

朱广舟 著

数字化服装设计:

三维人体建模与虚拟缝合试衣技术

DIGITAL FASHION DESIGN:

HUMAN BODY MODELING AND VIRTUAL STITCHING AND TRY-ON

 中国纺织出版社

数字化服装设计：
三维人体建模与虚拟缝合试衣技术
DIGITAL FASHION DESIGN：
HUMAN BODY MODELING AND VIRTUAL
STITCHING AND TRY-ON

朱广舟 著

 中国纺织出版社

内 容 提 要

本书基于三维人体扫描技术,利用三维人体扫描设备获取人体点云数据,针对人体建模和虚拟缝合与试衣涉及的关键技术提出了有效的技术路线和实施方案,比较系统地解决了数字化服装设计过程中人体扫描点云数据处理、人体建模、2-D裁片虚拟模拟以及三维服装虚拟缝合与试衣等关键技术问题。

本书可作为相关专业研究生、本科生的教学参考书,也可作为企事业单位相关技术人员的参考工具书。

图书在版编目(CIP)数据

数字化服装设计:三维人体建模与虚拟缝合试衣技术/朱广舟著. --北京:中国纺织出版社,2014.8
ISBN 978-7-5180-0720-2

I.①数… II.①朱… III.①数字技术—应用—服装设计 IV.①TS941.26

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 129550 号

策划编辑:华长印 责任编辑:华长印 责任校对:楼旭红
责任设计:何建 责任印制:储志伟

中国纺织出版社出版发行
地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124
销售电话:010-87155894 传真:010-87155801
<http://www.c-textilep.com>
E-mail:faxing@c-textilep.com
官方微博 <http://weibo.com/2119887771>
三河市宏盛印务有限公司印刷 各地新华书店经销
2014 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
开本:710×1000 1/16 印张:7.75
字数:165 千字 定价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前言

数字化服装技术是指在服装设计、生产、营销和管理等环节引入信息化技术,对服装设计、生产和营销等过程中涉及的人、财、物等进行资源优化配置,对提高服装企业的产品开发能力、缩短产品设计制造周期、提高产品质量、降低运营成本、增强企业市场竞争能力与创新能力发挥着重要作用。

数字化服装设计过程中涉及多学科的交叉和多技术的融合,在目前国内已出版的书籍中,对三维人体建模和虚拟缝合与试衣技术的探讨较少。本书作者在充分考虑国内外服装行业的发展现状与技术需求的基础上,结合自身的专业技术优势,对人体点云数据处理、三维人体建模以及2-D裁片三维虚拟缝合与试衣等技术进行了深入研究。全文共分为六章。

第一章,概括性地介绍了数字化服装设计的发展现状及趋势,重点分析了三维人体建模和三维虚拟缝合与试衣技术的应用现状及存在的问题。

第二章,针对人体扫描线点云数据特征,提出针对性的点云数据处理方法,实现对人体扫描线点云数据的有效处理。

第三章,在人体点云数据处理基础上实现人体表面三维重建和人体关键尺寸的测量。

第四章,构建2-D裁片质点—弹簧模型,通过模型受力分析、模型数值求解实现2-D裁片虚拟模拟。

第五章,通过缝合边信息设置、缝合边调整方案设计、碰撞检测等实现2-D裁片的三维虚拟缝合,并通过纹理映射技术实现三维虚拟试衣效果。

最后,对全书进行总结,并指出进一步研究的内容与思路。

本书的主要内容涉及人体扫描点云的数据处理、三维人体建模、2-D裁片模拟以及虚拟缝合与试衣等,比较系统地解决了数字化服装设计过程中人体扫描点云数据处理、人体建模、2-D裁片虚拟模拟以及三维服装虚拟缝合与试衣等关键技术问题。

