

基于弹簧质点模型的二维/三维映射算法^{*}

樊劲¹ 周济¹ 王启付¹ 袁铭辉²

¹(华中理工大学CAD中心 武汉 430074)

²(香港科学技术大学机械工程系 香港)

摘要 提出了一种用于服装设计的二维/三维映射算法。该算法基于弹簧质点变形模型,服装裁剪片二维到三维映射及三维到二维映射可以在该模型中得到统一的实现。在服装裁剪片二维到三维的映射过程中,二维裁剪片被放置在人体模型附近的初始位置,在缝合力的作用下,裁剪片自动变形并缝合到人体模型上。在服装裁剪片三维到二维映射的过程中,三维裁剪片被初始映射到指定的平面内,在弹性变形力的作用下,逐步变形并得到最终的二维裁剪片。在进行服装裁剪片二维到三维映射的过程中,考虑了干涉检验的问题。

关键词 二维/三维映射,计算机辅助三维服装设计,弹簧质点模型,干涉检验。

中图法分类号 TP391

在计算机辅助三维服装设计的过程中,一个重要环节就是服装裁剪片的二维/三维的映射。该环节包括两个相逆的映射过程。一个过程是裁剪片的二维到三维映射,在该过程中,二维服装裁剪片被缝合在三维人体模型上,形成三维服装的初始形态(最终的服装效果将在服装穿着效果仿真过程中获得);另一个过程则是三维服装曲面的二维展开过程,在该过程中,三维服装曲面被展开到指定的平面内,形成服装加工所需的二维裁剪片。服装裁剪片二维到三维以及三维到二维的映射应该满足各自不同的要求。

服装裁剪片二维到三维的映射应该满足以下两个要求:(1) 裁剪片的面积在映射前后应尽量保持不变;(2) 在映射过程中,应该防止干涉现象的产生。

三维服装曲面的二维展开应满足以下两个要求:(1) 裁剪片的面积在展开前后应尽量保持不变;(2) 在展开过程中,应满足裁剪片的形状要求,即裁剪片的边界长度及夹角关系在展开前后应尽量保持不变。

长期以来,许多研究者对该问题进行了深入的研究。Okabe等人^[1]提出了一种服装裁剪片二维/三维映射算法,在他们的算法中,服装裁剪片二维到三维的映射被当作纯几何问题处理。二维裁剪片被三角剖分并一层层地映射到三维人体模型上,而服装裁剪片三维到二维映射则是一个非常复杂的变形过程。Wu和Yuen^[2]提出了一种用于服装设计的二维/三维的映射算法,但该算法依赖于二维裁剪片与三维服装曲面之间的几何对应关系,因此,该算法不是一种通用的算法,在遇到不同款式的服装时,该方法将会面临许多困难。Carignan等人^[3]提出了一种通用的服装裁剪片二维到三维映射算法,该算法运用了牛顿运动定律,在缝合力的作用下,被放置在初始位置的二维裁剪片自动变形,并缝合在人体模型上,在他们的算法中,服装裁剪片的二维到三维映射被作为服装穿着效果仿真过程的一部分,而服装裁剪片三维到二维的展开问题没有被考虑。Zhao等人^[4]提出了一种基于有限元方法的服装穿着效果仿真算法,该算法考虑了服装裁剪片的二维/三维映射问题,为了保证裁剪片的面积不变,有限元单元边长被作为几何约束作用于每一个单元,但文献[4]没有给出任何运算实例。

如何将布料无间隙地映射到一张自由曲面上,是一个有意义的二维/三维映射问题。Robertson^[5,6]首先将该

* 作者樊劲,1969年生,博士生,主要研究领域为CAD,CAGD,CAM。周济,1946年生,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为CAD,CAM,计算机集成制造系统。王启付,1961年生,博士,副教授,主要研究领域为CAD,CAGD,CAM。袁铭辉,1951年生,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为CAD,CAGD,CAM,CIMS。

本文通讯联系人:樊劲,武汉 430074,华中理工大学CAD中心

本文1997 10 21收到原稿,1998 01 23收到修改稿

问题转化为一系列的球面与二次曲面求交问题来解决。基于这一思想,不少研究者对这一问题进行了深入的研究,并提出了许多不同的算法^[7~9]。作为这类算法的核心部分,自由曲面的求交过程被频繁使用,但自由曲面的求交过程通常是一个费时而不稳定的过程,这无疑将影响这类算法的效率和稳定性。

