

分类号 TP391.41

学校代码 10495

UDC 004

学 号 0815133007

武汉纺织大学

硕 士 学 位 论 文

基于图像绘制的服装建模技术的研究

作者姓名: 庄 怡

指导教师: 胡新荣 副教授

学科门类: 工 学

专 业: 计算机应用技术

研究方向: 计算机图形图像

完成日期: 二零一一年三月

Wuhan Textile University
M. E. Dissertation

**The Research of 3D Garment Modeling based
on Image Rendering Technology**

By

Zhuang Yi

Directed by

Hu Xin-rong

March 2011

独创性声明

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。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名： 签字日期： 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解武汉纺织大学有关保留、使用学位论文的规定。特授权武汉纺织大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：	导师签名：
签字日期： 年 月 日	签字日期： 年 月 日

论文题目：基于图像绘制的服装建模技术的研究

专业：计算机应用技术

硕士生：庄怡

指导老师：胡新荣

摘要

随着计算机技术的发展，计算机图形学已经应用到越来越多的领域。随着人们对网络应用和三维虚拟应用的热衷，三维服装建模技术的发展和應用也成为人们研究的焦点问题。由于传统的服装建模需要大量的数据进行计算，服装的物理性质难以得到很好的表达，而且对于服装纹理的绘制也不够精确，本文提出了基于图像绘制技术的三维服装建模技术，并围绕这一技术对三维服装建模进行研究。

服装建模中最为关键的一部分是对织物的建模。织物是柔性物体，它的物理属性包括重力、弹力等。普通的二维图片不能表达出织物的这类特性，所以论文基于织物的物理属性对服装进行建模。首先将二维衣片网格化，将衣片用离散的质点来表示；然后将质点按顺序进行扫描，构造网格三角形，使得最终的衣片由三角形网格来表示，便于添加柔性织物的各种物理属性。

三维服装建模是通过获取服装正面衣片和背面衣片，然后对其进行网格化，得到两片衣片网格，根据服装板型将衣片的边缘进行对应。选择需要进行缝合的边缘，对其进行相应物理力的施加，然后基于物理力将其对应的所需缝合的边缘进行缝合，当所需缝合的边缘运动到无限近时则默认为已经缝合成功。

在现实生活中，人们对景物的认识不仅仅局限于形状，更大一部分在于景物表面的纹理。因此，在三维虚拟仿真系统中，对于物体表面的纹理细节的绘制也很大程度上加强其系统真实度。对于景物表面纹理细节的模拟称为纹理映射技术。利用纹理映射技术可以达到模拟景物表面丰富纹理细节的目的，提高计算机生成图形的真实感。传统的基于几何模型的图像绘制技术，需要对已经完成建模的物体进行各种表面纹理贴图，色彩、阴影和光亮等在进行进一步的计算，非常复杂。但是，现实生活中需要对各种形状不规则的对象进行建模，那么基于几何的建模技术则很难对这些对象进行处理，而且在处理的同时，对于硬件的计算能力要求非常高，所以其建模的真实性和实时性很难得到保证。基于此，不少研究者开始对建模后的三维虚拟景物的仿真进行进一步的研究，并且提出了一种全新的基于图像的绘制技术。

最后，对本文的所作的工作进行了总结，对本论文研究内容的从技术上和应用上作了展望，并指出了下一步的研究工作和研究方向。

关键词：三维服装建模；网格化；服装缝合；图像绘制技术；纹理映射

研究类型：应用研究

Subject: Research on Clothing modeling technology based IBR

Specialty: Computer Application Technology

Name: Zhuang Yi

Instructor: Hu Xinrong

ABSTRACT

With the development of computer technology, computer graphics have been applied into more and more areas. Become with the enthusiasm of network applications and 3D virtual application, the application and development of 3D garment modeling technology has become the focus problem. Traditional garment modeling requires a lot of data to calculate the model, the physical properties of garment is difficult to be expressed and the texture drawing is not accurate. In this paper, we give a 3D garment modeling technology based IBR and have a in-depth study on this technology.

A key part in garment modeling is modeling for fabric. Fabric is soft object, its physical properties including gravity, elasticity and so on. The properties of the fabric can not expressed by ordinary 2D images. In this paper, we presented a modeling method based on physical properties of fabric. Firstly, we use the grid to express the 2D garment picture, and the garment represents by discrete particles. Secondly, we scan the particles in order to construct the triangular grid. The final garment is represented by triangle mesh. This is easy to add a variety of physical properties to soft fabric.

The first step in 3D garment modeling is gained the front picture and back picture of the garment, and then we use the triangle mesh to express the garment pictures. The most important problem is to connect the edge of the garment based garment plate correspondingly. Then, we add the corresponding physical force on the edge which is needed to suture. The edge is suture based the physical force which is chose until the edges have moved into an infinitely close distance. We default the algorithm have a success suture.

In daily life, the judgments of the scene is not only limited on its sharp, but also has a great effect on the surface texture. Therefore, in the 3D virtual simulation system, drawing the texture details of the surface can improve the level of the reality. The simulation of the surface texture details, we called texture mapping techniques. We can get a rich texture details of virtual scene used by texture mapping techniques. It can improve the realism of computer graphics. Traditional image rendering technology based geometric model, which is needed to calculate a variety of surface textures, colors, shadows and light for model complexly. However, we also need to model some object with irregularly sharp. The modeling technology based on geometry is very difficult to deal with these objects. At the same time, this algorithm can just run in the hardware which has a very high level in computing. This method is hard to guarantee the reality and real-time response in modeling. For this reason, many researchers began to have a study on simulation of 3D virtual model after modeling, and propose a new rendering technology based on IBR.

Finally, we have a summary of the work in this paper. The last part in the paper, an outlook of the technology, application and future work in the paper is given.

Key words : 3D garment modeling; grid; garment suture; image based rendering; texture mapping

Thesis: Applied research

目 录

1 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 国内发展状况.....	2
1.2.2 国外发展状况.....	4
1.3 论文研究难点及创新点.....	6
1.3.1 论文研究内容.....	6
1.3.2 论文研究难点.....	7
1.3.3 论文创新点.....	8
1.4 本章小结.....	8
2 三维服装建模技术.....	10
2.1 织物建模.....	10
2.1.1 几何建模.....	10
2.1.2 物理建模.....	11
2.1.3 混合建模.....	13
2.2 服装衣片 2D/3D 转换.....	13
2.3 三维衣片空间缝合.....	14
2.4 三维服装生成.....	15
2.5 本章小结.....	16
3 服装衣片 2D/3D 转换.....	17
3.1 衣片图像预处理.....	17
3.1.1 图像二值化.....	17
3.1.2 基于邻域平均法的去噪技术.....	18
3.1.3 边缘提取算法.....	19
3.2 二维衣片网格化.....	20
3.2.1 衣片网格质点的生成.....	21
3.2.2 衣片三角形连接.....	22
3.2.3 衣片边缘平滑处理.....	25
3.3 衣片 2D/3D 转换.....	26
3.3.1 基于网格技术衣片坐标提取.....	27

3.3.2 衣片深度信息补充.....	28
3.4 本章小结.....	29
4 三维衣片缝合技术及实现.....	30
4.1 三维衣片缝合技术.....	30
4.1.1 缝合对位的边界处理.....	30
4.1.2 缝合力分析与实现.....	32
4.1.3 基于缝合力作用衣片质点位置变更.....	33
4.2 织物碰撞检测.....	36
4.3 碰撞响应.....	39
4.4 本章小结.....	40
5 基于图像绘制的服装仿真技术.....	41
5.1 图像绘制技术概论.....	41
5.1.1 全景图技术.....	41
5.1.2 视图插值法.....	42
5.1.3 全光模型.....	43
5.1.4 光流场技术.....	44
5.1.5 混合图像绘制技术.....	45
5.2 基于图像的绘制技术在三维模型中的应用.....	46
5.3 基于图像绘制的三维服装生成.....	47
5.4 本章小结.....	49
6 结论和展望.....	50
6.1 本文的工作总结.....	50
6.2 未来的研究工作.....	51
致 谢.....	52
参考文献.....	53
附 录.....	57

1 绪论

1.1 研究背景及意义

本课题来自湖北省教育厅产学研重大项目“纺织面料及服装数字化设计与制造成套技术研究(C2010036)”。本项目针对当前服装建模与仿真的关键技术难题,即如何实现逼真三维服装建模技术这一难题,研究服装建模中,2D/3D 转换,服装缝合和基于图像绘制的服装仿真算法。

根据国内近几年的调查,服装的品牌数目一直呈上升的趋势,可见人们对服装的需求是越来越大,服装制造业的竞争也是越来越激烈。各个服装制造商为了提高竞争力,就必须考察市场和顾客的需求,设计符合现代人们要求的服装设计从而展示给客户。而通常,在服装的设计方面,最初始的平面服装设计图纸很难展示给客户丰富的信息,只能通过成品样衣,经过模特试穿的方法来传达给客户,再由客户进行信息反馈,这样消耗大量的人力物力。同时,在服装销售方面,服装的展示方法往往局限于传统的二维服装图片。客户通过二维图片去选择衣服,势必在不同的角度或细节方面会存在一定的误差。而且,顾客对服装的满意与否很大程度上取决于顾客的亲自试穿。那么,如何能让制造商在最低成本下,让顾客充分详细的了解到服装的信息,不少服装制造商引进了三维服装试穿系统。

早期的机遇电脑辅助设计的服装展示系统主要是基于二维图像,其系统的流程主要包括:首先对效果图进行设计,然后对其款式进行细分,接着对纸样设计的效果加以确认,再进行放码设计,最后在对其进行排料设计等后期处理^[1]。虽然二维的服装 CAD 系统在国内外的发展和应用都已经非常成熟,但是二维服装辅助设计系统仅仅限制在平面设计的方面,对于服装真实感、立体感和直观性的表达方面都比较欠缺,不能全面而直接的展现出服装的信息。而且,会存在型号难以适应不同形态的人体,不能在衣片设计阶段就看到成衣后的效果,需要反复修改等不足之处,而三维服装 CAD 技术则可以有效地解决上面所存在的一些问题。成为了未来服装工业发展的主要趋势。

三维服装 CAD 系统能够将制作虚拟样品,远程服装试衣等等。该系统能够以人体模型为参考,与实际人体相结合,将服装搜索和试穿的过程融为一体,能够在电子模特上直接对衣服进行 360 度的展示。同样对于服装的细节信息,例如样式,款型,面料等都有相当逼真的显示。对于服装设计师和客户来说,都能够看到逼真的服装穿着效果,便于了解服装信息。随着中国服装行业在产品的设计,经营方面不断地提高,纺织服装企业就应该采用先进的电子、计算机高新技术来改造和提升传统纺织产业来适应国际化大

市场快节奏、多品种的需要。以最低成本，最短时间向市场提供优质的服装产品。现在，人们对服装的需求已经转变为体现社会时尚和张扬个性的需要，迫切需要一个先进的服装设计平台来满足服装设计与营销的要求。

传统的建模技术都是基于数字模型的基础上，对外表进行贴图。这类建模技术适合各类形状简单的硬性物品，可以有效的表达出物品的形状，表面材料和物品的透视效果。但是服装类织物属于柔性物品，柔软，褶皱等是这类物品的重要属性。所以直接用数字建模进行服装展示就比较僵硬，不能很好的表达出服装的特性。基于此，引进了基于图像绘制的服装建模技术。典型的基于计算机图像的研究方法称为缝合技术。首先利用三角网格将二维衣片绘成预期的形状，然后将衣片缝合起来，形成一个基于已定模特的服装初始模型。然后再利用纹理映射的方法填充服装的纹理特征。最后通过特定算法，给服装加上垂感和褶皱。相对于传统的建模技术，在提高建模效率的同时，基于图像绘制的服装建模能更好的体现服装的真实度，表现其材质和柔软性。近年来，基于图像绘制的服装建模技术成为大家争相研究的一个热点，并且开始慢慢在服装试衣系统中渐渐取代传统的建模技术，成为其技术的中流砥柱^[2]。

1.2 国内外研究现状

计算机的应用领域越来越广，并已经逐步进入到服装产业。在早期，美国的 Gerber 公司根据服装市场的发展要求，推出了 AM-5 型微机服装辅助设计系统 CAD，用于服装的效果图设计和款式设计等。随后，该公司又完成了服装自动裁剪系统 CAM，该系统能够根据二维款式模型自动的对服装进行打板和裁剪。CAD 和 CAM 系统的诞生，让服装产业走上了基于计算机服装设计的发展的道路。到九十年代，几乎所有的美国的服装企业开始采用计算机服装辅助设计等这些先进技术。欧洲服装 CAD 技术普及率也高达 80%，日本达到 70%，我国台湾地区达到 30%^[2]。除了早期的二维服装设计系统应用的广泛，越来越多的服装公司开始设计三维服装试衣系统，主要用于新款服装的设计和用户的试穿。

1.2.1 国内发展状况

国内虽起步较晚，也开始了它前进的步伐。从八十年代中期开始，我国一些科研单位也开展了二维服装设计技术的开发与研究，已开发出不少 GCAD 系统。虽然大多数的人还不了解试衣系统，但是一些与服装专业相关和走在时尚前沿的人，通过互联网有所了解 and 尝试。利用虚拟现实技术，用户通过数字模特，可以对自己喜欢的商品进行试穿试戴。对于虚拟试衣系统有了一定研究后，很多研究者开始对于三维服装建模技术进

行研究。

在国内，三维服装建模的应用大体上分为了两个主要部分。一类是三维游戏中对于游戏角色的服装建模，如图 1.1。在三维的游戏中，用户可以通过对服饰，服装，鞋子，配饰的选择，对游戏角色进行着装，并且能够 360 度进行服装展示。除了能够对游戏人物进行换装的操作，在游戏过程中，服装还可以根据游戏角色的简单身体运动进行摆动等动作用以模拟真实的服装效果。但是三维游戏中的服装建模也存在着一定的问题，例如服装的运动状态的模拟比较单一，只能进行简单的服装摆动、漂浮的动作模拟；由于游戏角色的人体尺寸固定，所以服装的尺寸比较单一。



图 1.1 某网络游戏中游戏人物换装平台

另外一方面，某些国内的服装企业也开始对三维虚拟服装进行研究，并将其结果用在各类试衣系统中。绝大部分的国内试衣系统，对服装建模采用简单的 2D 贴图技术。例如一些网上的试衣系统，首先给出一张虚拟模特的照片，用这张真人照片作为模特的模型。然后在现实生活中，让模特以相同的姿势换上不同的服装照出照片。然后把模特身上的服装照片用图像处理的方法提取出来，对应出平面的服装照片，然后直接将提取出来的相同造型的服装覆盖在模特身上，进行某些特定角度的服装展示。但是这样得出的效果，跟真人试衣的效果相差比较大，不能全面的进行服装展示，只能简单的传达上身效果，而且也不能满足现代客户的各种个性化要求。

基于服装试衣系统，国内有一些服装企业和高校服装设计高端设计师，引进了各种人体扫描系统。用于对人体数据的提取，优化试衣系统的性能。香港科技大学与香港理工大学 Development of 3D CAD System for Garment Industry 项目是建立一套基于人体的三维服装建模系统。该系统能够对三维人体模型进行构造以及基于人体对服装进行设计的计算机辅助系统，该系统能够在参数化人体模型上实现服装二维衣片的缝合。本校在 2004 年也从德国购进三维人体扫描仪^[3]。该设备可自动扫描人体，经计算机处理后获得 100 多个有关数据供服装设计和裁剪，这些数据在三维服装建模中也起到了很大的作用。

1.2.2 国外发展状况

由于三维服装辅助设计系统能够很大程度上提高服装设计的效率和成本,大多数发达的国家开始对其技术展开了深入的研究。在早期,美国、法国、日本、加拿大及香港等地区都比较专注于三维服装辅助设计系统的研究,并且相继推出了其研究成果。最为著名的则是美国的 CDI 公司,该公司多年从事于对计算机图形学方面的研究,在计算机图形学方面有雄厚的技术基础。基于此,CDI 公司也坚持专注于三维服装设计软件的开发和研究。该公司准确的总结和分析三维服装模型所需要的各种属性和逼真的现实效果,推出了 CONCEPT 3D 服装设计系统。这个服装设计系统在当时取得了相当的成就,该系统能够根据不同的人体数据,建立起三维人体动态的模型。能够展示在人体模特着装的效果,能够在给出的人体模特着装后,现实出逼真的布线悬垂的立体效果,并且能够将服装以不同的角度进行侧面效果的直观展示。日本开发的一个比较典型的基于人体的服装建模系统为 Dressing SIM 系统,该系统可以通过网站自动的获取用户所输入的特定的几种人体参数,然后生成想对应的三维人体模型。随后再将二维的服装纸样根据人体模型的参数“缝合”上去。同时,赋予背景,服装和着装人体模型各类逼真的动作,用于最真实的展示出服装的穿着效果^[4]。

美国双子星图像公司,为了大范围的收集到人体尺寸数,该公司在纽约、华盛顿和洛杉矶等城市安装 50 间体型扫描亭,该体型扫描亭可以对进入的人体进行扫描,然后存储到数据库里。还有另外一家著名的服装公司,花费 2500 万美元,同样设立了类似于体型扫描亭的试衣亭。当用户进入试衣亭侯,需要换上该公司提供的紧身衣,然后进行精确的数据扫描,扫描时间仅仅只需要 15 秒^[5]。扫描得到的数据,会通过网络的存储和传递,直接表示在该公司网站上的试衣系统。用户可以通过扫描出来的数据自动生成用户的人体模特,然后基于本人的人体模特进行服装的换装。日本的东芝公司也对电脑试衣系统进行了分析和研究,并且成功的研究出基于人体的着装系统^[5]。该系统可以通过用户对人体各种部位的尺寸的调整,进行用户的三维模型的展示,并且在人体模型中,还能够简单的进行一些肢体运动,比如摆手,走路等。用户还可以根据每天系统所搭配的服饰来进行穿着,免去自己搭配服装的各种苦恼。

1997 年欧洲信息与算法研究协会(ERCIM)的虚拟服装项目“MtoM3D”^[6],该项目是由欧共体合作发展协会资助的科研项目,它的目标是为用户提供量体裁衣的功能。该项目相对于其他的服装模拟系统来说,加入了一组特殊体型的人体模型。能够将标准的衣片映射到特殊体型的人体模型上,并且输出具有悬垂等效果的三维服装模拟。

