

6-5-2020

Real-time Simulation on Virtual Dressing Based On Virtual Human Body Model

Chuanyu Xue

1. IoT Engineering College ,Jiang Nan University, Wuxi 214000, China;;

Hongwei Dong

1. IoT Engineering College ,Jiang Nan University, Wuxi 214000, China;;

Mingmin Zhang

2. College of Computer Science and technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;;

Zhigeng Pan

3. Digital Media& Interaction Research Center, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Real-time Simulation on Virtual Dressing Based On Virtual Human Body Model

Abstract

Abstract: *In this paper we put forward a real-time method of virtual dressing using a single Kinect device. Virtual dressing using a low-cost device has very important application, but classic 3D human body dressing algorithms cannot work in real time. We need to generate 3D human body model before virtual dressing using Kinect. In this paper, we use a method which is based on body's basic information to build human body model, and the method is optimized to enhance the local simulation results.* This paper presents a tracking ellipsoid model and applies GPU parallel computing to decrease the amount of calculation of cloth animation, which effectively reduces the computation time of single step and improves the real-time performance of the program.

Keywords

character circle, virtual dressing, parallel computing, cloth animation, collision detection

Recommended Citation

XueChuanyu, Dong Hongwei, Zhang Mingmin, Pan Zhigeng. Real-time Simulation on Virtual Dressing Based On Virtual Human Body Model[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(11): 2847-2855.

一种基于人体胖瘦模型的穿衣实时仿真方法

薛传宇¹, 董洪伟¹, 张明敏², 潘志庚³(1.江南大学物联网工程学院 无锡 214000; 2.浙江大学计算机学院, 杭州 310027;
3.杭州师范大学数字媒体与人机交互研究中心, 杭州 310036)

摘要: 提出了一种使用单台 Kinect 体感探测设备生成实时的人体试衣模型的方法。利用廉价设备进行实时的三维人体模型试衣具有非常高的应用价值,但是目前的人体三维扫描技术大多数尚无法达到实时的人体模型虚拟穿衣。在穿衣之前需要通过 Kinect 生成实时人体模型。采用了基于人体胖瘦信息的实时人体模型重建方法,并对其方法进行优化增强其局部仿真效果。针对布料动画计算量巨大的问题,设计了一种椭球跟踪模型,从而在保证布料动态真实性的前提下减少了计算量。同时,在程序开发中,使用了 GPU 并行计算来处理布料动画计算,有效减少了单次步长的计算时间,提高了程序的实时性。

关键词: 特征圈; 虚拟试衣; 并行计算; 布料动画; 碰撞检测

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 11-2847-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201711034

Real-time Simulation on Virtual Dressing Based On Virtual Human Body Model

Xue Chuanyu¹, Dong Hongwei¹, Zhang Mingmin², Pan Zhigeng³

(1.IoT Engineering College, Jiang Nan University, Wuxi 214000, China; 2.College of Computer Science and technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 3.Digital Media& Interaction Research Center, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China)

Abstract: In this paper we put forward a real-time method of virtual dressing using a single Kinect device. Virtual dressing using a low-cost device has very important application, but classic 3D human body dressing algorithms cannot work in real time. We need to generate 3D human body model before virtual dressing using Kinect. In this paper, we use a method which is based on body's basic information to build human body model, and the method is optimized to enhance the local simulation results. This paper presents a tracking ellipsoid model and applies GPU parallel computing to decrease the amount of calculation of cloth animation, which effectively reduces the computation time of single step and improves the real-time performance of the program.