作为一种有效的造型方法,基于物理的几何造型方法被广泛地用于对柔软材料的造型与仿真当中。Terzopoulos^[10]提出了一种通用的弹性变形模型,该模型能有效地仿真物体的弹性变形过程,因而被广泛地用于服装穿着效果的仿真当中^[11,12]。Breen 等人^[13,14]提出了一种基于粒子模型的布料变形仿真算法,该方法能够将布料的材料性能参数运用到布料变形的仿真过程中,因而能针对不同的布料给出不同的仿真效果。Eberhardt 等人^[15]也提出了一种基于粒子模型的布料仿真算法,在该算法中,由于采用了快速的微分方程的数值解法,因而提高了算法的效率。Provot^[16]利用弹簧质点系统成功地对布料的变形过程进行了仿真,在算法中,布料被简化成由弹簧连结的质点系,质点的运动规律由基本运动方程决定。在 Provot^[16]工作的基础上,Louchet 等人^[17]利用弹簧质点系统对纺织材料的非线性变形过程进行了仿真。

本文提出了一种用于服装设计的二维/三维映射算法,该方法采用了简单的弹簧质点变形模型,服装裁剪片的二维到三维及三维到二维映射可以在该模型中得到统一的实现。在进行服装裁剪片二维到三维映射的过程中,本算法同时考虑了干涉检验问题。本文第 1 节具体描述弹簧质点变形模型,第 2 节给出弹簧质点变形模型的求解方法,第 3 节给出服装裁剪片二维/三维映射算法的具体实现步骤。最后两节给出算法分析、全文总结和部分运算实例。

1 基于弹簧质点系的二维/三维映射变形模型

在建立变形模型前,不失一般性,先对服装裁剪片的二维/三维映射过程作出如下假设:

- 服装裁剪片的二维/三维映射是(或可以简化成)一个弹性变形过程;
- 布料的材料性能是均质的且各向同性;
- 服装裁剪片在映射的初始时刻处于静止状态。

服装裁剪片的二维/三维映射过程是一个复杂的弹性变形过程,采用纯几何的造型方法难以对该过程进行仿真,而基于物理的造型方法却正好适合于对这类复杂的变形过程进行仿真。本文选用弹簧质点变形模型是基于以下几点考虑:

- 弹簧质点模型适合于对复杂的过程进行仿真^[16,17];
- 弹簧质点模型简单,而且易于实现。在模型中,我们采用类似 Provot^[16]所使用的网格类型,服装裁剪片(二维或三维)被离散表达为规则网格的弹簧质点系统,每一个质点与周围相连的若干个质点用弹簧相连,如图 1 所示,整个弹簧质点系实际上是一个规则的三角形网格系统,质点的运动规律则由 Lagrange 运动方程确定。

$$\mu \frac{\partial^2 X}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial X}{\partial t} + \delta_x \varepsilon = f, \quad (1)$$

式中 X 表示质点的位置矢量; μ 和 δ 表示质点的质量和黏性密度; $\delta_x \varepsilon$ 是质点所受的弹性内力,表示为弹性内能的变分形式; f 表示质点所受的外力。

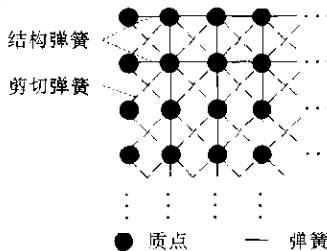


图1 规则三角形网格的弹簧质点系示意图

弹性内力

在弹簧质点系统中,唯一考虑的弹性内力是弹簧的弹性变形力,由于采用的是理想的弹簧质点系统,可以利用 Hooke 定律来计算弹簧的弹性变形力.考虑 p_0 点与相连 n 个质点 $p_1, p_2, \dots, p_n \in IR^3$, 则质点 p_0 的弹性变形能和弹性变形力可按如下公式计算.

