

基于粒子 - 弹簧模型的动态服装仿真

纪 峰 李汝勤 张瑞云

(东华大学纺织学院, 上海, 200051)

摘 要: 采用基于粒子 - 弹簧模型的仿真系统模拟服装在风等外力作用下的悬垂效果。发展了传统的对象 - 空间的冲突检测技术, 采用基于最小包围盒的快速碰撞检测算法检测人体与服装的碰撞, 显著提高了模拟速度。同时采用内力修正法克服失真现象, 取得自然逼真的模拟效果。

关键词: 织物/ 服装动态仿真 最小包围盒 碰撞算法 内力修正法

中图分类号: TS 101. 3 文献标识码: A 文章编号: 0253-9721(2004)06-0022-03

面料的建模方法通常可分为几何法、物理法和综合法, 纺织领域内的研究人员注重的是基于物理的仿真模型。目前已经发展起来的基于物理的建模方法如有限元素法、有限体积法及非连续的粒子模型^[1-3]等已经能够生成特定约束条件下的织物变形模拟效果。

本文采用基于粒子 - 弹簧系统的仿真模型对织物以及服装的变形形态进行仿真, 将通过几何技术得到的服装网格点数据作为空间粒子的初始状态, 然后使粒子在内力以及重力、风、人体约束等外力作用下运动, 从而生成服装的悬垂形态。在碰撞的检测和处理方面, 文中提出一种基于最小包围盒的快速碰撞检测算法。在人体数据的基础上, 通过算法自动生成一组规则几何体的集合, 以此对空间的人体数据点进行最大程度的包围逼近并取代人体参与碰撞检测和处理。因质点与空间规则几何体的碰撞检测算法比与空间三角形的碰撞检测已大大简化, 同时运算次数也显著降低, 所以该方法可大大提高系统的计算速度。在现有算法中, 关于碰撞检测和处理的处理通常占到整个计算的 30% ~ 50% 左右, 而用文中提出的算法, 碰撞检测和处理所占用的时间仅为总计算时间的 16.6% 左右。同时, 因为最小包围盒可对人体数据点实现更为精确的逼近, 所以较之常规的层次包围盒法的模拟结果更为逼真。

本系统的特点是通过软件的优化降低了对硬件的依赖性, 即使在一般的 PC 机上也可正常运行, 因为它不需要一些特殊扩展硬件的支持。并且由于该系统是在 VC++ 编程软件上结合 OpenGL 函数库执行的, 所以易于与 Windows 系统兼容, 这对它将来向网络方向的发展提供了良好的技术支持。

1 基于粒子 - 弹簧系统的织物仿真模型

1.1 模型的几何拓扑结构

在模型中, 织物是由 $l \times n$ 质点(粒子)构成的

网格结构。每个粒子通过轻质弹簧与周围粒子相连, 每个弹簧的自然长度为两端粒子的原始间距。模型中定义了 3 种类型的弹簧: 结构弹簧、剪切弹簧和弯曲弹簧, 分别反映了织物抵抗面内伸缩、剪切以及面外弯曲的性能。

1.2 模型中的力

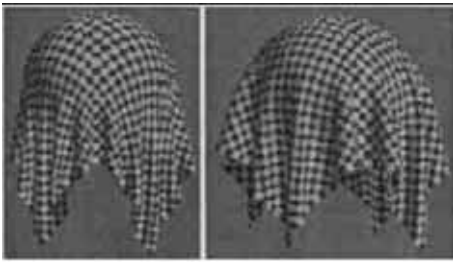
定义 $P_{ij}(t)$, $v_{ij}(t)$, $a_{ij}(t)$ (其中 $i = 1 \dots l, j = 1 \dots n$) 分别为质点 P_{ij} 在 t 时间的空间位置、速度和加速度, 粒子的运动遵循牛顿运动学定律: $f_{ij} = ma_{ij}$, 其中 m 为每个粒子的质量, f_{ij} 为粒子 P_{ij} 所受到的合力, f_{ij} 又可分内力和外力。系统内力是由弹簧的伸缩引起的, 在该模型中弹簧具有刚性和粘弹性, 粒子 P_{ij} 所受内力是连接该粒子与邻近粒子的所有弹簧张力之和。对系统所受外力的选用取决于所要达到的模拟效果, 这里所用到的外力有: 1) 重力: $F_{gm}(P_{ij}) = mg$, 其中 g 为重力加速度; 2) 空气阻尼: $F_{air}(P_{ij}) = -C_{vis}v_{ij}$, 其中 C_{vis} 为阻尼系数; 3) 摩擦力: $F_{fric}(P_{ij}) = -C_s N$ 或 $C_k N$, 其中 C_s 、 C_k 分别是静、动摩擦系数, 摩擦力在碰撞时才会遇到; 4) 风力: 由拖曳力 F_{Dij} 和浮力 F_{Lij} 两部分组成, $F_{Dij} = -K_D |\bar{N}_{ij} \cdot \bar{V}_{ij}| \cdot |\bar{V}_{ij}|$, $F_{Lij} = (K_L \cos \theta |\bar{V}_{ij}|^2) \bar{U}_{ij}$, 其中 \bar{V}_{ij} 为粒子对风的相对速度, \bar{N}_{ij} 为粒子的单位法向量, 而 \bar{V}_{ij} 与 \bar{N}_{ij} 之间的夹角为 $\pi/2 - \theta$, \bar{U}_{ij} 代表 F_{Lij} 方向的单位向量, 方向为垂直 \bar{V}_{ij} 且指向人体外部, K_D 和 K_L 分别为力的单位控制系数, 通常都取 0.01。

