认可的智能 CAD 出现^[12]。

样板 CAD

服装工业中包含 CAD、CAPP(计算机辅助工艺规划)和 CAM(计算机辅助制造)等传统 IT 模块,其中广泛使用的服装 CAD/CAM 系统中就包含样板 CAD 系统^[13]。样板 CAD 是指用计算机辅助进行服装样板设计。

服装 PDS

多数情况下,样板设计也可称作服装结构设计、纸样设计、板型设计、制板或打板,而样板也可以称作纸样、板型、衣片······这些名词,概念上有差别,但在业界使用时常常是通用的,因为服装业的概念并不像 IT 那样标准化。因为 PDS(Pattern Design System)意为纸样设计系统,所以服装 PDS 就是样板设计系统,本质上也就是样板 CAD 系统。

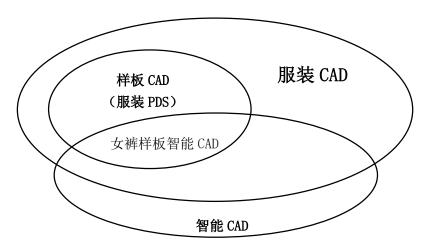


图 1 服装 CAD、样板 CAD、智能 CAD 之间的关系

1.2 智能制板研究综述

服装定制要求"一人一板",不同的客户、款式、面料、工艺,都会使板型不一样,这 给板型制作带来很大的挑战,多数服装企业只能减少定制量、增加制板师,有些则使用自 动制板的方法^[14]。普通 PDS 除了能提供几何线条、图案的绘制之外,只能提供像省道转移、打褶、放缝份等功能,但智能 PDS 提供了自动打板、虚拟打板的功能^[13]。例如日本 yuka 公司的产品 EX-Order 能针对固定的标准化款式进行自动打板,用户只须选择款式、输入尺寸就能得到纸样^[15]。

目前的智能制板方法主要可以分为三类:第一类利用人工神经网络、模糊逻辑算法等,调用数据库资源生成样板^[16-18];第二类在 3D 人体模型的基础上,展平服装曲面获得个性化样板^[19];第三类是基于参数化设计的自动打板技术^[20]。对于使用第一类方法的研究,因为受限于特定算法的适用范围,所以不能直接自动生成样板^[16,21],它往往与参数化方法结合;第二类方法的难点在于如何获取客户的 3D 人体模型;而第三类方法是应用最广泛的,比如已有的基于 AutoCAD 等工具进行参数化打板的研究^[22-24]。但是参数化的基础是基于规则的专家系统,而专家知识的数据化却没有比较系统的研究,导致制板系统很难适应不断变化的服装款式^[25]。以下对不同高校近年来开展的参数化 PDS 研究做简单介绍。

北京服装学院对不同类型服装的 PDS 进行了持续的研究(详见表 1),以平衡、比例和多米诺律三大原则为技术核心研制专家系统^[26-32]。

年份	服装类型	专家知识	程序设计	合作企业	是否申请专利
2005	西装	黎晶晶	邱亮		是
2006	西裤	张金梅	蒋秀英		
2007	休闲装 (夹克、衬衫)	赵晓玲	蒋秀英		
2010	第二代西装	王艳辉	胡长鹏		
2013	企业化西装	尹丽芳	胡长鹏、刘玉玉	恒龙	是
2014	衬衫	李静	胡长鹏	恒龙	是

表 1 北服服装 PDS 研究情况

天津工业大学曾建立服装 MTM 平台网站,其 PDS 结合了现成服装 CAD 软件的基准纸样库和放码功能^[33]。此外,还构建了男西裤的参数化结构模型,并在富怡 CAD 上验证了其参数化制板的高效性^[34]。

苏州大学曾以男裤的结构、款式分析为基础,通过实验推导了男裤基础样板模型的生成规则,完成了男裤自动打板系统^[35]。此外,还针对衬衫 MTM 提出了样板重构的方法: 避开体型分类,直接对人体关键控制部位的尺寸进行号型归档,然后对样板轮廓线进行重构,生成个性化样板^[36]。

东华大学研究过牛仔裤、女套装、连衣裙、男衬衫的自动打板,在研究服装款式和结构的基础上,进行服装结构的参数化设计,通过智尊宝纺 CAD 的柔性模型技术,建立样板部件的模型,再进行参数设置,将柔性模型组合,准确、快速生成不同款式、号型、面料的样板,并且采用虚拟试衣进行了验证^[20,37–39]。

1.3 研究内容与意义

本课题的主要目标是研制具有实用价值的女裤样板智能 CAD 系统。在运用女裤样板设计的专家知识的基础上,该系统可以自动生成指定款式、尺寸的女裤的样板,且样板的文件格式与服装打板软件 ET 兼容,以便投入成衣生产环境。为此要分析系统的需求,设计合理的系统架构,并对主要的智能制板功能进行深入研究。另外,本课题希望通过剖析服装制板领域专家知识的数据化方法,探究计算机软件技术及工业智能在服装 PDS 中如何发挥更大的作用,这是本课题研究的特色。

智能打板技术是服装企业提升生产力、实现大规模服装定制的关键技术。本课题研究的女裤 PDS 不但可以满足大规模定制中制板环节对快速、个性化的要求,提高 MC 服装生产的效率,而且在 PDS 设计过程中所总结的专家知识数据化方法、参数化打板的通用性方法,对于服装产业未来的智能化发展也具有一定的价值。

开发女裤样板的智能 CAD 系统,既是对服装行业信息化的尝试,也是对产学研结合的实践。只有在开发的过程中才能发现工业生产中存在的问题和痛点并设法解决之,才能真正将学术科研与工业应用相结合,并为服装制造业的智能制造转型提供经验。

1.4 研究思路与预期结果

本文最终将要实现女裤的 PDS 并对其进行生产环境下的测试。该 PDS 的设计与实现大致分为四个步骤:

- (1) 对系统的需求和业务逻辑进行分析,并在此基础上确定系统需要实现的功能,并做出大致的架构设计。
 - (2) 总结实际生产过程中女裤纸样设计的规则、方法,将样板设计的专家知识参数化、

逻辑化和系统化、抽象成结构化、标准化的数据。

- (3) 分析与设计核心功能——智能制板功能,关键在于剥离女裤款式设计与制板规则的复杂度。这部分是本文的重点。
- (4) 系统的技术实现。主要分为如下几个部分:实现专家知识库与 UI 视图的联动;实现女裤款式设计的功能:实现自动制板功能计、实现样板处理的功能。

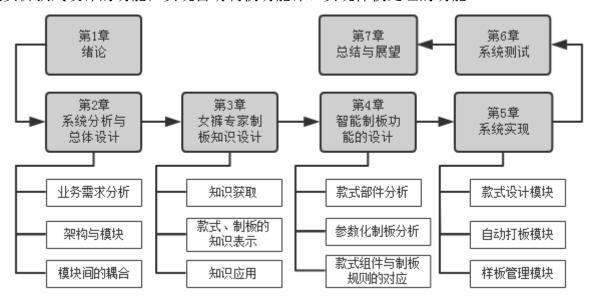


图 2 论文组织结构图

1.5 本文的组织结构

本文共分 7 章,它们的组织结构如图 2 所示,各章节的内容如下:

第一章介绍了课题的研究背景,综述了服装智能制板领域的研究现状,说明了课题的研究内容、意义、思路,安排了文章结构。

第二章分析了系统的业务需求,对系统的架构与模块进行总体设计。

第三章从知识获取、知识表示、知识应用三方面对女裤制板的专家知识进行分析,其 重点在于款式设计和制板规则的知识表示。

第四章在第三章基础上设计了系统的智能制板功能,它是系统的核心功能,主要涉及 款式设计的组件化、制板过程的参数化,以及款式设计与制板之间的关系分析。

第五章讲系统的技术实现,涉及一些具体编程方法和技术的运用。

第六章对系统进行测试,通过实验证实了系统对于实际生产具有可靠的价值。

第七章总结本文的工作,论述本文取得的成果以及局限性,并展望未来的研究方向。

第2章 需求分析与系统架构

2.1 系统需求分析

本文所论述的女裤样板智能 CAD 系统服务于女裤生产的款式设计和样板绘制环节。 系统面向的使用者可以是专业的服装制板师,也可以是没有制板经验的普通人。使用者可 以通过在系统提供的服装款式库中选择某一款式的服装、输入人体的关键尺寸,直接得到 该款式服装的合体样板;在此基础上,专业的制板师可以利用系统的扩展性,设计和增添 个性化的服装款式及对应样板,满足服装企业的定制化需求。

根据"关注点分离"的分层架构原则,属于业务逻辑的关注点应放置到领域应用层,支撑业务逻辑的技术实现应放到基础设施层。业务逻辑并不关心技术是如何实现的,无论采用何种技术,只要业务需求不变,业务规则就不会发生变化。业务逻辑从 Why、What、How 这三个层面上可以分为业务价值、业务功能和业务实现三部分。其中,业务价值是系统提供的服务,是系统之所以存在的理由;业务功能是实现业务价值需要具备的功能;业务实现就是描述业务功能如何实现,它将业务功能细分成具体的实现步骤。

下面针对款式设计和样板绘制这两方面需求,分别分析它们的核心价值(不变的)、需求复杂度(变化的),并拆分它们的业务逻辑。

2.1.1 款式设计

服装款式是指服装的样式,着重描述服装的形状和造型。本文所论述的女裤样板智能 CAD 系统在款式设计方面的需求是:具备一个尽可能完善的女裤款式数据库,使用者可以 在这个款式库中自由选择所需的女裤款式,并可以扩展款式库的内容。

对于女裤的款式设计而言,尽管款式数量非常多,但是所有款式都可以分解为几个局部的组合,而这些局部的数目和种类都是固定的。本文将女裤款式中这些固定的局部定义为接口,一条女裤的款式是什么样子的,就由这些接口所持有的组件所决定。也就是说,使用者需要向这些固定数目和种类的接口提供不同的组件,这些组件也就是女裤的款式部件,第3章的女裤款式设计知识表示一节将会详细介绍这些款式部件。

款式设计需求的复杂度,主要体现在如下几方面: (1) 不同款式部件之间错综复杂的相互关系:不同的款式部件并不就是一定能够组合在一起的,它们之间可能存在互斥的制约关系。(2) 款式部件的数目会随着业务的增长而逐渐增多,也就是说,随着女裤款式设计的不断进步和更新,新的款式部件会持续地出现。(3) 款式部件与样板绘制之间的关系

很难确定,即使是为同一接口服务的两个款式部件,它们所对应的制板方法可能也会有非常大的差异。以上三方面的复杂度,对本系统的智能化提出了很大的挑战。

下面拆解和分析女裤款式设计这一需求的业务价值、功能和逻辑:

- 1. 业务价值:实现简单便捷的女裤款式设计。
- 2. 业务功能。实现款式设计这个业务价值,需要实现如下功能: (1) 从数据库中加载 所有款式部件; (2) 使用者为款式的每个局部接口选择一个款式部件; (3) 验证使用者选 择的部件所组合的女裤款式是否有效; (4) 如果有效,就让使用者输入样板绘制所需的规 格尺寸; (5) 验证输入的规格尺寸是否有效; (6) 如果有效,就提交款式选择结果以及尺 寸数据给样板绘制模块。
 - 3. 业务逻辑。针对以上6项业务功能中关键的几项,分解其实现步骤:
- (1)"从数据库中加载所有款式部件"这一功能涉及如下实现步骤:把款式部件及其相关的服装专业知识(包括参与部件组合时的制约关系、对应的样板绘制规则等)表示为结构化的数据→使用合理的数据结构,将所有款式部件的知识组织到一起,构建款式数据库→加载款式部件信息时,按照查找规则在数据库中查找款式部件的图片及描述性文字→将查询结果的信息绑定到用户界面,向用户展示部件的款式图和简要的描述。
- (2)"验证使用者选择的部件组合成的女裤款式是否有效"这一功能发生在使用者选择款式部件时,涉及的实现步骤如下:使用者每选择一个款式部件,就在容器 A 中进行查询,如果该部件不存在于容器 A 中,则进行下一步;否则显示款式部件冲突的提示信息→对该部件在款式库中的数据进行解析,将与其具有互斥关系的款式部件保存到容器 A 中。

2.1.2 样板绘制

广义上,服装样板绘制包括如下的步骤:服装样板的款式结构分析、规格设计、绘制结构图、组合和修正、放缝。本文所论述的女裤样板智能 CAD 系统在样板绘制方面的需求是:根据使用者选择的女裤款式、输入的尺寸规格,绘制服装样板(即结构图)。

对于样板绘制而言,稳定点与核心功能在于自动生成女裤样板的过程,也就是参数化制板的过程。制板过程中涉及的数据结构和制板原理是稳定不变的。

样板绘制需求的复杂度主要体现在变化层面。因为使用者选择的女裤款式是不断变化和不可预测的,所以不同的款式部件组合出的款式,它所对应的的样板会随款式的变化不断发生变化,这种变化不可预测。为了满足变化层面的需求,系统的样板绘制模块必须具

备可扩展性和可进化性。

下面对样板绘制的业务价值、功能、逻辑进行分析:

- 1. 业务价值:根据女裤款式,实现样板的自动绘制(即自动打板)。
- 2. 业务功能。实现自动打板这个业务价值,需要实现如下功能: (1) 根据用户选择的 款式部件,从数据库中加载对应的制板规则→(2) 根据制板规则以及用户输入的尺寸规格 数据,进行参数化绘图→(3) 将参数化绘图的结果保存为样板数据。
 - 3. 业务逻辑。针对以上 3 项业务功能,分别描述它们的实现步骤:
- (1)"根据款式部件从数据库加载制板规则"的业务功能,它的实现涉及如下步骤: 将样板绘制的规则转化为结构化的数据,以"制板规则"文件形式保存在样板规则数据库 中→将款式设计中得到的尺寸数据作为参数保存到参数列表 B 中→分析用户选择的款式部 件的信息,根据其内容,查询数据库中与款式部件对应的各个制板规则文件
- (2)调用查询得到的制板规则文件,进行参数化绘图,其中使用的原始参数来自于参数列表 B。这里的重难点在于制板规则文件的设计和调用,在第4章将进行详细介绍。
- (3)"将参数化绘图的结果保存为样板数据"这一业务功能的实现,需要依照几种主流服装 CAD 制图文件的标准,例如美国测试与材料学会(American Society for Testing and Materials,ASTM)标准就是国内许多服装制板软件所使用的文件格式标准。实现步骤为:将绘图得到的最终图形保存为特定的数据结构→用户选择输出的样板文件格式以及标准→用户选择样板文件在计算机上保存的路径→依据标准规定的格式,将图形上的各点坐标写到新的样板文件中,然后将样板文件保存到指定路径。

2.2 系统架构设计

2.2.1 架构设计原则

前面论述了女裤样板智能 CAD 系统中,款式设计和样板绘制这两个主要功能的业务逻辑,其中有两个重点需要特别关注:女裤的款式部件数据库和制板规则数据库。它们是款式设计和自动打板这两个核心业务价值实现的基础,直接关系到系统的需求能不能得到良好的解决。为满足款式设计和样板绘制的需求在变化层面的复杂度,需要在设计系统架构时保留系统的可进化性、可扩展性和可定制性。为保留这三条特性,系统架构设计需要符合如下三个原则:

(1) 系统的每个设计单元之间要有明确的边界, 也就是明确每个设计单元履行的职责、

明确设计单元之间相互协作的接口。设计单元可以是不同的功能模块、零部件的绘制规则、几何约束函数等。通过履行各自的职责,可以保证设计单元的可进化性。因为设计单元内部的实现细节不会影响到外部的其他设计单元,可以较容易地替换单元内部的实现细节。

- (2)善用"封装",也就是通过隐藏细节的方式隔离变化、降低耦合。隐藏设计单元内部细节,合理地设计和暴露接口,可以满足系统的可扩展性。要做到合理地设计接口,需要准确识别业务需求中的变化点和不变量。封装的目的是剥离系统需求中的变化点,例如款式部件的数据、款式组合的策略、样板绘制的规则、绘图的流程等。将变化点剥离之后可以在不修改系统核心功能代码的前提下进行扩展。
- (3) 系统要能够支持使用者定制自己的逻辑,提供可定制的功能与服务。引入元数据(MetaData)和插件模式都是满足可定制性的常见做法,不过本系统的做法是提供款式部件库、制板规则库的修改权限,并且设计和提供了制板规则的领域特定语言(Domain Specific Language,简称 DSL)。

2.2.2 系统架构与框架

经典的三层软件架构由用户界面层、业务逻辑层与数据访问层自顶向下地组成。这种架构有效地隔离了业务逻辑与数据访问的逻辑,使得这两个关注点可以相对独立。本系在三层架构的基础上做了进一步改良,在用户界面层与业务逻辑层之间引入了应用层。此外,本文将业务逻辑层改为领域层、将数据访问层改为基础设施层,分别对应服装 CAD 领域专业知识的表示和技术复杂度的封装,将原先层次的内涵进行了扩大。

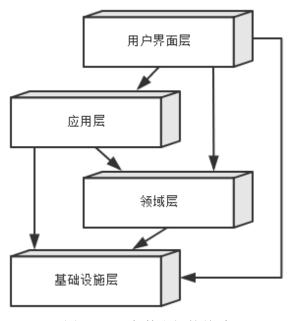


图 3 四层架构之间的关系

表 2	四层系统架构各自的职责
12.4	口压水池木竹竹口时机火

层次	职责
用户界面层	负责向使用者展现、提示信息。
应用层	负责协调应用的活动。不包含业务逻辑,不保留业务对象的状态。
领域层	包含关于服装设计、制板领域的信息,是系统的核心。保留业务对象的状态。
基础设施层	作为其他层的支撑,提供了层间通信。实现业务对象的持久化,即数据管理。

本文设计的女裤样板智能 CAD 系统的基础设施层上,使用了开源的跨平台 C++ 图形用户界面应用程序开发框架 Qt 作为基础开发平台。系统运行的目标环境为 Windows 操作系统,而 Qt 提供了基本的 Windows 窗口类 QWideget 类;此外,Qt 的基础库中还提供了QPainter 类、QPainterPath 类等,能够提供基本的图形绘制功能。

除了 Qt 提供的基础类之外,系统的基础设施还包括款式部件库和制板规则库,它们是根据女裤样板 CAD 领域的专家知识设计的数据库,为领域层的款式部件管理和制板规则管理模块提供支撑。

领域层的样板数据结构 PathData(全称 MyPathData)是系统内部所使用的数据结构。该数据结构经过样板文件格式转换器就能够将样板数据输出为不同文件标准的格式,比如 ASTM 标准的 dxf 格式。

应用层的参数化绘图模块负责解析制板规则并生成样板数据 MyPathData。其中,制板规则的解析由制板规则解析器(MyRule 类)来负责,绘图和样板数据生成的功能由绘图工具(MyPainter 类)来执行。MyPathData、MyRule、MyPainter 的具体设计与实现,都会在第 5 章第 2 节做详细介绍。

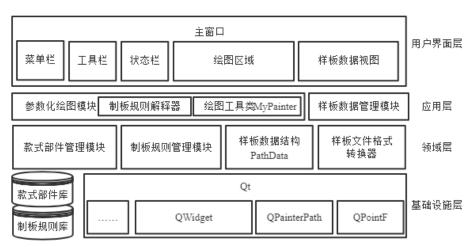


图 4 系统架构图

应用层的样板数据管理模块主要负责针对样板数据的微调、显示和其他各种功能。用户界面层负责绘制各种用户界面,就不再介绍了。整个系统的架构如图 4 所示。

2.3 系统模块设计

2.3.1 模块的划分

图 5 示了女裤样板智能 CAD 系统中按照不同功能进行划分的各个模块。按照功能细分,有女裤专家知识库模块(包括服装部件库和制板规则库)、女裤款式部件选择模块、尺寸规格输入模块、样板自动绘制模块、样板编辑修正模块、样板输出模块等。其中,女裤款式部件选择、尺寸规格输入、样板自动绘制三者共同实现了系统的核心功能——设计女裤的款式并自动生成样板。此外,女裤样板的编辑、修正、输出等,都是针对样板数据的操作,可以划归到样板数据管理模块中。

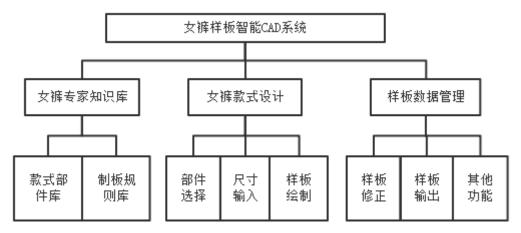


图 5 按功能划分的系统模块

在以上各功能模块中,女裤专家知识库的设计是最为关键的,女裤款式设计作为系统的核心功能,它制板的智能化建立在对款式部件与制板规则进行合理设计的基础上。对于女裤专家知识的获取、表示与应用的介绍,将在第3章做详细介绍;对于女裤款式设计模块如何根据知识库中的知识进行智能化制板这一问题,将在第4章进行深入分析;第5章对于系统的具体实现做了一些概述,其中既包括知识库的具体实现,又包括样板智能绘制功能的实现方法,另外也简要介绍了样板数据的可视化管理功能是如何实现的。

2.3.2 模块间的耦合关系

作为系统的设计单元,每个功能模块必须具备明确而单一的职责,相互之间要具有明确的边界。模块的封装要尽可能降低模块之间的耦合关系(,但是不可能完全消除,否则就不能构成一个系统)。以下对系统核心功能模块之间的耦合关系进行分析。

- (1) 款式部件选择与样板自动生成:使用者所选择的服装部件信息中包含了样板绘制的规则,而样板自动生成的原理是参数化绘图。前者提供的制板规则就是后者参数化绘图过程中所依赖的约束条件。
- (2)尺寸规格输入与样板自动生成:使用者输入的尺寸数据,决定了样板参数化绘制中的关键参数。对于关键参数等不同类型参数的定义,将在第4章的参数化样板绘制一节提到。
- (3)款式部件选择设计与尺寸输入:多数情况下,女裤的款式造型和它的尺寸数值之间会有制约关系,款式设计会影响尺寸的可输入范围。之所以不是尺寸影响款式,是因为系统的款式部件选择步骤在尺寸输入步骤之前。此外,某些款式部件会要求使用者输入一些额外的尺寸数据(设计参数),以满足造型设计上的自由度。
- (4)样板编辑、修改与样板自动生成:用户对已有的样板进行编辑导致样板数据发生 变动时,系统会自动调用样板生成模块中的绘图工具,根据修改后的新数据重新绘制样板。

2.4 本章小结

本章对女裤样板智能 CAD 系统进行总体上的设计。首先分析系统需要满足的需求,从款式设计和样板绘制两个核心业务价值出发,分析了这两者需求的稳定点和变化点,阐述了它们需要实现的业务逻辑。然后针对需求的复杂度提出系统架构的设计原则,并自顶向下地设计了用户界面层、应用层、领域层和基础设施层这四层架构,分析了它们的职责和组成。接着依据功能不同对系统进行模块划分,并分析模块之间的耦合关系。

第3章 女裤制板的专家知识分析

3.1 专家知识获取

3.1.1 专家系统简介

专家系统是一种计算机程序系统,它通过模拟人类专家的方式来解决领域问题。它是拥有大量专门知识与经验的程序系统,可以依照某领域中的一个或多个专家提供的知识与经验,运用人工智能和计算机技术来模仿人类专家的决策过程来做判断、推理,以便在没有专业人员的情况下解决复杂的专业问题。

专家系统一般由用户界面、知识获取、数据库、知识库、推理机、解释器这六部分构成。其中,知识库与推理机是解决领域问题的核心构件。下面对这些组成构件分别做简要介绍:(1)用户界面是程序系统与使用者进行交互的界面,它负责输入、输出信息。(2)知识获取是扩充、修改专家系统知识库内容的方式,它决定了专家知识库的正确性、普适性和及时性,是十分关键的部分。(3)数据库是专家系统的数据存储区,存储各种推理过程的原始数据、中间结果和最终结论。(4)知识库中存储了大量专家级的某领域中的知识与经验,它是影响专家系统所做决策质量的关键因素。(5)推理机的功能是根据问题的已知条件或信息,合理调取和使用知识库中的知识,得出问题的解。(6)解释器可以向使用者解释专家系统的求解过程和最终结论,使得专家系统具有更加友好的使用体验。

专家系统作为人工智能研究历史中早期的研究重点,具有不可否认的智能化特性,是智能 CAD 系统设计的重要参考。基于专家系统,已经存在一些有关个性化服装制作的智能系统的研究,对于促进服装设计者和专家之间的合作具有良好的效果^[40-42]。本文所研究的女裤样板智能 CAD 系统也采取了与专家系统相似的结构,建立了女裤款式设计与样板绘制有关的专家知识库。

3.1.2 知识获取的方法

对现实世界中的海量数据进行结构化和量化,得到的东西叫做信息。将信息逻辑化,抽象成的理论,或者建立的模型,叫做知识。完善专家系统的知识库,需要获取知识。知识获取的目的是将工业制造系统中凌乱繁杂的隐性知识,转化为统一严谨的显性知识。

隐性知识主要是指高度个人化、以行动为导向、难以共享的知识,它的产生过程和企业的技术演进过程有关,管理学大师德鲁克认为隐性知识源于经验和技能,学习隐性知识

的唯一方法是领悟和练习^[43]。女裤样板智能 CAD 系统需要获取的隐性知识,包括女裤款式应该如何分类以及不同款式女裤样板的绘制方法。想要获取这些知识,就要向有经验的女裤制板师学习,学习的方法如下:

- (1) 明确主题,也就是针对一个什么样的具体问题进行知识获取。在本文的语境中,这个问题就是要分析并抽象出女裤的款式设计中的变量和不变量,解决女裤款式部件的分类、制定、数据结构设计问题。另外,还要归纳女裤款式部件与样板绘制之间的关系、样板绘制的基本方法和,解决样板绘制的智能化问题。
- (2)搜集相关资料,注意要遵照事实,不能编造。常用的资料搜集方式包括直接观察、 面谈、查阅和个人思考。直接观察就是到与主题相关的现场进行亲身体验,认知并记录相 关信息,以便进一步思考;面谈是指与学习对象进行访谈、讨论;查阅法通过查阅文献来 寻找相关资料;个人思考就是通过个人经验总结、反思来获得个人化的资料。
- (3) 汇总并整理所有搜集到的资料,对各种内容进行归纳、分类,通过分析、提炼,总结提出新思想、新模型,并对其进行论述。最终归纳出的知识要能够得到专业制板人员的认可。

3.2 专家知识表示

首先要说明知识表示的概念:知识表示是对领域知识的一种约定与描述,可以使领域知识转化为可被计算机接受的数据结构。它是为了描述现实世界所做的一系列约定,是知识的符号化、形式化或模型化,是把人类知识表示成计算机可以处理的数据结构和系统控制结构的策略^[44]。由此可知,为了让女裤样板智能 CAD 系统知识库中的专家知识能被计算机所理解和运用,这些知识必须用特定的知识表示方法来存储。