$$E_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} c_i ((p_0 - p_i) - d_i)^2, \tag{2}$$

$$f_i = \sum_{i=1}^n c_i ((p_0 - p_i) - d_i) \cdot N_{p_i-p_0}, \tag{3}$$

式中 c_i 表示弹簧的弹性变形系数, $(p_0 - p_i)$ 表示质点 p_0 与质点 p_i 之间的距离, d_i 表示质点 p_0 与质点 p_i 之间的原始距离, $N_{p_i-p_0}$ 表示从 p_0 指向 p_i 的单位方向矢量. 弹簧的弹性变形系数可以依据所选用布料的材料性能参数曲线确定. 本文通过对 Kawabata 布料特性参数曲线进行线性化处理来确定系统的弹性变形系数. 通常, 布料的性能参数曲线都是非线性曲线. 本文采用分段线性化的方法, 对不同曲线段采用不同的弹性变形系数, 这样可以获得较为真实的弹性变形系数.

系统外力

在服装裁剪片二维到三维映射的过程中, 本文考虑如下 3 种外力:

(1) 缝合力: 在服装裁剪片二维到三维的映射过程中, 为了将不同的裁剪片缝合在一起, 我们在裁剪片的缝合边上加载上缝合力. 在模型中, 缝合力被定义成对应缝合点之间距离的线性函数. 对两个缝合点 p_1 和 p_2 , 缝合力可以按如下公式计算.

$$f_s = c_s * dis * N_{p_2-p_1}, \tag{4}$$

式中 c_s 为缝合力系数, 该系数与布料的缝合性能有关, 通常, 较难变形的布料采用较大的缝合力系数; dis 表示两个缝合点之间的距离; $N_{p_2-p_1}$ 表示从 p_1 点指向 p_2 点的单位方向矢量(如图 2 所示).

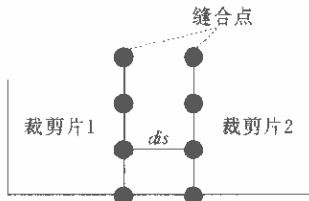


图2 缝合点及缝合力示意图

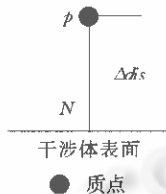


图3 干涉反力示意图

(2) 干涉反力: 为了防止干涉现象的产生, 模型中引入了干涉反力的概念. 干涉反力实际上是为了防止干涉现象而加入的一个干涉惩罚项. 质点的干涉反力可用如下公式计算.

$$f_r = \begin{cases} c_r * \exp((\Delta dis)^{-1}) * N, & \text{if } \Delta dis \leq d \\ 0, & \text{if } \Delta dis > d \end{cases} \tag{5}$$

式中 c_r 为干涉反力系数, 系数越大则惩罚得越重; Δdis 表示质点到干涉点之间的距离; N 表示干涉点处人体模型(或裁剪片)的外单位法矢(如图 3 所示); d 是一个给定的距离. 只有当质点进入到人体模型表面(或裁剪片)给定距离范围内, 惩罚项才起作用.

(3) 重力: 为了获得较真实的仿真效果, 本文在变形模型中考虑了服装裁剪片所受的重力. 质点所受的重力可按如下公式计算.

$$f_g = m_i * g, \tag{6}$$

式中 m_i 为质点的质量. 由于本文假定布料是均质的, 因此, 质点的质量可由裁剪片的总质量除以总的质点数而得到.

2 变形模型的求解

根据 Lagrange 运动方程, 整个变形模型系统为一个非线性微分方程组. 本文采用基于时间的差分 and 增量方

来进行系统求解。

利用时间差分方法,方程(1)中的前两项可以简化为如下二式:

$$\mu \frac{\partial^2 X}{\partial t^2} = \mu \frac{1}{\Delta t^2} (X_{t+\Delta t} - 2X_t + X_{t-\Delta t}), \quad (7)$$

$$\gamma \frac{\partial X}{\partial t} = \gamma \frac{1}{2\Delta t} (X_{t+\Delta t} - X_{t-\Delta t}). \quad (8)$$

对于每一个质点,弹簧的弹性力实际上可以作为外力,放在方程(1)的右边,将(7)、(8)两式代入方程(1)可得

$$\mu \frac{1}{\Delta t^2} (X_{t+\Delta t} - 2X_t + X_{t-\Delta t}) + \gamma \frac{1}{2\Delta t} (X_{t+\Delta t} - X_{t-\Delta t}) = f_x + f_t(X_{t+\Delta t}) + f_r(X_{t+\Delta t}) + f_s(X_{t+\Delta t}). \quad (9)$$

