

功能性三维服装 CAD 中的数值人体模型^{*}

徐清振¹, 罗笑南¹, 曾 龙¹, 李 毅², 王若梅²

(1. 中山大学计算机应用研究所, 广东 广州 510275;

2. 香港理工大学纺织制衣学系, 香港)

摘 要: 讨论了构造三维着装人体模型对计算过程复杂度的影响及所遇到的技术难点, 并以着装状态下服装热、湿舒适性分析预测为例, 通过模拟“人体—服装—环境”之间的动态热湿交换来预测系统内相关温度与湿度的动态分布。

关键词: 功能性服装 CAD; 着装数值人体模型; 动态热湿交换

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 03-0014-04

随着三维 CAD 技术的发展, 数值人体模型被越来越广泛地应用于工程设计和娱乐业等领域。针对不同领域内的应用, 数值人体模型的构造有着不同的侧重点。在计算机服装设计领域, 人体模型已经由最初的简单线条过渡到复杂的三维立体人模; 其用途更由服装样式的简单展示发展为动态缝合, 三维试衣, 以及更高级的动态生物力学舒适性和热、湿舒适性的分析预测。本文就数值人体模型在着装状态下服装热、湿舒适性分析预测的过程中所扮演的重要角色和技术难点, 所从事研究的基础上通过实际算例作一探讨。

1 功能性服装 CAD 中的人体模型

数值人体模型的应用主要有两大领域: ①和视觉相关的应用, 如演示, 广告宣传, 视频游戏, 影视制作等。当前此类应用对人体的几何形状要求普遍较高, 从早期只要象人体的形状即可到外形逼真和清晰, 给人近似真实的感觉。②工程设计应用, 例如涉及生物力学的人体工学产品如假肢设计, 居住环境暖通空调设计 (HVAC), 以及近年来出现的功能性服装如高性能泳衣设计。这些领域的应用通常都会涉及基于不同数学模型, 不同复杂程度的数值模拟, 因此人体模型只是作为前处理步骤的中间结果, 不仅要求有良好的几何构形, 更要为进一步的数值分析提供可用的几何计算域, 根据所使用的数值方法, 通常还需要进行不同类型的网格剖分 (Mesh Generation)。

另一方面, 在服装 CAD 领域, 服装的舒适性

的研究使得功能性服装 CAD 系统已成为服装和计算机辅助设计领域的热点课题, 为服装产业带来了新的生机。功能性服装 CAD 在传统需求如服装款式设计、打版、演示的基础上, 结合物理学、纺织材料科学、运动生理学、热生理学、心理物理学 (psychophysics)、神经心理学 (neuropsychology) 和消费心理学的综合知识, 通过建立数学模型, 更加着力于对着装状态下的动态生物力学舒适性和动态热、湿舒适性分析来根据消费者的不同需求进行服装定制设计 (customized design)。

功能性设计分析从前处理的几何构形、网格剖分到基于数值模拟分析都必然要依靠计算机科学的帮助。目前业界已有的一些商用平台可用于逼真数值人模的构建, 如 Poser, Maya, Rino 等。有的模型可以直接被进一步处理而使用一些三维力学和流体力学分析平台 (如 LS-Dyna, Ansys, Fluent, CD-Star, CVX 等) 进行在相关工程设计应用中^[1]。但是在三维功能性服装 CAD 系统中, 还没有一种有效的方法能够产生在样式设计 (包括立体缝合), 力学舒适性和热、湿舒适性分析中通用的数值人体模型。这是因为这三方面的操作对数值人体模型有着不同的要求。如表 1 所示。通常力学舒适性所需的面剖分网格可以由样式设计的数值人模重新处理而获得, 但是对于热、湿舒适性分析中所需要的体剖分, 由于涉及厚度和曲率方面的大尺度差别 (人体, 服装, 人体—服装间的微环境和周围环境) 而往往需要进行较大规模修补甚至重新构建。

* 收稿日期: 2003—07—07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60273063)

作者简介: 徐清振 (1979 年生), 男, 博士生; E-mail: xqz1997@sohu.com

表 1 服装功能性 CAD 系统对

Tab 1 Garments functional CAD system comparing			
样式设计		力学舒适性分析	热、湿舒适性分析
操作侧重点	基于人模—服装—		
	几何构性	接触力学分析	基于人模—服装—环境的流体力学分析
		(有限元)	(有限体积)
模型类别	人体构形	前处理—面剖分层状模型(处理分析)	前处理—体剖分体积模型(处理分析)