3.2.1 知识表示的方法

常用的知识表示方法有以下这些:

- (1)逻辑表示法,用谓词的形式来叙述性地表示知识,主要分为谓词逻辑和命题逻辑。 逻辑表示法具有精确性和无二义性,同时又类似自然语言。
- (2) 规则表示,又称产生式表示,或者 If-Then 表示。它是一种简单的知识表示方法,通过描述条件与结果来表示某种规则。
- (3) 面向对象的表示方法^[45]。这是一种按照面向对象的原则设计的知识表示形式,将 现实中的实体抽象为对象,把对象的属性、行为等知识封装在一起。这里的对象就是一个

属性、关系和方法的集合。对象的属性和关系描述了该对象对应的知识;对象的方法是对属性值、关系值的操作,表示知识处理的方法,包括推理、更新、消息传递等。

(4)网络表示法,又叫语义网表示法。它通过概念和概念之间的语义关系来表示知识, 其形式为带标识的有向图,图中的节点表示概念,有向边表示关系,标识用来描述关系。

其他知识表示的方法还有本体表示法、基于 XML 的表示法、框架表示法等。不同方法在表达能力、逻辑结构和实现难易度三个层面都具有不同的特点,所以在解决实际问题的过程中,系统采用的知识表示方法往往不是单一的,不同的知识表示方法适用于不同的知识^[44]。

服装设计的领域知识分为服装知识和设计知识两种类型,前者是服装自身的要素知识,包括服装结构知识、款式分类知识,后者与服装设计的过程有关,包括设计规则知识和设计案例知识^[46]。本系统的服装设计知识库模块实质上存储的是款式分类知识和制板规则知识,下面分别介绍他们所采用的知识表示的方式以及数据结构。

3.2.2 女裤款式设计知识表示

与女裤款式知识对应的数据库是图 5 (系统模块图)中的款式部件库。首先我们对女裤款式的专家知识做一些介绍:

(1) 廓形的概念。服装的廓形,是指一件服装正面或侧面的整体轮廓形状,它是影响服装款式造型的重要因素。服装设计师一般用大写的英文字母 A、H、O、X、Y来形象化地描述服装的廓形,女裤的这五种廓形如图 6 所示。对于女裤而言,A 廓形的基本上是裙裤,H 廓形的直筒裤占绝大多数,O 廓形常见的是腰部有松紧带、裤身肥硕、脚口处为罗纹的运动裤,X 廓形常见的是喇叭裤,Y 廓形常见的是哈伦裤。



图 6 女裤的五种廓形

(2)如果说廓形是从整体上描述女裤的外观的话,那么部件就是在局部上的描述。通过前期的知识获取工作,本文在设计上将女裤拆分成 11 个局部,分别为:裤长、裤袢、裤脚、腰位、前腰头、后腰头、门襟、前褶省、后褶省、前袋、后袋。每个部位上都有不同的款式部件,11 个不同部位的 11 个部件组合在一起就构成了一条完整的女裤。下面先讨论一下款式部件的知识如何表示,即应该采用什么样的逻辑结构来描述。

前文 2.1.1 中论述过,款式设计需求的复杂度主要体现在如下几方面: (1) 不同款式部件之间具有复杂的相互关系,有些款式部件的使用可能会依赖于另外的一些部件,例如褶省和口袋之间的关系就非常密切。(2) 随着女裤款式设计日新月异的发展,会持续地诞生新的款式部件。(3) 同一部位选择的款式部件不同,制板的方法会有非常大的差异,这给样板绘制的自动化带来了较大挑战。

为了满足上述的需求、解决上述问题,女裤样板智能 CAD 系统中,女裤款式设计的知识表示需要注意以下这些要点:

(1)为了便于计算机程序理解女裤款式部件之间的关系,款式部件的知识表示必须能够表达出它自身与其他部件之间的关系。以前的研究把服装的零部件之间的关系分为三种,分别是层次关系、继承关系和装配关系[47]。层次关系和继承关系比较简单,前者是指部分和整体的关系,后者是指父子之间的派生关系。本文设计时采用的 11 种女裤款式部件之间没有层次关系和继承关系,因为它们在层次和级别上都是上是并列的。但是这些款式部件之间的装配关系需要十分注意。

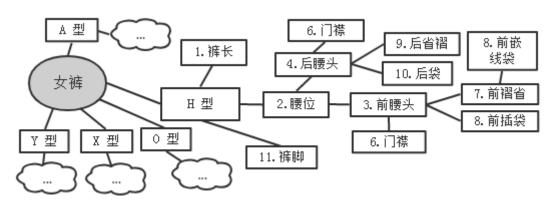


图 7 女裤款式部件的装配关系

装配关系是对样板绘制来说最重要的关系。如果部件 A 影响了部件 B 的位置或大小,就可以说部件 A、部件 B 之间具有装配关系,比如前嵌线袋的位置取决于前省的省尖位置,那么前省部件和前嵌线袋部件之间就构成了装配关系。图 7 展示了女裤的 11 种部件之间的大致的装配关系。其中没有裤袢这一部件,因为裤袢是非常独立的部件,与其他部件之

间没有装配关系;另外,某个局部部位的款式部件可能不一定都服从同样的装配关系,比 如前袋这个种类的部件中,前插袋部件和前嵌线袋部件,前者就不受省尖点位置影响,因 此它们在图中的不同位置上。女裤的款式分类知识具有如图 7 所示的树状装配关系,所以 女裤的款式部件分类可采用树形结构。

(2)为了既能够适应不断发展的款式设计需求,又能够适应不同款式的样板绘制需求, 女裤款式部件的知识表示必须具有一定的灵活性,提供适当的开放性,以便进行款式部件 数据库的扩充;同时要保证系统能够根据款式部件,得到正确的样板绘制方法,也就是说 款式部件的知识中要包含样板绘制的信息,部件的数据必须是能够明确指向制板规则数据 库的。再结合女裤的的基本组成部件的种类繁多、与样板绘制之间的关系十分复杂,款式 设计的实现将采用组件化方式。

用计算机程序的视角来看,女裤款式的每个局部都是接口,是固定的、已知的、标准 化的;而款式部件则是与接口配套的组件,每个组件都适用于某个接口,一个接口可以对 应任意多个组件。在第4章的第1节会详细介绍款式部件的组件化如何设计与实现。

3.2.3 女裤制板规则知识表示

服装结构是服装的平面展开形式,一般用服装结构图来表示,用来描述和解释服装样板的形状、组合、排列以及服装结构线与人体各个部位之间的相互关系。服装结构的数字化描述是对制板规则进行知识表示的基础,所以为了说明女裤制板规则的知识表示,还是要先简单介绍一下女裤的服装结构知识。

女裤的服装结构图一般由五种样片组成,分别为前片、后片、腰头、门里襟、口袋的各种零部件,这些样片的大致形状如图 8 所示。图 8 也是一条女裤样板的最终绘制结果,它的绘制过程是参数化的,在过程中还会涉及到不同的服装结构图。有关参数化制图的过程和原理会在第 4 章的"参数化制板"一节中详细讲解。

有研究指出可以采用面向对象的方法描述服装部件的结构,具体方法为先分析目标服装结构的变化,找到导致变化的关键之处,再构建合理的对象类^[45]。面向对象的核心特征是封装、继承与多态,本文设计的女裤智能制板 CAD 系统中,女裤制板规则知识表示采取了"封装"的手段,将制板过程中使用的方法等细节隐藏,将具体的制板规则封装成了拥有"输入"和"输出"接口的一种用领域特定语言编写的文件型数据。具体的封装方法和领域特定语言的设计,会在第4章的"制板规则的领域特定语言"一节中详细讲解。

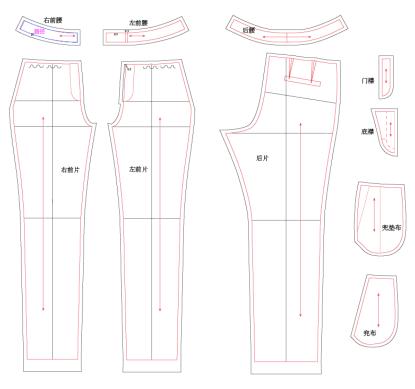


图 8 女裤的样片

对于制板系统而言,款式设计决定了样板绘制,因此有必要分析款式部件与制板规则 之间的关系。经过对大量女裤款式进行的分析,进行专家知识获取,得到了如图 9 所示的 制约关系图。图中的圆形代表女裤前片各部分的样片,矩形代表参数或款式部件,带箭头 折线表示约束关系。门襟与前袋这两种类型的部件中,不同部件施加的约束关系不同,因 此在设计时要采用不同的接口。

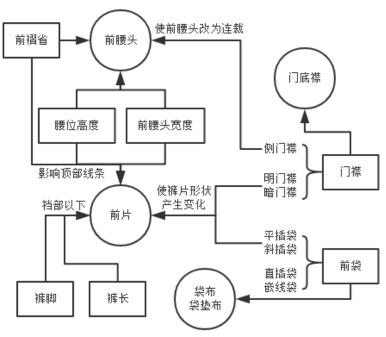


图 9 女裤部件对样片的约束关系

3.3 专家知识应用

经过之前的女裤制板相关的专家知识获取以及将知识表示为计算机可以理解的形式以后,就可以进行专家知识的应用了。分为两方面的应用:

- (1)生成女裤款式部件库文件。将女裤款式部件的知识使用文本与图片文件的形式保存在名为"styles"的文件目录中。文件系统本身就是树形结构,刚好与款式部件的树状结构相吻合。系统的款式部件选择模块会按照"styles"目录中的对应部位路径进行查找,将相应部位的所有部件的图片信息和简要文字介绍展示在用户界面;使用者完成款式部件选择后,会调取这些部件在"rules"中的相应规则文件,进行样板的自动绘制。
- (2) 生成女裤样板的制板规则文件,保存在名为"rules"的文件夹中。这个文件夹中的制板规则文件会作为参数化制图的约束条件,参与样板自动绘制的过程。系统的自动制板模块会运用使用者输入的参数来驱动制板规则文件中的模型,生成样板的各个关键点坐标,连接直线和曲线。

3.4 本章小结

本章简要介绍了与女裤样板绘制相关的专家知识的获取方法、表示方法与应用。因为系统的知识库分为女裤款式部件库与制板规则库,所以本章对款式设计的知识和制板规则的知识进行了分别介绍。介绍的目的是阐述本专家系统的知识库设计,这个知识库的设计是实现女裤样板智能 CAD 的关键、是第 4 章"智能制板功能设计"的基础。

第4章 智能制板功能的设计

4.1 部件化款式设计

第3章第2节讨论了与女裤款式设计相关的专家知识与知识表示方法,从整体上将女裤分为H型、Y型、X型、O型、A型5种廓形,在局部上讲女裤款式拆分为裤长、裤袢、裤脚、腰位、前腰头、后腰头、门襟、前褶省、后褶省、前袋、后袋共11种款式部件。为了满足款式部件之间复杂的装配关系,并使得款式部件的组合获得最大的灵活性,采取组件化的方式来管理款式部件。

4.1.1 组件化的概念与特点

组件化开发是游戏开发以及 Web 前端开发的工程化中出现的概念,是根据功能的一致性、通用性和可复用性对一组 UI、脚本和数据进行封装,从而得到的抽象化概念。将这些UI 样式及其对应的功能看做一个独立的整体,这个整体就是组件。不论对组件进行怎样的组合都不会改变组件自身的功能和样式,从而可以实现对组件整体的复用,这种思想和方法就是组件化。组件化具有如下特点:

- (1) 低耦合。通过组件化方式对项目进行分解、组织和构建,按功能的一致性、通用性和可复用性进行抽象和封装,可以使项目变得分工明确、结构清晰,从而降低不同职能单位之间的耦合性。
- (2) 易扩展。组件之间的低耦合性使得组件之间的影响程度降低,新添加的组件不会影响到原有组件,这符合软件开发中的"对扩展开放、对修改封闭"的开放封闭原则。由于组件的使用要严格遵循接口的协议规定,所以不必担心新增添的组件会失效。以上两点保证了款式设计系统具有一定的扩展性。
- (3)数据驱动。所谓数据是指程序所使用的原始素材,它并非只包括数据库或表格中的数据或者 XML、JSON 等格式的数据文件,诸如图像、声音、文本、二进制文件等都是数据。数据驱动是一种软件设计思想,它通过数据的变化控制逻辑走向,系统的界面、显示、算法等都随着数据的改变而改变。数据驱动的方法隔离了软件的数据层和逻辑层,让代码从混乱变得干净,条理更加清晰。

4.1.2 女裤款式设计的组件化

款式设计的组件化就是将一条女裤款式视为一个容器,这个容器包含了 11 个款式部

件的局部接口。系统的款式部件库中为不同的接口提供了各种各样的组件,每个局部接口 根据设计的需要盛放相关的组件,就可以组成完整的款式。

例如,齐头宝剑头、延伸宝剑头、单排挂钩、双排挂钩、装饰扣、穿绳、穿橡筋等,都是属于前腰头这一局部的组件;斜插袋、直插袋、平插袋、单嵌线袋是属于前片口袋这一局部的组件;单省、双省、缩褶、单褶、双褶等组件都属于前片的褶省;高腰、中腰、低腰、无腰是属于腰位的组件。

款式部件的组件中不但包含了款式部件的名称,还含有款式图、制板方法等信息。其中,制板方法的信息使用制板规则文件来描述,而制板规则文件的内容是用制板规则语言 所编写的程序。有关制板规则语言,将在第3节"制板规则的领域特定语言"中进行介绍。