作为一个动态系统,为了简化求解过程,我们采用增量法对该动态系统进行简化。在时间步长足够小的情况下, $f_t(X_{t+\Delta t}), f_r(X_{t+\Delta t}), f_s(X_{t+\Delta t})$ 可以用 $f_t(X_t), f_r(X_t), f_s(X_t)$ 代替,这样,整个系统便简化成一个动态的线性系统。

由于我们假定裁剪片在映射的初始时刻处于静止状态,因此,系统的初始条件为

$$X_{t=0} = X_0, \quad (10)$$

$$\left. \frac{\partial X}{\partial t} \right|_{t=0} = 0, \quad (11)$$

$$\left. \frac{\partial^2 X}{\partial t^2} \right|_{t=0} = 0, \quad (12)$$

$$X_{-\Delta t} = X_{t=0} = X_0, \quad (13)$$

其中 X_0 为质点的初始位置,这样,方程(9)可以写为

$$\left(\mu \frac{1}{\Delta t^2} + \gamma \frac{1}{2\Delta t}\right) X_{t+\Delta t} = f_x + f_t(X_t) + f_r(X_t) + f_s(X_t) + \mu \frac{2}{\Delta t^2} X_t - \left(\mu \frac{1}{\Delta t^2} - \gamma \frac{1}{2\Delta t}\right) X_{t-\Delta t}. \quad (14)$$

根据方程(14)及系统初始条件, $X_{t+\Delta t}$ 可以很方便地求解出来。由于采用了基于时间的差分和增量方法进行系统求解,因此,时间步长应该取得足够小以保证整个系统的求解稳定性,但过小的时间步长将导致系统求解效率的下降,为此,可以采用 Desbrun^[18] 所提出的自适应时间步长优化方法对时间步长进行优化处理,这样可以提高动态系统的求解效率。

3 二维/三维映射的实现步骤

采用该弹簧质点变形模型,服装裁剪片二维到三维映射及三维到二维映射可以在该模型中统一实现。

3.1 二维到三维映射

本文采用如下步骤来实现服装裁剪片二维到三维的映射。

(a) 将二维裁剪片交互式地放置在人体模型附近的初始位置。

在该步骤中,二维裁剪片被交互式地放置在人体模型附近的初始位置(如图 4(a)所示),初始位置并不需要非常精确,但过坏的初始位置(初始位置远离其最终的缝合位置)会影响到系统的收敛效率,甚至导致缝合过程的失败。

(b) 将二维裁剪片离散并形成初始的弹簧质点系统。

在该步骤中,二维裁剪片被离散并形成规则网格的弹簧质点系统。在本文中,每一片二维服装裁剪片均被转化并表达成一组相连的四边域参数曲面,因此,采用曲面均匀离散的方法可以很方便地形成规则三角形网格的弹簧质点系统,三角形的顶点形成质点,三角形的边形成相应的弹簧。在弹簧质点系统中,质点的质量由布料的实际质量计算得来,弹簧的弹性变形系数由布料的材料特性曲线确定。

(c) 动态变形模型的计算。

在该步骤中,根据服装裁剪片的缝合信息,我们在裁剪片的对应缝合边上加载缝合力。在缝合力的作用下,二维裁剪片将逐步变形,并逐渐被缝合在一起(如图 4(b)所示)。整个缝合过程是一个动态的迭代过程,在满足如下两个条件下,终止迭代过程。

- (1) 所有缝合点之间的距离均小于给定的缝合距离；
- (2) 在相邻的两次迭代过程中，系统弹性变形能的变化值小于给定的误差。

条件(1)保证所有的裁剪片均处于缝合状态；条件(2)则保证裁剪片处于最终的平衡状态。在缝合过程中，为了防止干涉现象的产生，算法同时进行了干涉检验和干涉处理。缝合过程结束后，便可以得到缝合的三维服装初始形状(如图 4(c)所示)。