伦敦技术学院的虚拟服装项目是“Center for 3D Electronic Commere”项目中的一部分^[7],其目标是建立一个网上虚拟服装店,顾客可以通过网上服装店,输入并存储自己

的人体尺寸信息并且反应到网店的人体模特上，并将服装图片与顾客的人体模特进行着装。

瑞士日内瓦大学的 MIRALAB 实验室在虚拟服装的研究方面处于领先地位。MIRACloth 是 MIRALAB 实验室开发的一个系统^[8]，如图 1.2 所示，该系统能够直接通过虚拟的人体模特进行三维虚拟服装的构造，而且能够产生简单的运动，通过运动中服装的各种反应观察到其仿真效果。其构建虚拟服装的思路是先生成服装的二维衣片，然后将二维衣片放置到虚拟人体周围并虚拟缝合成服装。



图 1.2 MIRACloth 虚拟服装系统

2010 年 3 月，美国的“试衣魔镜”^[9]：能够把真人的镜像与服装的电子图像合成到一起，顾客通过镜子上的触摸屏从服装库中挑选不同款式的衣服、鞋子和饰品，无需真的试穿，只要站在中间的镜子前，就能看到衣服穿在身上的效果。魔镜还能将试穿的效果图发送到指定的手机、电子邮箱或其他的个人数码设备上。

2010 年 9 月，Intel 公司推出“虚拟试衣”系统^[10]，由特制的透明屏幕+遥控器组成，机器放置在某衣服店内，通过投影将店内场景投射到屏幕上，用户在屏幕上看着就像正在逛商场。随后用遥控器进行操作，选择合心的衣服，机器就会将之前拍摄到的用户与挑选的衣服结合在一起，经过处理后展示出用户穿上这件衣服的真实效果；

著名服装公司 addias, H&M, sears 等网站都开始提供这种功能，相信这种应用将会更大范围的应用在各种虚拟服装世界。下图 1.3 为 H&M 公司提供的试衣系统。

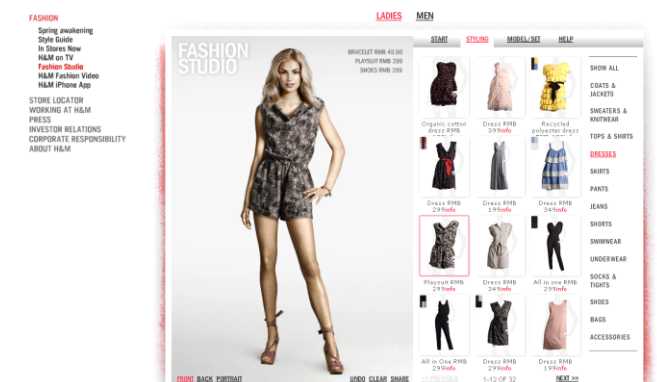


图 1.3 H&M 公司网站试衣系统

1.3 论文研究难点及创新点

1.3.1 论文研究内容

三维服装 CAD 可以分为两种基本模型：一种是从三维的角度出发，直接进行三维结构设计，不经过二维纸样设计，类似于服装结构设计中的立体设计；另一种是从平面衣片的设计出发，进行二维纸样设计，并自动缝合及着装，生成三维效果^[6]。

本论文的服装建模系统中所选取的是第二种模型。服装的建模过程如图 1.4 所示，首先根据设计者或者用户的要求，进行平面的服装图的效果设计；然后通过计算机的各种预处理，将平面的服装效果图存储为简单的二维设计纸样；再通过计算机的坐标转换将二维的服装衣片转换为三维服装建模，并将三维的服装衣片进行“缝合”，展示为简单的三维服装效果。最后通过纹理映射将面料和花纹等映射到三维服装上去，展示为逼真的三维服装形态。但是，相对于第一种模型来说，这种模型也存在不好的地方。例如，当服装的设计需要进行部分修改时，则需要从第一步开始，然后进行反复繁琐的建模。

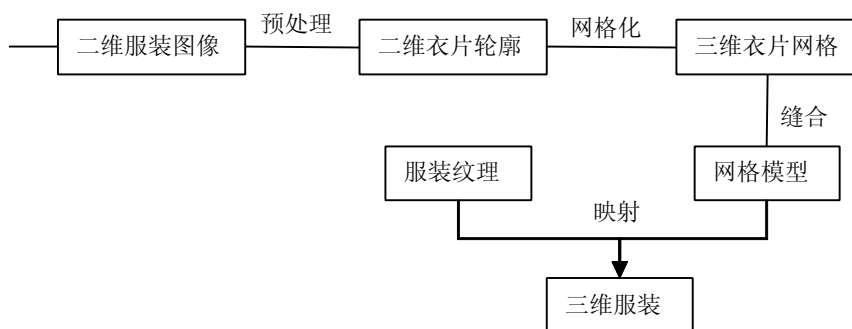


图 1.4 三维服装建模流程图

本论文的研究内容主要包括以下几点

(1)图片的预处理。图片的预处理中的最主要部分，是为下一步的建模模块准备衣片网格化的过程，这也是虚拟缝制的第一步。其中，图片的预处理包括了服装衣片的选取，图片的边缘提取，去噪，图片的二值化，然后为下一步的二维衣片转换为三维衣片做准备。

(2)衣片 2D/3D 转换。将二维衣片通过网格技术转换成三维衣片网格，以便下一步进行缝合。这是虚拟试衣系统中最重要的一步，也是最难的一步。通常，这一步的技术会花费大量的时间，并且需要反复的试验过程。网格化技术就是利用二维坐标来存储衣片的数值信息，并且将衣片的模型通过三角形或者是四边形的网格来表示。对于复杂的服装衣片还要标识其对应的位置关系。

(3)衣片的缝合。检测出两片衣片应该缝合的部分，例如背心，需要缝合的部分则是肩膀和侧面的腰线部分，通过物理力的添加，将两片衣片进行缝合，形成完整的服装网

格模型。

(4)服装纹理绘制。最后一步是对服装模型进行纹理映射。通过对纹理材质和服装模型的坐标映射来完成最终的逼真的服装试衣的效果。

1.3.2 论文研究难点

基于图像绘制的服装建模技术是一项基于计算机图形学和纺织技术的交叉学科。在其主要的技术中，主要强调了二维衣片至三维衣片的转换和纹理的映射。对于这项技术主要也是在于不断的研究更好的对虚拟服装建模进行无缝缝合，物理力的选取和服装的逼真效果。在过去的几十年，比较完善的服装模型是为了用于服装动画，有很多令人印象深刻的产品和结果产生。但是对于服装的动画方面仍然存在着一定的问题。首先，服装建模的效率和仿真程度，其次是二维衣片转换三维衣片中，网格化技术中临界点的选取，缝合边缘的查找和缝合力的选取，然后是服装建模的数值计算，最后则是碰撞监测和反应。现在对于技术的改进也是主要基于这些问题和结论。

(1)服装建模的效率和仿真程度。在最近的文献中，Chio 等人^[11]提出了在服装模拟和服装动画方向的新的技术革新，能够达到更逼真的效果，提高运行速度，减少运行时间，而且可以构造和模拟更加复杂的服装。但是，在虚拟试衣系统中实现服装的逼真程度和提高运行效率也是现在科研学者一直所研究的重点。现实中的织物是一种柔性材料，在外力的作用下，它的外观形态会发生很大的变化。在织物仿真模拟研究中，织物被视为一张经过离散化的网格曲面，网格交汇之处视为质点，曲面的每一部分都具有各自不同的运动，而且彼此之间并没有严格的约束，各组成部分之间会存在碰撞现象。目前，在织物仿真模拟研究中，对碰撞检测和自碰撞检测^[12]都要进行大量的复杂的几何运算。这就意味着将在这方面消耗大量的时间来处理碰撞问题。

(2)二维衣片三维化。目前，对于任意多边形进行自动网格剖分有很多成熟的算法，但是仍然存在了一定的问题限制了网格剖分的精确度。第一，由于应用的领域不同，研究的问题和对象不同，需要网格剖分的对象形状各不相同，对网格剖分的方式和所需的结果也各不相同。其次，就当前的研究结果而言，基本上每一种算法只能适用于某些特定的应用领域或者特定的对象^[9]。而对于服装来说，服装属于柔性织物，其具有很强的随意性，所以服装的形状并不能归纳在任何一种规则的几何形状。为了表达出服装的这一特性，各种算法都是利用大量的不规则的自由曲线和少量的直线来构成封闭的多边形用以表达出服装的形状。但是这也直接的导致了对服装衣片进行网格剖分的难度，而且对服装衣片的网格剖分的结果直接影响到了服装的逼真程度^[13]。

(3)三维衣片缝合技术。用网格技术表示二维衣片后，需要对二维衣片进行一个缝合。那个如何选择所需缝合的两片衣片边缘，并且将其对应的边进行选择。然后对于边缘的

质点施加一种缝合里，让二维衣片能够逼真的拼接为完整的三维服装。

1.3.3 论文创新点

本论文主要对于虚拟服装试衣系统中的网格化技术，缝合技术和基于图像绘制的服装纹理绘制进行主要的研究和分析。其创新点主要表现在网格化技术中坐标点的选取，对服装款型的缝合数据的存储。

在传统的网格化技术中，将服装覆盖在网格上，当服装的边缘经过网格中的交点时，则取其交点为服装建模中的一个质点。如果某一段边缘线没有经过网格中的交点时，则忽略这一段，继续选取下一段的质点。这样就会导致某段边缘线中的质点的丢失，那么在服装建模的过程中，就会似的这一段的边缘有一定的失真。在本文的网格化技术中，当边缘线没有经过网格中的交点时，则取离边缘线最近的一个网格交点作为服装建模中的一个质点。这样可以很大程度的提高服装边缘的现实的真实性。

对服装的缝合数据进行分类存储，在运行的过程中，基于服装款式对缝合数据进行存储，如背心，连衣裙等，然后通过对服装款式的选择直接对衣片网格模型进行高效的缝合。

1.4 本章小结

本章主要对论文的研究背景、意义和国内外的发展现状进行了介绍，然后对本论文的研究难点和创新点进行了分析，最后对本论文的大致框架进行了说明。本论文主要分为以下六个部分，具体结构安排如下：

第一章，概论，论文中第一章首先对服装建模做了简单的介绍，对其应用范围和研究意义进行了说明，并介绍了其国内外的研究意义。

第二章，三维服装建模技术。主要对于三维服装建模流程中的基本技术进行了简单的描述。首先是织物的建模，其次是服装衣片 2D/3D 转换，三维衣片的空间缝合技术以及三维服装渲染技术。

第三章，服装衣片 2D/3D 转换。第三章介绍了服装衣片的网格化技术，并对其二维至三维衣片的转换过程进行了研究，按照转换的流程对其中所应用到的算法进行介绍。

第四章，三维衣片缝合技术及实现。通过对三维虚拟服装衣片的缝合，对缝合的边界处理，缝合力的选取和分析以及质点位置的移动进行了详细的分析。并且，简单的介绍了织物的碰撞检测和响应。

第五章，基于图像绘制的服装纹仿真技术。这一章主要介绍了基于图像的绘制技术，

并将图像绘制结束和纹理映射关联起来，进行基于图像绘制技术的纹理映射的研究。

第六章，结论和展望。对本文的研究工作进行了总结性论述，阐述了本论文的主要研究内容，详细归纳了研究取得的成果，针对论文工作需要完善的地方以及发展动态，对本项研究的未来进行了展望。

2 三维服装建模技术

三维服装建模技术中，主要包括了织物建模，服装衣片三维转换，三维衣片空间缝合技术和三维服装渲染技术。本章主要对其技术的概念和分类做了相应的介绍。

2.1 织物建模

基于计算机图形的织物建模技术主要有三种：几何建模、物理建模和混合建模。几何建模技术基于几何模型而不用考虑服装的物理属性。进一步的说，基于几何模型的服装建模强调的重点在于创建一个真实的对象用于展示衣服形状和褶皱。基于物理建模技术一般利用三角形或四边形的网格交叉点来表示服装的模型。外在力和能量通过各个质点之间的关系来表示。基于物理特性的建模方法的主要缺点是确实参数上的控制和对其不同参数的结果显示。将两者有机的结合起来的方法称之为混合建模。

2.1.1 几何建模

早些年，主要的服装建模技术是建立织物的几何模型。最早的模型是在 19 世纪 80 年代后期，但是当时的技术的计算能力和运行能力不能协调，其几何模型只是将变形衣服的几何特征进行重建。1986 年，Weil^[11]提出了对于服装图片的几何约束技术：利用约束系统里的网格点来表达三维模型的形状。但是该研究并不适合用于服装运动的模仿，所以其研究限制在特定的研究领域，难以扩展。但是，该技术在静态衣片的建模效率上非常有优势。在早些年的研究中，Agui^[12]等用一系列空的圆柱形组成一系列的圆环，用于袖子中间胳膊附近的弯曲的衣服建模。Coquillart^[13]提出了一种新的几何变形技术用于服装表面仿真。从一个平面的表面开始映射到一个圆柱形的网格中，其中折叠效果就近似于服装表面。Aono^[14]等人也研究过基于几何模型的服装建模的特定问题，例如，将二维绒面组成的绳转化三维，并用三维曲线来表示其表面属性。同时，他提出了缝合中，线的缝合映射算法。B.Lafleur 等人用简单的圆锥曲面代表一条裙子，如图 2.1 所示，并穿着在一个虚拟人物上。他们提出的服装造型方法都是典型的几何建模方法。

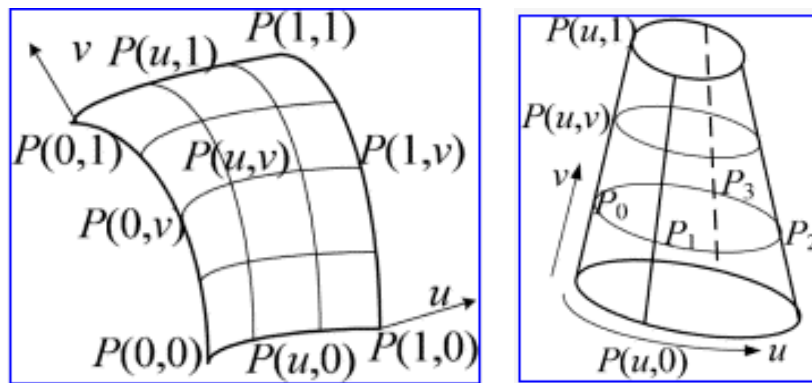


图 2.1 服装几何建模

这类基于几何模型的建模技术的缺点是其限制在某些特定的应用领域。总的来说，这类模型对于褶皱的表现效果非常好，但是对于其他的模型的表现则不如人意。后来引进了几何方程，对其有一定的改进，而且能解决一些明确，特定的问题。

基于几何模型的建模除了缺乏纯织物的一些属性，在服装建模上也存在着一定的限制。几何模型在一定程度上需要用户的干预。其中的很多技术需要用到身体的特征值和服装的网状结构的构造模型。此外，服装的几何模型不能综合力学性能或者是 KES 类的相互关系。所以，基于物理的服装建模相对于几何模型建模来说会更加逼真。相反，基于几何的服装建模相对于物理模型来说计算效率更高。

基于几何模型的服装建模在扭曲映射方面存在的问题。Hinds 等^[15]首先用特定技术去定义一个三维服装衣片，提出用大量的曲面片来表征服装衣片，用插值的方法产生衣片内部的点，最后用纹理映射来产生服装的布面纹理和褶皱。他们选取一个静态的模特，作为双立方 B-样条曲面，围绕模特设计衣片，然后对衣片进行二维裁剪分析。

总而言之，基于特征的参数模型可以对于不同的身体形状自动的生成服装模型。这个技术的最主要的优点是在设计过程中可以自动的进行三维模型展示，而且其自由曲面很适合表现服装模型中复杂的几何模型。

2.1.2 物理建模

基于物理的服装建模一般可以用网格和质点来对服装进行显示。1987 年，Terzopoulos D 等^[16]提出基于服装物理属性去构建一个模型。织物可以看做是一个零厚度的变形对象，作者通过弹力学理论对其变形对象进行相应的动作设置。其文献中定义，每一个对象对变形都有一个潜在的力，且对象表面用均匀网格离散的表示。其运动方程利用半隐式法的数值积分方法，当对象没有形状变化时，潜在力为 0。之后 Terzopoulos 又提出了一个力学模型，将每一个衣片都利用三角网格表示，然后进行缝合。作者在文献中实现了第一个自我碰撞检测算法。Collier 等人^[17]提出了一种几何非线性的有限元素

法，基于板状建模，通过对其经度，纬度的调整来对其运动方向做出调整。Eishen 和 Bigliani^[18]通过基于物理的壳理论，提出了基于压力的非线性织物仿真技术。

最近，在机械建模领域中，有限元素法也被用来模拟服装建模。其中一个比较成熟的，基于有限元素法的服装悬垂系统由 EtzmuB 等提出的。EtzmuB 等^[19-20]提出了一个基于有限元素法的服装模型用于展示服装的弹性和高度灵活的服装表面。

基于物理的服装建模系统还可以用离散的粒子系统来表示服装。粒子系统通过粒子构成的网格多边形来表示布的表面。这些粒子通过行动力来移动，通过粒子间的移动来表示衣服的机械运动行为，其中的行动力通过虚拟服装模型中的粒子之间的几何关系来进行计算。

在大量描述服装建模的论文中，Breen 等^[21]提出了一种无纺布。它通过一系列粒子的下降来表示服装在引力场中的物理定律。服装的表面通过统一的网格离散表示，其中的每一个节点都属于机械系统中的一个粒子。作者将模特中插入实验数据，一定程度上增强了模特表面的真实感。随后，作者将实验结果与其他算法进行比较，得出该方法确实能得到效果更加真实的结果。Ng 等人^[22]提出通过矩形网格和能量最小化技术来获得服装的数据，其通过一系列的能量等式，例如弯曲常量，密度，弹性，斜对轴强度比，刚性等来表达服装材料的状态。随后，Eberhardt 等^[23]延续了 Breen 的建模技术，并通过其模型建立了一个具有特别属性的服装。

Provot^[24]采用了另外一种方法，即织物被看做是由很多四边形的小网格组成的，网格之间的交叉点都是由弹簧连接在一起的，如图 2.2 所示。根据在模型中弹簧所起到的作用不同，其具体可被分为三大类：结构弹簧、剪切弹簧和弯曲弹簧。由于织物仿真是一种非线性过程，用线性的弹簧形变来模拟会出现不真实的现象，于是 Provot 为了解决这个问题，是采用了基于反演动力学的直接修正法。运动方程的求解是采用欧拉算法。因此，步长过大会导致系统的发散，但其计算简单，所以效率比较高。不足之处是模型还不够精确，织物的真实属性无法完全体现出来。