一个组件包含的内容可以完整地体现某一款式部件的专家知识内容,而随着女裤款式设计专家知识库的不断扩展,知识库中可以不断增添新的组件。软件系统的开发随着数据模型的变化进行,是新一代的软件开发方法,需要对业务进行高级抽象^[48]。

综上所述,组件化的方式通过组件之间的配合使用增加了女裤款式设计的复用程度和 灵活性,满足了智能制板系统的可扩展性。

4.1.3 女裤款式的组件管理模块

- 3.2.2 中的分析指出女裤的款式部件之间的关系十分复杂,女裤的款式部件分类可采用树形结构,款式设计采用组件化方式。由于文件系统的结构也是树状的,所以女裤款式部件知识库的组织形式可以参照文件系统的形式,即建立层级文件夹来存储款式部件知识。层级目录结构就是女裤款式知识库的结构。
- 3.3 节对女裤款式部件与样片之间的制约关系进行了分析,部件与样板绘制的关系复杂程度高且会发生变化,所以有必要为每个组件建立一个可以完整表示信息的结构化 plist 文件,然后编写针对组件 plist 文件的读写、展示、操作程序,生成可视化操作界面,作为组件管理模块。目前的系统还没有实现这一模块。

4.2 参数化样板绘制

4.2.1 参数化制板原理

参数化设计将几何关系视为函数,服装结构图中的各种长度、距离、角度、位置等尺寸就是以设计条件为参数的函数值。将服装样板绘制的过程存储在计算机中,也就是按一定的数据结构存储各个结构线之间的几何关系,这样可以使得计算机具有可以随时调用的

知识库,形成专家系统[49]。

服装结构图的几何实体(或称为元素)之间存在各种约束关系,如偏移、比例等,参数化制板的依据是这些约束关系的不变性,也就是当条件参数改变时,服装结构图上的点、线等实体之间的几何关系保持不变。参数化制板的过程实质上是按照参数和约束条件进行一系列计算的过程。广义上来说,手工制板也是一个参数化制板的过程:先按照人体尺寸确定横向和纵向的辅助线,然后按照制板步骤中设定的公式和约束条件,在辅助线和已绘制的结构线的基础上,绘制新的结构线,直到最终画好一个完整的样板。以图 10 女裤原型的前片样板为例,它的制板步骤如表 3 示。

表 3 女裤前片制板步骤

ID	名称	说明
1	辅助矩形 abcd	横向长度 H/4-1cm,纵向长度为 CR
2	臀围线 ef	与 ab 平行,与 ab 之间的距离为 2/3CR
3	小裆线 dg	cd 延长到 g 点, dg 长 H/20-0.5cm
4	腰线 i j	点 a 右移 0.7cm 得到点 h, 点 h 下移 0.9cm 得到点 i;
		线段 jb 长 1/2(H/4-1-0.7-W/4)
5	前裆弯曲线	连接 ie、eg, 过点 d 向线段 eg 作垂线 kd,三等分 kd,将点 e、靠近点 k
	ielg	的三等分点 1、和点 g 连接成圆顺的曲线
6	挺缝线 no	取 gc 的中点 m, 过 m 作一条垂直于 gc 的垂线, 与 ab 线相交于点 n, 使 no
		长L
7	脚口线 pq	以点 o 为中点, 左右各取 1/2(H/5-2)得到点 p、点 q
8	中裆线 tu	挺缝线 no 与 ef 的交点记为 r, ro 的中点上移 4cm 得到点 s, 以点 s 为中心
		左右各取 H/10 得到点 t、点 u
9	外侧缝曲线	点 c 向侧缝线平移 0.5cm 得到点 v,将 jfvu 连成圆顺曲线,并使得曲线
	jfvuq	jfvu 与线段 uq 圆顺
10	内侧缝曲线 gtp	直线连接 tp, 曲线连接 gt 使得曲线 gt 与直线 tp 圆顺
11	腰省中心线 wx	线段 nr 中点下移 3.2cm 得到点 w, 过点 w 向腰线 i j 作垂线

注: H表示臀围,W表示腰围,L表示裤长,CR表示立裆深。

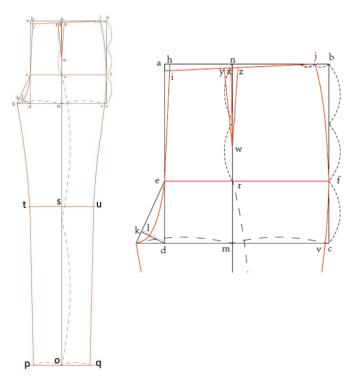


图 10 女裤前片样板的结构图

通过计算机编程,可以将参数化制板步骤编码为程序存储在计算机中。计算机程序是计算机指令的序列,而计算机指令只会处理和读写数据。所以,必须使用参数化制板方法, 先对样板的约束进行数据化,然后计算机才能对输入的样板参数进行约束求解,最后将计算结果按照一定的数据结构保存为所需的服装样板。

4.2.2 样板参数分类

样板绘制中用到的参数就是样板参数。有研究将样板参数分为尺寸参数(关键参数)、次要参数、数据参数、常量参数、复合参数和造型参数^[47,50]。这些以往的参数分类过于复杂、难以区分,对系统设计的意义不大。本文对样板参数的分类删繁就简,根据样板参数的值是否可以在绘图过程前后进行交互式的修改,将其分为可修改参数和过程参数。其中,可修改参数又分为关键参数和常量参数,它们的定义如下:

- (1) 关键参数是用于制图的最基础的参数,由人体本身的尺寸决定。女裤制板的关键 参数有:裤长、腰围、臀围、立裆深。
- (2)常量参数,顾名思义,它的数值是根据制板师的经验和设计需求人为规定的固定值,是不易受到人体尺寸影响的。
 - (3)过程参数的数值不能由使用者直接进行修改。它是制板过程中实时计算所产生的

参数,是将关键参数和常量参数代入制板公式中计算得到的制图过程中的临时量。比如腰围线到臀围线的距离的计算公式为"腰臀高=立裆深×2/3"。过程参数的值只取决于可修改参数的值和制板公式,所以想要确定过程参数,就要先确定制板公式。

4.2.3 制板公式分析

使用者可以通过自定义过程参数的制板公式,达到间接修改过程参数的目的。制板公式是一个函数。通过对大量制板公式的研究可以发现,制板公式函数是线性函数,且只包含参数、括号和四则运算符。对制板公式函数的变量进行分析:(1)自变量:可以有一个或多个,是且只能是有明确定义的样板参数,且不推荐使用过程参数;(2)因变量:是一个过程参数,这是制板公式函数的求解目标。

因为制板公式与过程参数之间是一对一的关系,所以制板公式的数据结构可以采用键值对的形式。键值对的键,就是求解目标,也就是过程参数;键值对的值,是一个包含操作数、样板参数、界限符(括号)、运算符的数学表达式,是一个中缀表达式,存储为一个字符串。

在某个样板的制板公式设置完毕时或者读取数据库中的制板公式时,程序需要对制板公式的数学表达式字符串进行解析。解析过程基于一个操作数栈、一个操作符栈和一个操作符优先级表^[51],其中须要注意进行如下几方面的合法性检查和异常处理:

- (1)如果表达式的自变量中包含过程参数,那么程序应当自动寻找该参数的制板公式,通过计算将该过程参数转化为不含过程参数的子函数;若子函数中仍包含过程参数,则重复上述过程。自变量中不推荐包含过程参数就是为了避免这种繁琐的操作。
- (2)如果表达式的自变量中有未定义过的参数,那么提醒用户对该参数进行设置并退出解析程序。
- (3)如果发现表达式不符合中缀算数表达式的规则,或者包含非法字符,那么提醒用户检查并重新设置公式,同时退出解析程序。

4.2.4 约束求解方法

服装样板由一系列的点、直线和曲线组成,而直线、曲线的形状和大小也是由关键点的位置控制的。所以,参数化制板的关键首先在于确定关键点的坐标。关键点的坐标值,由尺寸约束(也叫参量约束)和几何约束(也叫拓扑约束)决定^[22]。

尺寸约束是指通过距离、半径、直径和角度来约束图形,也就是长度约束和角度约束。

其中角度约束在服装制板中很少用到,并且它能够被长度约束替代和解决,故不予考虑。 又因为长度与点的横纵坐标值之间通过勾股定理能够产生确定的关系,所以尺寸约束可以 简化成对某两点的横坐标或纵坐标的坐标值之差的约束。

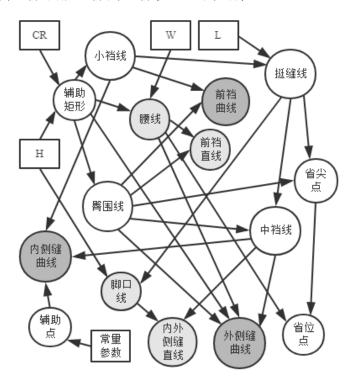


图 11 女裤前片样板的几何约束图

几何约束定义了各个图形对象之间的几何关系,如平行、垂直、相切、水平、竖直、相等、共线、平滑等。几何约束与尺寸约束的区别在于尺寸约束研究的仅是两点之间的关系,而几何约束求解则可以涉及到更多点,所以几何约束其实包含尺寸约束。目前几何约束的求解方法主要有数值约束求解、符号约束求解、基于规则的约束求解和基于图的约束求解,其中基于图的约束求解方法在近年来得到了广泛应用^[51,52]。以女裤原型前片的样板为例,它的几何约束图简化版大致如图 11 所示。

约束图的矩形节点代表参数,无入度;浅灰色圆形节点代表样板轮廓的直线段;深灰色圆形节点代表样板轮廓曲线段,无出度;有向边代表约束关系。点由2个数值确定,直线由2个点确定,因此对于点或直线,入度≤2;曲线段除了要有2个端点外还要有辅助点,图中因为版面限制省略了前裆曲线、外侧缝曲线的辅助点;约束关系包含样板参数的尺寸约束以及几何实体之间的几何约束,是约束图中最为复杂、最难描述的实体。

4.3 制板规则的领域特定语言

基于图的约束求解方法的关键和难点在于几何约束图的建立过程——将服装领域中

对于不同款式服装制板步骤的非结构化描述(形式如同表 1)转换为计算机中各个实体(参数、点、线等)之间约束关系的结构化描述。而这恰恰是多数服装领域的用户难以在短时间内学习和掌握的,需要开发人员配合实现。为了降低转化的难度、提升系统的智能化程度,本文设计的女裤样板智能 CAD 系统采取了如下措施:

- (1)运用领域驱动设计的方法,提炼领域内的专家知识,建立统一语言(领域特定语言)和领域模型。统一语言和领域模型的构建的目的是使专家知识规范化和数据化,让专家能定制自己的逻辑,让业务逻辑与代码实现分离。
- (2) 在领域建模的基础上,使用组件化的方法降低用户对于自定义其他款式的服装及 其制板步骤的上手难度和操作难度。5.2 节将会涉及服装款式部件化及其与制板规则之间 对应关系的研究。

4.3.1 约束求解方法的封装

对服装样板中涉及的一系列约束关系进行分析,可以将它们限制为数目有限的几种约束方法,如表 4 与图 12 所示。其中,曲线段的约束求解方法采用的约束条件是数目不确定的一组经过点,在技术实现时,可以采用曲线插值的方法;方向向量和点的表示形式一致,例如向上可以表示为点(0,1),向左可以表示为点(-1,0)。

方法名 约束条件 解的类型 求偏移 位置参照点, 距离参数, 方向向量 点 起点,终点 方向向量 点 垂线上、直线外的点, 直线 求垂足 点 旋转中心点,旋转角的余弦值,目标点 逆时针转 点 等分点 线段上参照端点,线段另一端点,比例 点 求交点 直线,另一斜率不同的直线 点 连接 线段的端点,线段另一端点 直线 圆顺 一组曲线经过点的集合 曲线 一个路径名,另一路径名 以及 路径 平移 方向向量, 距离 路径 标记 ASTM 标记名称 路径

表 4 约束求解方法

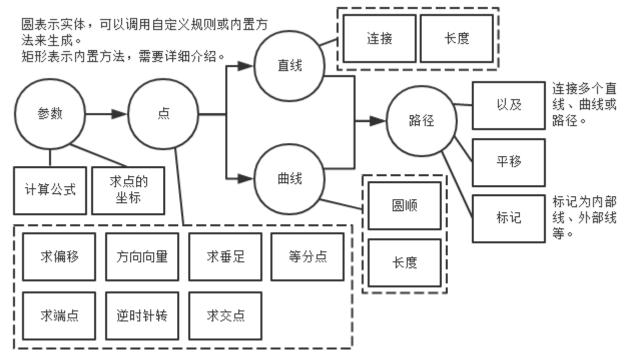


图 12 几何实体与约束求解方法之间的关系图

各种各样的制板步骤都可以用表 4 中 11 种方法的组合来实现。例如表 3 中,ID 为 1 的步骤中生成辅助矩形,就是从原点(起点)开始,使用 3 次"求偏移"和 3 次"连接"方法的组合;后文的模型运用测试部分将举例说明如何组合使用前 6 种方法来完成表 2 中 画"挺缝线 no"(ID 为 6)这一步骤。

有了方法的封装,接下来就要使用这些方法构建各种制板规则。和编程一样,这需要一套统一的调用方法的语法规则,也就是要构建服装制板领域的统一语言(以下简称制板语言)。

4.3.2 制板规则的统一语言

通过第2节的分析得知,在参数化制板领域,需要关注的实体是各种几何元素(主要是关键点)、样板参数以及它们之间的约束关系。要对实体进行操作就要先对它进行定义,语法如下:

实体类型 实体名称

实体名称由英文字符、下划线和数字组成,且必须以英文字符开头。在定义实体的同时可以进行初始化,即赋值。实体类型及对应的初始化语法如表 5 示。

定义时没有初始化的实体会有默认值。制板语言解析时,直线和曲线会被解析为"连接"和"圆滑"方法所使用的多个点参数。可以用以下语法获得直线的端点("左"可以替换为"右"、"上"或"下";曲线有类似语法):

点 点名 = 直线名.左端点

表 5 不同类型的实体

实体类型	初始化语法	代码示例
参数	参数 参数名 = 数值	参数 H = 95
	参数 参数名 = 制板公式	参数 W = H/4-1
点	点 点名 = (参数名,参数名)	点 p1 = (W, H)
	(参数名可以用字面量代替)	点 p2 = (1, 10+H)
直线	直线 = 点名 连接 点名	直线 line = p1连接 p2
	(点名可以用字面量代替)	直线 12 = (0,0)连接 p1
曲线	曲线 = 点 圆滑 点 圆滑 点 …	曲线 c = p1 圆滑
路径	路径 = 直线 以及 曲线 以及 路径	路径 path = c 以及 p1 连
	(任意组合,并可使用字面量)	接 p2 以及 12

制板过程中的基本操作是用已有的实体作为约束条件,代入约束求解的方法中,求解新的实体(类型为点、直线段或曲线段)。约束条件必须按照表 2 的约束条件列规定的实体类型及顺序填写;等号左边的被赋值的实体类型也要与方法的解的类型一致。下面是生成图 1 中直线段 ab 的一段制板语言:

参数 H=94

参数 width = H/4 - 1

点a

点 b = (0, width)

直线 ab = a 连接 b

为了增加语言的灵活性,用户编写完一段制板语言以后,可以将其保存为"制板规则" 文件,以便重复和嵌套使用。制板规则的定义语法如下:

规则 规则名和描述

输入 实体类型 实体名

输入 实体类型 实体名

规则体

输出 实体名 & 实体名 & ...

其中,输入实体与输出实体的数目和类型都没有限制,输出多个实体时用"&"符号连

接这些实体的名称;规则体是一段制板语言的有序队列,其中必须包含对输出实体的定义。规则定义完成后可以像基本的约束求解方法一样使用。以编写"向上平移"规则为例,规则定义如下:

规则 向上平移 本文规定向上为负 y 方向

输入 直线 ab

输入 参数 distance

点 a = ab. 左端点

点 b = ab. 右端点

点 v = (0, -1)

点 c = 求偏移(a, distance, v)

点 d = 求偏移(b, distance, v)

直线 cd = c 连接 d

输出 cd

对于图 11 中的每一个圆形节点,都可以定义与之对应的"制板规则"。规则的多个输入实体对应节点的多个前继节点;规则中唯一的输出实体对应节点自身;规则体描述了多对一的约束关系,对应节点的入度。通过对实体、规则的定义和使用,制板语言可以在 7种约束求解方法的基础上,描述各种复杂的服装制板约束关系。通过对制板语言程序内部的修改、优化,可以实现进化性;通过对"制板规则"数据文件的增添,可以实现扩展性。

4.4 本章小结

本章在第3章总结的女裤制板的专家知识的基础上,进一步论述如何设计系统的女裤智能制板功能。首先对女裤的款式设计进行组件化设计,将女裤的款式按照部件拆分成许多组件,通过对组件的自由组合进行款式设计,提供了灵活性和扩展性。接着解释了制板的过程是一个参数化绘图的过程,并在对服装样板绘制进行剖析的基础上构建了专门用于制板规则的领域特定语言。最后,用组件化数据驱动的特点打通了女裤款式设计与制板的过程,使得女裤的款式如何设计可以决定样板如何绘制,从而实现了制板功能的自动化,使其具备了实现智能化的基础。

第5章 系统实现

5.1 知识库的实现

款式部件库与制板规则库共同组成了女裤样板智能 CAD 系统的专家知识库,它们是系统的智能制板功能的核心,为智能制板提供了理论和方法上的支持。为了使系统更加智能化,满足不断变化的款式设计和制板需求,知识数据库的设计必须满足可进化性、可扩展性和可定制性。

5.1.1 款式部件数据库设计

对于数据库的设计,从个体和整体两方面介绍。个体而言,款式部件包含的信息包括如下这些: (1) 适用的款式部件类别,如"前腰头"、"前袋"等; (1) 款式部件的组件名称,如"齐头宝剑头"、"斜插袋"等; (3) 该组件的款式图,统一采用 png 格式的图片文件,统一图片的尺寸大小,并将图片文件命名为组件的名称; (4) 该组件的制板过程中所需要的参数值,可以包括尺寸数值参数、点位置参数、直线或曲线参数,它们共同组成了绘制该尺寸所需要的输入实体; (5) 该组件对其他组件可能产生的影响因素,也就是这个组件的存在会给女裤款式中的其他组件带来什么样的变化,比如位置的变化,或者甚至两个组件之间存在互斥的关系。

整体上,款式部件的组件按照一定的结构进行组织,这样做除了便于计算机理解和调取以外,也符合人脑的认知习惯,对于实现扩展性是有利的。下一节讲款式设计时会介绍款式部件有关数据的整体布局。

5.1.2 制板知识数据库设计

制板知识的数据采用的结构和表现形式是程序语言的形式,所用的语言是上一章第三节介绍的专门描述服装领域的制板方法与规则的领域特定语言,又叫制板规则语言。

对于一条完整的女裤,其制板规则可以分为若干个部分,我们可以按照各个部件对整条女裤的制板过程进行划分,分别构建不同部件的制板规则数据模型,用来重复调取和使用。另外,在制板过程中,有许多通用的画图方法会被重复使用,比如以某个点为左上角顶点来绘制规定宽、高的矩形,还有以某个点为中点来绘制缩褶的记号,这些常用的方法也可以作为单独的自定义的制板规则文件分离出来,以便重复使用。

制板规则语言类似于计算机语言中的 Lua、Ruby、JavaScript 这样的动态、解释型的脚

本语言,一个自定义的制板规则就相当于是一个模块,可以被其他模块引用。所有这样的模块就是一个个的文件,它们共同组成了制板知识的数据库,并且可以随时修改和增添新的模块,实现制板规则和方法的更新迭代。

5.2 款式设计与制板规则调用

5.2.1 模型/视图结构

模型/视图结构是 Qt 中的一种仿 MVC 的结构,是一种用来分离 GUI 和数据的结构。 其中,模型是指处理数据的模型,视图是指提供 GUI 给用户的视图。

这个结构由数据、模型、视图三个对象构成。数据是指程序所使用的原始资源,它不但包括数据库或表格中的数据或者 XML、JSON 等格式的数据文件,还包括诸如图像、声音、文本、二进制文件等;模型(Model Container)是一种读取和容纳数据的容器,它可以按照一定的数据结构存储数据并对其进行增删改查的处理;视图提供了展示给用户的 GUI,它可以通过控件读取或处理来自模型的数据,并将其显示到 GUI。

在 Qt 基础库中,QAbstractItemModel 类是所有模型类的基类,通过对其进行子类化可以实现特定的模型。Qt 中已经为我们实现了 QStandardItemModel 类、QFileSystemModel 类 以及 QSqlQueryModel,其中第一个了可以通过树形视图读取任意类型的数据,第二个类可以提供文件系统中的目录和信息,第三个类可以存取数据库中的信息。

与模型类似,Qt 中的 QAbstractItemView 类是所有通过关联模型显示数据的类的视图 控件的基类。按照描绘数据的方式不同,视图控件可以分为列表、表格和树形三种风格,例如 QlistView 以行为单位描述模型,QTableView 通过行和列来描绘模型,QTreeView 以树形结构显示行单位的数据。

在前文对女裤款式设计的知识表示和组件管理模块中都提到,款式部件之间以树状结构进行组织,这种结构与文件系统的树形结构相吻合,款式部件的数据按层级直接存储在文件系统内。因此,女裤款式部件的数据可以使用 QFileSystemModel 模型类来读取和持有,可以使用 QTreeView 控件来图形化地呈现给用户。

根据本系统款式设计功能的业务逻辑,款式部件选择模块会按照"styles"目录中的对应部位路径进行查找,将相应部位的所有部件的图片信息和简要文字介绍展示在用户界面;使用者完成款式部件选择后,会从"rules"目录中调取这些款式部件的相应规则文件,进行样板的自动绘制。上述过程中涉及到款式设计界面与款式部件数据之间的数据绑定,以

及款式部件数据与制板规则数据之间的绑定。

5.2.2 款式设计的数据绑定

所谓款式设计的数据绑定就是指,在款式设计过程中涉及到的数据与用户看到的 GUI 界面元素之间的关联行为。由于需要显示款式图这一图片类型的文件,而 Qt 的视图控件没有提供显示图片的功能,所以我们需要自己实现。实现的方法是让程序遍历款式数据的文件,读取图片和必要的文字信息,然后创建 QPushButton 控件和 QLabel 控件显示到"款式设计"对话框(QLabel 用来显示该款式部件的名称),并且调用 QPushButton 的 setStyleSheet 命令,插入设置背景图片的样式代码,将按钮设置为用款式部件的图片填充的效果。

至于款式部件的数据与制板规则数据之间的绑定,依靠的是款式部件数据中的制板规则相关信息。这个信息描述了不同部件之间的搭配关系,即哪个部件对应制板规则的输出实体与哪几个部件制板规则的输入实体之间的关系。根据这些信息,制板规则调度模块可以前去 rules 目录下寻找相应的不同部件的制板规则文件,然后将它们组合在一起调用,生成样板图形。

约定数据文件的搜索路径

既然首先要遍历数据文件,那么就要约定文件的搜索路径。本系统设计时约定,通过系统根目录下的 styles 路径搜索款式部件,通过根目录下的 rules 路径搜索制板规则。下面分别介绍这两者的文件系统设置状况:

- (1) styles 文件夹分为三级。第一级是以后袋、后腰头、后褶省、裤脚、裤袢、裤长、门襟、前袋、前腰头、前褶省、腰位总共十一种款式部件的名称为文件夹名称的十一个子文件夹;如果一级文件夹下有第二级文件夹,说明对应一级文件夹的款式部件可以分为几个类别,款式部件的数据文件作为第三级,放置在二级文件夹中;如果没有二级文件夹,那么款式部件的数据文件作为第二级,直接放置在一级文件夹中。具体而言,后袋部件下分为单袋、双袋和无袋三个类别,前腰头部件下分为齐头、前连裁、延伸三个类别。
- (2) rules 文件夹的分级比较随意,但是搜索时遵循"本层没有就向上搜索"的原则,也就是对于某一制板规则,优先读取自身所在文件夹中相应规则名称的文件,如果没有可读取的,那就向上回退,到上一级的文件夹路径下进行搜索和读取,依次类推。对设计好的女裤款式进行一次绘制,会涉及到各种部件的规则文件的调用,这些规则文件中又会调用其他的一些通用的规则。比如"已知省的位置、腰线和省长,求省尖点的位置"的规则,

就会被许多不同的规则文件共同调用,类似这种通用的规则文件,它存储的位置一般都是在很浅层的文件夹,这样可以保证各种深层目录向上检索时都能检索到它。

5.3 样板图形的自动生成

狭义上,图形是指二维平面中由一系列点、线所描述的形状。Qt 中用 QPainter 类作为工具来绘制(绘制不包含显示)图形,用 QPainterPath 类作为容器来存储图形,而 QWidget 类可以作为显示图形的载体。女裤 PDS 中,针对女裤样板图形的特殊性,创建了如图 X 所示的几个类来绘制样板。其中,PainterArea 继承自 QWidget 类,是 PDS 中占大面积的绘图区域; MyPathData 类用来存储样板数据,它是进行样板数据管理的基础; MyPainter 类是一个样板绘制工具,它不但能够根据一系列点的位置生成样板数据(MyPathData 的实例),还能根据样板数据生成 QPainterPath 图形; MyRule 类的作用则是对样板规则文件中的制板语言进行解析。

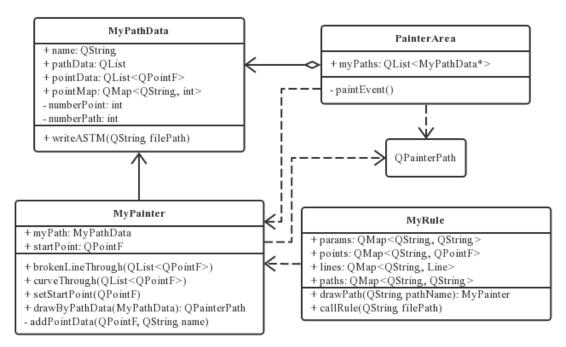


图 13 与绘图相关的类

5.3.1 图形数据类 MyPathData

MyPathData 类用于存储样板的图形信息,一个 MyPathData 类对象对应了一个服装样片。它主要包含如下的属性:样片名称 name,路径数据列表 pathData,点数据列表 pointData,点名字典 pointMap。其中,pointData 表中记录了组成样片要用到的所有关键点的坐标,包括路径的起点、终点、曲线的经过点和控制点; pathData 表记录了组成样片的所有路径(直线段或曲线段),每个单独的路径数据都是一个结构体 PathData; 点名字典 pointMap 中则

记录了点的名称与该点在 pointData 表中索引值的对应关系。有了所有点的数据、完整的路径数据,就可以确定一个样片图形的位置和形状。所以 MyPathData 类描述了基本的样板数据。