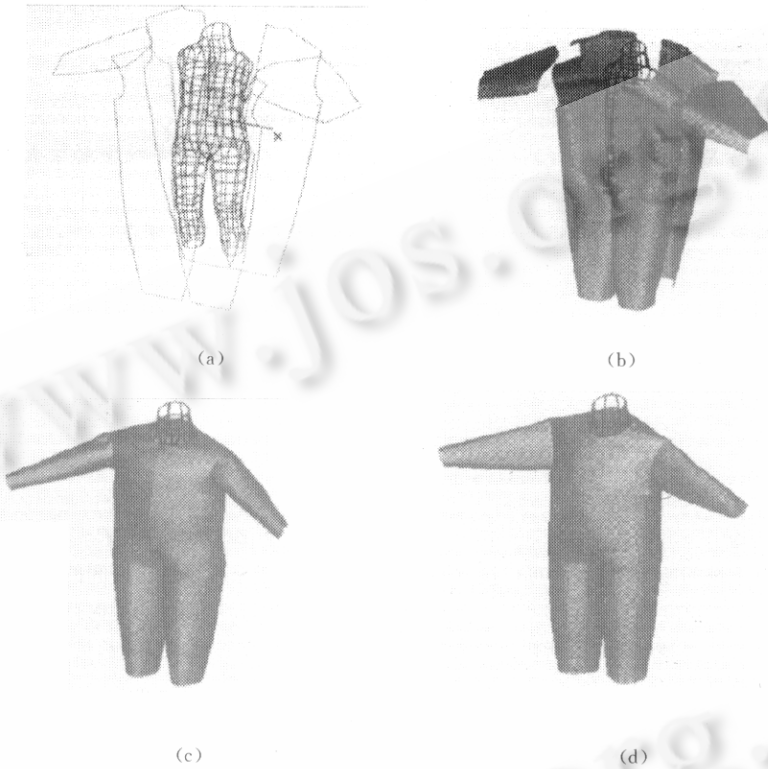


图 4 二维到三维映射

3.2 三维到二维映射

采用弹簧质点变形模型同样可以解决服装裁剪片三维到二维映射的问题。由于我们采用了基于三角形网格的弹簧质点模型，因此，在理论上，如果能保证在三维到二维的映射过程中三角形的边长保持不变(或变形量趋于最小)，便可以得到满足要求的二维裁剪片。基于此观点，本文采用如下步骤来实现服装裁剪片三维到二维的映射过程。

(a) 三维服装裁剪片规则三角化网格的形成。

在该步骤中，三维服装裁剪片被离散成规则的三角形网格。在本文中，每一片三维服装裁剪片均被表达成一组相连的四边域参数曲面，因此，采用曲面均匀离散的方法可以很方便地形成规则的三角形网格。

(b) 三维裁剪片的二维映射及初始二维弹簧质点系统的形成。

在该步骤中，空间的裁剪片三角形网格将被映射到平面上，形成初始的平面弹簧质点系统(如图 5(a)所示)。在上一步骤中，三维服装裁剪片被离散成规则的三角形网格，因此可以很方便地映射到平面上。目前，本文采用相邻质点间的距离来确定质点在平面内的位置。映射结束后，便得到初始的平面三角形网格，该三角形网格将被用来形成初始的平面弹簧质点系统，三角形的顶点形成质点，三角形的边形成相应的弹簧。在弹簧质点系统中，质点的质量由布料的实际质量计算得来，弹簧的弹性变形系数由布料的材料性能确定。

由于本文采用的裁剪片初始映射方法较为简单，因此，与最终的展开结果相比，在本步骤中所获得的裁剪片

初始平面网格仍存在着较大的误差,该误差将通过平面弹簧质点系统的变形过程得到控制。

(c) 动态变形模型的计算。

由于裁剪片的初始映射网格与裁剪片的最终展开结果之间存在着差距,因此,在初始的平面弹簧质点系统中存在着因变形而产生的弹性变形力,在该步骤中,在弹性变形力的作用下,初始的平面二维弹簧重点系统将逐步变形,并最终得到平面二维裁剪片。

在裁剪片的展开过程中,我们仍采用类似于裁剪片二维到三维映射过程中所使用的弹簧质点变形模型及其计算方法,只是在变形模型中不再考虑重力、缝合力及干涉反力。

该步是一个动态迭代过程,随着迭代过程的进行,弹簧质点系统的弹性变形能 will 逐渐减小,如果在相邻两次迭代过程中,系统的弹性变形能的变化值小于给定的误差,则动态迭代过程结束。