2 着装舒适性分析及预测

在本文的算例中，若分析三维着装状态下的人体—服装—环境的动态热湿交换，首先在前处理中要构造着装的数值人体模型，并保证所构造的数值人体模型能进行网格化；其次利用计算流体力学(CFD) 软件进行数值分析。本文所使用的是 FLUENT 软件包（前处理 Gambit 2.0，处理模块 Fluent 6.0）。

本文提出的算例，就是采用扫描真实人体得到的数据利用前处理构造出的数值人体模型进行计算，见图 1(b)。本例是对一个房间内正常环境下的静态的人进行数值模拟。初始状态：房间长 1.2 m，宽 1.1 m，高 2.2 m，进风口风速：0.12 m/s，室内温度 303 K；房内墙的温度 293 K，墙的相对湿度是 50%，墙是绝热的。人体皮肤表面的温度是 303 K，相对湿度为 0。

目前对人体热、湿生理过程的模拟已有很多的尝试，例如 MURAKAMIS 等^[2]提出的 CTM 模型，CTM 采用的人体模型是一个类似茶壶状的封闭曲面，材料均匀。身体表面温度分布不同，外界环境温度分布不同，在其模拟中考虑到了热湿的传递，但是人体模型是裸体的，没有涉及着装。

2.1 前处理—人模的构造与网格化

对于人体模型，通用的几何构造方法有 3 种：①通过布尔运算从上到下的切割组合法；②由扫描点—线—面—体从下到上的方法；③输入由其他软件中构造的人体模型并进行修补。但方法①是不现实的，通常采用方法②或③。在本例中，尝试过“输入修补”的方法，工作量很大，而且丢失数据点比较多，无法构成可供计算的较理想的体积网格。于是采用从下到上的方法，采用 CFD 软件的前处理软件所提供的几何造型方法建立人体模型。先输入经水平方向扫描得来的人体数据点坐标，通过一层层的数据点线推出（sweep）人体的表面轮廓，进而由封闭的轮廓表面生成几何体。如图 1(a, b) 所示。

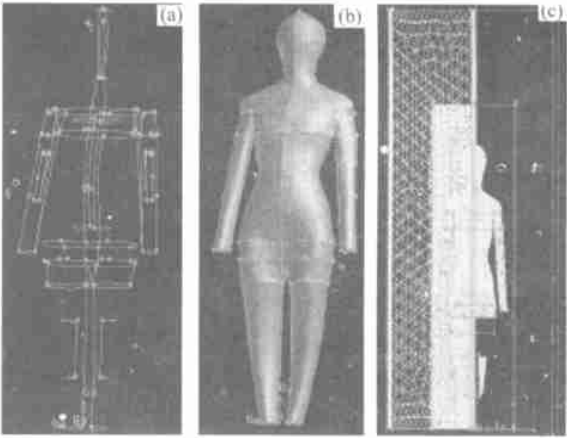


图 1 人体模型

Fig. 1 Manikin

(a) 人体轮廓线图；(b) 人体模型轮廓表面；
(c) 网格化的人体模型

综上所述，由于涉及人体、服装、人体—服装间的微环境和周围环境在厚度和曲率方面的大尺度差别，所以目前尚未找到有效的可网格化的显性的人体—服装—环境的几何构造。图 1(c) 显示了外加环境后，并利用 Gambit 进行了网格化后的人体—环境模型，为清晰起见，仅给出了部分的网格。将服装的影响归入到后面的分析模块中。由于人体的几何模型复杂，有不规则的曲率分布，很难用统一的标准来网格化。若网格太小则相应的网格数量太大，必然造成数值模拟的效率低。若网格太大，精度就会降低，以至于不能反映实际情况。图 1(c) 加入了一个中间体以获得适中的网格分布，运用多种网格标准划分，虽能缓解运算量与精度的矛盾，但是需要找到一种合适的匹配。