路径数据结构体 PathData

上面提到的路径数据结构体 PathData 中包含如下的数据: 起点指针 startPoint,终点指针 endPoint,区分直线和曲线的布尔变量 isLine,以及一个指示路径性质的属性 astmTag。其中,起点指针和终点指针分别指向一个 CurvePoint 类的对象(代码如下所示),该对象有一个整型的 id 属性,表示点在 pointData 表中的索引值。除此以外,CurvePoint 最重要的属性是前驱指针 pre 和后继指针 next,分别指向了路径中该点的前一个 CurvePoint 点和后一个 CurvePoint 点。而 astmTag 是一个枚举类型,包含"边界线"、"内部线"、"经向线"、"辅助线"这几个枚举值,在 PainterArea 画布上,不同 astmTag 的路径会用不同颜色的笔刷(QPen)来绘制。

```
class CurvePoint{
public:
    CurvePoint(int id,CurvePoint *pre=nullptr);
    CurvePoint(const CurvePoint *copyObj);
    ~CurvePoint();
    CurvePoint *pre=nullptr; /**< 前指针 */
    CurvePoint *next=nullptr; /**< 后指针 */
    int id; /**< 点在 pointData 数组中的 id */
    bool isFirst; /**< 是否为起点 */
    bool isLast; /**< 是否为终点 */
    bool isCtrlPoint; /**< 是否为贝塞尔曲线的控制点 */
    void setFirst(CurvePoint *pre=nullptr);
    void setLast(CurvePoint *next=nullptr);
```

5.3.2 绘图工具类 MyPainter

MyPainter 类要解决的问题是如何生成样板数据类 MyPathData 的对象,以及如何根据

MyPathData 对象来绘制 QPainterPath 图形,因为有了 QPainterPath 对象才能让绘图区域 PainterArea 通过重载 QWidget 的 paintEvent 方法在屏幕上显示出图形。

于是本文设计的 MyPainter 类拥有 MyPathData 类的知情权 (体现为引用了后者的头文件),使用 brokenLineThrough 和 curveThrough 方法来为样板数据对象添加折线和曲线,使用 drawByPathData 方法来根据样板数据对象生成 QPainterPath 对象。

贝塞尔曲线插值法生成曲线

值得一提的是 QPainterPath 对象中曲线的生成方法。Qt 的绘图方法库中使用的唯一曲线是贝塞尔曲线,贝塞尔曲线的曲率控制点(锚点)在曲线之外。而对于服装的制板来说,曲线的确定方式是给定一个或多个辅助点,曲线必须经过辅助点,并尽量保持圆顺——即辅助点在曲线之上。因此,贝塞尔曲线无法与制板的规则相对应,我们要在 Qt 的贝塞尔曲线绘图方法的基础上用插值的办法构建新的曲线绘制方法,具体步骤如图 14。这个插值方法在 MyPainter 类的内部实现,curveThrough 方法就是使用它绘制曲线的。

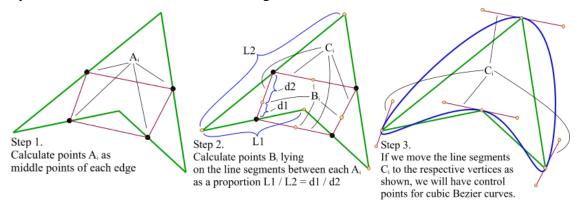


图 14 贝塞尔插值法拟合曲线的步骤

工具的使用场景——显示样板

绘图区域 PainterArea 中包含一个 myPathData 样板数据的列表叫做 myPaths,绘图区域每次更新画面时都会调用 paintEvent 方法,使用 MyPainter 工具将 myPaths 中的零至多个 myPathData 样板数据转化为 QPainterPath 对象,再调用 QPainter 的 drawPath 方法将这些 QPainterPath 对象显示到绘图区域中。

工具的使用场景——解析规则

除了根据样板数据来显示样板以外,MyPainter 工具的另一个作用是生成样板数据,一个典型的使用场景是 MyRule 类在解析规则时,需要依赖 MyPainter 工具来将一系列几何实体的数据转换为样板数据。

5.3.3 规则解析类 MyRule

在第 4 章中构建了一种服装制板的领域特定语言,称为制板规则语言。使用制板语言编写的文件被称为规则文件,规则文件需要使用 C++编写的解释器来进行解析。MyRule 类就是这样的一个解析器,它可以读取规则文件中用制板语言编写的程序,对程序进行词法分析(Lexical Analysis)和语法分析(Syntactic Analysis),然后根据分析结果生成组成样板的几何实体,最终使用 MyPainter 生成 myPathData 样板数据或者 QPainterPath 绘图路径对象。

MyRule 类的对象会在系统进行规则文件解析的时候被创建,当它解析完一个规则文件(调用完其 drawPath 方法)后就被销毁。在解析过程中,若遇到嵌套使用的规则(例如一段制板语言程序中,调用了另一个规则文件 A.txt),MyRule 对象会生成一个 MyRule 类型的子对象,调用其 callRule 方法来解析被嵌套使用的规则文件(如例中的 A.txt)。解析完毕后,得到一个规则文件中唯一的输出实体,并将其以 myPathData 对象的形式返回给 MyRule 的 drawPath 方法的调用者。

这里介绍几个 MyRule 解析器实现中涉及的关键性技术。

词法分析的实现

制板规则的代码是由一个个"词法记号(Token)"组成的,这些词法记号包括关键字如"输入"、"点",标识符如实体名称、自定义规则名称,操作符号如"+"、"-"、"="、"连接",还包括数字字面量、圆括号等。按照一定的规则可以识别这些词法记号以及它们的类型,这个过程叫做"分词"。由于本系统制定分词的规则比较特殊,所以分词的过程依靠手写 C++程序来完成,建立有限自动机对读取的规则文件代码字符串进行逐一判断。

语法分析的实现

词法分析识别出了一个个"单词",语法分析则是在此基础上识别出程序的语法结构。 制板规则语言本身有一定的语法结构,语法分析就是根据一段制板规则程序构造出一棵抽 象语法树(Abstract Syntax Tree, AST)的过程。树的每个节点(子树)都是一个按照语法 构成的语法单元,每个节点还可以有子节点。

AST 的构造过程之一是自上而下的分析法,也就是首先构造代表整个程序的根结点,然后向后扫描词法分析的到的 Token 串,构造子节点。例如当扫描到代表创建点类型实体的词法记号"点"时,意味着遇到了声明实体的语句,于是构造一个子节点"点",向下扫

描到 "a", 意味着声明的点名称为 a, 于是在子节点 "点"上创建子节点 "a", 接着遇到换行符, 表明一棵子树已经构造完毕, 于是返回根结点, 继续向后进行扫描和构造操作。

5.4 样板数据的可视化管理

本系统三大模块中的前两个"女裤专家知识库"、"款式设计与样板生成"的实现方法 已经在前三节中有所论述,本节介绍的是第三个模块"样板数据管理",目前它所实现的功 能有样板数据编辑、工艺信息管理和样板文件的格式化输出。

5.4.1 基于点的样板编辑

前一节中介绍了图形数据类 MyPathData,该类中的成员 pathData 表中记录样板中的 所有路径数据,成员 pointData 表中记录绘制样板过程中用到的所有点坐标。对于这两个列 表类型的成员,在主界面 MainWindow 中用了两个表格视图来展现它们的数据。当使用者 绘制完一套样板以后,path 表格中就会出现所有直线和曲线的信息,point 表格中会展示出 所有关键点(包括直线端点、曲线的控制点)的坐标和名称信息。

由于服装样板的绘制方法中对于曲线绘制的控制力度不足,导致绘制出的曲线经常不够圆顺和光滑,所以样板 CAD 系统有对于曲线进行修正的需求。修正曲线实际上就是对于样板数据中曲线控制点的坐标进行调整,也就是基于点进行调整。本系统中提供的修改方式如下:(1)使用者点击 path 表格中的一条表示曲线的数据项,表示将要对其进行编辑和修正;(2)程序根据该项数据 PathData 结构体中的信息查找出这条曲线所有的控制点坐标,并在 PainterArea 画布上用 LabelPoint 点标签显示这些点的名称,同时也指出了这些点的位置;(3)使用者可以用鼠标拖动点标签,移动它的位置,对应的控制点的位置也随之进行移动,曲线的形状随着控制点位置的改变也会随时改变;(3)使用者改变曲线的形状之后,如果想恢复原来默认的形状,只需要右键点击移动过的点标签,在上下文菜单中选择"恢复原位",该点就回到原来的位置,曲线随之恢复原状。

以上这些基于点的样板编辑方式主要依靠 LabelPoint 这个点标签类进行实现,该类的设计如图 15 所示。可以看到,LabelPoint 类继承自 QLabel 类,后者是一个显示文字的标签类,在其基础上 LabelPoint 与 CurvePoint 对象以及 PainterArea 实例进行了关联,并且实现了四个主要方法: 随鼠标拖动改变自身便签所在的位置、右键点击后显示上下文菜单、改变 CurvePoint 点的坐标位置、恢复原来的点的位置。

class LabelPoint : public QLabel{

```
Q_OBJECT
public:
    explicit LabelPoint(PainterArea *parent = nullptr);
    ~LabelPoint();
    PainterArea *parent; /**< 绘图区 */
    CurvePoint *point;
                      /**< 对应的点 */
    QPoint handlerPos; /**< 拖动时鼠标的位置(在自身坐标系中) */
    // 根据鼠标在 painterArea 中的的物理位置计算 handlerPos
    QPoint setHandlerPos(QPoint mousePos);
    void moveTo(QPoint mousePos);
    void contextMenuEvent(QContextMenuEvent *event);
    void changePos();
    void setOldPoint(QPointF p);
public slots:
    void resetPos();
private:
    QAction *actionNew;
    QMenu *contextMenu;
    qreal oldX;
    qreal oldY;
};
```

5.4.2 样板工艺信息管理

样板的工艺信息管理意味着构建每个 PathData 样板数据对象所对应的样板工艺信息,并对多个 PathData 对象进行分别操作,而不是混在一起。为此,在 PainterArea 中设置了一个列表成员 myPaths 作为容器,每绘制一套样板,就将其放入 myPaths 表的末端,并在主界面 MainWindow 上显示该样板的名称,并提供一个相应的按钮,以便使用者对该样板的工艺信息进行查看和修改。用户不但可以查看到某套样板的名称、号型、尺寸等信息,还可以编辑这些信息,除此之外,还可以移动样板的位置、拆分或合并样板、对样板进行放

缝份等处理。

5.4.3 样板数据的格式化输出

作为一个适用于生产环境的服装 CAD 系统,生成的样板必须可以被刻印类设备读取和准确识别,为此,样板数据需要能够按照一个标准的格式进行输出,这个格式就是遵循ASTM 标准的 DXF 格式^[53,54]。DXF 格式是一种以键值对元素的方式罗列图形信息的文件格式,而 DXF 格式文件中键值对的设置和排列所遵循的标准主要有三种:美国的ASTM/AAMA 标准、日本的 TIIP 标准以及 AutoDesk 公司的 AutoCAD 标准。前两种 DXF标准都是用于服装行业的,而我国的多数服装 CAD 制板软件兼容的是 ASTM(American Society for Testing and Materials,美国测试与材料学会)标准。

每个 ASTM 标准的 DXF 文件都要包含如下要素: DXF 文件头,每个文件有一个 pattern style; DXF 实体,例如 line, polyline, point, text 等; 图层,它通过类型和功能来区分 DXF 元素的信息,ASTM 标准中共定义了 23 个图层,用非连续的数字来表示; Style System,它是文件中所有样片共用的文本,只出现一次;样片,通过 DXF 的 blocks 元素(包含图形和文字信息)来定义一个样片,每个样片对应一个 block,一个 block 由一系列图形实体、样片系统文本和注释组成,这些元素中主要的几个如表 6 所示。

表 6 ASTM 标准中的几种主要元素

图层	名称	描述
1	样板边界	被称为裁剪线,描述样片边缘。它呈现为一个封闭的形状,由一个闭合的
		polyline 构成。没有缝份时,边界就是样片的外轮廓线。有缝份时,边界由余
		量组成,织物的外轮廓线必须作为缝线放置在图层14。
6	镜像线	表明一个样片需要通过镜像处理来成为一个完整的样片。镜像线是对称轴,是
		一条 DXF 直线段,在样片边界线的一条线段上经过。
7	纱向线	表明织物纹理的方向。通常平行于织物的布边,是一条 DXF 直线段。它可以在
		边界内任意位置放置,或者与镜像线重合。
8	内部线	服装结构和细节的辅助线。它们不会被裁剪,但可能被标绘。既可以表现为闭
		合形状,也可以是线条的组合。内部线在边界的内部,不是边界的一部分。
11	内部剪切	可以是线、形状、闭合或开放的多段线,它们在样片边界的内部,且不与边界
		相接。

14 缝线 既可以表现为闭合形状,也可以是线条的组合。
不定 刀口 由织物的边界向内的剪切,将织物塑造成一个形状。省也可以视为一个刀口。
创建刀口的方法有3种:像一个内部线一样画在图层8;作为边界的一部分画在图层1;在ASTM定义的特定图层。