Keywords: character circle; virtual dressing; parallel computing; cloth animation; collision detection

引言

在虚拟现实研究领域,对虚拟人体模型的生成以及人体模型试衣的研究非常广泛。在实际应用中,



收稿日期: 2016-05-20 修回日期: 2016-07-12;
基金项目: 国家自然科学基金(61332017), 国家科技支撑项目(2015BAK04B00);
作者简介: 薛传宇(1991-), 男, 江苏, 硕士生, 研究方向为虚拟现实与物理动画; 董洪伟(1967-), 男, 江苏, 博士, 研究方向为图形学与计算机视觉、机器学习、智能游戏。

通过廉价设备进行虚拟试衣也具有非常重要的应用价值。早期的研究更偏重于使用模版来实现人体模型的实时跟踪生成,这对精度的要求偏高,并不适合在廉价的单台 Kinect 设备上实现。虚拟试衣由于其独有的特性,近几年来一直处于仿真研究的前沿领域。Furkan^[1]提出了一种根据人体信息,将服装纹理直接贴合到人物影像上的方法,并根据图像的变化方式对服装纹理进行调节,但是这种方法

的实际效果并不理想,无法体现出衣物的物理属性;吴博^[2]提出了预先离线仿真,实时动态绑定,再使用仿真软件或者算法对生成的标准模型和需要使用的衣物进行离线的仿真计算的虚拟试衣方法,通过这种方法生成的衣物仿真效果僵硬,无法生成动态的布料动画;Lin L^[3]提供了一种基于人体代理网格和衣服网格参数化的试穿方法,该方法可自动将衣服试穿到与衣服的参照人体模型的体型或拓扑不一样的人体模型身上,这种方法仿真效果好,但是碰撞处理相对复杂,不适用于实时性要求高的系统中。

物理的穿衣仿真往往需要涉及到布料的物理动画,使用基于物理仿真的方法模仿布料动态一般需要将布料抽象为质点和连接质点的弹簧,通过内力以及外力的作用对布料产生影响^[4-5]。Baraff 等^[6]提出了一种时间间隔更大的隐式积分法来求解质点的微分方程,并达到了比较好的仿真效果;为了避免隐式积分算法耗时的问题 Müller 等^[7]提出了基于位置的动力学模拟方法。该算法的核心思想是把弹簧质点模型转化为一个约束系统,对质点的每个质点进行约束,通过约束质点的移动来满足织物的物理特性。

碰撞检测和碰撞响应是布料动画中最为耗时的计算过程,提高效率的主要办法是减少碰撞检测比较的次数。层次包围盒法^[8]是在几何图元进行碰撞测试之前,先针对包围盒进行计算,从而减少碰撞检测次数。Zhang^[9]则利用空间枚举法来进行碰撞检测。他们的试验过程中,算法的时间复杂度接近于常数级,与之类似的还有八叉树 k-d 树等算法。唐勇等^[10]提出了一种自适应椭球包围盒的碰撞检测方法,将优化 K 均值聚类法用于自适应划分模型,生成一系列逼近模型的最小体积包围球。该方法在优化碰撞检测计算量的同时,保证了仿真的真实感,但由于该方法需要花费较多时间来生成最小体积包围球,所以并不适用于通过 Kinect 生成实时跟踪人体动作的的椭球碰撞模型。

随着虚拟现实技术的发展,不断有学者将虚拟

试衣技术与前沿的计算机图形学技术与虚拟现实技术相结合,不断提高虚拟试衣的实时性以及仿真性。孙守迁等在文献[11]中根据蒙皮动画的特点,将角色不同部位的特点用球和简单凸包来进行估计,仿真速率比较高而且拟合能力强。Meng 等人在^[12]的交互试衣系统中使用骨骼结构作为人体模型的初始划分,根据不同部位划分所需要的精度得到不同拟合程度的椭球。这种方法兼顾了效果和实时性,但是很难通过 Kinect 获取的数据得到实时动态的椭球模型。徐永等在^[14]的方法中,对于一个给定的三维人体模型,先运用 MCASG 图算法做初分割处理,得到人体模型的头部、手部、腿部以及躯干部。再通过运用 K 均值聚类算法,将人体模型进一步细分,得到如上手臂、下手臂、上腿部、下腿部、躯干以及女性胸部等部位。根据人体不同部位的具体形态特性来制定贴近并且碰撞检测效率尽可能高的包围盒。毛天露等在^[15]中提出了一种快速的“服装-人体”冲突检测及响应算法,在人体运动状态下,快速检测服装与人体之间的位置冲突,并达到线性的时间复杂度,在此基础上,提出一种合理有效的冲突响应机制,并实现快速稳定的三维服装仿真,取得了真实的仿真结果。朱小龙等在^[16]中提出一种基于双层候选集的实时冲突检测方法。首先为服装模型的每个顶点建立可能发生位置冲突的人体模型面片候选集,利用候选集的母子双层结构剔除绝大多数不可能发生冲突的图元,从而减少计算量,加快算法的运行效率。顾尔丹等^[17]提出了一种基于面-面进行碰撞检测来对人体与衣物进行碰撞检测的方法,这种方法较为简单,高效,且比较容易实现。水泳,郑津津等^[18]分析了在设计以及实现可变形物体之间的连续碰撞检测算法过程中需要考虑的几个因素,使用的 k-DOPs 包围盒以及层次包围树结构来进行碰撞检测。该算法初步检测阶段主要是把可能发生碰撞的物体分在同一个子集中。在详细检测阶段中对于图元之间的碰撞测试,使用点面图元对检测算法和边图元对检测算法。