本书的出版得到了中国纺织出版社华长印编辑、裘康主任和向映宏编辑的大力支持,在此深表感谢。

限于作者水平及能力,书中错漏和不妥之处在所难免,恳请广大读者给予指正。

朱广舟

2014年5月

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 数字化服装技术	2
1.1.1 数字化服装设计	2
1.1.2 数字化服装生产加工	3
1.1.3 数字化服装生产管理	3
1.2 三维人体扫描技术	4
1.3 人体扫描点云数据处理技术	6
1.3.1 扫描点云类型	6
1.3.2 人体扫描点云数据处理技术	7
1.4 三维人体建模技术	9
1.4.1 基于建模软件的人体建模	9
1.4.2 基于三维扫描技术的人体建模	10
1.4.3 基于人体照片信息的三维人体建模	12
1.5 三维虚拟试衣技术	12
1.5.1 服装虚拟模拟技术	13
1.5.2 三维虚拟试衣技术	14
1.6 三维服装虚拟缝合技术	18
1.7 存在的主要问题	19
第二章 人体扫描点云数据处理技术	21
2.1 扫描点云数据的获取	21
2.1.1 扫描设备	21
2.1.2 人体扫描实验	24
2.1.3 扫描点云特征分析	25
2.2 人体扫描点云降噪	25
2.3 人体扫描点云数据精简	27
2.3.1 点云数据精简的基本原则	27
2.3.2 常见扫描线点云数据精简方法	27

2.3.3	宽度检测法	29
2.4	人体扫描点云孔洞修补	30
2.4.1	扫描点云孔洞修补方法概述	30
2.4.2	基于空间灰色理论的人体扫描线点云孔洞修补	31
	本章小结	33
第三章	三维人体建模与关键尺寸测量	35
3.1	人体建模技术概述	35
3.1.1	人体几何建模技术	35
3.1.2	人体物理建模技术	36
3.2	人体区域分割	36
3.3	人体扫描点云的三角剖分	38
3.3.1	点云网格重建方法概述	38
3.3.2	人体扫描点云 Delaunay 三角剖分方法	40
3.3.3	简化的人体扫描点云三角剖分方法	42
3.3.4	人体三角网格细分方法	43
3.3.5	三角网格曲面建模算法	45
3.3.6	人体扫描线点云三角网格重建	46
3.4	三维人体模型的显示与数据格式	50
3.4.1	三维人体模型的显示	50
3.4.2	三维人体模型的存储格式	54
3.5	人体关键尺寸测量	55
	本章小结	57
第四章	服装 2-D 裁片虚拟模拟技术	59
4.1	虚拟服装造型方法	59
4.1.1	几何模型	59
4.1.2	物理模型	59
4.2	质点—弹簧(Mass-Spring)模型	61
4.2.1	模型简介	61
4.2.2	模型受力分析	62
4.2.3	模型数值求解	64

4.2.4	质点修正算法	66
4.2.5	改进的质点位置修正算法	67
4.3	2-D裁片网格剖分	68
4.3.1	2-D裁片读取	68
4.3.2	2-D裁片网格剖分方法	69
4.3.3	正则栅格法网格剖分	70
4.4	2-D裁片虚拟模拟流程	72
4.5	实验结果与分析	75
4.5.1	背心裁片网格剖分实验	75
4.5.2	背心裁片自然下落模拟实验	78
4.5.3	背心裁片肩线缝合模拟实验	79
	本章小结	80

第五章	三维服装虚拟缝合与试衣技术	83
5.1	2-D裁片虚拟缝合	83
5.1.1	2-D裁片载入	83
5.1.2	裁片位置初始化	84
5.1.3	裁片缝合信息设置	84
5.1.4	2-D裁片离散	85
5.1.5	缝合边调整方案	86
5.1.6	缝合力定义	88
5.1.7	模型变形处理	89
5.2	碰撞检测	89
5.2.1	AABB 层次包围盒	90
5.2.2	裁片—人体模型碰撞检测	92
5.2.3	裁片自碰撞检测	92
5.3	碰撞响应	93
5.4	2-D裁片三维虚拟缝合流程	95
5.5	服装纹理映射	99
5.5.1	纹理映射概述	99
5.5.2	纹理映射方法	100
5.5.3	纹理图案与服装曲面线性映射关系	100

5.6 实验结果与分析	102
5.6.1 连衣裙虚拟缝合与试衣实验	102
5.6.2 低腰分割裙虚拟缝合与试衣实验	104
5.6.3 实验结果分析	104
本章小结	107
参考文献	109
后 记	112