服装 CAD 软件之所以能识别出服装样板的轮廓线、内部线、剪口等图形,就是因为这些图形实体所在的图层代表的功能和类型都已经在 ASTM 标准中定义好了。本文设计的系统也按照 ASTM 标准,对 PathData 中包含的样板数据进行了格式化输出,也就是将数据按照标准规则写成了 DXF 文件键值对的形式保存成后缀名为"dxf"的文件,这一过程由writeASTM 方法配合 writeASTMBlock 方法实现。从下面的代码中可以看到,样板类MyPattern 在输出时遍历了 pathList 路径表中的样板数据类 MyPathData,并调用它的writeASTMBlock 方法,这个过程实际上就是将一整套女裤样板中的每个样片单独写到一个 DXF 的 block 元素中去。writeASTM 方法中先是向 file 文件中写入一条位于图层 7 的织物纱向线,然后调用了封装好的 writeBoundary、writeInLines、writeNotches 方法分别向文件中写入轮廓线、内部线和剪口。

```
/** MyPattern 样板类的 writeASTM 方法
 * @brief 输出为 ASTM 标准的 dxf 文件
 * @param filePath
 * @return
 */
bool MyPattern::writeASTM(QString filePath)
{
    OFile file(filePath);
    file.open(QIODevice::ReadWrite | QIODevice::Text);
    QString content = "999\nANSI/AAMA\n0\nSECTION\n2\nBLOCKS\n";
    // 遍历多个样片
    foreach(MyPathData* path, pathList){
        path->writeASTMBlock(&file);
    }
    content="
                0\nSECTION\n
                                  2\nENTITIES\n
                                                   0\nINSERT\n
                                                                   8 \ln 1 \ln
                                                                            2\n-
```

```
M\n''+MyPathData::stringPoint(0.0,0.0);
         file.write(content.toUtf8());
         MyPathData::writeText(&file,"Style Name: style");
         content=QDateTime::currentDateTime().toString("MM-dd-yyyy");
         MyPathData::writeText(&file,"Creation Date: "+content);
         MyPathData::writeText(&file,"Author: "+infoAuthor);
         MyPathData::writeText(&file,"Sample Size: "+infoSize);
         MyPathData::writeText(&file, "Grading Rule Table: "+infoName);
         MyPathData::writeText(&file,"Units: METRIC");
         content=" 0\nENDSEC\n 0\nEOF";
         file.close();
         return true;
     }
```

```
/** MyPatthData 样板数据类的 writeASTMBlock 方法
     * @brief 写 ASTM 中的 Block,包括边界线、内部线和剪口
     * @param file
     * @param infoSize 号型
     */
    void MyPathData::writeASTMBlock(QFile *file, QString infoSize){
         QString\ content = "0\nBLOCK\n8\n1\n2\n"+name+"\n70\n0\n10\n0.0\n20\n0.0\n";
         file->write(content.toUtf8());
        if(idWrapLine != -1){
             QPointF p1 = pointData[pathData[idWrapLine].startPoint->id],
                      p2 = pointData[pathData[idWrapLine].endPoint->id];
             QString s1 = stringReal(p2.x()), s2 = stringReal(p2.y());
             content=" 0\nLINE\n
                                       8 n7 n'' + stringPoint(p1.x(),p1.y()) + 11 n'' + s1 + n
21\n"+s2+"\n";
             file->write(content.toUtf8());
                                          44
```

```
writeText(file,"Piece Name: "+name);
writeText(file,"Size: "+infoSize,0,15.0);
writeBoundary(file);
writeInLines(file);
writeNotches(file);
content=" 0\nENDBLK\n 0\nENDSEC\n";
file->write(content.toUtf8());
}
```

根据以上方法输出前片原型的样板数据成为 dxf 格式,然后用服装企业常用的打版软件 ET 打开,得到了如图 15 侧所示的原型前片图形。图 15 右侧是实现的女裤智能样板 CAD 系统中所画的原图,两者对比来看没有不同之处,这证明 ET 可以正确识别本系统输出的样板文件,上述方法没有问题。图 16 示的是输出到 ET 中的女裤前省的剪口位置,可以看到,两处剪口在 ET 中用两条红线表示了出来。

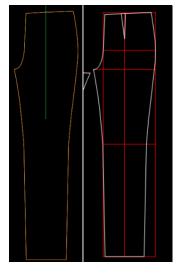


图 15 女裤原型前片输出对比图

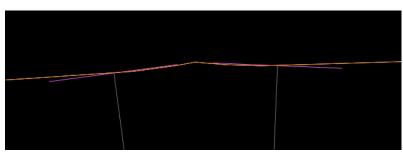


图 16 ET 显示的剪口

5.5 本章小结

这一章介绍了女裤样板智能 CAD 系统的具体实现,是对前文所设计的系统架构、模块、功能等在技术上进行的落地和印证。按照第2章设计的架构设计原则,在 Qt 框架的基础上,分为女裤专家知识、款式设计与样板生成、样板数据管理 3 个模块分别进行实现。第一节简单介绍了知识库中的数据内容和组织形式;第二节先讲解模型/视图结构,然后对

专家知识数据和款式设计模块之间的数据绑定方法进行阐释;第三节实现系统的制板功能,重点描述了图形数据、绘图工具和制板规则解析器的实现细节;第四节说明了样板数据管理模块为了实现样板编辑、工艺信息管理和格式化样板文件的输出这三项功能是如何做的。虽然这些介绍无法具体到代码层面,但是其中提到的一些方法对于今后同类系统的开发具有参考和借鉴意义。

第6章 系统测试

本章对前文设计与实现的女裤样板智能 CAD 系统进行实际生产环境下的测试,测试步骤如下: (1) 在系统菜单栏的设计菜单中选择"款式设计",弹出如图 17 的廓型选择界面。



图 17 廓形选择界面

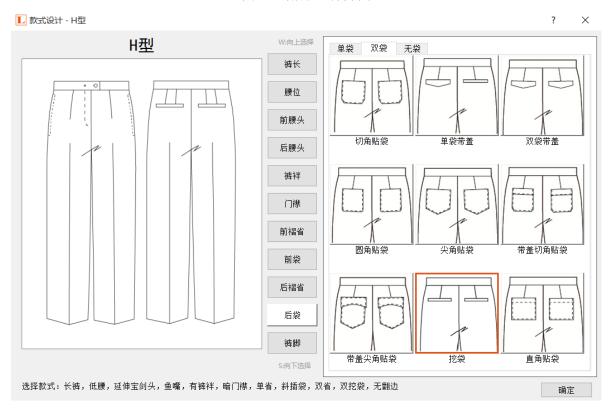


图 18 款式设计界面

(2) 在廓形选择界面选中"H型", 弹出如图 18 所示的 H型女裤的款式设计界面。

可以看到,一共有11种款式部件,我们需要在每个部件中选择一个组件。第一次测试中,对这些部件从上到下依次做了如下选择:长裤、低腰、延伸宝剑头、鱼嘴(后腰头)、有裤袢、暗门襟、(前片)单省、(前片)斜插袋、(后片)双省、(后片)双挖袋、无翻边(裤脚)。

(3)选择完所有部件之后点击"确定"按钮,弹出图 19 所示的尺寸输入界面。根据提示输入女裤的裤长、腰围、臀围、立裆深和腰头宽。



图 19 尺寸输入界面

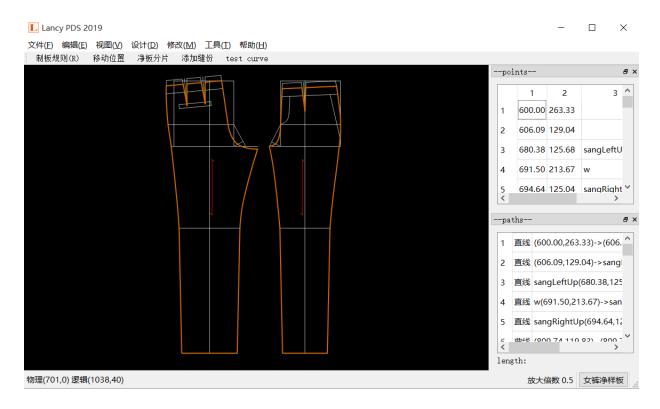


图 20 生成的女裤净样板

(4)确定输入尺寸后,首先在主界面的画布区域生成了女裤净样板,并且右侧的 points

和 paths 表格分别显示了样板中所有点和路径的信息,如图 20 所示。通过鼠标滚轮的滚动和拖拽,可以缩放和移动画布。

(5)单击工具栏中的"净板分片"工具,画布中的净板消失,取而代之的是相应的分片样板,如图 21,纱向线用红色表示,辅助线用青色表示,白色是内部线,而轮廓线要等到添加缝份之后才会用棕色显示出来。

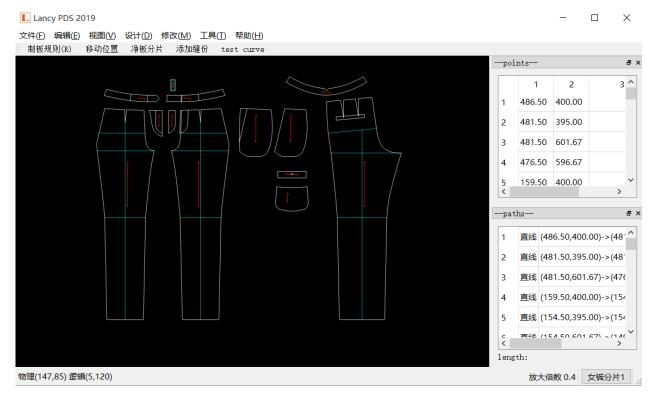


图 21 女裤净板分片结果

- (6) 在菜单栏中选择"修改"中的"修改款式",将前袋改为"直插袋",前省改为"缩褶"、前腰头改为"拼接橡筋"。实际款式设计中,前片缩褶与腰头拼接橡筋常常一起出现,此时后腰头也被强制变更为拼接橡筋,因为这种腰头是前后片连裁的。点击确定之后,画布中的样板发生了变化,变为图 22 的样子。可以看到,修改的款式已经生效了。
- (7)接下来测试样板数据编辑的功能。在 paths 表格中选中后片上的侧缝线,可以看到被选中的曲线变成了黄色,并且控制点边上都显示出了便签。用鼠标拖动点 v_r 的标签,曲线的形状随之改变。右键点击 v_r 标签,选择"恢复到黄线位置",曲线回归原状。
- (8)测试输出 ASTM 标准的 DXF 文件功能。在文件菜单选择"保存为 ASTM",弹出路径选择对话框。选择一个保存路径之后点击确定,然后到该路径下发现已经生成了名为"女裤分片 3.dxf"的文件,可以用 ET 软件的"打开普通 dxf 文件"功能打开并识别。ET 软件可以连接到服装样板刻印机上,将样板按照实际大小刻印出来,用于生产。

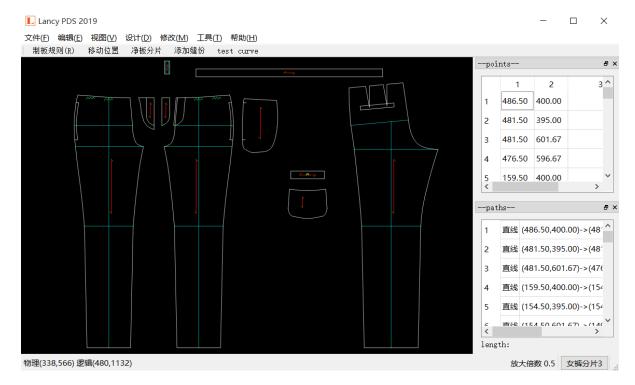


图 22 修改款式后的新分片

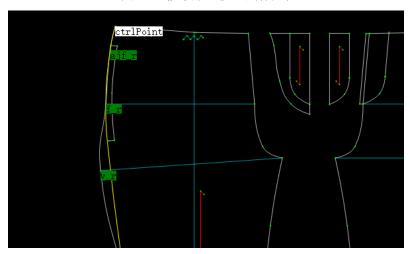


图 23 修改点 v r 的位置

至此,一个完整的女裤制板流程就完成了。同样,对于其他不同款式的女裤,只需要选择不同的款式部件就可以生成相应的样板。即使是款式库中不存在的样板,也可以通过自己编写制板规则文件和添加新的款式部件来完成。图 24 展示的是制板规则的管理界面和编辑界面,使用者可以在这里编写新的制板规则文件,并对已有的制板规则进行查看、编辑和测试运行。图 25 展示的是女裤分片、女裤前片、前片单省的制板规则文件中的程序内容,其中女裤分片规则中调用了"女裤前片分片"和"女裤后片分片"两个自定义规则,女裤前片规则中的内容最多、调用的自定义规则最复杂,"前片单省"也在这里被调用到,并依次返回了w、x、y、z这四个与省有关的点。

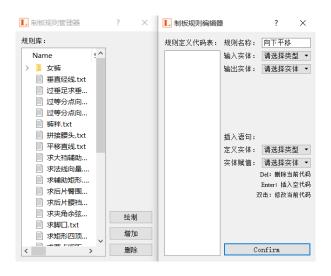


图 24 制板规则数据库的管理和编辑

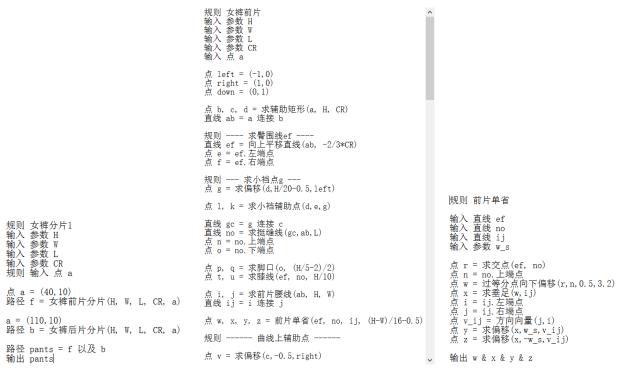


图 25 女裤分片、女裤前片、前片单省的制板规则程序

第7章 总结与展望

通用的 CAD 系统如 AutoCAD 软件难以满足现阶段封装专业知识以及进一步提高产品设计效率的要求,开发面向某个特定行业的专业 CAD 系统已成为提高工业生产力的重要方向^[55]。构建智能化的服装样板 CAD 系统可以省去通用 CAD 系统中生成点、线、圆的单步过程,通过将服装结构与制板相关的专家知识存储在计算机中,使用程序自动生成样板,使得服装样板 CAD 的制板效率大幅度提高。