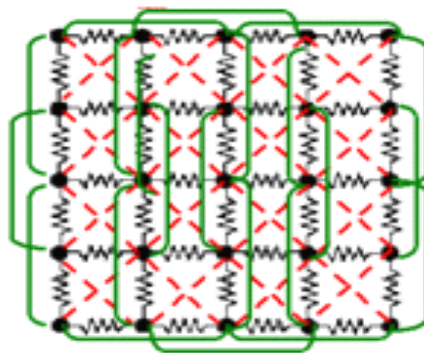


图 2.2 服装弹簧模型

为了解决建模中服装的动画问题，随后有学者提出了弹簧质点模型。弹簧质点模型

是一个基于物理属性的技术，其在对于变形对象建模方面的应用非常广泛。织物被看做是由很多四边形的小网格组成的，网格之间的交叉点都是由弹簧连接在一起的。弹簧力一般是呈线性表示，非线性的弹簧力可以用来对服装的这类容易产生变形的对象进行建模。在动力系统中，牛顿第二定律定义了网格中每一个质点的运动。弹簧质点模型技术的优点在于不需要有限元素法中对织物运动中褶皱的计算和描绘，而且相对于其他的服装建模技术，其技术更易于实现。就目前来说，弹簧质点模型应用的最为广泛。

2.1.3 混合建模

所谓混合技术并不仅仅指简单的将上面两种方法进行混合，还要在建立模型时合理的安排运用这两种技术，从而达到理想的模型。在这种新型混合技术上典型的代表有以下几种：

Rudomun 在模拟设计时先采用了几何方法，然后又运用物理方法。几何方法运用在模拟的最开始阶段，具体方法是：按照一定的规律将凸包形支撑物体映射到虚拟的织物空间中，剪切掉超过织物范围的点，对剩余的点进行计算，这就形成了悬垂状态的织物。前期所采用几何方法减少了物理方法所花费的大量时间。后来用物理方法对外形进一步优化。但是这种方法也存在着很大的一个缺陷，即在对凸包支撑物的寻找过程中需要耗费大量的时间，而且难度很高，所以这种方法很少出现在后期的织物仿真应用中。

Kunil 等人则采用了和 Rudomun 相反的方法，即先采用物理方法，再采用几何方法。在开始阶段可以看成是由许多弹簧相连的质点；然后是采用奇点理论来特征化最后的褶皱，织物上定义一些特征点，褶皱就是通过表面特征点之间构造形成的。

Tsopelas 也是运用了几何方法和物理方法相混合的技术来模拟织物的变形。在他的研究中首先是运用物理的方法（薄壁变形理论）对织物进行受力分析，再运用几何的方法来模拟织物的变形。

2.2 服装衣片 2D/3D 转换

在二维服装图像中，只能显示出少量的服装信息，对于现实中服装的大量属性都会丢失，让用户不能真实的了解到所需的信息。在三维服装仿真系统中，二维服装图像也不能表现出完整的服装信息。除了对于信息的缺失，二维服装图像也不能直接用于三维服装模型的构造。由于织物的软性特性，在仿真过程中，必须对服装进行褶皱、运动、重力效果等进行实物模拟，如果以整片板状的二维服装图像进行处理，则难以在仿真的过程中加上这些属性，让用户看到逼真的虚拟服装效果。所以在三维服装建模的过程中，必须将二维衣片三维化，然后用于三维服装建模。

三维服装建模技术研究的早期,就有很多研究者对二维服装衣片三维化的技术进行各种研究。Okabe 等人^[26]提出了一种基于纯几何变换的二维服装衣片三维化的映射算法。在这个算法中,首先对二维服装衣片进行三角划分,然后将划分后的三角网格一层层的映射到三维人体模型上,形成三维的服装模型状态。Wu 和 Yuen 等人^[27]提出了一种服装衣片二维三维化的映射算法。该算法通过将二维服装衣片和三维的服装曲面之间进行一个几何对比,然后计算出其接对应关系,根据二维衣片和三维服装曲面之间的对应关系来进行三维化。但是该算法有一定的局限性,只能用于某些特定的三维服装建模。Carignan 等人^[28]提出了一种基于物理的通用的二维服装衣片三维化的映射算法。该算法对于衣片施加了一种缝合力,然后利用牛顿运动定律给予二维衣片一个运动动力,在物理力的作用下形成一个三维的服装模型。

二维服装衣片三维化的映射,可以将布料无间隙的映射到一张自由曲面上,然后通过一系列球面与二次曲面求交的问题来结局,但是这个方法相对算法比较繁琐而且运算过程不稳定。之后,也有一种基于物理的几何造型方法用于服装衣片二维至三维的映射。服装衣片从二维到三维的映射过程中,首先应该保证衣片的面积在映射前后尽量保持不变,另外在映射的过程中,也应该防止干涉现象的产生。

2.3 三维衣片空间缝合

在三维服装建模的过程中,将二维衣片三维化后,下一步则是将两片衣片进行指定边缘的缝合,将二维的衣片构造成为一个完整的三维服装模型。服装的缝合的实现主要基于织物的物理模型,其缝合的主要步骤为:

- (1) 对两片衣片需要缝合的边缘进行检测和选取;
- (2) 对需要缝合的边缘上质点进行缝合所需的物理力的赋值;
- (3) 按顺序进行缝合;

(4) 对于缝合后的服装衣片的质点进行所有物理属性的赋值,让网格衣片能够对真实织物进行物理仿真。

在服装缝合的第一步中,对于所需缝合的边缘检测,目前的各种三维服装试衣系统中,主要采用的是手动式设置。在服装衣片需要缝合时,将服装衣片的不要曲线呈现给用户,然后由用户自主的选择需要缝合的边缘。选择后,检测需要缝合的边缘,根据不同的算法对其进行缝合。除了手动式设置的边缘缝合技术,还有一种基于三维人体的衣片缝合技术,即先给定需要着装的三维人体,然后给出前后的衣片,按照衣片与人体的对应关系,直接将两片网格服装映射在三维人体上^[29]。还有一种自动的衣片缝合技术,首先要将所有的服装款式进行系统的存储,每一个款式设定好所需要缝合的边缘,然后在实际操作中直接对服装的款式进行选择就可以对服装衣片进行缝合。例如,背心款式,

则需要缝合的边缘为侧边线和肩线，在导入衣片的时候选择该款式，则系统会根据各种信息对于侧边线和肩线进行缝合。但是这种算法需要的数据量非常大，而且误差非常大，只能适用于比较简单的服装款式。

对缝合边缘质点施加物理力也是非常关键的一步，两片在空间中错开的衣片，要把边缘进行坐标上的重合，如果只是强制性的将坐标转换为一组，那么会丢失服装的各种属性，导致三维服装的失真。所以我们给予边缘质点相对应的物理力，然后基于牛顿第二定律将两边衣片进行缝合，尽量保证织物的真实程度。

2.4 三维服装生成

真实的景物表面存在着丰富的纹理细节，人们正是依据这些纹理细节来区别各种具有相同形状的景物。因此，景物表面纹理细节的模拟在真实感图形合成技术中起着非常重要的作用。我们将景物表面纹理细节的，模拟称为纹理映射技术。利用纹理映射技术可以达到模拟景物表面丰富的纹理细节的目的，提高计算机生成图形的真实感。

纹理映射的原理是建立二维空间中的纹理图案与二维空间或三维空间中物体表面点间的映射关系，按一定的算法将纹理空间中的纹理图案映射到二维或三维物体上。

对于缝合后的衣片基于网格现实，虽然能够表示服装的部分物理属性，但是服装的表面花纹，纹理，面料等则难以表示。为了进一步的提高三维服装的仿真效果，最后对三维服装进行渲染。

对三维服装进行渲染能够让服装看起来更加真实，一般情况都采用纹理贴图的方法对三维服装进行渲染。纹理贴图主要包括材质贴图、Mip 贴图、凹凸贴图和动态材质贴图等^[30]。材质贴图是将一张已有的材质图片，直接跟模型进行映射，将材质直接展示到模型表面。Mip 贴图则是根据图像的远近视觉的不同，选择不同的材质图片进行映射，虽然这种贴图方法能够细致的展现出不同角度的物体表面细节，但是所需的算法也十分繁琐。凹凸贴图则是一种基于深度变化的贴图技术，它能够大致的模拟物体的粗糙表面，使得三维物体产生一种凹凸感。动态贴图技术则是根据角度，对象的不同，自动的选取所需的材质图片进行映射，贴图后的三维物体效果非常逼真。

本文中采取了一种基于图像绘制的服装生成技术，该技术可以通过拍摄到的二维服装图片对服装模型进行渲染和贴图。相对于传统的服装渲染技术，主要是直接通过已经建立好的模型然后对其进行一个表面花纹和纹理的仿真。这样计算量大，算法复杂，而且实时性不高。基于图像绘制的服装生成技术，对于三维模型的仿真程度只限于其二维图像的效果，而不基于其算法。所以该算法计算量比较小，实时性高，而却在柔性服装建模后的物理属性的表现中，也非常逼真。

2.5 本章小结

本章主要对三维服装建模技术的定义和已存在的技术进行了介绍和分析。其技术主要包括织物建模、服装衣片 2D/3D 转换、三维衣片空间缝合和三维服装生成。在现在三维服装建模技术中，织物建模技术已经非常成熟，论文中没有再继续重点介绍。在论文下几章主要对服装衣片预处理、2D/3D 转换、衣片的缝合技术和三维服装的生产技术进行了详细的介绍和说明。

3 服装衣片 2D/3D 转换

在三维服装建模中，服装衣片二维至三维映射是最开始也是最关键的一步。衣片 2D/3D 转换主要分为以下几个步骤：首先对服装衣片进行预处理，预处理包括了图像的去噪、二值化和边缘提取；二维衣片建模，对二维衣片进行网格化，将二维衣片用离散的质点表示，在将质点连接成为三角形网格；最后对其图片进行三维坐标的映射。

3.1 衣片图像预处理

虚拟现实对于服装的仿真要求越来越高，最简单的服装造型是直接通过平面的服装二维图形和人体二维图形进行关键部分的检测，然后对对称部位进行简单的缝合。这样可以一定程度上展示出一件服装在人体上着装后的效果。目前该技术主要应用在游戏或平面头像展示方面。随着三维技术应用的广泛，人们开始对衣服的仿真效果提出了更高的要求。希望能够用三维技术更直观的展现出服装的效果。在三维服装建模技术中，图片的预处理阶段包括图像的二值化，将平面图像进行二值化处理，使图像变得简单且数据量小，能凸显出目标的轮廓从而有利于图像的进一步处理；然后是对图像进行边缘处理，用于对平面的图像中服装进行轮廓的提取，方便服装的网格化。

3.1.1 图像二值化

一般彩色图像的二值化，先把彩色图像进行灰度化，转换成灰度图像，然后再对该灰度图像进行二值化。本文中也选择的这种方法对服装图片进行二值化。所谓灰度图像就是指只有亮度信息而没有色彩信息的图像。对灰度图像的二值化方法一般是确定一个阈值 T ，然后根据像素点的灰度值与 T 值比较的结果，从而决定该点是转换回 0，即黑色，或者是 255，即白色。

设 $f(x, y)$ 为灰度图像， $F(x, y)$ 为转换后的二值图像，则转换公式为：

$$F(x, y) = \begin{cases} 0, & f(x, y) \leq T \\ 255, & f(x, y) > T \end{cases} \quad \text{式 (3.1)}$$

由以上公式可以得出，在灰度图像的二值化过程中，阈值 T 的选择起到了决定性的作用。 T 值的不同，直接的影响到了最终的结果，导致结果差异较大。同样还存在许多基于阈值的二值化方法，例如：全局阈值法、局部阈值法、动态阈值法。在灰度直方图有多峰时，选择合适的阈值还是有一定的难度。特别是在服装图片二值化中，背景、服

装的纹理、花纹等都有可能让结果出现偏差,所以二值化的方法和阈值的选取非常关键。

本文的原图如下图 a 所示,二值化后的结果如下图 b 所示:



(a) 原服装图片

(b) 服装图片二值化

3.1 图像二值化

3.1.2 基于邻域平均法的去噪技术

在现实生活中,如果要对图像进行采集,则难免会在采集和传输的过程中,因为各种外在条件的影响,使得采集出来的图片存在着各种噪声。噪音大致可以分为三类:光电子噪声、感光颗粒噪声和热电子噪声。

邻域平均法,选定图像中的一个像素点,然后取一个以它为中心的区域,用该区域内各像素灰度的加权平均值取代该像素的灰度值。在去噪过程中,首先取一个二维阵列的方形区域,用作权值的存储,称为平滑窗口或掩膜。然后利用该区域在需要去噪的图像上按顺序移动,处于区域中的像素在根据公式来更新像素的灰度值信息。

$$g(i, j) = \frac{\sum_{u=-N}^N \sum_{v=-N}^N W_{uv} f(i+u, j+v)}{\sum_{u=-N}^N \sum_{v=-N}^N W_{uv}} \quad \text{式 (3.2)}$$

上式中,用 $f(i, j)$ 来表示需要去噪的图像; W 为平滑窗口,大小为 $(2N+1) \times (2N+1)$; $g(i, j)$ 是平滑处理后的图像, W_{uv} 是权值,可以继续由式 2 来进行计算。

$$\sum_{u=-N}^N \sum_{v=-N}^N W_{uv} = 1 \quad \text{式 (3.3)}$$

当整幅图像中的每一个像素都按照顺序扫描完毕后,则认为对于该图像的平滑算法已经计算完成。一般来说,该平滑算法的平滑能力与窗口的大小成正比。但是窗口越大,会导致图像中的原有的信息丢失,所以必须保证窗口和信息的丢失在一定的比例之内。实际中常用的有 3×3 和 5×5 两种掩膜。 3×3 窗口又可分为 4-邻域和 8-邻域,如图 3.2

所示。

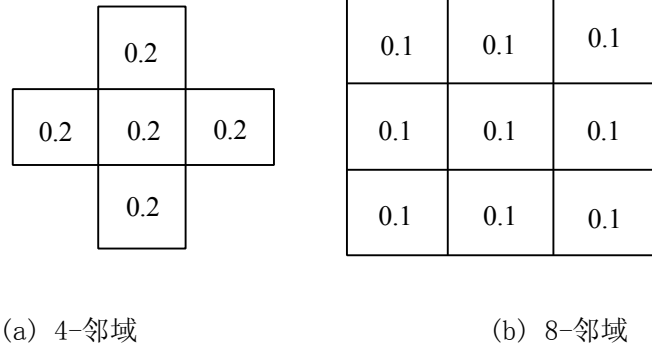


图 3.2 邻域滤波窗口

3.1.3 边缘提取算法

服装边缘提取也是服装建模预处理过程中很重要的一步，这一步直接的决定了之后服装图片网格化的效果。常用的边缘检测算子主要有：Canny 算子、Roberts 算子、Sobel 算子，Prewitt 算子、LoG 算子和 Laplacian 等。本论文中采用了 Canny 算子进行服装图片的边缘提取。Canny 边缘提取方法是由 John Canny 在 1986 年首先提出的^[31]，在 Canny 算子提出后不久，由于它能够很好的反应出最优边缘检测的数学特性，而且对信噪比与定位能力的最优化逼近算子，基于 Canny 算子的边缘提取被广泛的应用到各种领域，特别是图像处理、模式识别等问题。Lee 等人^[32]，将 Canny 算子应用于人脸识别中，实现了人脸下颚区域同颈部区域的分离，而且实验结果非常成功。Ali 等人^[33]将 Canny 算子用于远程传感图像的去噪声和特征提取上，这些研究都表明，Canny 算子用于边缘提取可以取得较好的效果。

信噪比决定了图像便于提取的质量。所谓信噪比，即非边缘点判为边缘点或将边缘点判为非边缘点的概率。信噪比越大，该概率越低，图像边缘提取的质量越好。

$$SNR = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} G(-x)f(x)dx}{\sigma \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(x)dx}} \quad \text{式 (3.4)}$$

同样，好的边缘提取算法需要优秀的定位性能，即监测出的边缘点要尽可能的在实际的边缘的中心。定位的值越大，那么其定位的精度也就越大，定位精度的表达式为：

$$Location = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} G'(-x)f'(x)dx}{\sigma \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(x)dx}} \quad \text{式 (3.5)}$$

另外，决定图像边缘提取算法的另外一个重要的因素是抑制虚假边缘。

$$d(f') = \pi \left\{ \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} f'(x) dx} \right\} \quad \text{式 (3.6)}$$

图像边缘提取算法中要求能对单一的边缘具有唯一的响应，并且对虚假边缘相应应用得到相应最大的抑制。

基于以上几种公式的检验，Canny 算子能相对较为准确的提取出服装图片的边缘，并且减少噪音和虚假边缘的概率。通过该算法，我们得到的服装衣片图如图 3.3 所示：

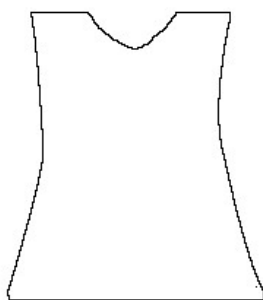


图 3.3 服装衣片边缘提取

3.2 二维衣片网格化

目前，比较易于实现的二维衣片展示是将服装简单的标志为硬性物体。因为服装为软性织物，在仿真的过程中，必须考虑织物的物理属性，各种飘动、碰撞后的反应、垂性、阴影、褶皱等等。这在很大程度上加深了服装建模的难度。在建模的初期，也就是二维衣片的建模阶段，可以将织物看做是一个硬性的物体，暂时不考虑织物的其他属性，来进行网格化，平滑处理等操作。由于服装本身具有非常强的随意性，不能由直接的几何图形来表示其形态，所以通过大量的不规则曲线和少量的直线所构成的封闭多边形来表示服装的形态。这样的不规则的多边形直接导致了没有一种算法能直接对其进行网格剖分。而网格剖分是服装建模中最为关键的一部，其剖分的结果直接影响到三维服装模型是否失真^[34]。

根据对于各种网格剖分技术的分析和总结，本论文采取了一种矢量化网格生成。该方法利用较为合理的网格剖分算法将服装的二维图像离散的表示为规则的网格形式，非常适合用于柔性织物的仿真处理。对于不规则几何图形表示的服装二维衣片的网格剖分主要包含以下几个步骤：