2.2 处理模块—数值分析

本文所采用的计算模型主要有： $k-\epsilon$ 模型以模拟环境中的空气湍流，混合物扩散模型以模拟系统内水蒸气的交换和 Gagge 2 node 模型以模拟人体自身的热生理调节^[3]，并通过用户自定义函数(UDF) 将 3 种模型在人体—环境的接触边界进行接口。目前关于人体—环境热、湿交换的数值模拟分析中，所用的人体模型都没有显性考虑衣服的几何构形，而只是依靠所使用的生理模型中的服装热湿阻参数^[4-6]。这种考虑不能模拟着装状态下的动态热、湿交换现象^[2]。如何显性地构造着装人体模型是进行热、湿生理分析的一个难点。解决衣服的问题有两种可能方案：显性构造衣服的几何模型、采用隐性构造衣服。

隐性构造服装体现在人体表面层的定义，将人体表面层定义为有厚度，并将其内表面和外表面定

义成不同的材料属性, 外表面定义为服装的属性, 内表面是皮肤的属性。这样隐性定义就引入了服装在系统中的角色。

2.3 结 果

模拟 8 min 的热湿交换后, 人体和周围环境都发生了变化, 通过数值模拟得到了人体表面温度和湿度的分布图, 环境的温度和湿度分布图 (图 2, 3)。皮肤表面的温度分布比较均匀, 温度范围是 [302.956 12 K, 303.042 45 K], 与初始室内温度接近, 如图 2(a); 皮肤表面的湿度范围 [78.569 5%, 78.597%], 如图 3(a); 由图 3 得知湿度的分布是均匀的, 与实际接近。环境温度的分布如图 2(b), 靠近墙的温度范围是 [300.451 72 K, 300.538 09 K], 与墙的温度 293 K 相比变化比较大, 而靠近人体皮肤的室内温度范围是 [301.574 37 K, 301.660 74 K], 与初始室内温度 303 K 相比变化约 1.5 K, 这说明了在这个时间内人体与外界环境发生了热交换, 在人体表面附近温度的变化比靠近墙温度变化小。环境湿度的分布, 基本一样, 如图 3(b), 环境的湿度几乎接近于 0。

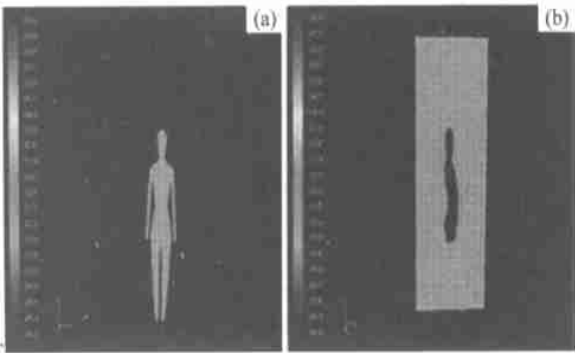


图 2 温度分布
Fig 2 Distribution of temperature
(a) 身体表面; (b) 环境

3 讨 论

3.1 关于服装

本文没有显性地考虑服装的几何构形; 本文对服装的处理采用 2 种方法: 利用不同服装的热湿阻参数和定义皮肤的厚度 (见 2.2)。身体表面的温度分布由初始状态的 303 K 变化到 303.34 K, 身体表面的绝对湿度由初始状态的 0 变化到 82% 左右。由于服装是隐性的, 只可以估计服装可能使得人体的热生理状态发生变化, 但又并不明显, 也无法模拟到在整个过程中服装的状态变化, 这一问题的进一步改进或许最终还必须依靠构造显性的服装。

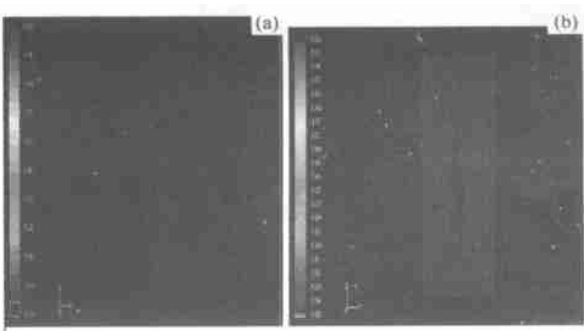


图 3 湿度分布
Fig 3 Distribution of moisture
(a) 身体表面; (b) 环境

3.2 关于该方法的应用前景

对于裸体的人体进行三维热、湿生理分析, 理论和实验上讲都是可行的^[3]。但是, 一旦想要更进一步地了解人体—服装—环境系统中动态热、湿交换, 显性的服装构造和网格化的标准及其复杂度等都使得这一课题的复杂度有了大幅度的增加。如果能解决这些技术难点, 就为功能性服装 CAD 的发展奠定了良好的应用基础。从而使得个性化的功能服装设计成为可能。