本文所涉及和实现的女裤样板智能 CAD 系统就是这样一种面向女裤样板绘制的专业制板软件,使用人员无须掌握复杂的专业制板知识,便能够使用它设计多样化的女裤样板,解决了女裤的服装大规模定制业务中大量个性化样板的绘制效率问题,从而一定程度上使得女裤大规模定制的实现成为可能。

7.1 总结

本论文在理论、方法以及设计、实践中取得了一些有益的成果,现将论文的主要研究工作总结如下:

- (1)对女裤样板智能 CAD 系统进行架构设计、模块划分。使用领域驱动设计的方法,从业务价值(Why)、业务功能(What)、业务实现(How)三个维度层层递进地分析系统所要解决的问题,精准分析需求。遵循 3 个设计原则,将系统分为用户界面层、应用层、领域层、基础设施层 4 个层级,隔离复杂度,实现系统的可进化性、可扩展性、可定制性。
- (2)分析女裤制板的专家知识,包括专家知识的获取方法、表示方法与应用。根据女裤款式部件之间树状的装配关系,用树形结构表示款式设计部件,并进行组件化管理;根据女裤样板绘制规则的特点,封装制板规则,并构建了领域特定语言(DSL)来描述制板规则。利用组件化的低耦合、易扩展、数据驱动的特点,将女裤款式部件及其对应的 DSL合并为组件数据,驱动和控制系统的行为。
- (3)应用 C++的 GUI 框架 Qt 对女裤样板智能 CAD 系统进行开发,实现了款式部件库以及制板知识库模块、款式设计模块、制板规则解析与绘图模块、样板数据管理模块等,实现了可应用于生产环境的完整系统。

本文设计的系统相较以往的同类系统,在智能化上有一定改进。以往的服装智能制板系统研究中,多数是集成了一些专家知识的 PDS 系统,采取的是固定零部件之间相互组合的方法,缺乏灵活性和扩展性而显得不够智能。与之相对,本文所设计与实现的女裤样板

智能 CAD 系统,其特色在于将女裤的零部件当成了由数据进行驱动的组件,组件中集成了与零部件相关的制板规则,并且为这种规则设置了可以方便地解析为参数化制板程序的 DSL,以便不断扩充数据库中的专家知识。通过这种方法,将专家知识转化成了结构化的数据,并且这些数据会随着业务的变化、实践的积累变得越来越丰富。智能化的基础就是大量结构化的已有数据,因此这种方法对于服装制板领域的智能化这个未来的课题具有实际意义。

然而,由于资源限制以及时间上比较仓促,本文设计系统时有许多考虑不周之处,系统的实现上也有许多需要优化和改进的地方。其中很重要的一个缺憾在于,因为样板结构固有的复杂性,所以即使有了服装制板的 DSL,新增款式的样板绘制规则编写也是一个比较费时费力的过程,因此想要让制板领域的专家对制板逻辑的定制变得更加方便,还需要做出其他突破性的技术创新。

7.2 展望

结合论文的工作,今后还可以在如下几个方面展开更加深入和广泛的研究:

- (1)将研究领域扩展到女裤这种特定款式之外,去验证本文设计的方法是否适用于所有的服装款式、是一种具有通用性的智能制板方法,如果不是,那么需要做哪些改进;
- (2)对制板规则语言的语法以及更多不同款式、甚至特殊款式的服装样板设计做进一步的研究,目的是发现更加合理的款式部件组合规律、改进制板规则语言与款式部件之间的关联,最好能够做出和商业游戏引擎类似的可视化系统,使各种组件之间的关系变得清晰明了,使本文设计的款式设计与制板规则调用方法变得更加简易、方便和通用;
- (3) 推进制板规则 DSL 的规范化和普及,为下一步深度学习方法在智能制板领域的运用积累足量数据,为更智能化的 CAD 研究进行铺垫。

参考文献

- [1] 林雪萍. 洞察工业 4.0 之局[J]. 装备制造, 2015(11): 82-85.
- [2] WANG S, WAN J, ZHANG D, 等. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination[J]. Computer Networks, 2016, 101: 158–168.
- [3] 德国工业 4.0 战略计划实施建议(摘编)[J]. 世界制造技术与装备市场, 2014(03): 42-48.
- [4] VAIDYAA S, AMBADB P, BHOSLEC S. Industry 4.0–a glimpse[J]. Design Engineering, 2018, 2351: 9789.
- [5] 胡虎. 2017 世界智能制造大会举行[J]. 人民邮电, 2017: 001.
- [6] ZHONG R Y, XU X, KLOTZ E, 等. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review[J]. Engineering, 2017, 3(5): 616–630.
- [7] BÜYÜKÖZKAN G, GÖÇER F. Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research[J]. Computers in Industry, 2018, 97: 157–177.
- [8] KOLBERG D, ZÜHLKE D. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies[J]. IFAC-PapersOnLine, 2015, 48(3): 1870–1875.
- [9] 周文灿. 服装制板师未来探究[J]. 国际纺织导报, 2015, 43(01): 51-53.
- [10] 庄越挺, 潘云鹤. 智能 CAD 方法评述[J]. 计算机研究与发展, 1994(04): 1-7.
- [11] 李建平, 徐林林, 滕启. 智能设计技术[J]. 起重运输机械, 2003(05): 1-3.
- [12] HAGEN P J W ten, TOMIYAMA T. Intelligent CAD Systems I: Theoretical and Methodological Aspects[M]. Springer Science & Business Media, 2012.
- [13] 孙玉芳, 邬红芳. 服装智能技术的研究现状[J]. 四川丝绸, 2008(02): 32-35.
- [14] 耿萌. 服装大规模定制的纸样制作方法和系统: 中国, CN105962509A[P]. 2016-09-28.
- [15] 裕輝系統開發有限公司[EB/OL]. [2018-09-08]. http://www.yuka.com.tw/product-alphaexorder.html.
- [16] 刘为敏, 谢红. BP 神经网络下的智能化合体服装样板生成[J]. 纺织学报, 2018(07): 116-121.
- [17] 王竹君, 李婷玉, 邢英梅, 等. 改进型 BP 网络在男西服规格尺寸自动生成上的应用 [J]. 武汉纺织大学学报, 2014, 27(6): 36–39.

- [18] 于辉, 郑瑞平. 基于 BP 神经网络的 MTM 中合体服装样板生成研究[J]. 北京服装学院学报(自然科学版), 2013, 33(01): 35-41.
- [19] MENG Y, MOK P Y, JIN X. Computer aided clothing pattern design with 3D editing and pattern alteration[J]. Computer-Aided Design, 2012, 44(8): 721–734.
- [20] 王晓丽. 男衬衫样板设计系统实验研究[D]. 东华大学, 2016.
- [21] 丛芳, 赵野军. 基于神经网络的服装制板系统[J]. 纺织学报, 2008(01): 129-132.
- [22] 叶勤文, 张皋鹏. 基于 AutoCAD 参数化的个性化服装纸样生成[J]. 纺织学报, 2019, 40(04): 103–110.
- [23] 张伶俐, 张皋鹏. 应用 MatLab 的服装纸样参数化平面制版[J]. 纺织学报, 2019, 40(01): 130-135.
- [24] 胡长鹏, 张巨俭, 刘瑞璞. 基于 AutoCAD 二次开发的西装纸样自动绘制的研究[J]. 浙江纺织服装职业技术学院学报, 2010, 9(04): 21-25.
- [25] 马琳. 面向服装样板智能设计的专家知识库构建与研究[D]. 西安工程大学, 2016.
- [26] 黎晶晶. 西装 PDS 智能化专家知识研究[D]. 北京服装学院, 2005.
- [27] 张金梅. 裤子纸样设计智能系统的专家知识研究[D]. 北京服装学院, 2006.
- [28] 赵晓玲. 休闲装纸样设计专家知识的研究[D]. 北京服装学院, 2007.
- [29] 蒋秀英. 男休闲装纸样智能程序化研究[D]. 北京服装学院, 2007.
- [30] 李静. 衬衫个性化定制纸样设计自动生成系统专家知识研究[D]. 北京服装学院, 2015.
- [31] 胡长鹏. 西装纸样设计智能生成系统数字化研究[D]. 北京服装学院, 2010.
- [32] 刘瑞璞,鲁兴海,胡长鹏,等.西装纸样设计自动生成系统和方法:中国, CN105528501A[P]. 2016-04-27.
- [33] 薛煜东. 基于网络的服装定制 MTM 系统研究[D]. 天津工业大学, 2006.
- [34] 史慧. 参数化技术在男西裤样板中的应用研究[D]. 天津工业大学, 2008.
- [35] 徐虹. 男裤自动打板系统研究[D]. 苏州大学, 2007.
- [36] 蔡兰. 衬衫个性定制样版重构的方法研究[D]. 苏州大学, 2014.
- [37] 周丹. 服装 CAD 牛仔裤样板设计与快速生成研究[D]. 东华大学, 2012.
- [38] 崔艳. 基于三维虚拟试衣技术的女套装样板 CAD 实验研究[D]. 东华大学, 2014.
- [39] 林娜. 基于三维虚拟试衣技术的连衣裙样板设计 CAD 实验研究[D]. 东华大学, 2014.
- [40] LU J-M, WANG M-J J, CHEN C-W, 等. The development of an intelligent system for

- customized clothing making[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(1): 799–803.
- [41] HU Z-H, DING Y-S, ZHANG W-B, 等. An interactive co-evolutionary CAD system for garment pattern design[J]. Computer-Aided Design, 2008, 40(12): 1094–1104.
- [42] FANG J, DING Y. Expert based customized pattern making automation: Part I. Basic patterns[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2008, 20(1): 26–40.
- [43] DRUCKER P F. The new productivity challenge[J]. Harvard business review, 1991, 69(6): 69–69.
- [44] 刘建炜, 燕路峰. 知识表示方法比较[J]. 计算机系统应用, 2011, 20(03): 242-246.
- [45] 刘亚东, 戴宏钦, 赵子羽. 面向智能服装 CAD 的服装数字化描述[J]. 现代丝绸科学与技术, 2018, 33(01): 10–12.
- [46] 赵奇. 基于感知意象的隐性知识挖掘及在服装设计中的应用研究[D]. 西安工程大学, 2012.
- [47] 姜泽虹. 男西装部件库的构建及其样板参数化关系模型的研究[D]. 西安工程大学, 2014.
- [48] BALASUBRAMANIAN K, GOKHALE A, KARSAI G, 等. Developing applications using model-driven design environments[J]. Computer, 2006, 39(2): 33–40.
- [49] 章琦, 张文斌, 张渭源. 服装 PDS 纸样自动生成专家系统的研究[J]. 中国纺织大学学报, 2000(05): 62-65.
- [50] 周绮. 可持续性服装 CAD 平台开发与研究[D]. 天津工业大学, 2004.
- [51] 刘珊珊. 参数化服装制板的人体测量尺寸的约束关系[D]. 北京服装学院, 2012.
- [52] 徐春阳, 郝矿荣, 丁永生, 等. 基于几何约束图的个性化服装样板生成系统[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2012, 38(06): 707-712.
- [53] 瞿慧, 陈义华. 浅析服装 CAD 数据文件的转换[J]. 才智, 2010(10): 67-68.
- [54] 郭瑞良, 张辉. 服装 CAD 中的 DXF 文件格式及接口程序[J]. 北京服装学院学报(自然科学版), 2007(01): 34-40.
- [55] 杨显刚, 何玉林, 杜静, 等. 参数化零部件库建库技术研究与实践[J]. 图学学报, 2013, 34(02): 153–158.

攻读硕士学位期间发表的学术论文

- [1] WANG H-A, JIANG Y, CHEN G. Design and Implementation of an Intelligent Garment Pattern CAD System [A]. Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings [C]. SuZhou: Textile Bioengineering and Informatics Society, 2019: 310-315.
- [2] CHEN G, WANG H-A, JIANG Y. Development of an Intelligent System on Designing and Pattern-making for Women's Trousers [A]. Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings [C]. Manchester, UK: Textile Bioengineering and Informatics Society, 2018: 792-798.

致 谢

首先我要对我的导师姜延副教授表示感谢!研究生期间,姜老师不仅关心和指导了我的学术研究,也对我的日常生活有所关照。在论文选题之前,姜老师为我提供了学术研修的机会,向我引荐了陈果学姐和胡长鹏学长,并最终确定了研究智能服装 CAD 系统的方向;在我开题报告时,姜老师亲自指导我进行模拟练习,让我对如何正确做学术报告有了正确的认识;在我的每篇论文撰写完成后,姜老师都仔细审阅,提出了很多修改意见,并给予我投递期刊的建议;在平日的生活中,老师也常常帮助和鼓励我……

其次,对我的合作者陈果博士表示感谢!这篇论文所涉及的女裤制板专家知识,正是由陈果在朗姿公司的博士后站点的研究成果。在女裤样板智能 CAD 系统实现的过程中,陈果学姐不但提供了女裤款式部件与制板方法的资料,还多次亲自与我共同商讨,督促我的开发进度。如果没有陈果提供的帮助,我的系统开发就不能顺利完成。

最后,也感谢所有我在北京服装学院读研期间帮助和指导过我的同学和老师。