实时的人体模型扫描重建方法一般都是基于模板的方法,模板是一个参数化的人体模型重建实质是通过输入的观测数据来估计模板的参数。文献[19]使用的是几个预先扫描不同姿势下的精确人体模板,以三维人体点云为输入,以 GMM(高斯混合模型)为拟合模型将点云注册到模板,通过对标准模板的全局和局部约束保证人体外形的不变,最后拟合出人体重建模型。文献[2]提出了一种基于人体基本信息的实时虚拟人生成算法,该算法利用根据胖瘦度向量信息生成的标准模型计算的特征圈来生成简化的人体模型。

本文的算法使用廉价的人体动作捕捉设备进行实时的穿衣模拟,在类似 Kinect 设备得到普及的背景下,本文实现的算法具有非常广泛的应用前景。通过该算法生成的试衣模型可以在显著降低计算量的同时,体现布料的物理特性,具有较高的仿真性能。论文的主要创新点可以描述为以下几个方面(1)对生成特征圈的方法进行优化。由于特征圈往往都是类似椭球的不规则形状,在接下来的试衣过程中衣物与模型的碰撞处理是非常不利的,可能会造成大块的模型“穿透”衣物的现象,所以需要将特征圈优化为规则图形以便进一步的穿衣仿真。(2)对肩部连接网格进行了改进,避免了肩部“凹陷”现象。针对“肩部凹陷”,本文设计了一种动态选择连接点的方法,使得人体模型仿真效果更好。(3)设计了一种跟踪椭球模型,该模型可以使得布料与椭球碰撞而不是布料直接与模型碰撞。椭球的旋转,缩放,平移参数通过特征圈以及 Kinect 实时获取。该方法极大的减少了计算量提高了实时性(4)针对布料动画计算量大的问题,通过 GPU 并行计算对程序进行优化,减少了单步计算时间,提高算法的实时性。

1 算法框架

本文使用以下思路来生成一个基于人体胖瘦模型的实时试衣算法。在本文中,人体胖瘦模型指的是通过对 Kinect 获得的数据进行分析,实时生成的具有人体基本信息的人体模型。首先利用文献[10]

中的方法来生成实时的与人体胖瘦接近的人体模型。在文献[10]的方法中,特征圈是过骨骼上某一节点且与骨骼垂直的平面与人体模型相交形成的圈。为了方便接下来的穿衣过程中布料与身体的碰撞计算。本文对特征圈生成的算法进行优化,将特征圈由不规则的图形改为椭圆圈。在本文中,特征圈除了用来生成人体模型,还为跟踪椭球的生成提供重要的参数,通过特征圈上的特征点构造出每个特征圈对应坐标系的矩阵便可以使椭球跟踪特征圈的缩放以及运动。本文的方法使用跟踪椭球代替人体模型进行碰撞处理,虽然精度略低,但是可以达到高度的实时性。在布料动画方面,本文使用较为成熟的弹簧质点模型模拟布料动态,为了提高算法实时性,本文通过 GPU 计算来减少单次 Timestep 的计算量。