3.3 结 语

本文以着装状态下服装热、湿舒适性分析预测为例, 就构造三维着装人体模型对计算过程的影响及所遇到的技术难点进行了讨论。本文构造的数值人体模型能在 CFD 软件平台下正常运转, 并模拟着装人体与环境之间的热、湿交换。尽管本文所描述的方法是可行的, 而其性能却直接受到几何数值人体模型的影响, 例如隐性的服装构造和几何模型网格化数量直接影响到了数值模拟的效率和精确度。而数值人模的通用性又直接影响到了三维功能性服装 CAD 的进一步发展, 这一领域的相关难点还需要进一步深入的研究。

参考文献:

[1] 罗笑南, 曾龙, 聂卉. 三维紧身内衣的压力分布计算模型[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2001, 40(6): 99—101.
[2] MURAKAMI S, KATO S, ZENGJ. Combined simulation of airflow, radiation and moisture transport for heat release from human body[J]. Roomvent, 1998, 98(b): 141—150.
[3] GAGGE A P. Rational temperature indices of man's thermal environment and their use with a 2-node model of his temperature regulation[J]. Fed Proc, 1973, 32: 1572—1582.
[4] LI Y, WANG Z, HU J Y. Mathematical simulation and experimental verification of fabric thermal and moisture

perceptions // the SEM Annual Conference on The Interdependence Between Theoretical, Experimental and Computational Mechanics[C] . Cincinnati, USA. 1999.

[5] HAVENITH G, HEUS R, LOTENS W A. Resultant clothing insulation —— a function of body movement, posture, wind, clothing fit and ensemble thickness[J] . Ergonomics, 1990. 33(1) : 67— 84.

[6] HAVENITH G, HEUS R, LOTENS W A. Clothing ventilation, vapor resistance and permeability index-changes due to posture, movement and wind[J] . Ergonomics, 1990. 33(8) : 989— 1005.

[7] WANG Z, LI Y. An integrative adaptive model for simulating human dynamic thermal comfort in the body-clothing-environment system[J] . Psychophysiology, 2003, 59(5) : 187— 197.

Numerical manikins in 3D Functional Garments CAD

XU Qing zhen¹, LUO Xiao nan¹, ZENG Long¹, LI Yi², WANG Ruo mei²
(1. Institute of Computer Application, Sun Yat Sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Institute of Textiles and Clothing, HongKong Polytechnic University, Hong Kong, China)

Abstract: The functional garments CAD technology is introduced. The hard technology and important part of the numerical simulation during the prediction process of the thermal and moisture analysis in a human body environment system are discussed. The heat and moisture transfer in a human body environment by a numerical simulation case is predicted, and the related dynamic distributions of temperature and moisture in the system are obtained.

Key words: functional garments CAD; numerical clothed manikin; dynamic heat and moisture exchange

(上接第 13 页)

参考文献:

[1] VAPNIK V N. The nature of statistical learning theory[M] . New York: Springer-Verlag Inc. 1995.

[2] 张学工. 关于统计学习理论与支持向量机[J] . 自动化学报, 2000, 26(1) : 32— 42.

[3] 张莉, 周伟达, 焦李成. 核聚类算法[J] . 计算机学报, 2002, 25(6) : 587— 590.

[4] 郑方, 徐明星. 信号处理原理[M] . 北京: 清华大学出版社, 2000.

[5] 张铃. 基于核函数的 SVM 机与三层前向神经网络的关系[J] . 计算机学报, 2002, 25 (7) : 696— 699.

Sifting out Kernel Functions Using Fourier Transform

YUAN Feng shan, ZHU Si ming
(School of Mathematics and Computing Science, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The relationships between kernel functions $K(u, v)$ based on support vector machines (SVM) theory and Fourier transform are analyzed. It is shown that Mercer condition is satisfied if kernel functions are based on Fourier transform under some conditions. On the basis of the above results, the method that sifts out kernel functions is proposed by Fourier transform, and one concrete example is shown.

Key words: kernel function; mercer condition; Fourier transform