第一章 绪 论

Chapter 1 Introduction

随着社会经济的发展和人类文明的进步,服装经历了从最初的树叶遮体到个性时尚的巨大转变,其功能从单纯的驱寒保暖上升到体现时代精神、张扬个性的高度,服装的设计与生产方式也从手工作坊式逐步发展到工业化生产以及批量定制式,尤其是计算机网络技术和信息技术的普及和应用,给制造业带来了翻天覆地的变化,传统的服装产业向数字化方向迈进了一大步。

第一,服装设计与生产方式发生了巨大变化。服装 CAD/CAM、服装自动吊挂系统的普及与应用大大提高了服装设计与生产的效率、缩短了服装产品开发周期,使服装企业的快交货、短周期成为可能。

第二,服装流行传播方式和服装营销模式发生了根本性变化。伴随着计算机网络、移动互联等技术的进步和大规模应用,服装流行的传播方式已从单一的 T 台秀演变成如今的多种方式,人们可以随时随地通过移动终端获取时装流行资讯。同时,服装营销模式也发生了巨大变化,网络购物日益成为人们的购物习惯。

第三,服装企业的经营管理方式开始发生根本性变革。服装 ERP/PLM 等系统的应用、服装 IE 工程、服装单件流生产方式以及分层生产方式的推广,使服装企业实现精益生产管理成为可能。

第四,消费者的消费行为发生了很大的变化。消费者购买的可选择性增强,从原来的区域性选择转变为全球性选择,其需求也从过去的物美价廉、满足基本生活需要转变为对多样化、时尚化、个性化的追求。

第五,伴随三维服装 CAD 技术和虚拟试衣技术的进一步成熟,消费者希望不仅能看到服装在模特身上的标准样式,更希望能看到服装穿在自己身上的立体效果。通过三维人体扫描系统快速扫描并重建人体模型,通过互联网终端设备选择服装款式,从而直接在计算机(电子设备)上观察所选服装的款式、号型、色彩搭配、整体造型等。

1.1 数字化服装技术

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高，人们对服装高品质、时尚性和个性化的要求越来越高，服装行业开始向着“多品种、小批量、短周期、快交货”的方向发展。伴随着数字化技术和网络技术的不断发展，传统的服装行业开始步入全新的信息化时代。

数字化服装技术是指在服装设计、生产、营销、管理等各个环节引入信息化技术，利用计算机高速运算及存储能力和人的综合分析能力对服装设计、生产、销售等环节涉及的人、财、物等进行资源优化配置，对提高企业的产品开发能力、缩短设计制造周期、提高产品质量、降低运营成本、增强企业市场竞争能力与创新能力发挥着重要作用。数字化服装工业则是以信息技术和网络技术为基础，通过对服装设计、生产、营销等环节中各种信息进行收集、整理、共享和应用，最终实现服装企业资源的最优化配置。数字化服装技术主要包括以下几个方面的内容：①以服装产品开发为主的数字化服装设计技术；②以服装产品制造加工为主的数字化服装生产加工技术；③以服装企业生产运营管理为主的数字化服装生产管理技术。

1.1.1 数字化服装设计

数字化服装设计作为数字化服装工业的重要环节直接影响了整个服装行业的数字化发展进程。

最早实现服装数字化技术的是服装计算机辅助设计，发展至今已有 40 多年了。20 世纪六七十年代，美国采用计算机进行读版、放码、排料，这是一个以代替手工为主的服装 CAD 技术时期；20 世纪八九十年代，美国、法国、日本、西班牙等国相继开发出服装 CAD 系统，如美国格博（Gerber）、法国力克（Lectra）、加拿大派特（PAD）、日本杨格、德国艾斯特（Easter）、西班牙艾维（Investronie）等系统。

服装 CAM 技术也开始发展，国外服装企业有 70% 以上使用了服装 CAD 技术。2000 年以后，国内服装 CAD 技术开始快速发展，相继出现了不少优秀的服装 CAD 系统，如富怡、布易、航天、日升、至尊宝纺、博克等系统。目前，我国服装行业服装 CAD 应用普及率在 15% 左右，并且服装 CAD 系统正朝着智能