对三维服装裁剪片进行以上 3 步处理后,我们便可得到最终的二维裁剪片(如图 5(b)所示)。

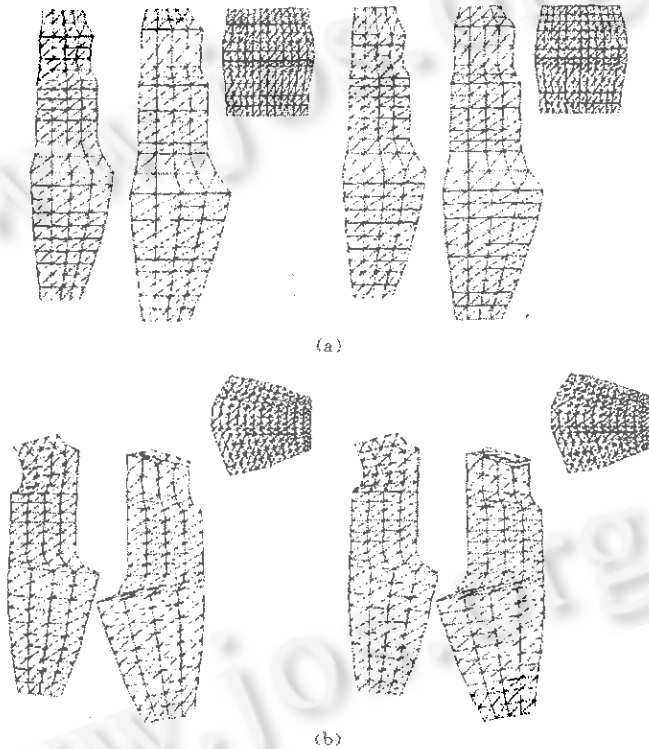


图 5 三维到二维映射

3.3 干涉检验

干涉检验是服装裁剪片二维到三维映射过程中一个非常关键的环节。由于服装裁剪片二维到三维映射过程是一个复杂的变形过程,因此,在变形的过程中常常会发生干涉现象,干涉现象表现为裁剪片与人体模型之间以及裁剪片与裁剪片之间的相互穿越现象。

在算法中,干涉检验问题被转化为一-系列三角形与直线的求交问题来解决。首先,将人体模型划分成若干个干涉检验区域,并进行三角化处理。服装裁剪片也被分割成若干个干涉检验区域,并与人体模型(或其他裁剪片)的干涉检验区域建立起联系。这样,在干涉检验的过程中,可以避免对整个干涉体中所有的三角片进行干涉检验,因此提高了干涉检验算法的效率。算法同时也采用了包容盒检查等一些其他的加速方法。

本文仅考虑静态的干涉检验问题。静态干涉可根据求解如下方程来进行检验^[15]。

$$p + (p' - p)t = p_0 + (p_1 - p_0)u + (p_2 - p_0)v, \quad (15)$$

式中 p 和 p' 表示质点在一个时间步长中的初始和最终位置矢量; p_0, p_1 和 p_2 表示三角形的 3 个顶点坐标; u 和 v 是平面三角形的参数坐标; t 是时间步长. 根据方程(15) 的解及以下条件, 可判断是否发生了干涉.

如果 $0 \leq t \leq 1, u \geq 0.0, v \geq 0.0$ 并且 $u+v \leq 1.0$ (如图 6 所示), 则发生了干涉现象.

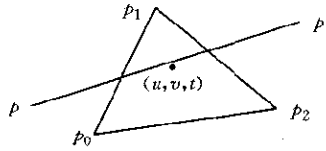


图6 干涉检验示意图

4 实例

我们选择了一套具有代表性的儿童服装进行缝合和展开操作, 该服装属于连体式服装, 具有前襟、后襟和衣袖共 6 个裁剪片. 本文所采用的二维裁剪片均来自于商用二维服装 CAD 系统. 在三维缝合的过程中, 在将二维裁剪片放置到初始位置后 (如图 4(a) 所示), 整个缝合过程可以在 20s 内完成. 图 4(d) 为该服装款式的样图, 图 4(c) 为由二维裁剪片缝合而成的三维服装. 缝合后各裁剪片的变形量列在表 1 中.