基于上述思想,本文算法框架可以大致概括如图 1。

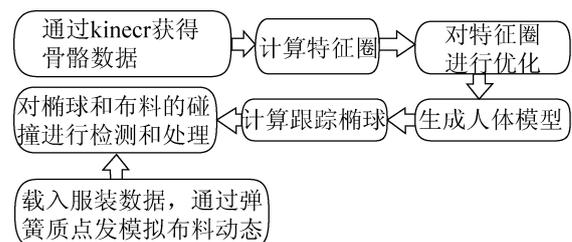


图 1 本文算法框架
Fig. 1 Proposed framework

如图 1 所示,对特征圈进行优化,计算跟踪椭球,以及椭球和布料的碰撞是本文研究的重点,也是整个算法的关键。由于特征圈是非规则图形,势必会影响接下来布料计算的美观性以及仿真性。计算跟踪椭球的关键在于通过特征点的坐标数据计算得到特征圈对应坐标系的变换矩阵,使得椭球可以跟踪特征圈的位移,缩放,旋转,进行运动。通过以上步骤,便可以得到基于人体胖瘦模型的实时试衣模型。

2 实时人体胖瘦模型的生成与优化

由于人体穿衣模型需要建立在实时生成的人体模型基础之上,因此在进行实时穿衣之前需要使

用基于人体基本信息的实时人体模型重建算法生成人体模型。Kinect 获取的人体深度数据包含丰富的人体基本信息。通过对深度数据进行分析,生成适当的人体模型,很大程度上决定了下一步穿衣的效果。参照文献^[2]提出的人体模型生成方法,其步骤可分为三步:

- (1) 标准模型模板的生成。
- (2) 特征圈的计算。
- (3) 连接网格的计算。

标准模型模板是指尺寸和衣物尺寸刚好匹配,并具备采集到的人体基本信息的标准人体模型。根据以上方法(2),可以生成如图 2 如示的人体特征圈与特征点,其中特征圈表示过骨骼上某一节点且与该骨骼垂直的平面与人体模型相交所形成的不规则图形,其大小反应身体该处的胖瘦,圈之间的距离则反应骨骼长度。作为生成人体模型的基础,特征圈直接关系到进一步生成人体模型以及进行穿衣的效果和实时效率。

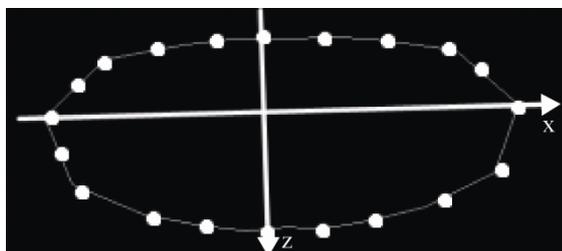


图 2 计算得到的特征圈与特征点
Fig. 2 Feature circle and the feature point

2.1 特征圈变形

从图 3 可以看到,肩膀以及身体部分的特征圈往往都是类似椭圆的不规则形状。而这对于碰撞处理来说是非常不利的,由不规则形状的特征圈经过网格连接之后生成的人体模型在进行布料碰撞的时候往往需要对每一个三角面片和布料进行穿透测试。设 n 表示生成人体模型中的面片数, m 表示穿衣布料的面片数,那么这个算法的时间效率是 $O(n \times m)$,是无法达到实时的效果的。

为了更好的进行布料碰撞仿真,需要对腹部以

及肩部特征圈进行一定的优化以减少穿透测试次数。优化方法选取特征圈部分参数重新构造出和特征圈形状大小类似的椭圆环,并在椭圆环上重新选取出特征点。并把重新选取的特征点映射到新的坐标系中。