首先，对二维衣片的矢量网格质点进行确定；

其次，生成三维衣片曲面的三角网格，其中的衣片质点表示为弹簧-质点模型。

这种矢量化的服装衣片网格，能够提高二维衣片网格的保形度，使得衣服失真大幅度减小，同时还能够提高算法的计算效率，能够相对高效率的对服装衣片进行网格化，并且对其边缘形态进行相对高效率的显示。

3.2.1 衣片网格质点的生成

衣片网格质点生成的第一步，在保持效率的前提下，首先采用正则栅格剖分对二维服装衣片进行网格粗划分。正则栅格剖分^[35]主要是将一个正则栅格放置在目标图像上面，且这个正则栅格能够完全的包含目标图像。放置结果如下图所示：

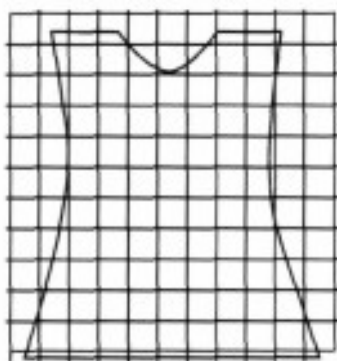


图 3.4 正则栅格

检测目标区域的边界线，查找于目标区域相交的栅格单元，删除处于边界线所在的栅格单元外面的所有单元。对于所有与边界线相交的栅格单元，对其相交的结果进行检测，对不同的相交状态进行相应的调整或裁剪，使得栅格单元能够更准确的逼近目标区域。栅格单元按照目标区域的限制，分成一定数量的网格单元，并且平滑边缘的网格单元得到更加平滑的边界线，如下图所示。当栅格越密集，网格数量多，其算法更加复杂，但是得出的结果更加逼真。

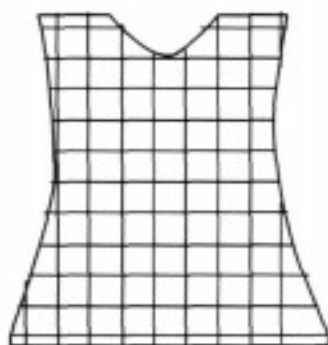


图 3.5 服装网格

正则栅格法能够较好的解决服装衣片从二转转为三维时的离散质点的生成问题，但

是利用正则栅格法对服装衣片进行剖分时。网格的边界单元容易出现不平滑、失真的现象。那么在三维离散质点表示服装时,服装的边缘就会出现不连续的边界,即毛边现象。在正则栅格法中,二维衣片上的点不一定经过正则栅格中的交点,这个时候,取与二维衣片上的点与正则栅格中最近的交点为其质点。但对于二维衣片的边界点,则必须经过正则栅格中的交点。那么,在实际生成质点时,衣片的边界线与正则栅格中的交点相交,则取这个点为三维衣片网格的一个质点。得到边缘质点后,纵向的画一条直线,所有与直线相交的横向网格线的交点都取为衣片内部的一个质点。

基于该方法得出的服装衣片网格,虽然能够较好的模拟出衣片的形状,解决了正则栅格法进行二维衣片网格剖分时产生的毛边现象,但是也存在了一定的缺陷。结果中,部分边缘处会产生数目非常密接的网格,直接影响到了算法的计算速度,如下图所示。为了优化算法,提高算法的计算速度,可以设定一个最小值,将邻域的点,其距离在该范围内的点进行合并,从而减少质点的数目,提高计算机的计算速度。本论文中采用了一种最小能量法^[36]对结果中网格比较密集的地方进行质点的合并处理,处理后的结果如下图所示,质点有明显的减少且并几乎不影响布片的形状。



图 3.6 离散网格质点

在对二维衣片进行网格剖分时需要考虑到以下几个问题:首先,必须尽可能的保证衣片网格的轮廓与原衣片的轮廓保持一致,在某些特殊的边缘不能有明显的毛边或者失真的现象;其次,在质点密集的部分,要基于最小能量法对一定范围内的质点进行合并,且在合并的时候并需保证图像的边缘不能有缺失,这样可以有效的减少服装质点的数量,提高算法的计算效率;最后,在网格剖分后的衣片需要生成三维衣片,三维衣片需要对织物的各种属性进行模拟,所以衣片内部的任一质点在纵向和横向方向上必须存在相邻的质点(不包括边界上的质点)。

3.2.2 衣片三角形连接

通过正则栅格法对衣片进行网格剖分后,得到服装衣片的网格质点。那么显示方式

仍是以离散点的方式显示。对于零散的质点，在之后力的施加等处理中都有不便，所以文中将这些离散的点用三角形连接起来，用于以后的进一步的处理。

衣片的三角形连接中，第一步，对衣片的位置进行定位，完整的框出整个衣片的范围，然后在这个范围内沿垂直的方向，对衣片进行等距离的扫描。如图 3.7 中所示，衣片的范围用方框限定，然后逐行进行扫描。

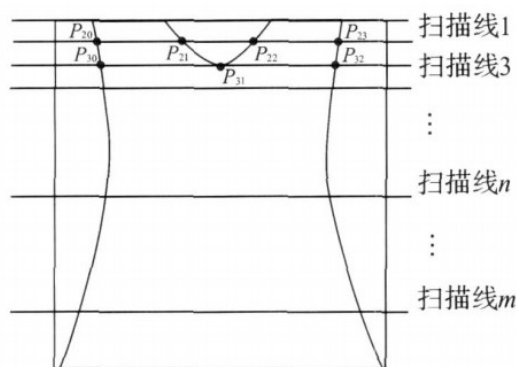
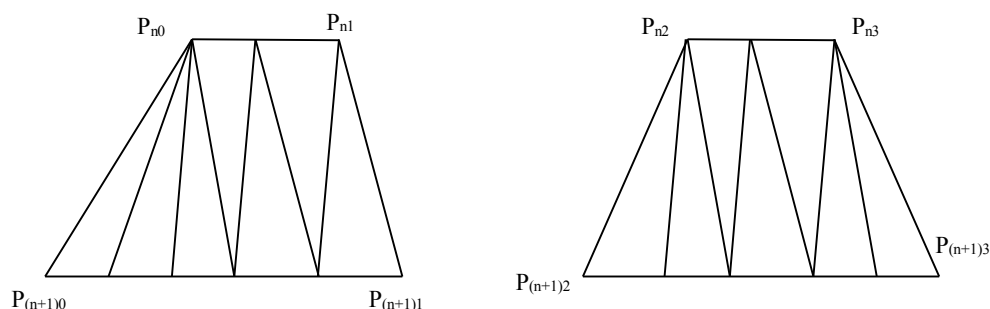


图 3.7 服装扫描线

记录扫描线 n 与衣片边缘的所有交点，从左到右依次记为 $P_{n0}, P_{n1}, P_{n2}, \dots, P_{nn}$ 。如果交点的个数为偶数，如上图扫描行 2，则 $[P_{20}, P_{21}]$ 和 $[P_{22}, P_{23}]$ 之间的衣片质点属于衣片内部， $[P_{21}, P_{22}]$ 之间的点必定属于衣片外部，即不属于衣片本身。如果扫描线的交点个数为奇数，如上图扫描行 3，则 $[P_{30}, P_{31}]$ 和 $[P_{31}, P_{32}]$ 之间的点必定属于衣片的内部。

第三步，对衣片构建三角形片。首先对扫描行与服装质点的交点个数进行计算，当其交点坐标相同时，则进一步比较其起始交点的横坐标值。将起始点横坐标大的质点作为构造三角形的起始顶点。下图中为衣片中两行扫描行示意图。假设扫描行 n 的起始点为点 P_{n0} ，扫描行 $n+1$ 的起始点 $P_{(n+1)0}$ ，下图中， P_{n0} 的横坐标大于 $P_{(n+1)0}$ 的横坐标，所以选择扫描行 n 的起始点 P_{n0} 为构造第一个三角形的起始顶点，再从左至右的选择扫描行 $n+1$ 上的质点进行三角形的构造。在构建三角形时，当扫描行 $n+1$ 中的某质点与扫描行 n 的起始点 P_{n0} 横坐标相等时，则停止对该顶点的三角形构造。此时，开始根据其质点信息依次画三角形直到两个质点的横坐标值不相等。重复上述步骤，直到扫描行与衣片的最后一个交点 $P_{(n+1)n}$ 处，如图 3.8 所示。

图 3.8 扫面行 n 与扫描行 $n+1$

如果两个扫描行与服装质点的交点个数不同，则对于这两个扫描行的三角形连接算法如下图 3.9 所示。

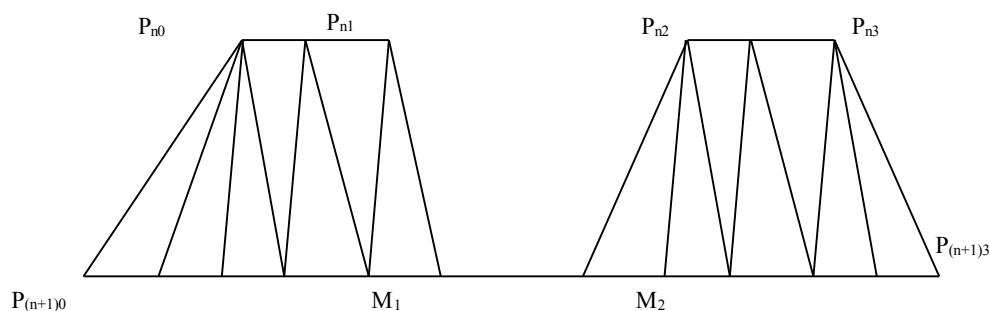


图 3.9 质点交点个数不同的三角形连接

为了避免三角形的链接导致边缘的失真，可以对两扫描行进行横坐标相同的点进行查找。当找到横坐标相同的点时，例如上图中扫描行 $n+1$ 与扫描行 n 中横坐标相同的点 M_1 ，然后把 M_1 旁临近边缘的点来构造三角形的扇面，用于边缘的平滑显示。同理，在右图中，取两扫描行横坐标相同的点 M_2 前临近边缘的点作为三角形扇面的开始点，依次画扇面和连续三角形。

在衣片边界中，会出现扫描行与衣片的交点个数为奇数的情况。这个时候，扫描行与衣片边界相切，这样会难以选择附近的扫描行与其构造衣片内部的三角形。所以，论文中通过减少、增加等操作来改变扫描行的间距来避免产生奇数个交点的情况。当改变扫描行的间距，则扫描行 n 就会上移或者下移，保证所有扫描行与衣片的交点数为偶数个，便于构造三角形。

虽然将扫描行通过移动来改变为偶数个，会便于衣片的三角形构造。但是，跳过了交点个数为奇数的扫面行，就会使得两个扫描行之间的距离发生改变，出现了断层现象。这是导致三维服装衣片失真的一个重要因素。

最后重复三角形构造的步骤，直到衣片完整的由三角形网格表示。最后给三角网格

中的每个质点设置其物理属性，如重力，缝合力等属性值，使得服装网格中的质点都能够成为适用于弹簧-质点模型的矢量点，完成服装衣片图像的矢量化网格生成。

3.2.3 衣片边缘平滑处理

在衣片的网格化中，由于边缘质点的选取会向临近的网格节点靠拢，所以在边缘的展示上会存在一定的失真，例如棱角，突出等噪音。1992 年 Hoppe 等通过构造距离场进行离散点的重建^[37-38]，基于此，有些学者将其思想应用到网格平滑中^[39]。所以，本论文在衣片图像网格化后，再对得到的边缘进行平滑处理，从而得到较为平滑的网格。

对于网格质点中的任意质点 v_i ，其一阶邻域 $N(v_i)$ 所构成的平面可以用一个点 O_i 以及单位法向量 n_i 表示。 O_i 是 $N(v_i)$ 的中心： $O_i = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} v_i$ (m 为 v_i 邻域定点的个数)。单位法向量可以通过主元分析法确定：首先计算 $N(v_i)$ 的协变矩阵，该协变矩阵是一个 3×3 的半正定矩阵： $CV = \sum_{i=0}^{m-1} (v_i - O_i) \otimes (v_i - O_i)$ ，其中 $\otimes$ 表示矢量的外积，设 $\lambda_i^1 \geq \lambda_i^2 \geq \lambda_i^3$ 为协变矩阵的特征值，其所对应的单位特征向量为： n_i^1, n_i^2, n_i^3 ，则单位法向量 $|n_i| = |n_i^3|$ ，因此， v_i 到其平均平面的距离可以通过公式 $d_i = |n_i \bullet (v_i - O_i)|$ 求出。

根据以上公式，光滑的曲面段，那么在相同的距离场中，相邻定点的对应值 d_i 与 d_j 差异应该相对很小。如果某曲面存在一定的噪声，则相邻定点的对应值 d_i 与 d_j 差异应该相对较大。如下图中，给出了一维曲线光滑曲面，和存在噪声的曲面的状态。

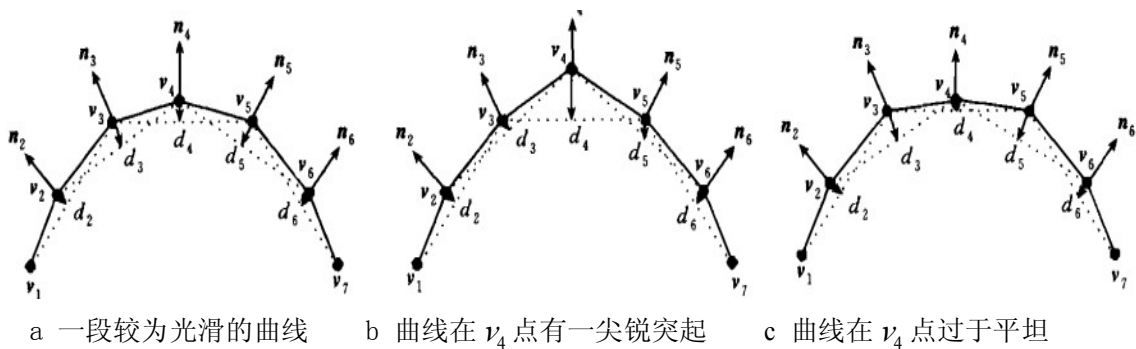


图 3.10 二维曲线平滑处理

图 a 表示一段较为光滑的曲线， $d_2, \dots, d_6$ 分别为点 $v_2, \dots, v_6$ 到各自相邻点连线的距离，显然他们的值差异不大，图 b 中，曲线在 v_4 处有突起， d_4 明显大于 d_3 和 d_5 的平均。图 c 给出了另外一种情况，曲线在 v_4 点过于平坦， d_4 明显小于 d_3 和 d_5 的平均。因此，对图 b, c 这两种情况，可以通过移动 v_4 点的位置来减小这种差异以得到较为光

滑的曲线，同时，在移动噪音点的过程，必须控制 噪音点向正确的方向移动，否则就会增大点与点之间的差异值。为了避免这种切向反方向的漂移，应当控制定点沿着法向的方向移动。在对于图 b 中的情况， v_4 的正确移动方向应该是沿着 n_4 的反方向；而在图 c 中， v_4 的正确移动方向应沿着 n_4 的正方向。将噪声点的移动方法放到三维网格中，二维曲线中相邻点的连线对应于三维网格顶点周围邻域的平均平面，曲线中点到相邻连线的距离对应于三维网格顶点到平均平面的距离，由此得出一个平滑算法。

在三维网格图形中，将设顶点 v_i ，其阶邻域为 $v_j (j \in (0, m-1))$ ，其中 m 为顶点 v_i 邻域的个数。它们到平均平面距离分别为 d_i ， d_j ，下面的公式可以用来对图像进行平滑处理。

$$v'_i = v_i + \lambda \cdot \left[\frac{1}{\sum_{j=0}^{m-1} w_{ij}} \sum_{j=0}^{m-1} w_{ij} d_j - d_i \right] \cdot n_i \quad \text{式 (3.7)}$$

上述公式中，移动后的顶点用 v'_i 来表示， v_i 则是移动前顶点的位置， w_{ij} 为权重，根据实验结构分析，这里采用点 v_i 与点 v_j 之间的距离的倒数作为权重，即 $w_{ij} = \|v_i - v_j\|^{-1}$ 。

定义 $\bar{d}_i = \frac{1}{\sum_{j=0}^{m-1} w_{ij}} \sum_{j=0}^{m-1} w_{ij} d_j$ ，算法中将会根据 d_i 与 $\bar{d}_i$ 的绝对值的大小，来判定顶点 v_i 的移动方向，这样可以有效的保证噪声点能够向正确的方向移动，不会出现噪声点更加突出的问题。

算法中选取法向量来控制网格边界的平滑，即所有处于边界上的点，在需要进行平滑的计算时采用公式 $v'_i = v_i + \lambda \cdot n_i n_i^T \cdot (\bar{d}_i - d_i) \cdot n_i$ 。也就是说，采用了基于各向异性的权重的算法来对其边缘噪音进行网格的优化。

算法中选取法向量来控制网格边界的平滑，即所有处于边界上的点，在需要进行平滑的计算时采用公式 $v'_i = v_i + \lambda \cdot n_i n_i^T \cdot (\bar{d}_i - d_i) \cdot n_i$ 。也就是说，采用了基于各向异性的权重的算法来对其边缘噪音进行网格的优化。

利用相邻的点到其周围区域的平均距离的差来作为判定其是否为噪音点，然后通过均衡化处理，控制点沿其法向量的方向进行一定的移动来缩小这一差异，通过噪音点与周围区域的平均距离差的缩小来对网格边缘进行平滑处理。在一定程度上能够避免噪音进行错误的移动导致对边缘形成失真，而且还能够通过对其法向量的控制来保证平滑边界的结果。

3.3 衣片 2D/3D 转换

目前，对于各类服装的样式主要通过图片进行传达。人们通过对服装二维图片的观

测, 对其进行分析、设计, 重绘出近似图片的服装, 然后着装, 进行试衣。但是这样人力、物力消耗都非常大。最近, 计算机在图形图像方面应用日益广泛, 不少服装公司开始将服装的二维图形基于人体直接进行展示, 并能够对不同的二维图形的服装进行更换, 让客户能够直观的了解到服装的上身效果。基于此, 更多服装公司开始考虑将服装用三维模型进行展示, 让更多的客户不仅能够直观的看到服装的效果, 更能够全方位的了解服装的细节信息。