1.3 内力修正法克服失真现象

粒子 - 弹簧模型本身在用于织物仿真方面存在的主要缺陷是它的失真现象, 即“超弹”和“超缩”。这是因为模型中的弹簧处于理想状态——具有无限的线性伸缩率, 往往使模拟结果呈现出一种超常的伸/缩现象。针对这种情况, 采用了内力修正法, 其

基本思想是:在每一时间步长下检测各个弹簧的伸长率 R ,若发现 R 超出设定的阈值范围,则即时增大该弹簧的张力,不管弹簧是处于超弹还是超缩的情况下,弹簧张力的增加都会将两端的粒子“拖”回正常位置。通过修正系统内力来克服失真,正是体现了织物自身对非正常变形的反应和调整。

内力修正法优势之一在于算法简单易行,同时还可维持系统的稳定。当失真现象发生时,长度修正或速度修正都会令相关粒子的位置或速度在瞬时产生很大改变,从而导致局部区域因剧烈调整产生振动和不稳,而内力修正可使这一情况得以缓冲。图1为由 50×50 网格点阵构成的方巾在重力作用下与球体的碰撞模拟结果,其中(a)、(b)分别展示对失真现象纠正前、后的结果,表明这一方法可以获得自然有效的模拟效果。



(a) 失真现象 (b) 纠正后结果

图1 内力修正法纠正失真

2 服装的物理仿真

本文采用综合法对服装进行仿真。先用几何技术对人体数据点进行逼近,在人体数据基础上通过计算偏离值生成服装款式数据点并转化为空间粒子的初始状态点阵;对粒子赋予“生命”后使它们在内、外力的综合作用下运动起来,最终形成服装的动态悬垂形态。在本系统中,人体的三维数据点来源于三坐标测量仪;构成人体各部分(颈、躯干、四肢)的数据都是以 $l \times n$ 网格点的形式分别保存在文件中。

2.1 最小包围盒对人体数据的逼近

最小包围盒法的基本思想是用尽可能简单、规则的几何体精确地包围人体数据,从而取得最逼近人体的一簇几何体的集合。人体各部分的数据分别以 $l \times n$ 网格点的形式读入文件,对每一部分来说都是一系列点构成的“闭合线”的集合,而绝大部分闭合线在 $x-y$ 平面上的投影都近似圆形。用一个小圆柱体(为偏圆台的一个特例)来包围这条“线”:在 $x-y$ 平面上,圆柱底面的投影刚好包围住曲线上所有点的投影;圆柱上底面的 z 坐标取曲线上所

有点 z 坐标的最大值,而下底面的 z 坐标取最小值。每一条闭合线都对应一个小圆柱,2个圆柱之间由一个偏圆台来衔接:偏圆台的上底面为上圆柱的下底面,而下底面为下圆柱的上底面,连接2个底面圆心的直线 $O_1 O_2$ 就是偏圆台的中心线(见图2)。

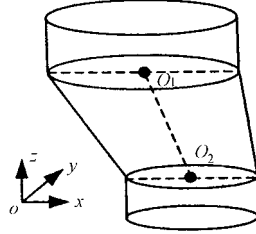


图2 圆柱和偏圆台的组合

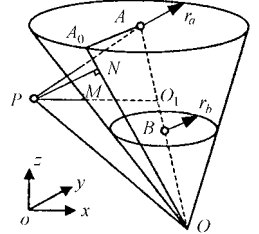


图3 粒子P与偏圆台的碰撞检测算法

以上方法将粒子与空间三角形的碰撞转化为粒子与规则几何体的碰撞。对于一组由 $l \times n$ 网格点构成的数据,可由 l 个圆柱和 $(l-1)$ 个偏圆台进行逼近,实施该算法之前,每个粒子要与 $(l \times n \times 2)$ 个空间三角形进行碰撞检测,而现在每个粒子只要参与 $(2l-1)$ 次检测,可见该方法可大大节省运算时间。另外,因人体模型不可能在所有部位的截面形状都接近圆,在人体突出部位和关节部位(如膝盖、臀、胸、肩、肘)往往要添加球体以使这些几何体的堆砌更趋近于人体表面,从而使模拟结果更为逼真,更为实现动态人体创造条件。