化、三维化和快速反应的方向发展,数字化服装设计技术的研究应用范围也在不断扩大。

1.1.2 数字化服装生产加工

目前,越来越多的品牌服装企业开始寻求快速、时尚的服装制造模式,其产品品种系列变得多而杂,产品开发周期为了满足“快速的市场反应”需要不断缩短,产品质量要求也在不断提高。因此,数字化服装生产已成为部分走在前沿的服装企业努力实现的目标。

数字化服装生产是一种基于信息技术、涉及服装制造全流程的全新模式。它以数字化信息为基础,以计算机技术和网络技术为依托,收集、整合、传输、应用服装设计、加工、销售等环节中的各种信息,提高生产效率,降低生产成本。

现在已有部分高校、科研机构及企业开展了相应的研究,以应对当下“多品种、小批量、高质量、快交货”的服装制造发展需要。服装CAM、服装自动吊挂系统、服装生产模板、全自动缝纫设备、自动裁床等先进的生产设备与科技产品的大规模应用,实现了服装数字化生产方式的有效转变,使得企业流水作业更加顺畅,同时做到服装生产周期的合理把控和生产进度的合理安排,全面提升服装企业竞争力。

1.1.3 数字化服装生产管理

数字化管理是指利用计算机、通信、网络等信息技术,通过统计技术量化管理对象与管理行为,实现计划、研发、销售、生产、财务、服务等方面的管理活动。

数字化服装生产管理则是利用信息化技术实现对服装设计、生产、销售、财务、服务等方面的全面管理,实现服装企业各部门、各环节的信息共享,实现服装企业资源的优化配置。

目前,随着服装精益生产管理思想的逐步深入,越来越多的服装企业开始真正意识到数字化生产管理的重要性。伴随各种管理信息系统,如ERP、PLM、无线射频技术(RFID)、服装生产高级计划和排程系统(APS)、柔性加工系统(FMS)等的逐步完善和成熟,服装工业工程(IE)、服装看板(KANBAN)现场管理等管理思想的逐步深入以及单件流、细包流、分层生产等生产方式和技术的进步,服装企业数字化生产管理开始步入快速发展轨道,服装行业也开始迎来真正的数字化时代。

1.2 三维人体扫描技术

三维服装 CAD 技术和虚拟服装设计及试衣技术是近年来服装行业新的研究热点，随着信息技术和计算机技术的快速发展和广泛应用，服装数字化技术也得到空前的发展，特别是基于人体扫描技术的三维人体重建和虚拟试衣技术领域。

通过三维人体扫描仪等信号采集设备，可以方便地获取人体表面信息，这些信息通过大量的点来表达，往往形成包含几百万个点的大型数据包，通常称为点云(Point Clouds)。通过对点云的处理，可以得到人体的表面表达，实现人体表面重建，进而进行三维服装设计和虚拟试衣。与服装 CAM 技术结合，能直接将设计用于生产加工，从而实现服装设计与生产的全面数字化。

美国、英国等发达国家在三维人体扫描技术领域研究起步比较早，在该领域处于领先水平。20 世纪 80 年代开始，我国的一些高等院校和研究机构相继步入该领域并进行了深入的研究。

三维人体扫描是现代人体测量技术的主要特征，它是以现代光学为基础，融光电子学、计算机图像学、信息处理、计算机视觉等技术于一体的高新技术。一个完整的三维人体扫描系统主要由光源、成像设备、数据存储及处理系统组成，其工作流程如图 1-1 所示。



图 1-1 三维人体扫描系统工作流程

首先，光源向人体表面投射光束，可以是白光、激光、红外线、结构光等，这些光投射到人体表面后将产生变形；其次，摄像装置同步拍摄投射到人体表面的光线图；再次，系统软件提取图像中包含的人体表面的数据信息；最后，通过系统软件构建人体模型、提取人体尺寸数据。