论文中介绍的服装的建模主要基于二维的服装图片, 即平铺拍摄的服装图片。对于二维服装图片进行选取, 所选图片需要经过二值化的处理, 对其边缘进行检测, 然后对服装进行网格化处理。基于网格化之后的服装衣片, 进行二维至三维的转换。

3.3.1 基于网格技术衣片坐标提取

将衣片网格化后, 要进行二维至三维的转换, 必须准确的提取每一个质点的坐标, 然后对其进行二维空间至三维空间的转换, 并补充三维信息。具体步骤如下:

(1) 在衣片的网格化过程中, 在对目标图像进行正则栅格剖分的时候, 将正则栅格按照平面坐标, 对于每一个交点进行二维坐标赋值。当目标边界与栅格单元相交时, 则按顺序记录相交的点的坐标值 (x_1, y_1) 。得到所有质点后, 其与栅格单元上交点重复的所有坐标则为衣片边缘的二维坐标值 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 。

(2) 在一个窗口中打开两个网格, 用于显示两张衣片图, 如下图 3.11 所示。然后分别得到两张目标衣片图的二维坐标, 然后对其坐标进行三维坐标的补充, 将二维坐标加上三维信息。例如第一张衣片的坐标信息为 $(x_{a1}, y_{a1}), (x_{a2}, y_{a2}), \dots, (x_{an}, y_{an})$, 对于同一张图片的二维坐标赋予相同深度的深度信息, 将二维坐标直接加上 z 轴的深度信息。则变为三维图像后, 该衣片的坐标信息为: $(x_{a1}, y_{a1}, n), (x_{a2}, y_{a2}, n), \dots, (x_{an}, y_{an}, n)$ 。对第二张目标图像进行相同的三维坐标转换, 结果为 $(x_{a1}, y_{a1}, m), (x_{a2}, y_{a2}, m), \dots, (x_{an}, y_{an}, m)$ 。

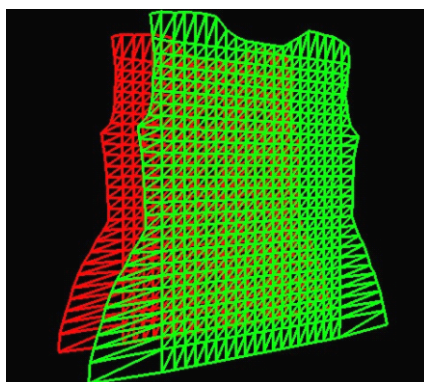


图 3.11 待缝合的两张衣片图

对于不同的深度值，可以给衣片立体的展示的效果，同时深度值也很大程度上决定了服装仿真后的真实效果，所以要精确的得出服装在人体的各比例，根据其相应的数据，对其深度值加以赋值，避免结果失真，并且保证其结果能够正确的应用到相应的人体模型上。

3.3.2 衣片深度信息补充

在服装建模中，对于服装真实感的重现是其中的一个最重要的要点。仅仅对服装衣片进行三维坐标转化，只能赋予其一个三维深度效果，如果要增强虚拟服装的真实感，需要对其的物理属性，飘动等动作进行重现，则可以对质点进行一个受力分析，并可以在映射中采用弹簧-质点模型。

在对织物进行仿真时，研究人员一般视其在密度方面是均匀的。在经典的弹簧--质点模型中，一般将织物看做是由无数个具有一定排列规则的粒子所组成的，在每一个粒子上都均匀的分布着织物的质量，这一模拟过程我们称之为“离散”。为了表示织物内部纤维材料之间的相互作用，在模型中运用弹簧将粒子互相连接起来，根据弹簧在模型中所起到的作用将其分为结构弹簧、剪切弹簧和弯曲弹簧三类，其示意图分别如图 3.12 所示：

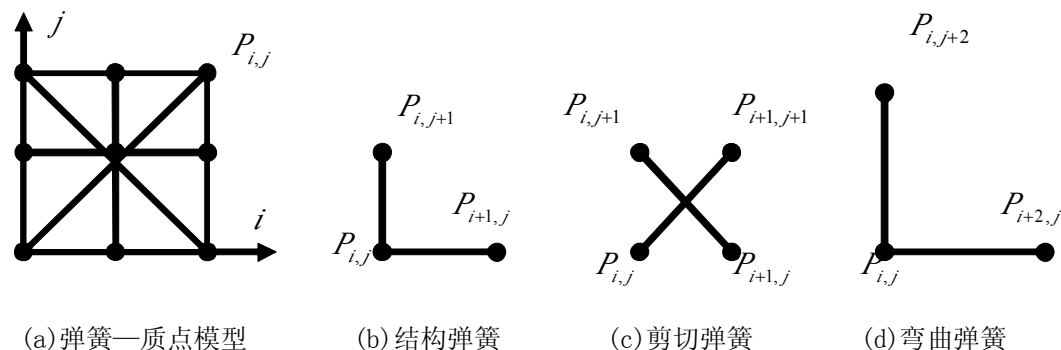


图 3.12 弹簧—质点模型和三种弹簧类型

结构弹簧、剪切弹簧和弯曲弹簧这三种弹簧在柔性织物模拟系统中所起的作用各不相同。结构弹簧用以模拟织物内部经纬向的作用力，为了防止模拟中织物发生经纬因为拉压而产生的形变，结构弹簧的弹性系数一般设计都比较大；剪切弹簧则是为了模拟织物倾斜方向的力，除具有防止模拟织物发生斜向方向的过度形变作用外，还可以用来模拟织物的延展性；弯曲弹簧则是用来模拟织物的发生很大弯曲变形时的抗弯曲性能。

通过对网格衣片进行深度信息补充后，衣片能够显示出柔性织物的部分物理属性，如图 3.13 所示，该网格衣片能够在基于弹簧力属性下，实现简单的飘动的效果。

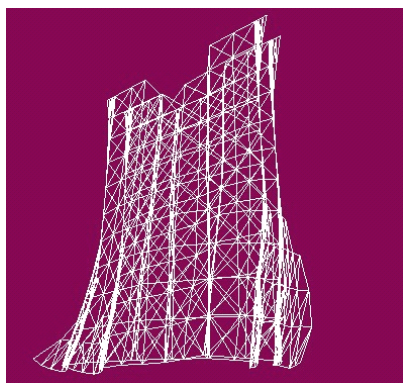


图 3.13 衣片吹动效果图

3.4 本章小结

本章主要对服装衣片的 2D/3D 转换进行了详细的介绍，并对论文中所用到的算法进行了说明。首先采用通过图像二值化、基于领域平均法的去噪技术对所拍摄的图片进行优化，然后对其进行边缘提取；通过边缘提取得到的图像用于 2D/3D 的转换。最后将网格化衣片图像进行深度信息的补充，完善服装衣片的物理属性赋值。

4 三维衣片缝合技术及实现

在计算机图形学研究中,如何高效的模拟织物的运动一直以来都是具有难度和挑战性的课题。现实中的织物是一种柔材料,在外力(如风力)的作用下,它的外观形态会发生很大的变化。在织物仿真模拟研究中,织物被视为一张经过离散化的网格曲面,网格交汇之处视为质点,曲面的每一部分都具有各自不同的运动,而且彼此之间并没有严格的约束,各组成部分之间会存在碰撞现象。因此,对于碰撞现象,除了发生在织物与周围物体之间外,织物自身不同部位也会发生碰撞现象。目前,在织物仿真模拟研究中,对碰撞检测和自碰撞检测都要进行大量的复杂的几何运算。都在这方面消耗大量的时间来处理碰撞问题,因为其处理结果会直接影响仿真效果。

4.1 三维衣片缝合技术

衣片实现网格化,并从二维建模转换到三维建模后,实验结果显示为两片不同深度信息的织物。那么,根据实际衣服的需要缝合的边缘进行定位,然后对其进行缝合,才能进行完整的服装展示。首先,将二维衣片交互的放置到初始位置。对于初始设置的位置不需要特别的精确。但是离缝合位置过远或过偏都属于偏差较大的初始位置,这样会对缝合的效率和结果有一定的影响,有可能会造成缝合过程的失败。然后设置缝合信息,即缝合的对位关系,然后设置缝合的约束力,将衣片的边缘进行缝合,展现最终三维服装的形态。

4.1.1 缝合对位的边界处理

对于衣片之间的缝合,必须考虑到衣片的网格化建立在基于质子-弹簧的结构上,而且也必须保证缝合边之间的对应关系。不同特点的缝合采取不同的边界掉正方案。一般的缝合分为对位缝合和褶皱缝合^[9]。

(1)对位缝合

所谓对位缝合,一般要求两条缝合边的长度一致,离散质点之间对应的距离相等,且对应的缝合点的个数也是相同的,同时满足着三个条件才能较高效率的视线对位缝合。对位缝合在服装工艺上,是最基本的缝合模式。

用户在选择缝合边时,选择两张衣片上对应的,同属性的两条缝合边。选定两条边上的起始点和终止点,然后对其长度,距离,缝合点的个数进行检测,如果两条边上的

点的对应关系式正确的则可以对边缘线进行缝合的准备。

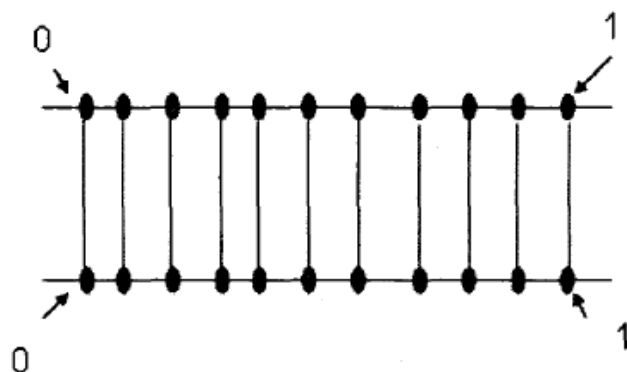


图 4.1 对位缝合

如图 4.1 中，属于正确的缝合关系的映射，图 4.2 中，由于起始点和终止点的位置选取错误，导致两条边上的点之间的对应关系也发生错误。

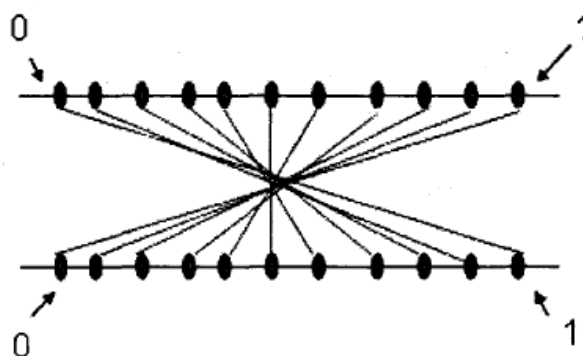


图 4.2 错位缝合

(2) 抽褶缝合

服装工艺上，也存在各类不等长的需要缝合的边界线。这个时候，首先要对较长的边界线进行抽褶处理，待基本等长后，方可同对应的边进行缝合。

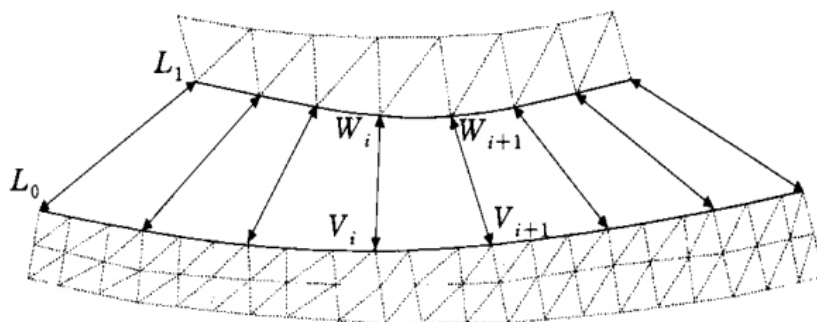


图 4.3 不等长边界缝合

如图 4.3 所示，根据服装缝合的基本特点，如果对应点之间的距离不一样，则必须将两点间的距离进行相应的调整，并且仍保留缝合边界上原有的网格结点。通过均匀的选取对应的结点，实现抽褶缝合。该技术的关键在于均匀的选取较长边界线上的缝合点

已经两条对应边上结点的合理对位，以确保抽褶缝合的自然效果。

同样，抽褶也存在着一定的问题。由于缝合边上网格结点与结点之间不受约束，这样会导致衣片在缝合有会产生部分的空隙现象。因为，服装抽褶连接处的网格单元的拓扑结构需要进一步的进行修正。

本文中，直接对所需要的衣片进行缝合边的对应，实现所需缝合边的对位缝合。如图 4.4 所示，为两片网格衣片的对位缝合。

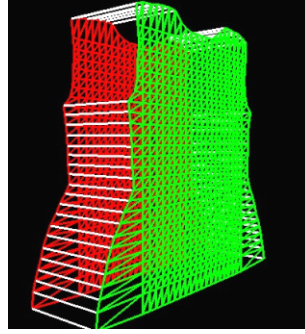


图 4.4 网格衣片对位缝合

选择出对应的缝合边缘后，则需要对网格衣片所需缝合的边施加其相对应的缝合力，让其能够自然的进行缝合。

4.1.2 缝合力分析与实现

对于衣片之间的缝合，必须考虑到衣片之间要满足一定程度上的约束，即缝合力。在缝合力的作用下，两片二维衣片发生形变，并且逐渐的被缝合在一起。这里，衣片的缝合过程大致分为两个阶段。

(1)首先服装衣片出于彼此分开状态，衣片在显示的过程中，会彼此错开一定的空间，然后通过选择需要缝合的边。将缝合力根据缝合信息作用在相应的缝合边上。衣片通过离散的质点来表示，在缝合力作用下，质点通过其质子-弹簧系统产生空间的运动，使衣片逐渐变形，并沿受力方向逐渐靠拢，最终实现衣片的缝合。其中，缝合力的大小及运行的方向由缝合点所在的空间位置及缝合力的系数决定。

在映射过程中，除了将织物能够无间隙的映射到一面自由的曲面上，还需要将两片衣片的对应缝合点之间定义一个线性函数，将两片衣片进行缝合。对应衣片的两个缝合点 P_1 和 P_2 ，缝合力： $f_{seam} = C_s * \overline{P_1 P_2} \cdot N_{\overline{P_1 P_2}}$

其中， C_s 为缝合力系数，与织物的缝合性能有关，通常，较难变形的织物采用较大的缝合力系数。 $\overline{P_1 P_2}$ 表示 P_1 、 P_2 之间的距离； $N_{\overline{P_1 P_2}}$ 表示 P_1 指向 P_2 的单位矢量。除此之

外, 要提高衣服仿真程度, 除了在衣片缝合线上施加缝合力外, 还应在衣片上对于省和褶的对应位置施加缝合力。

(2) 在基于施加缝合力的情况下, 缝合片相互靠拢, 所以当衣片缝合边之间足够靠近时, 我们则认为衣片已经缝合。此时忽略缝合质点上的缝合约束, 采用动量守恒定律继续控制缝合点的运动, 使其保持连接状态。

设 P_1 、 P_2 点为两条对应缝合边上的对位点, 两点的质量分别为 m_1 、 m_2 , 缝合前的位置矢量为 r_1 、 r_2 , 速度矢量为 v_1 、 v_2 。则当 $|r_1 - r_2| < d$ (d 为靠近阈值) 时, 我们认为 P_1 、 P_2 结合, 根据动量守恒定律有:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_m \quad \text{式 (4.1)}$$

$$v_m = (m_1 v_1 + m_2 v_2) / (m_1 + m_2) \quad \text{式 (4.2)}$$

$$r_m = r_1 + (r_2 - r_1) \cdot m_1 / (m_1 + m_2) \quad \text{式 (4.3)}$$

在上式中, v_m , r_m 为结合后两质点共同的速度矢量和位置矢量。当对应的质点重合后, 我们则默认为缝合成功, 单片的二维衣片显示为立体的服装模型。同样, 在服装模型中, 必须进一步的说明软性织物的特性, 所以利用质点的质子-弹簧系统, 当服装与模特或者与其他物体发生碰撞时, 服装会通过每个质点力的反应而进行整体的形变, 显示出逼真的着装效果。

4.1.3 基于缝合力作用衣片质点位置变更

将需要缝合的边缘质点进行关系映射, 对于需要缝合的质点施加一个缝合力, 让其在缝合力的作用下进行缝合。在缝合的过程中, 由于质点处于弹簧-质点模型的作用下, 在移动的过程中, 质点与质点之间也存在着弹簧力的作用, 所以在缝合的过程中, 能够表现出衣片弯曲、飘动、褶皱等效果

质点更新流程如图 4.5 所示:

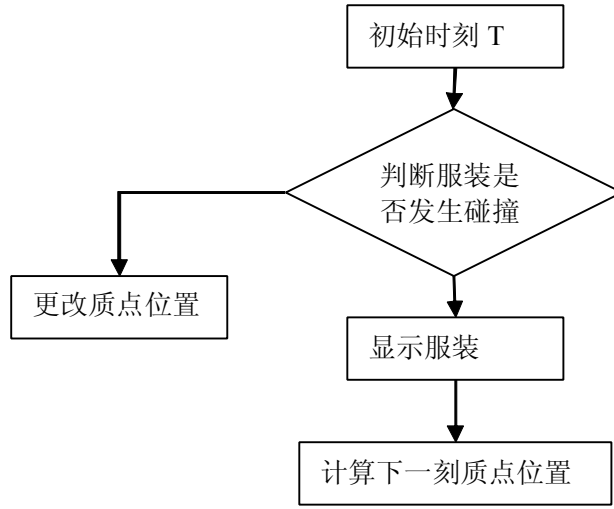


图 4.5 质点移动流程图

二维衣片在映射的初始时刻处于静止状态，二维到三维映射过程可以看做是随时间变化的动态系统^[40]。质点的运动规律由牛顿第二定律确定。

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = f_{out}(X, t) + f_{in}(X, t) \quad \text{式 (4.4)}$$

式中 X 表示质点的位置矢量， m 表示质点的质量， $f_{out}(X, t)$ 表示质点所受外力， $f_{in}(X, t)$ 表示质点所受内力。根据上述公式可以得出，其外力和内力的变化都基于质点的位置和时间的变化。