表 1 (%)

片号	二维到三维		三维到二维	
	面积误差	边长误差	面积误差	边长误差
1	2.55	0.687	0.036 1	0.850
2	0.514	0.370	1.18	0.837
3	0.682	0.355	0.210	1.72
4	2.614	0.682	0.025	0.804
5	0.597	0.580	1.13	0.756
6	0.331	0.344	0.205	1.70

我们所使用的计算机为 PC 586. 表中的面积误差(二维到三维映射) = $|S_{3D} - S_{2D}| / S_{2D}$; 面积误差(三维到二维映射) = $|S_{3D} - S_{2D}| / S_{3D}$, 式中 S_{2D} 为二维裁剪片的面积, S_{3D} 为三维裁剪片的面积; 边界误差(二维到三维映射) = $|L_{3D} - L_{2D}| / L_{2D}$; 边界误差(三维到二维映射) = $|L_{3D} - L_{2D}| / L_{3D}$, 式中 L_{2D} 为二维裁剪片的边界长度; L_{3D} 为三维裁剪片的边界长度.

在将该服装(直接来自于三维服装设计)进行三维到二维展开的过程中, 整个展开过程可在 30s 内完成. 从结果可以看出, 展开后的二维裁剪片性能良好(如图 5(b) 所示). 展开后各裁剪片的变形量列在表 1 中.

5 算法分析

在该算法中, 算法的核心步骤是一个动态迭代的过程, 因此, 该算法的效率主要由两个因素决定: 第 1 个影响因素是动态系统中质点的个数, 过少的质点个数会使得裁剪片的逼近精度过低而影响缝合或展开效果, 但过多的质点个数则会导致系统迭代时间的增加; 第 2 个影响因素是迭代过程中的时间步长, 由于本算法采用基于时间的差分及增量方法, 因此, 要求在迭代过程中时间步长应足够小以保证系统的稳定性, 但过小的时间步长会导致系统迭代时间的增加, 因此, 在算法中, 可以引入 Desbrun 等人^[14] 所提出的自适应时间步长优化方法, 对时间步长进行优化处理, 这样可以提高算法的效率.

在将服装裁剪片进行展开的过程中存在着两种误差: 一种是由于曲面的不可展性所造成的误差; 另一种误差是由算法本身带来的. 在算法中, 在尽量减少算法本身所造成的误差的同时, 应尽量减少展开误差所造成的影响, 即防止展开误差在局部区域积累. 在本文中, 我们采用了弹簧质点变形模型, 通过动态系统的迭代过程, 使得展开误差可以在一定程度上分散到裁剪片的各个部分, 从而避免了误差在局部区域内积累.

6 结 论

在本文中,我们提出了一种通用的二维/三维映射算法,该算法基于弹簧质点变形模型,能较好地解决计算机辅助服装设计的过程中二维/三维的映射问题,该算法有如下优点:

(1) 该算法基于弹簧质点变形模型,服装裁剪片二维到三维及三维到二维映射可以在该模型中得到统一的实现,因此极大地方便了系统的实现;

(2) 该算法是一个通用的服装裁剪片二维/三维映射算法,它不受服装款式的限制,因此,具有更广泛的实用性;

(3) 由于使用了非常简单的弹簧质点变形模型,因此,整个算法易于实现,而且算法效率较高;

(4) 也正是由于使用了弹簧质点变形模型,在进行三维到二维的映射过程中,通过动态系统的迭代过程,该算法可以在一定程度上将展开误差分散到裁剪片的各个地方,从而避免了误差在局部区域积累。

致谢 本课题作为“计算机辅助三维服装设计系统的研制与开发”项目的一部分,得到了香港工业技术发展署的资助,这里要特别感谢参与该项目所有研究人员的关心与帮助,他们是武壮先生、陈超祥先生、孔强龙先生、陈发米博士、王彪博士、陈明祥博士和刘铁凡先生。