根据光源和系统处理方式的不同，常见的三维人体扫描方法主要有以下几种：

(1) 立体视觉法

该方法的基本原理是利用成像设备从不同的位置获取被测人体的多幅图像，提取图像中对应的目标点，利用三角测量原理，通过计算图像中对应点的位置偏差来获得点的三维坐标。

立体视觉法可以分为双目立体视觉法和多目立体视觉法,其中双目立体视觉法采用模拟人的双眼观测景物的方式,具有效率高、精度高、成本低、系统结构简单、使用范围广等特点,是立体视觉最常用的实现方式。在立体视觉系统中,摄像机标定以及图像之间的对应点匹配是该领域研究的热点和难点。

法国 Lectra 公司的 Vitus Smart 三维人体扫描仪就是采用立体视觉法,该扫描仪由四个柱子的模块系统组成,每个柱子包括 2 个 CCD 摄像机和一个激光发射器。扫描人体时,8 个垂直运动的 CCD 摄像机拍摄激光发射器投射到人体上的激光光纹图像,并迅速计算出人体表面点的三维坐标值,并快速重建一个高度精确的“人体数码双胞胎”,通过系统软件快速提取 100 多个人体尺寸数据。

天津工业大学的研究团队基于双目立体视觉原理研制了一种便携式三维人体测量系统,能够完成人体表面点云扫描、点云数据处理、人体模型重建以及人体尺寸的自动测量等。

(2) 结构光三角测量法

其原理是先将结构光投射到被测人体上,同时在偏离投射方向的一定角度处用 CCD 摄像机拍摄人体图像,由于人体表面的起伏会使投射的光源在 CCD 摄像机中的成像发生一定的偏移,通过求解光的发射点、投影点和成像点的三角关系来确定人体上各点的三维坐标信息。根据光源类型,主要有激光、白炽灯、数字镜像仪、投影仪等。

美国 Cyberware 的全身三维扫描系统 WBX (Whole Body 3-D Scanner Model) 就是采用结构光三角测量法。该系统由操作平台、4 个扫描头、标尺、系统软件等构成。采用激光作为光源,由激光二极管发射一束激光到人体表面,使用镜面组合从两个位置同时取景,激光条纹因人体体表的形状而产生形变,系统传感器记录形变并通过系统软件生成人体的数字图像。系统的 4 个扫描头以 2mm 为间隔,对人体从上至下进行高速扫描,能够在 17s 内扫描全身几十万个数据点。

(3) 莫尔条纹干涉法

该方法的基本原理是将一个基准光栅投影到人体表面上,通过人体表面高度信息差使光栅线发生变形,变形的的光栅与基准光栅经干涉得到条纹图,系统通过对生成的条纹图进行处理而获取人体表面的三维信息。

莫尔条纹干涉法又可分为扫描莫尔法、影像莫尔法、投影莫尔法等。其中扫描莫尔法用电子扫描光栅和变形迭加生成莫尔等高线,利用现代电子技术,通过改变扫描光栅的栅距、相位等生成不同相位的等高条纹图像,便于计算机处理。影像条纹法是将基准光栅投影到被测人体表面,通过同一栅板观察人体,从而形成干涉条

纹。投影条纹法则利用光源将基准栅经过聚光镜投影到被测物体人体表面，经人体表面调制后的栅线与观察点处的参考栅相互干涉，从而形成条纹。

Wicks & Wilson Limited 生产的 Triform 扫描仪采用白光作为光源，用改进的莫尔轮廓技术捕获被测人体的表面形状，12s 内扫描得到一个包含 150 万个点的人体立体彩色点云图。

(4) 白光相位法

该方法的基本原理是采用白光照明，光栅经过光学投影装置投影到被测人体表面上，由于人体表面形状的凹凸不平，光栅图像产生畸变并带有人体表面的轮廓信息，用摄像机把变形后的相移光栅图像摄入计算机内，经系统处理，计算得到畸变光栅的相位分布图，即可获得被测人体表面的三维数据点。

美国的 TC² 是该方法的典型代表，通过在不到 12s 的时间内对人体 40 万个点的扫描，迅速获得与服装相关的 100 个左右的人体尺寸，可以全面精确地反映人体体型。