(1) 内力

在三维服装的建模系统中，服装运动中所需要考虑的内力，论文中通过质点的弹簧-质点模型来表示。也就是质点之间的弹簧的弹性变形力，通过质点的变形力的运动，对于相邻的质点继续施加力的作用，完整的表现出服装的整体运动和变形效果。我们通过虎克定律来计算质点的弹簧力，假设与质点 p_0 相邻的质点集合为 R ，则 p_0 所受的弹性变形力 f_{spring} 为

$$f_{spring} = \sum_{i \in R} c_\varepsilon (\overline{p_0 p_i}|_t - \overline{p_0 p_i}|_{t_0}) \bullet N_{p_0 p_i} \quad \text{式 (4.5)}$$

在上式中 c_ε 表示弹簧的弹性变形系数。由于不同的织物的材质性能不同，那么其织物的质点的弹性系数也不同。 $\overline{p_0 p_i}|_{t_0}$ 表示质点 p_0 与 p_i 之间在初始时刻的距离，经过时间 t 后，用 $\overline{p_0 p_i}|_t$ 表示两个质点 p_0 与 p_i 之间在此时的距离， $N_{p_0 p_i}$ 表示 p_0 指向 p_i 的单位向量。

(2) 外力

在服装衣片的缝合过程中，用于表示衣片的离散的质点必须同时考虑一定的外力。

这些外力主要包括在重力, 缝合力, 阻尼力这三种外力, 这些力对质点施加的物理属性, 直接对质点的运动速度, 方向等进行影响。

首先是重力, 假设织物是均匀的物质, 则每个质点所受的重力为:

$$f_g = \frac{M}{n} g \quad \text{式 (4.6)}$$

上式中, 用 M 来表示衣片的总质量, n 为衣片网格化后的顶点个数。

除了重力, 则是上文中所提到的缝合力, 在从两片二维的衣片向三维服装建模的转换过程中, 需要有对边的衣片边缘的缝合运动, 这个时候, 将相对应的衣片边缘施加缝合力, 让衣片缝合边缘进行自然的靠拢并重合。

阻尼力也是服装缝合过程中必须考虑的因素之一。在衣片缝合的过程中, 相对应的质点将会靠拢并且重合, 在质点运动的过程中, 必定会出现振荡的现象。阻尼力则可以用于限制并减小这种过度的振荡现象。阻尼力的大小与质点的当时运动速度呈正比, 质点当前的速度越大, 则阻尼力越大, 阻尼力与质点速度的函数如下:

$$f_d = -C_d \frac{\partial x}{\partial t} \quad \text{式 (4.7)}$$

上式中, C_d 为阻尼系数。质点运动中所出现的振荡现象会导致服装出现失真现象, 比如不符合实际的拉伸, 变形, 扭曲等等现象, 在质点上施加阻尼力可以避免出现这种情况。

在整个缝合的过程中, 重力的施加顺序是排在最后的, 在初始的缝合阶段, 对于质点的外力只施加了缝合力和阻尼力。因为在缝合的阶段, 两片衣片逐渐靠拢时, 如果施加了重力, 则在缝合的过程中, 服装就会出现逐渐向下坠落的情况, 就会影响到服装缝合的效果。当缝合成功后, 在对质点施加重力。所以, 在缝合的过程中, 质点受到的合力 F 为:

$$F = f_{spring} + f_{fn} + f_d \quad \text{式 (4.8)}$$

$$f_{fn} = F_{\text{缝合力}} \quad \text{式 (4.9)}$$

通过以上公式, 可以计算质点在下一时刻的速度与位置。当两个衣片缝合质点足够近时, 我们认为已经完成缝合过程。

首先, 对服装缝合的款式进行选择, 如图 4.6 所示, 选择相对应的款式后, 对其进行缝合, 其二维衣片的显示如图 4.7 所示。

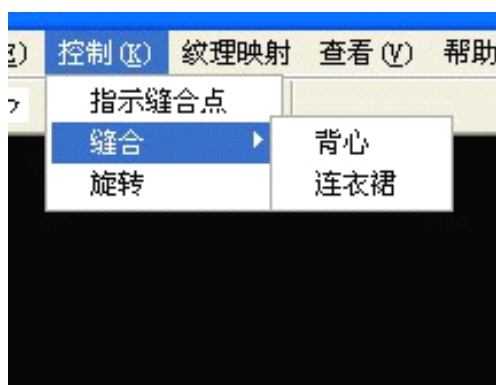


图 4.6 服装缝合款式选择

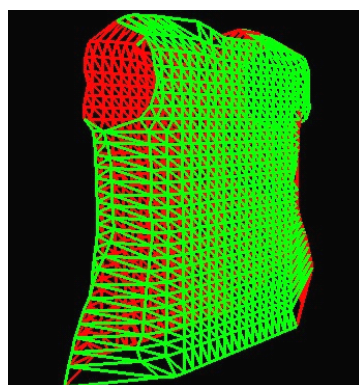


图 4.7 服装对位缝合

4.2 织物碰撞检测

前面已经提到碰撞检测的重要性, 如果没有解决好, 则会导致出现一些不真实的现象, 使得模拟失去真实性。因此在模拟过程中, 碰撞现象对织物的行为有着非常重要的影响作用。为了正确的获得模拟织物的运动轨迹, 就必须及时的检测出织物与物体或织物自身存在的碰撞现象, 这个过程在仿真技术中被称为碰撞检测。

随着机器人学、虚拟现实建模等技术的发展和需求, 它们对碰撞问题的研究提出了新的要求和内容。通过研究人员的不断努力, 许多针对不同的应用领域而设计的碰撞检测和响应算法也不断的被提了出来。在众多碰撞检测中算法中, 层次包围盒方法是一种最常用的方法。本章将详细的介绍层次包围盒方法, 并对各种包围盒方法进行了分析。层次包围盒方法的特定在于: 为了更方便的表达出几何对象, 它采用非常简单的包围盒来对其进行描述。在织物仿真中一般会建立树形层次结构来描述研究对象。当进行相交检测时, 只需对包围盒重叠的部分进行检测, 避免了大量不需要的检测。这种包围盒求解方法相对其它方法比较简单, 它可以用较小的代价去掉不会发生碰撞的元素, 从而可大大提高了碰撞检测的效率。目前, 这种方法是碰撞检测的主流方法。

层次包围盒方法是对两个可能发生碰撞的包围盒进行检测, 这种方法可以避免对没有发生碰撞的部分进行检测, 从而达到提高碰撞检测的速度的目的。针对包围盒树的碰撞检测, 当孩子结点的父结点没有相交, 那么孩子结点以及以其为根的结点都不相交, 这样就可以快速的判断相交的对象, 这就避免了大量的碰撞检测, 有效缩短了检测时间。对两个对象的包围盒发生了碰撞后, 就要继续对其孩子结点进行相交测试。这样, 可以在很多时候很大程度减少包围盒测试次数, 提高检测效率。

包围盒一般具有以下两个特点, 这就是紧密性和简单性。所谓紧密性指的是要求包围盒包围对象的紧密程度。如果包裹对象越紧密, 则需要的包围盒数量就越少, 检测速度就越快。简单性是指包围盒要简单, 这样在对其进行分析起来更加容易, 方便计算。

除此之外，相交测试算法当然也是越快速越简单越好。

为此，设计一种完美的包围盒必须遵循到以下几点准则：

第一，包围盒必须在每一层上都尽可能紧密的包围在模型上；

第二，第二，当检测到两个相交的包围盒时，应尽可能提高重叠检测的速度；

第三，当模型旋转或平移时，包围盒层次中结点的能够很方便的进行快速修改。

到目前为止，常常用以下包围盒来进行碰撞检测：包围球、沿坐标轴的包围盒、方向包围盒以及 k-DOPs。接下来对这几种方法分别进行介绍。

(1) 基于包围球的碰撞检测

这种包围盒结构简单，但是其紧密性不好。对象被看成由许多包围球来组成，用数学公式可以表达为：

$$R = \{(x, y, z) | (x - c_x)^2 + (y - c_y)^2 + (z - c_z)^2 < r^2\} \quad \text{式 (4.10)}$$

其中，坐标 (c_x, c_y, c_z) 代表的是包围球的球心， r 是球体的半径。包围球的建立需要确定包围球的球心 C ，这个是根据对象的基本几何元素的顶点来确定的；半径 r 是由 C 和 $\text{Max}(X, Y, Z)$ 计算得来的。从速度角度来看，包围球比较慢，但是其计算简单，在某些特殊的应用中可以取得很好的效果。

研究表明，包围球之间的相交测试相对于其他碰撞检测方法要简单一些。对于两个不同的球体 (c_1, r_1) 和 (c_2, r_2) ，如果它们之间的球心距离要小于半径之和，即 $|c_1 - c_2| \leq r_1 + r_2$ ，则可判断为两包围球之间发生相交现象。为了方便计算机进行实现，可进一步简化为判断是否 $(c_1 - c_2) \cdot (c_1 - c_2) \leq (r_1 + r_2)^2$ 。如果对象发生平移或者旋转运动，此时的包围球不需要做出任何更新，这就提高了检测碰撞检测的速率，在模拟过程中，一旦碰撞体发生多次旋转，利用这种方法可以很容易的对其进行重叠测试和结点修改，并且能够得到非常优异的结果。当研究对象的外观形态发生变化时，包围球这种方法却很难从子结点的包围球合成父结点的包围球，它需要重新计算其包围球，这就是包围球的不足之处。

(2) 基于轴向包围盒 AABB 的碰撞检测

基于轴向包围盒 AABB^[40] 的碰撞检测方法在碰撞检测的研究中是相对使用最为广泛的，也是历史最为悠久的一种检测方法。AABB 包围盒是平行于三个坐标轴的最小六面体。其算法也很容易，仅仅需要计算出组成对象的基本几何元素的顶点的 $\text{Max}(X, Y, Z)$ 和 $\text{Min}(X, Y, Z)$ 。对这种包围盒的碰撞检测也很方便，当他们在三个坐标轴的投影全部都有重叠时，它们才发生相交现象，此时认为他们之间发生了碰撞。通过这种方法，AABB 之间的相交测试最多也只是需要进行六次运算，运算次数远少于其它的检测方法。

(3) 基于 OBB 的碰撞检测

所谓 OBB^[41]碰撞检测方法指的是：包含研究对象并且相对于坐标轴方向的任意的最小长方形。这种碰撞检测方法的最大的特点就是所研究的对象在虚拟环境中的方向可以是任意。这就使得它可以最大程度上根据包围对象的实际外观形状包围研究中所有的对象元素，但同时却导致相交测试变得十分复杂，使得测试花费大量不必要的时间。这种方法的计算量相对于其他检测方法来说，是比较大一些，但只要找出最佳研究方向，并确定包围盒的最小尺寸，这种方法还是能够达到缩减检测时间的目的的。OBB 这种碰撞检测方法所涉及的相交测试是基于分离轴理论的。所谓分离轴指的是能够使得两个 OBB 投影相重叠的一条轴线上。在碰撞检测过程中，只要发现两个 OBB 之间存在有哪怕只是一条分离轴，那么就可以很肯定的判定出这两个 OBB 之间没有发生相交现象。

(4)基于 K-DOPs 的碰撞检测

K-DOPs^[42]其实是一个几何凸包，研究对象包含于其中，并且对象所有面的法向量（K 个向量）都来自一个固定方法，方向向量在一条线上，且为相反的向量对。这种方法也被叫做 FDH。

获得一个几何对象的 FDH，首先要得到固定方向集合中各个方向的向量，然后对象的顶点与其进行点积运算，取最大值。AABB 其实 FDH 的特例，当固定方向集合中只是包含坐标轴方向时，便与 AABB 一样。同样 FDH 的相交测试也可以从 AABB 上引伸，同样采用了区间测试法，对它们在固定方向集合中的 $k/2$ 的各个方向轴的区间进行重叠测试，当全部有重叠时，可以判定两个 FDH 包围盒发生了碰撞；当有一对没有重叠时，则认为没有相交。在最坏的情况下，需要对两个包围盒进行 K 次运算，所以对 K 值的选取很关键，对此还需要进一步研究。

(5)以上几种碰撞检测方法的比较

通过以上的分析研究，我们不难看出，不同检测方法所应用的的包围盒在特性上有很大的差别。在所有的检测方法中，基于包围球的碰撞检测的方法相对于其它方法而言，在一些特殊的情况会有非常好的效果，但是其紧密性最差，故使用的相对少一些。其他三种类型包围盒的差别比较可详见图 4.7 所示。

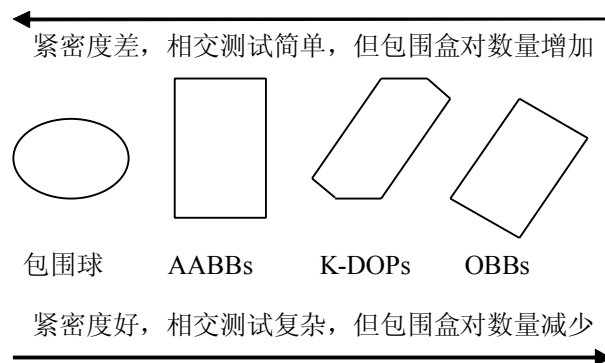


图 4.7 几种包围盒的比较

分析图 4.7 我们可以看出, 在所有包围盒中, 紧密性最好的是 K-DOPs, 而简单性最好的却是 AABB, 每一种包围盒都有各自的优点所在。同时, 结合前面分析, OBB 包围盒只适合用于对刚体对象进行碰撞检测; 而 AABB 和 K-DOPs 这两种包围盒由于他们的特性既可适用于对刚体对象进行碰撞检测, 也可用于对软体对象进行碰撞检测, 但是, 二者在复杂度上有很大不同, AABB 的相交测试的复杂度明显小于 K-DOPs。

除去包围球, 在剩下三种包围盒中, AABB 包围盒的相交测试是最简单, 检测速度也是相对比较快的。根据以上的分析总结, 本课题在严格基于简单性和时间性的考虑上, 最终确定用 AABB 包围盒来解决碰撞问题。

4.3 碰撞响应

当发生碰撞后, 其实归结为两个基本几何元素的碰撞, 可以简化为点--三角形的碰撞, 为了体现出织物的真实属性, 这个时候就需要模型能做出正确的反应用来对软件织物的弯曲等动作进行模拟, 这种处理我们称之为碰撞响应。

假定某质点 P 与某平面发生碰撞, 我们把三角形平面用 $P_0P_1P_2$ 来表示, 速度为 $\vec{v}$ 。平面的法向量为 $\vec{n}$, $\vec{v}$ 可被分解为: 垂直于平面 $P_0P_1P_2$ 的前进速度 $\vec{v}_n$ 以及平行于平面 $P_0P_1P_2$ 的前进速度 $\vec{v}_t$, 则有 $\vec{v}_n = (\vec{v} \cdot \vec{n})\vec{n}$, $\vec{v}_t = \vec{v} - \vec{v}_n$ 。

在现实生活中, 当物体之间发生碰撞, 物体之间会有摩擦作用, 对物体的继续动作产生反作用力。同样, 在质点与三角形平面发生碰撞时, 质点与三角形平面之间也会产生一个摩擦力。摩擦力, 即一个与运动方向相反的阻力, 从而影响其继续运动的速度,

设摩擦系数为 k_f , 若 $\|\vec{v}_t\| \geq k_f \|\vec{v}_n\|$, 则质点在三角形平面有水平移动时, 其速度衰减公式如下:

$$\vec{v} = \vec{v}_t - k_f \|\vec{v}_n\| \vec{u}_t \quad \text{式 (4.11)}$$

式中: $\vec{u}_t = \vec{v}_t / \|\vec{v}_t\|$;

若 $\|\vec{v}_t\| < k_f \|\vec{v}_n\|$, 则质点会在水平方向上静止。

当 $k_f = 0$ 时, 则说明该质点没有受到摩擦力的影响, 所以该质点的移动速度保持不变, 如果 $k_f = \infty$, 则表示质点受到很大的阻力影响, 会因此而保持静止。这两种情况都会让织物失去真实的表现形式。

当发生碰撞时，质点会与三角平面接触后而反弹，进而改变方向继续运行。设反弹系数为 $k_r (0 \leq k_r \leq 0)$ ，如果不考虑摩擦因素的话，那么碰撞后质点的运动速度为 $\vec{v} = \vec{v}_t - k_r \vec{v}_n$ 。

综上所述，质点 P 在碰撞前的速度为 $\vec{v} = \vec{v}_s + \vec{v}_n$ ，碰撞后的调整速度为：

若 $\|\vec{v}_t\| > k_f \|\vec{v}_n\|$ ，则：

$$\vec{v}' = \vec{v}_t - k_f \|\vec{v}_n\| \frac{\vec{v}_t}{\|\vec{v}_t\|} - k_d \vec{v}_n \quad \text{式 (4.12)}$$

若 $\|\vec{v}_t\| < k_f \|\vec{v}_n\|$ ，则：

$$\vec{v}' = -k_d \vec{v}_n \quad \text{式 (4.13)}$$

质点不会再三角形平面做水平滑动，质点在水平方向上保持不动。

4.4 本章小结

本章主要对三维衣片的缝合技术进行了介绍，并进一步的详细说明了论文中所选取的服装缝合技术。在缝合技术中，最关键的技术则是对缝合边的对应关系设定、对其进行物理属性的设定，最后则需对柔性织物的碰撞进行检测和相应。

本章首先对衣片的缝合技术进行分析，详细的分析了在服装缝合中，服装质子所需赋予的物理属性和其运动方式。在其正确的运动方向的基础上，对其进行物理仿真。

5 基于图像绘制的服装仿真技术

在现实生活中，人们对景物的认识不仅仅局限于形状，更大一部分在于景物表面的纹理。因此，在三维虚拟仿真系统中，对于物体表面的纹理细节的绘制也很大程度上加强其系统真实度。我们将对于景物表面纹理细节的模拟称为纹理映射技术。利用纹理映射技术可以达到模拟景物表面丰富的纹理细节的目的，提高计算机生成图形的真实感。

在 ACM SIGGRAPH'2000 上，Oliveira 等人提出了一种基于图像绘制技术的“浮雕纹理映射”^[42]的新视点图像生成算法，Oliveira 等人提出的这种算法实现了用传统纹理映射方法难以实现的三维凹凸细节效果。且基于图像绘制的纹理映射算法能够更加真实、高效的表达出真实景物的特点，很多学者开始继续研究基于图像绘制的纹理映射技术。