2.2 人体与服装的碰撞检测方法

本系统所采用的基本模型是球体和偏圆台。质点与球体的碰撞检测算法较为简单,这里着重叙述空间粒子 P 与偏圆台的碰撞检测算法,基本原理如图3所示。实现步骤如下:1) 设 $A(x_A, y_A, z_A)$, $B(x_B, y_B, z_B)$ 分别为偏圆台的上、下底面圆心,首先保证 P 坐标 $z_P \in (z_B, z_A)$ 。2) 判断 P 点是否在几何体外。 PQ_1 为一垂直 z 轴且与直线 AB 相交于 Q_1 点的直线, PQ_1 与偏圆台外表面相交于 M 点。若 $|\overline{O_1 P}| - |\overline{O_1 M}| < -\alpha \delta (\alpha > 0)$, 则发生穿透,执行穿透的处理算法;若 $-\delta \leq |\overline{O_1 P}| - |\overline{O_1 M}| \leq \delta$, 则进入下一步,继续判断碰撞是否发生。3) 将偏圆台拓展成偏圆锥,点 O 为偏圆锥顶点。平面 PAO 与上底面圆 A 相交于 A_0 点,直线 PN 垂直于 $A_0 O$,点 N 为垂足,可以证明 $|\overline{NP}|$ 即为空间点 P 到偏圆锥外表面的最短距离。计算矢量 \overline{NP} :分别计算 O 点空间坐标 (x_0, y_0, z_0) 和 A_0 点空间坐标 $(x_{A_0}, y_{A_0}, z_{A_0})$, 由此得到直线 $A_0 O$ 的方程;根据点 N 为垂足,从而可以计算矢量 \overline{NP} 。4) 判断粒子速度矢量与矢量 \overline{NP} 的关系,若 $\overline{V_p} \cdot \overline{NP} < 0$, 则发生碰撞,矢量 \overline{NP} 单位化后

即为碰撞面的单位法向矢量。

以上每一步计算中要考虑圆柱、偏圆柱和正圆台3种情况的存在,它们都是偏圆台的一个特例,都有各自的简化算法。

2.3 模拟结果及讨论

计算机配置为CPU P2.4,512M内存。在系统运行过程中,对服装施加了风力(风速10 m/s,风向“右后”→“左前”),令其产生一种动态飘逸效果,整个过程根据服装款式数据量的不同可控制在3~5 min之内,模拟结果见图4。



图4 动态服装仿真

3 结 论

从模拟结果可以看出,基于粒子-弹簧系统的仿真模型能够生成较为自然的动态服装仿真效果,证明以上算法在动态服装仿真方面是可行的。下一步的工作拟在此基础上,通过即时、连续调整这些几何体的相对位置实现人体的运动效果,从而可进一步实现服装在人体运动时的动态仿真。同时,将最小包围盒算法应用于每一个服装的微三角形面上,可进一步解决面料的自碰撞问题,使模拟结果更为逼真。

参 考 文 献

- 1 D. E. Breen et al. A Particle-Based Model for Simulating the Draping Behavior of Woven Cloth. *Textile Research J.*, 1994(11): 663 ~ 685.
- 2 X. Provot. Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior. *Proc. of Graphics Interface*, 1995: 147 ~ 154.
- 3 David Baraff et al. Large Steps in Cloth Simulation. *Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH 1998 Conference Proceedings*: 43 ~ 54.
- 4 Mathieu Desbrun et al. Interactive Animation of Structured Deformable Objects. *Graphics Interface, Kingston, Canada, 1999*. 6.

意大利纺织机械工业简介

意大利约有纺织机械企业350家,雇员达25000人。2003年,意大利纺织机械工业的产值约为32亿欧元,出口约为23.8亿欧元,出口值占生产总值的75%以上。出口国家和地区多达130个。意大利纺机企业的国际化以及对产品的不断更新发展,使其在国际市场上享有盛誉,其出口一直处于强势,并不断增长。

2003年,意大利纺织机械出口至不同地区的百分比如下:亚洲国家为38%,非欧盟欧洲国家为30%,欧盟国家为17%,北美国家为7%。2003年,中国仍然是意大利纺织机械的主要市场,对中国的出口值达到3.96亿欧元(-11%)。其它主要市场还有土耳其,为4.12亿欧元(+41%)。意大利在其它亚洲国家如印度、巴基斯坦和日本的市场也有所增加。另外意大利在东欧和美国的市場也有望增加。意大利提供的纺织产品覆盖各个加工工序:纺纱、机织、针织和后整理等。值得注意的是意大利销售到海外的主要工序设备的百分比大致相同,比例如下:纺纱设备21%,织造设备24%,针织设备23%,染整及印花设备23%,洗涤及其它设备9%。

意大利的纺织机械在中国市场上享有盛誉,意大利对中国的纺机出口量不断增加。目前,中国是意大利最大的用户,意大利出口到中国的纺织设备,占意大利纺织机械出口量的18%。2003年,意大利纺织机械对中国的出口总值为3.96亿欧元,而2004年前5个月,为1.19亿欧元,织造设备的比例占34%,纺纱设备占32%,针织设备占23%。