1.3 人体扫描点云数据处理技术

基于人体扫描技术的数字化服装设计生产包含以下几个重要步骤：数据获取、数据处理、人体建模、三维服装设计、三维虚拟缝合、虚拟试衣和敏捷制造。其中，数据获取非常关键，它是人体建模和三维服装设计的基础。根据数据获取方式的不同可得到不同的原始人体数据，相应的数据处理和人体表面重建方法也各不相同。目前主要采用三维人体扫描系统作为数据输入设备，通过快速扫描人体，可产生几十万到几百万个人体数据点，即人体点云。人体点云虽然能表达人体表面的一些特征，但往往包含大量多余的信息，如噪声点、孔洞等，重建人体模型前必须进行有效处理。

1.3.1 扫描点云类型

点云是空间中数据点的集合。通过 1.2 节中介绍的方法，利用三维人体扫描设备对人体进行扫描可获得人体表面数据点，即人体点云。根据人体点云中点的分布特征，可将其分为以下几类：

(1) 扫描线点云

由一组与扫描平面平行的扫描线组成，每条线上的点位于扫描平面内。如图 1-2 所示，扫描线点云沿扫描方向非常密集，而扫描线之间相对比较稀疏。

(2) 散乱点云

点云没有明显的几何形状特征和拓扑结构,呈散乱无序的状态,如图1-3所示,由激光、结构光等在随机扫描的方式测得的点云为该类型。

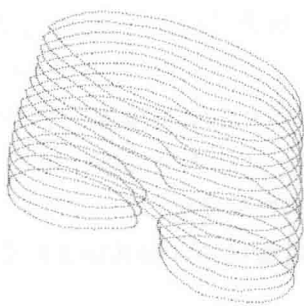


图1-2 扫描线点云

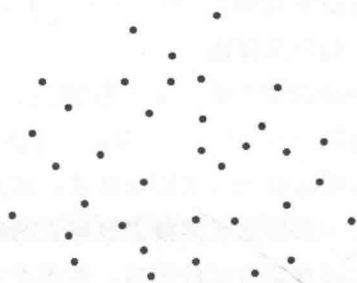


图1-3 散乱点云

(3) 网格化点云

经CMM、莫尔等高线测量、投影光栅测量系统等获得的数据经过网格插值后得到点云为网格化点云(图1-4)。网格化点云含有点云间拓扑关系。

1.3.2 人体扫描点云数据处理技术

由三维人体扫描系统获得的人体点云数据量非常庞大,且通常是多视角下的点云数据,数据中不可避免地存在噪声点、冗余点和孔洞等,在进行人体建模等后续操作之前,必须对人体点云数据进行有效处理。

(1) 点云降噪与平滑

受扫描设备、扫描环境、扫描误差、标定

算法以及人为因素等影响,人体扫描点云中的部分数据可能与实际人体对应位置存在偏差。这些点属于噪声数据,将直接影响人体建模的质量。

为了解决这一问题,通常需要对点云数据采用降噪处理。常用的方法有高斯滤波法、平均滤波法等,其中高斯滤波法能较好地保持原始点云数据的形貌,中值滤波法则在消除点云数据的毛刺方面效果较好。

数据平滑对滤除噪声数据有一定的正面作用,但也会破坏数据的尖锐性,使边缘失去锐化效果,给特征提取等后续工作带来不利影响。

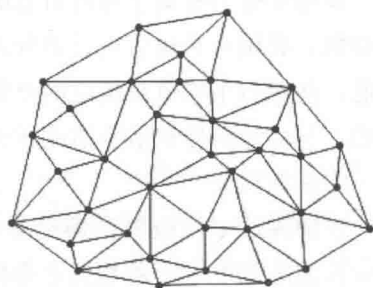


图1-4 网格化点云

(2) 点云数据精简

真实人体表面通常含有丰富的细节，得到的点云模型往往非常复杂，为了后续建模需要，必须选择合适的方法将点云简化到适当的程度。最常用的是采样法，即设定一定采样规则对点云数据进行采样，未被采样的数据点将被删除。常见的采样算法有以下几种：