5.1 图像绘制技术概论

计算机图像处理一直是计算机应用领域的重要研究方向，一直都有不少研究者致力于计算机图像处理的各種技术研究。在各种三维虚拟场景中，由于建模技术算法的复杂度和效率问题，不少学者开始研究能够用另外的方法来代替建模技术中复杂的部分，从而出现 IBR 技术。IBR 技术，最先应用在地形探测的远程图像处理中，延续到现在，IBR 技术被扩展应用到越来越多的领域，空间漫游、三维建模等领域都用到了 IBR 技术。IBR 技术根据其是否依赖几何场景分为两种方法^[43]。一种方法是根据已有的几何信息建立一个粗略的三维场景模型，然后再对其进行图像绘制，另一种方法则是不基于任何的几何信息，只基于大量的图像数据。

目前，IBR 技术主要应用在虚拟实景空间建立、虚拟实景空间漫游和虚拟对象展示。由于 IBR 技术不用考虑其几何模型，主要依赖于图像的像素，且其像素直接决定算法的绘制效率吗，所以 IBR 技术主要对于对复杂场景的绘制。同样在某些三维虚拟实景空间中，可以对规则的几何模型进行三维建模，对于复杂的背景图像使用 IBR 技术对其进行绘制，很大程度上提高了三维虚拟场景的真实度和实时性。

下面主要介绍了几种目前常用的 IBR 技术。

5.1.1 全景图技术

能放映全局场景的图像被称为全景图像^[44]。全景图技术主要是基于一个中心视觉

点, 根据中心视觉点为基准, 旋转一定角度对于整个场景进行观察, 然后将不同角度所看到的图像有规律的映射到一个规则的几何体上。这种全景图技术源于早期的环境映照技术。



图 5.1 拍摄场景

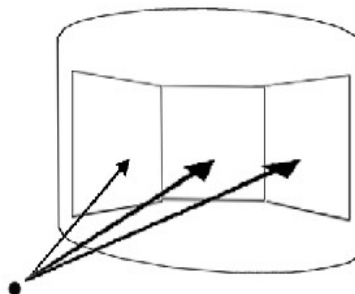


图 5.2 柱面全景图映射

在算法中, 首先确定一个固定的中心点作为轴心, 然后围绕这一点, 旋转拍摄场景。如图 5.1 所示, 得到一系列的图像, 每张图像中必定具有部分重叠区域, 将这个图像序列根据其相同区域进行检测和重合操作, 将实验图片拼接为一幅视觉更加广阔的景图, 然后将其拼接的结果图映射到规则的几何体表面。如上图 5.2 所示, 将场景图映射到规则的圆柱体表面。实验图片都是通过同一视觉点进行拍摄, 两幅图片的重叠部分可以通过一个 3×3 的矩阵进行表示, 并通过对特征点的检测对其进行拼接, 然后投影到规则的几何体表面, 构成一幅全景图像^[45]。常用的形体一般有立方体, 球, 圆柱等。

但是, 全景图技术也存在着一一定的问题。对于试验图片的拍摄只能适用于以一视点为轴心进行的旋转拍摄, 但是当视点进行移动时, 则图片难以被处理。

5.1.2 视图插值法

对于某一物体进行观察时, 对视觉角度进行顺序移动, 这时所观察到的物体在大部分上还是相同的, 只是在位置, 形状, 比例等略有不同。这样, 就可以通过初始图像和最终图像的值, 产生插值来生成中间的视点的新图像。视图插值法^[46]根据从给定互相之间密集光溜的两幅输入图像来重建任意视点的图像。视图插值法能够基于物体模型给初始图像和最终图像建立一个平滑过度, 从而展现出各个视觉上物体的变化。

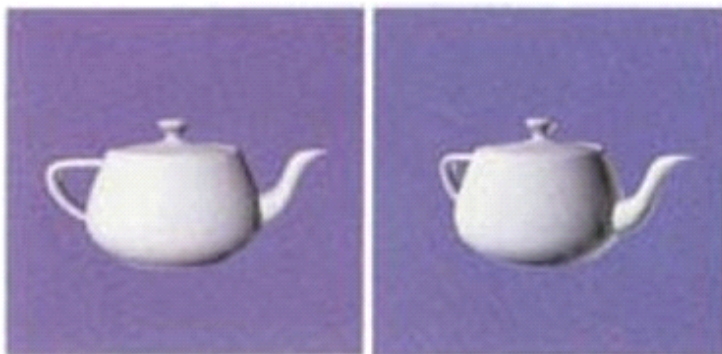


图 5.3 原始图像

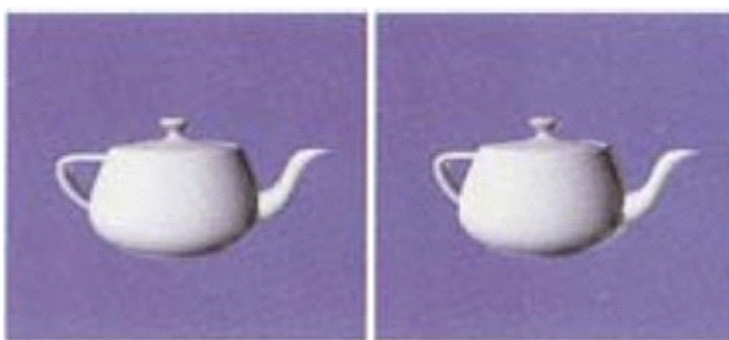


图 5.4 视图插值结果图

上图中^[47]，图 5.3 是通过相机拍摄的同一对象不同角度的两幅图像。对于相互之间已经建立了对应关系的两幅图像，存在一种光流的关系，当对于目标物体的视觉点进行移动时，相对应的起始的像素点与结束的像素点之间存在移动关系^[48]。视图差值技术就是基于这种对应点之间的移动关系采用线性差值技术来模拟这种移动。图 5.4 则是根据原始图像图 5.3，基于视角的不同通过视图插值算法所输出结果。由于单独的像素点进行移动增加了算法的繁琐程度，而且考虑到实际过程中，部分相邻的像素点都会一起移动，所以可以将一定区域的相邻像素点以块的形式进行一起移动，一定程度上提高图像绘制速度。

视图插值技术也存在一定的问题，首先在真实场景中，由于视觉的偏差，物体之间的对应关系一般难以寻找，所以视图插值技术大多用于合成场景。再次，当视平面出现偏差时，视图插值的结果则会有所偏差。

5.1.3 全光模型

对于全光模型的建模系统，主要是需要在离散视点处计算出原始图像到几何体映射的投影变换矩阵。首先，需要选定离散视点，并且采集该视点所能观察到的图像，将图像与圆柱形几何模型进行映射，通过迭代技术计算出其投影变换矩阵，将其图像映射成

为柱面；随后根据柱面图像上的对应点，计算出该圆柱的极线约束并将其投影到任意的圆柱或者平面图像中去^[48]。全光建模系统忽略了时间和波长参数，原始的七维全光线函数退化为五维。全光建模系统是采用柱面的全景图，如图 5.5 所示，其关键问题是如何从离散的采样恢复连接的五维全光线函数。

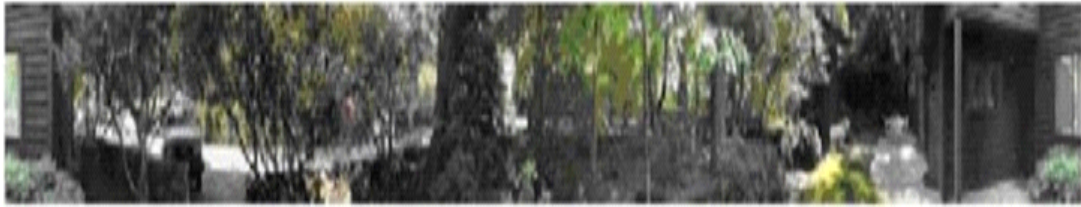


图 5.5 全景拼图

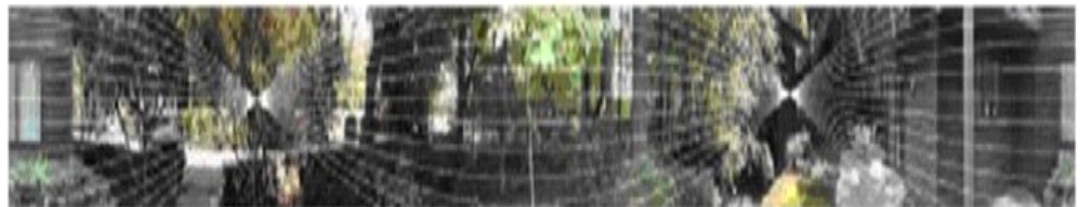


图 5.6 极线约束全景拼图

图 5.6 中则加入了极线约束的全景图^[48]。利用到光线函数的 IBR 系统并不仅仅只有全光建模一种，但是对全光建模系统的构建，对于光线函数的理论和实践上都做出了巨大的成就，可以说其是一个真正意义上基于全光函数的 IBR 系统。相对于其他的 IBR 技术来说，它能够让用户在三维空间中自由的漫游，对于场景的观察角度也没有限制，而且其运算效率和仿真效果也非常好。但全光建模系统基于 5 维全光线函数，数据量非常庞大，特别是一些复杂场景等。非常稠密的采样，导致数据海量，导致全光建模一直停留在实验室阶段。

5.1.4 光流场技术

光流场技术是在全景函数重建基础上发展起来的一种新的 IBR 技术。在光流场技术中，它将输入的二维图片以一个四维函数进行存储，每次对其进行浏览时，基于其光线条件对二维图片重新进行一个切片采样^[49]。这个函数实现了固定光照下的无遮挡的某个场景，但是其采用的光线可能与输入的图像光线不符，其现实结果可能会与现实有所差异。

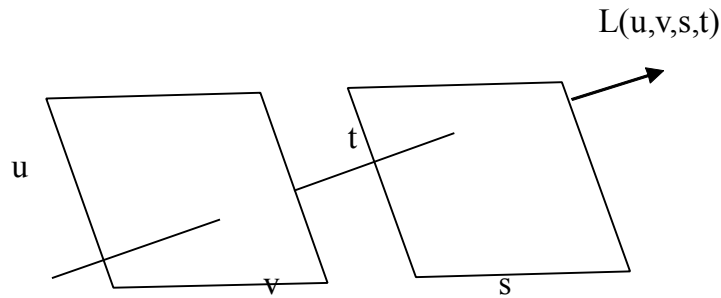


图 5.7 光场工作视图

光场技术中，如何确定光线是该技术的重点。研究者将光场中的光线通过光线所在直线与两个平面相交点在各自面上的坐标来表示的。如图 5.7 中光场中的光线由光线与两个平面相交，这时，将光线与第一个平面的交点坐标设为 (u, v) ，光线与第二个平面的交点坐标用 (t, s) 来表示。这样可以方便的计算到各幅图像上个像素 u, v, s, t 的坐标，并且通过这些值计算得到新视图中基于光线的各像素的颜色值。

光场技术需要大量的图像素材，在真实生活中很难得到如此巨大的图像素材。即使是对于较小的对象也需要较大的数据存储容量，而且在所存放的大量数据中，存在着大量的冗余信息，还需要对其进行数据压缩。所以如何解决光场的数据和计算的效率一直是目前研究的重点。

5.1.5 混合图像绘制技术

每一种 IBR 技术都会有其一定的应用领域的限制，现实生活中的应用领域的扩展，导致 IBR 技术的迅速发展。为了扩大 IBR 技术的应用范围，不少研究学者提出了混合式 IBR 技术。混合式 IBR 技术，同时采用几何和图像作为基本元素，对模型进行绘制。该技术对于所需绘制的场景设定一个固定的阈值，当场景的阈值大于给定的阈值时，则将场景直接进行简单的几何表面的纹理映射；当场景阈值小于给定阈值时，则基于 IBR 技术对场景进行绘制。因为这种技术可以对景物进行判断，然后选择相对较好的渲染技术，所以所生成的图像质量非常高^[50]。

混合式 IBR 技术最主要的应用是采用环境映射来表示远距离景物，而采用传统的几何绘制模式表示近距离景物。但由于对视点的不同把握，对整个场景均取同一的映射，使得所生成的图像存在着较大的误差。

5.2 基于图像的绘制技术在三维模型中的应用

传统的基于几何模型的图像绘制技术,需要对已经完成建模的物体进行各种表面纹理,色彩,阴影和光亮等进行进一步的计算,非常复杂。但是,现实生活中需要对各种形状不规则的对象进行建模,那么基于几何的建模技术则很难对这些对象进行处理,而且在处理的同时,对于硬件的计算能力要求非常高。所以其建模的真实性和实时性很难得到保证。

基于此,不少研究者开始对建模后的三维虚拟空间的仿真进行进一步的研究,并且提出了一种全新的基于图像的绘制技术,即 IBR 技术。IBR 技术是基于采样的图像在三维虚拟空间进行显示,从而生成新视景图像。IBR 技术主要包括以下几个步骤:首先在源场景中进行原始图片的采样,采样的图片为不同视角,不同方向的一系列图片;然后对于图片进行组织和变换,根据图像的采集方法构造出比较完整的视图;最后,将原始图片与虚拟场景一一映射,不同的视角与对应的图片进行对应,这样在虚拟场景中就可以看到不同视角的真实场景。同样 IBR 技术可以应用到现实场景,也可以应用到计算机合成场景中。基于图像的绘制技术可以绘制出复杂场景中的高质量图片,且具有较高的绘制效率。

在三维仿真的应用领域,最关键的则是对最终的模型进行一个仿真的处理,即对表面颜色、纹理,光亮等进行一个逼真的处理。传统的图形绘制方法有如下缺点:首先,建模非常难。传统的几何模型仅仅只是对规则的几何物体生成相对比较容易,而面对复杂的几何模型则需要付出巨大的工作量;其次绘制的过程也非常慢。而且为了能够保证图片的逼真程度和显示图像的实时性,该技术对于硬件的要求非常高,难以在普通平台上对其进行运行;第三则是缺乏图像的真实感^[51],在小目标上,能够对其表面进行一定的仿真处理,但是结果并不十分如意,而且在复杂的场景中,表面的图像绘制更会有一定程度上的失真。基于此,现在的三维仿真中越来越多的应用到了基于图像的绘制技术。

Chun-Fa Chang 介绍了一种基于 IBR 技术的移动设备上的 3D 图像显示技术^[52]。由于移动设备中对于硬件的限制,所以三维图像的显示技术也被限制发挥。特别是传统的建模技术,繁琐的建模算法让移动设备难以招架,所以作者提出一种 IBR 技术,专用于移动设备上。基于 IBR 技术的方法非常适合移动设备,因为其对于各种三维模型的渲染主要依赖于图像和屏幕显示像素,而不依赖输入模式的复杂性。在视频技术中,利用 IBR 技术将现有的 2D 视频材料转换为三维显示输出。Sebastian Knorr 提出了一个基于单筒视频序列,现实立体视图展示的新方法^[53]。同样,IBR 技术在空间漫游系统也使用的非常普遍。该技术能够简化三维场景的建立,提高三维场景的绘制效率并且提高三维场景的真实度,让其能够在一般的技术平台上进行展示。钱芬^[54]其论文中,基于 IBR 技

术实现了一个数字化校园系统。除此之外,还有 IBR 技术在天空^[55]地理显示,三维游戏场景展示等方面的应用。目前 IBR 技术已成为当前计算机图形学研究中的一个热点,尤其是在三维虚拟建模的上有着很好的应用前景。

5.3 基于图像绘制的三维服装生成

现实生活中,所有的物体表面都有丰富的纹理细节,通过这些细节,能够让人们捕捉到各种物体的特性。正是这种丰富的纹理让人们能够正确的认识物体并且能够对其进行区分。所以,在虚拟现实,对于物体表面丰富的纹理进行模拟也是非常重要的因素之一。将物体表面的纹理信息进行模拟,称为纹理映射技术。利用纹理映射技术可以形象的对物体表面的各种细节信息进行模拟,加强模型的真实度。

在虚拟三维建模表面进行纹理映射能够有效的提高虚拟三维建模的真实度。通常的纹理分为两种:一种是颜色纹理,将模型的表面进行简单的花纹或者图案的映射,对其表面颜色、花纹和质感进行进一步的显示;另一种是几何纹理,它将物体表面的各种光反射进行实现,将其表面的各种光线通过函数进行表达,然后与三维模型进行映射,使得三维模型显示出凹凸不平的表面纹理^[56]。颜色纹理可以通过所采集到的原始图片直接对三维模型进行映射,几何纹理则可以通过纹理函数直接在三维模型上进行显示,其处理过程为凸包纹理映射^[57]。对于三维服装建模来说,两种纹理映射都应用的比较多,但是实际应用过程中,颜色纹理占主导地位。

所谓纹理映射就是将二维空间中的纹理图案与二维空间或者三维空间中的物体的表面通过坐标进行关系映射,然后将二维空间中的纹理图案绘制到二维或三维的物体上。

纹理映射主要是通过二维纹理图像与三维物体之间的坐标映射将纹理图像绘制到三维物体上。那么,在纹理映射的过程中,最重要的步骤则是查找纹理图像与三维物体之间的对应关系,特别是部分不规则的三维物体,则需要精确的计算贴图的方式。假设纹理图像的空间坐标为 (u, v) ,三维物体空间坐标为 (x, y, z) ,通过数学方法对其之间的对应关系进行查找: $(u, v) = F(x, y, z)$ 。图案在纹理空间 (u, v) 的正交坐标系中,映射模型在 (s, t) 的坐标系中,对于二维纹理图像与三维物体之间的坐标系的映射关系为: $s = f(u, v), t = g(u, v)$ 。

在纹理映射的过程,一般采用屏幕扫描方法。也就是按照屏幕扫面线的顺序对于纹理图像进行访问。纹理映射大概分为以下两个步骤:(1)对纹理图案与三维模型之间进行对应关系的查找;(2)根据纹理图案与三维模型之间的对应关系,将纹理图案与三维模型之间的对应点用坐标表示,让三维模型通过纹理图案的坐标转换来获得表面的纹理信

息。纹理映射的流程图如下图所示：



图 5.8 纹理映射流程图

根据上图 5.8 的流程图, 首先将纹理图的像素点通过投影逆变换成服装表面上的点, 参数化成世界坐标 (x, y, z) , 在将该图像的明暗值通过映射函数得出的纹理元素的光亮度值来表示。如果纹理点 $P(u, v)$ 对应于三维模型左标点 $Q(x, y, z)$, 则纹理图像 P 点的灰度或颜色值 $f(u, v)$ 等于三维模型 Q 点处的颜色值 $I(x, y, z)$ 。

在 OpenGL 里, 实现纹理映射, 需要执行如下步骤^[58]:

(1) 选择纹理对象和纹理图像

首先选择需要进行纹理映射的三维服装模型, 然后对纹理图像进行选择 and 确认。本文中所使用的为二维纹理图像。

(2) 纹理应用于每个像素

一般有两种方法将纹理图像的纹理和色彩在三维模型上进行存储和展示。一种是直接将纹理颜色和花纹作为最终的现实效果, 对三维模型进行贴图, 则现实出来的最终效果为只显示出纹理图像; 另一种方法则是通过纹理图片来调整三维模型上的颜色值, 这样可以合并光照效果和纹理图片, 提高仿真度。

(3) 纹理映射

在 OPEN GL 中提供了相应的函数用于启用纹理映射。glEnable() 用于启用纹理映射, glDisable() 用于禁用纹理映射。调用纹理映射的函数时, 可使用一些常用的符号常量作为参数: 常量 GL_TEXTURE_ID 用于对应一维纹理映射模式, 常量 GL_TEXTURE_2D 用于对应二维纹理映射模式, 用常量 GL_TEXTURE_3D 对应三维纹理映射模式以及 GL_TEXTURE_MAP 用于立方图纹理映射模式。在纹理映射的过程中, 选择所需的映射模式。

(4) 使用纹理坐标和几何坐标绘制场景

纹理映射是通过二维的纹理图像与三维模型之间的映射关系来进行纹理的绘制。在三维模型绘制纹理时, 必须对其坐标进行指定。在三维服装建模中, 三维服装都是通过离散的质点来表示的, 所以只需要将纹理坐标与这些质点进行一一的对应。下图 5.9 中表示了纹理图像与三维服装质点之间的映射关系^[59]:

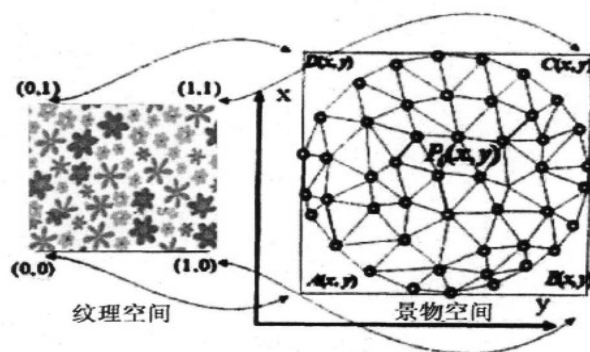


图 5.9 纹理映射关系

在最后一步，图像绘制的服装仿真过程中，我们基于以上算法对网格三维服装模型进行纹理贴图。如图 5.10，为基于服装缝合后三维服装模型的贴图结果图。



图 5.10 三维服装生成

5.4 本章小结

本章首先对图像绘制技术进行了详细的概述，现在图像绘制技术应用的非常广泛。相对于传统的建模绘制技术来说，图像绘制技术能提高其运算效率并且加强仿真度，基于此，论文中选取了基于图像绘制的服装仿真技术。提高了服装纹理的仿真程度并且一定范围上提高了其运算速率。

6 结论和展望

6.1 本文的工作总结

随着现代数字化服装技术的发展,服装的生产定制开始规模化,那么如何针对各种不同的客户要求而提供更好的个性化服务成为首要任务。提供一个基于网络的大规模的三维服装试衣系统、服装定制系统,不仅可以方便客户进行快速、便捷的购物,直接为客户进行个性化制衣,同时也提高了企业的工作、运转效率、工作时间,降低企业的生产成本。

服装建模主要应用于各种游戏场景的设置和三维服装试衣系统的仿真建模。通过对三维服装的虚拟仿真,用户可以对自己的需求进行掌握并且能够直接将用户的需求反馈给生产商。那么对于服装建模来说,首先必须保证服装建模的真实度,必须保证与真实服装最小的差别,能够适度的表现出各种服装的面料和其物理属性;其次,服装的种类要多样化,能够展览给用户的种类越多越好,让用户能够在服装模型上对各种布料和款式的衣服有明确的了解。

本论文提出的基于图像绘制的服装建模技术,能在一定程度上,能够根据现实服装的模型,通过三维技术展示出非常逼真的服装的现实效果。并且通过基于图像绘制的技术进行纹理映射,能够清晰和明确的显示出服装的花纹及布料的质感,很大程度上完善服装的三维建模。

文中首先对服装的建模技术进行简要的介绍和讨论,并且进一步的介绍了论文中所选取的建模技术。论文中采用了基于离散模型的服装建模技术,通过质点上力的表达,来形象的表达出软性织物的物理属性。

其次,论文主要介绍了服装衣片的网格化技术,网格化技术的要点在于真实、精确的描述出服装的轮廓,能够在坐标系中将服装的轮廓通过数字化来表达。那么对于服装边缘的曲线如何尽量的缩小误差,则是论文中介绍的重点。

第三,主要介绍了衣片的缝合技术。在服装建模的过程中,首先是对二维衣片进行建模,然后通过两片衣片的缝合,实现服装 360 度的展示。对于衣片的缝合最主要的是判断缝合的部位以及缝合边界线上力的选取,选取缝合的边界线后,施加缝合力,让需要缝合的边缘无限制的靠拢,产生缝合的效果。

最后则是对基于图像绘制的纹理映射技术的分析和介绍。基于图像的绘制技术,可以直接将采集到的服装材质或者花纹的图片直接对服装模型进行贴图处理,这样可以获

得较为清晰的服装花纹和逼真的服装材质的效果。

6.2 未来的研究工作

目前,对服装建模的应用的要求越来越高,在很多地方都存在需要改进和进一步的研究。经过一定的分析,主要存在以下几个问题:

(1)在建模技术的选取方面,基于离散模型的服装建模,在一定程度上能较好的表现出服装的物理属性,但是其运算量比较大,并且对于每一个质点的力的分析非常高。在服装的某些特定部位,可能所需要的力和运动的轨迹与常量不一样,这样就需要进一步的具体分析。

(2)在衣片的网格化技术中,由于质点的选取主要取决于正则栅格的交点,那么对于服装边缘不在其交点上的部分的取值则会有一定的偏差,转化为质点在通过三角形连接后,在一定程度上会导致服装边缘的部分失真,例如凸起,断点,不够圆滑等问题。

(3)在基于图像绘制的纹理映射技术中,需要被映射的问题和花纹的图片会固定成一定的大小对服装模型进行映射,那么对于服装运动中的褶皱或者阴影则较难表达。

服装建模应用领域非常宽广,而且技术也日趋成熟,以上的几个问题也是服装建模技术中所存在的问题。在以后的工作中,将以上问题进行改进,服装建模技术也会有一定提高。

致 谢

本研究及学位论文是在我的导师胡新荣副教授的亲切关怀和悉心指导下完成的。她严肃的科学态度，严谨的治学精神，精益求精的工作作风，深深地感染和激励着我。从课题的选择到项目的最终完成，胡老师都始终给予我细心的指导和不懈的支持。三年来，胡教授不仅在学业上给我以精心指导，同时还在生活上给我以无微不至的关怀，在此谨向胡老师致以诚挚的谢意和崇高的敬意。

在此，我还要感谢在一起愉快的度过研究生生活的东配楼五楼实验室的各位同门，正是由于你们的帮助和支持，我才能克服一个一个的困难和疑惑，直至本文的顺利完成。特别感谢我的同学尧燕玲同学、谢屈波同学和王六森同学，他(她)们对本课题做了不少工作，给予我不少的帮助，也希望他(她)们百尺竿头更进一步取得好的成绩。

在论文即将完成之际，我的心情无法平静，从开始进入课题到论文的顺利完成，有多少可敬的师长、同学、朋友给了我无言的帮助，在这里请接受我诚挚的谢意!最后我还要感谢培养我长大含辛茹苦的父母，谢谢你们!

最后，衷心的感谢在百忙之中参与论文评阅和论文答辩的各位专家、教授!

参考文献

- [1] 张娟.三维服装人台建模的研究与系统实[D].湖北工业学院,2008
- [2] 徐美玲.CAD 在服装业中的应用和发展[J].纺织导报,2002,(2):24-26
- [3] 张旻.三维人体扫描系统在服装个性化定制领域的应用[J].武汉科技学院学报,2007,20(2):49-51
- [4] 赵括平,张渭源,张鸿志.服装 CAD 技术发展与展望[J].天津纺织工学院学报,2000,19(5):70-73
- [5] 谭煌.网络虚拟服装试衣系统分析和设计[D].山东大学,2009
- [6] 朱广舟,李晓久.三维服装 CAD 技术研究现状[J].针织工业,2005,4(4):55-57
- [7] Kwang-Jin Choi,Hyeong-Seok Ko. Research Problem in Clothing Simulation[J]. Computer-Aided Design, vol.37, pp.585-592,2005.
- [8] 汪剑春.基于物理模型的柔性织物仿真关键技术的研究[D].武汉纺织大学,2010
- [9] 胡新荣,赵龙.矢量化网格剖分算法在服装衣片图像中的应用[J].武汉理工大学学报, 2008.4: vol. 30, 240-243
- [10] 聂卉,罗笑南.三维虚拟服装缝合技术研究[J].计算机辅助设计与图形学学报,2002,14(11): 1010-1013
- [11] J.Weil. The Synthesis of Cloth Objects[J].Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH) , pp.49-54, 1986
- [12] Y.Nagao T.Agui, M.Nakajma. An Expression Method of Cylindrical Cloth Object-an Expression of Folds of a Sleeve Using Computer Graphic[J]. Trans. Soc. of Electronics, Information and Communications, vol.J73-D,pp.24,1990.
- [13] Sabine Coquillart. Extended Free-Form Deformation: A Sculpturing Tool for 3d Geometric Modeling[J]. Computer Graphic, vol.24, 1990
- [14] Masaki Aono, David E.Breen, and Micheal J, Wozny. Modeling Methods for the Design of 3d Broadcloth Composite Parts[J]. Computer-Aided Design, vol.33, pp.989-1007, 2001
- [15] K.Hinds and J.Mccartney. Interactive Garment Design[J]. The Visual Computer Graphic, vol.6, pp:53-61,1990
- [16] Terzopoulos and Kurt Fleischer. Modeling Inelastic Deformation: Viscoelasticity, Plasticity, Fracture[J]. Computer Graphic, vol.22 ,pp.269-278, 1988
- [17] J.R.Collier. Drape Prediction by Means of Finite-Element Analysis[J]. J. of the textile Institute, vol.82, pp. 96-107, 1991
- [18] J.W.Eischen. Finite Element Modeling of Cloth-Implementation[J].Computer Graphic,1990
- [19] Olaf EtzmuB, Michael Keckeisen, Stefan Kimmerle, etc. A Cloth Modelling System for

- Animated Character[J]. presented at Proceedings Graphiktag, 2001
- [20] Olaf EtzmuB, Michael Keckeisen. A Fast Finite Element Solution for Cloth Modeling[J]. presented at 11th Pacific Conference on Computer Graphics and Application(PG'03), October 08-10, Canmore, Canada, 2003
- [21] David E.Breen, D.H.House, and M.J.Wozny. Predicting the Drape of Woven Cloth Using Interacting Particles[J]. Computer Graphic (Proc.SIGGRAPH), PP.365-372,1994
- [22] H.N.Ng, R.L.Geimsdale, and W.G.Allen. A System for Modeling and Visualization of Cloth Material[J]. Computers & Graphic, vol.19, pp. 423-430, 1995
- [23] A. Weber B. Eberhardt and W.Strasser. A Fast, Flexible Particle-System Model for Cloth Draping[J]. IEEE Computer Graphic and Applications, vol.16, pp.52-59, 1996
- [24] Xavier Provot. Collision and Self-Collision Handling in Cloth Model Dedicated to Design Garments[J]. presented at Graphics Interface'97, 1997
- [25] 彭召意,周玉,吴志辉.彩色人体图像的二维化方法[J]. 计算机工程与设计, vol.31(6), pp1366-1368,2010
- [26] Okabe H, Imaoka H. Three dimensional apparel CAD system[J]. Computer Graphics, 1992, 26(2):105-110
- [27] Wu Zhuang, Yuan Ming-hui. Isometric transformation between 2d and 3d surfaces[J]. In: Proceedings of the International Conference'97 on MA. 1997, 66-71
- [28] Carignan M, Yang Y, Thalmann N M. Dressing animation synthetic actor with complex deformable clothes[J]. Computer Graphics, 1992,26(2):99-104
- [29] 唐明浩, 何洁, 朱英等. 基于立体裁剪知识的虚拟衣片缝合技术[J].纺织学报,2004,25 (2): 95-98
- [30] 刁伟忠, 常发亮, 孙晓燕. 基于 MFC 的 OPENGL 纹理贴图技术[J].山东建筑工程学院学报, 2005,20(2):70-74
- [31] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698
- [32] Lee K K, Cham W K, Chen Q R. Chin Contour Estimation Using Modified Canny Edge Detector[C]. Proceedings of the 7th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision(ICARCV)2002: 770-775
- [33] Ali M, Clausi D. Using the Canny Edge Detector for Feature Extraction and Enhancement of Remote Sensing Images[J]. International Geo-science and Remote Sensing SymPosium,20001,5:2298-2300
- [34] 聂卉,罗笑南. 三维虚拟服装缝合技术研究[J].计算机辅助设计与图形学学报, 2002,14(11):1010-1013
- [35] 马良,张渭源.服装衣片三角形网格自动剖分[J].东华大学学报: 自然科学版,2002,28 (4):48-51
- [36] 刘宁,高成英,罗笑南.柔性织物三维动态模拟中的网格剖分研究[J].中山大学学报: 自

然科学版,2002,41 (5): 105-108

- [37] Volno P, Magnenat TN. Developing simulation techniques for an interactive clothing system[C]. International Conference in Virtual Systems and Multimedia'97 Proceedings Geneva: Switzerland, 1997: 109-118
- [38] Hugues Hoppe, DeRose T, Duchamp T, et al. Surface reconstruction from unorganized points[A]. Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Chiago, 1992:71-78
- [39] 李光明,田捷,何晖光等.基于距离均衡化的网格平滑算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2002,14(9):820-823
- [40] 刘卉,陈纯,施伯乐.基于改进的弹簧-质点模型的三维服装模拟[J].软件学报,2003,14(3):619-627
- [41] 陈青青.三维虚拟服装缝合技术及布料仿真的研究与实现[J].厦门大学,2009
- [42] Oliveira,M,M, Bishop, G, McAllister, D. Relief texture mapping[J]. In: Akeley,K., ed. Proceedings of the SIGGRAPH 2000. ACM Press,2000:359-368
- [43] Hynek BAKSTEIN and Tomas PAJDLA. Omnidirectional Image-based Rendering'[J]. Computer Vision Winter Workshop, 6-8, February, 2006
- [44] Green N. Environment Mapping and Other Application of World Projections [M]. Computer Graphics and Application, 1986
- [45] 郑新. 基于图像的快速绘制技术的研究[D]. 北京: 中国科学软件研究所, 2001
- [46] Chen S, William S L. View Interpolation for Image Synthesis Computer Graphics. (SIGGRAPH'93)[C], 1993
- [47] Chen S.E. and Williams.L. View interpolation for image synthesis [J]. Computer Graphics(SIGGRAPH'93), August 1993, 279-188
- [48] 钟云德. IBR 中的插值与对应点问题研究[M]. 北京: 中国科学院自动化研究所, 2002
- [49] 吴跃冰. 基于图形和图像的虚拟场景绘制技术研究[M]. 大连: 大连理工大学, 2005
- [50] 阮宗才. 基于图像的快速绘制技术研究[M]. 安徽: 安徽大学, 2002
- [51] 石炎生, 吴华意. 基于图像绘制技术及其应用前景 [J]. 湖南理工学院学报 (自然科学版), 2004 (17): 31-34
- [52] Chun-Fa CHANG and Shyh-haur GER. Enhancing 3D Graphics on Mobile Devices by Image-based Rendering: LNCS[C].1105-1111, 2002
- [53] Sebastian KNORR, Thomas SIKORA. An Image-based Rendering Approach For Realistic Stereo View Synthesis Of TV Broadcast Based On Structure From Motion: IEEE International Conference on Image Processing [C]. 2007
- [54] 钱芬. 虚拟现实技术在数字化校园中的应用研究[M]. 成都: 电子科技大学, 2008
- [55] Mehlika Inanici. Applications Of Image Based Rendering In Lighting Simulation: Development And Evaluation Of Image Based Sky Models[J]. Building Simulation,27-30,

July, 2009

[56] 盛家川.三维服装信息获取及虚拟服装试穿技术的研究[M].天津:天津财经大学, 2008

[57] 李于剑.Visual C++实践于提高-图形图像编程篇[M].北京:中国铁道学院, 2001

[58] 蔡永峰.人体三维服装模拟系统—布料动态仿真[J].厦门大学, 2005

[59] 向静.织物悬垂模拟与服装虚拟缝合技术[D].东华大学, 2002

[60] 韦群, 张永明.基于图像的图形绘制技术的应用[J].装备指挥技术学院

[61] L.Gan. A Finite Element Analysis of the Draping of Cloth[J]. Presented at The 6th International Conference in Australia on Finite Element Methods, 1991.

[62] Xavier Provot. Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior[J]. presented at Graphics Interface'95, 1995

附 录

附录 I 本人在攻读学位期间所发表的论文及获奖

一、已发表的论文及获奖情况。

- [1] Yi Zhuang, Xinrong Hu, Jianchun Wang, The Implement of an Image Stitching Algorithm Based on Feature Extraction[A]. 2009 Second International Conference on Education Technology and Training, Sanya,China ,2009, pp:327-330. ISBN: 978-0-7695-3936-2
- [2] Yi Zhuang, Xinrong Hu, Ping Guan, Survey on IBR Technology and Application[A]. 2010 ETP/IITA Conference on System Science and Simulation in Engineering, Hong Kong,China ,2010, pp:256-259. ISBN: 978-988-18242-4-0
- [3] 庄怡, 汪剑春, 胡新荣. IBR 技术与应用综述[J]. 武汉科技学院学报, 2010.3, 49-52. ISSN: 1009-5160

二、攻读硕士期间曾作为主要成员参与的与本人毕业论文密切相关的导师主持的课题

- [1] “纺织面料及服装数字化设计与制造成套技术研究”，湖北省教育厅产学研重大项目（C2010036）
- [2] “虚拟面料建模与仿真技术的研究”，教育部重点实验室项目（GTKL2009014）
- [3] “面向三维虚拟服装试穿的个性化拟实数字人建模技术研究”，中国纺织工业协会（2007083）