参考文献

- 1 Okabe H, Imaoka H. Three dimensional apparel CAD system. *Computer Graphics*, 1992,26(2):105~110
- 2 Wu Zhuang, Yuan Ming-hui. Isometric transformation between 2D and 3D surfaces. In: *Proceedings of the International Conference'97 on MA*. 1997. 66~71
- 3 Carignan M, Yang Y, Thalmann N M. Dressing animation synthetic actor with complex deformable clothes. *Computer Graphics*, 1992,26(2):99~104
- 4 Zhao Y F, Wong T N *et al.* A model for simulating flexible surfaces of cloth object. *Computer and Structure*, 1997,63(1):133~147
- 5 Roberston R E, Hsiue H S *et al.* Fiber rearrangements during the modeling of continuous fiber composites Part I: flat cloth to a hemisphere. *Polymer Composites*, 1981,2(3):126~131
- 6 Robertson R E, Hsiue H S *et al.* Continuous fiber rearrangements during the modeling of fiber composites Part II: flat cloth to a round cone. *Polymer Composites*, 1984,5(3):191~197
- 7 Bergsma O K, Huisman J. Deep drawing of fabric reinforced thermoplastics. In: *Proceedings of the International Conference on Computer Aided Design in Composite Material Technology'88*. New York: Springer-Verlag, 1988. 323~334
- 8 Van West B P, Pipes R B *et al.* A simulation of the draping of bi-directional fabrics over arbitrary surfaces. *Journal of the Textile Institute*, 1990,81(4):448~460
- 9 Aono M, Breen D E *et al.* Fitting a woven-cloth model to a curved surface: mapping algorithms. *Computer-Aided Design*, 1994,26(4):278~292
- 10 Terzopoulos D, John P *et al.* Elastically deformation models. *Computer Graphics*, 1987,21(4):205~214
- 11 Thalmann N M, Volino P *et al.* 3D cloth and fashion show. In: Thalmann N M, Skala V eds. *Proceedings of the 4th International Conference in Central Europe on Computer Graphics and Visualization'96*. Plzen, Czech Republic: West Bohemia University Press, 1996. 20~30
- 12 Volino P, Thalmann N M. An evolving system for simulating cloths on virtual actors. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1996,16(5):42~51
- 13 Breen D E, House D H *et al.* Predicting the drape of woven cloth using interacting particle. In: Andrew Glassner ed. *Proceedings of the 21st International ACM Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. Orlando: ACM Press, 1994. 365~372
- 14 Breen D E, House D H *et al.* A physically-based particle model of woven cloth. *Visual Computer*, 1992,8(5-6):264~277
- 15 Eberhardt B, Weber A *et al.* A fast, flexible, particle-system model for cloth draping. *IEEE Computer Graphics and*

- Application, 1996, 16(5):52~59
- 16 Provot X. Deformation constraints in a mass-spring model to describe rigid cloth behavior. In: Wayne A ed. Proceedings of the Graphics Interface Conference'95. Vancouver: Canadian Human-Computer Communications Society, 1995. 147~154
- 17 Louchet J, Provot X *et al.* Evolutionary identification of cloth animation models. In: Terzopoulos D, Thalmann D eds. Proceedings of the Computer Animation and Simulation'95. New York: Springer-Verlag, 1995. 44~54
- 18 Desbrun M, Gascuel M P. Smoothed particles: a new paradigm for animating highly deformable bodies. In: Thalmann d ed. Proceedings of the Computer Animation and Simulation'96. New York: Springer-Verlag, 1996. 61~76
- 19 Kamat V V. A survey of techniques for simulation of dynamic collision detection and response. Computer and Graphics, 1993, 17(4):379~385

2D/3D Isometric Transformation Using Spring-mass System

FAN Jin¹ ZHOU Ji¹ WANG Qi-fu¹ YUAN Ming-hui²

¹(CAD Center Huazhong University of Science and Technology Wuhan 430074)

²(Department of Mechanical Engineering Hong Kong University of Science and Technology Hong Kong)

Abstract A 2D/3D transformation method used for computer aided garment design is presented in this paper. The method is based on spring-mass model. 2D to 3D and 3D to 2D transformations for cloth patterns can be implemented within the same model. In 2D to 3D transformation, 2D cloth patterns are located in their initial positions near the mannequin. Under the applying of sewing force, the cloth patterns are deformed and sewn together on the mannequin automatically. In 3D to 2D transformation, 3D cloth patterns are mapped on a given plane initially. Under the applying of elastic deformable forces, the initial mapped 2D cloth patterns will be deformed and the final shapes of the 2D cloth patterns can be obtained. In 2D/3D transformation for cloth patterns, collision detection is also considered.

Key words 2D/3D transformation, computer aided garment design, spring mass model, collision detection