① 均匀采样法

假设扫描人体有 n 个数据点，设置采样率 m ($m < n$)，根据数据点的存储顺序，每隔 $(m-1)$ 个点保留一个点，其余点都被删除。从本质上讲，对有序数据，均匀采样法就是等间距采样法，对无序数据，就是随机采样法。

均匀采样法无需搜索数据点的邻域，因此处理速度很快，但其稳定性受扫描方法和点云存储方式的影响，性能不太稳定。

② 倍率缩减法

根据给定的点数进行简化，在每一次遍历中，需要遍历所有点的邻域，并去除相距最近的两个点中的一个，达到设定的数目时算法停止。由于遍历次数多，因此算法的复杂度很高且精简效率较低。

③ 栅格法

栅格法是一种基于几何信息的三维算法，它以初始栅格数和法矢背离容限为控制参数，利用八叉树将点云划分成若干个栅格，计算每个栅格中所有点的法矢的平均值，并把与平均值最接近的点作为采样点。该方法简化后的点集也是接近均匀分布的，与均匀采样和倍率缩减相似。对于密集且较平坦的点云，栅格法效果较好。

④ 弦偏离法

弦偏离法采用极限弦偏离值 v 和最大弦长 l 作为控制参数，在最大弦长 l 内，所有弦偏离值小于 v 的数据点都将被忽略，即只有达到最大弦长 l 的点或弦偏离不小于 v 的点才会被保留。

如果 v 和 l 的值设置合适，它还能有效地采样到扫描方向的边界线和轮廓线。但该方法只能应用于顺序排列的数据，对于散乱点云，相邻三点的弦偏离值或弦长往往会超出 v 或 l ，因此几乎所有点都将被采样，无法达到数据精简的目的。

(3) 孔洞修补

人体扫描过程中，有些部位（如腋下、裆部等）由于遮挡而成为扫描盲区，人体点云中会出现孔洞。同时，与地面平行的部位，如头顶、肩部、脚等部位，在扫描过程中往往会被漏扫，造成部分点云数据的缺失而形成孔洞，人体表面重建前必须对这些孔洞进行修补。

可通过局部补测的方法对漏扫部位和盲区进行修补,也可采用一定的算法,分析孔洞与现存部分的关系,并根据这种关系对孔洞进行合理的修补。目前,点云数据孔洞修补的方法主要有:

①抛物线切向延拓法

该方法的缺点是如果孔洞区域较大,则精度不易保证,误差较大。

②BP神经网络修补法

该方法通过对神经网络的训练,有效实现对孔洞数据的修补,但网络训练过程缓慢,处理速度较低。

③遗传算法结合神经网络算法

该方法采用遗传算法与神经网络相结合提高了修补数据的生成精度。

④拟合方法

可应用于具有复杂曲面形状的点云,但只适用于点云数据在孔洞内部及孔洞周围没有剧烈的曲率变化的情况,在实际应用中有一定局限性。

⑤基于核机器的回归修补方法

该方法通过对孔洞中待修补点的邻域色彩数据作回归,得到待修补点的色彩回归值,然后用回归值对应的色彩进行填充,完成对孔洞的修补。

1.4 三维人体建模技术

近年来,三维人体建模已成为计算机图形学领域研究的热点之一,在三维服装CAD、虚拟试衣和三维人体动画等领域,都面临着如何解决三维人体建模的问题。

人体表面是一个复杂的曲面,应根据不同需求选择合适的方法进行人体建模。应用于虚拟试衣系统的人体建模方法主要有三种:基于软件的人体建模、基于三维扫描的人体建模和基于人体照片信息的人体建模。

1.4.1 基于建模软件的人体建模

根据人体体型特征,利用通用建模软件 3Ds Max、Maya 等构建标准化三维人体模型,同时也可以应用参数修改的方法对试衣系统自带的人体模型进行修改调整获得与特定人体接近的个性化三维人体模型,人体模型可根据应用场合存储成不同格式以方便后期调用。

应用软件进行人体建模,由于每个人体都需要重新构建,所以仅适合小规模