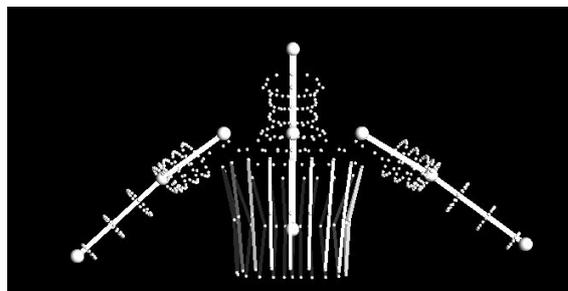


图 3 特征圈和骨架对应关系
Fig. 3 Feature circle and the skeleton

设标准模型的第 i 根骨架上第 j 个特征圈的特征点集为 S_{ij} , 则可以通过特征圈以及这个特征圈对应骨骼上的中心点确定坐标系 O_{ij} 。选取人体模型的向前方向的射线方向为 x 轴方向,选取骨骼向上方向为 y 轴,选取人体模型向左方向为 z 轴方向,三个方向上的单位向量分别为 \vec{X} , \vec{Y} , \vec{Z} 。则可以选取 z 轴方向特征点距离对应骨骼上对应节点的距离为椭圆短轴长度,选择 x 轴方向特征点距离对应骨骼上对应节点的距离为椭圆的长轴长度。设长轴长度为 L_l ,短轴长度为 L_s 。该特征圈上对应骨骼的对应节点的坐标为 (x_0, y_0, z_0) 。则可以得到特征环对应的平移矩阵 MAT_{tran} , 缩放矩阵 MAT_{scal} , 旋转矩阵 MAT_{rot} 分别为

$$MAT_{scal} = \begin{bmatrix} L_l & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$MAT_{tran} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & z_0 & 1 \end{bmatrix} \quad MAT_{rot} = \begin{bmatrix} \vec{X} \\ \vec{Y} \\ \vec{Z} \end{bmatrix} \quad (1)$$

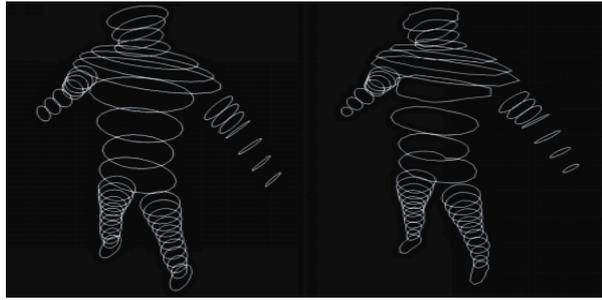
(MAT_{rot} 为 4×4 矩阵,其中 $MAT_{rot}[4][4]=1$)

得到上面参数后就可以进一步生成特征环,方法如下:

在世界坐标系的 XZ 轴上取一个半径为 1 的圆形, 在圆形上均匀的选取 K 个点。设第 i 个点的坐标为 Pos_i (Pos_i 为一个 1×4 向量, $Pos_i[4]=1$)。设将 Pos_i 转换到 O_{ij} 坐标系下的坐标值为 Pos_i , 则可以得到优化后的特征点坐标值 Pos_i 为:

$$Pos_i = Pos_i \cdot MAT_{tran} \cdot MAT_{rot} \cdot MAT_{scal} \quad (2)$$

特征圈优化的效果如图 4。



(a) 对特征圈变形后 (b) 对特征圈变形前

图 4 特征圆变形

Fig. 4 Feature circle morphing

2.2 动态生成肩部连接点

对肩部网格和大臂网格进行拼接时, 在某些情况下, 肩部连接会变得非常不自然, 出现“凹陷”。对于强调仿真性的人体模型来说, 是非常大的缺陷, 如图 5 所示。

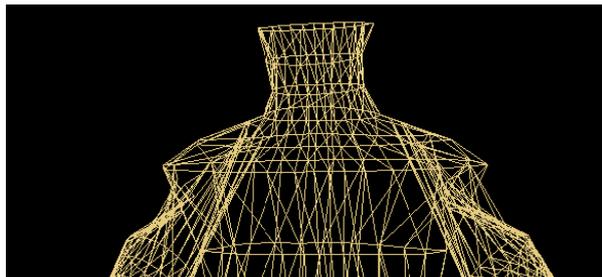


图 5 肩膀连接出现不自然的“凹陷”

Fig. 5 Hollow shoulder junction

这是因为肩部连接圈是固定的, 当大臂骨的方向和肩部连接圈的平面大致平行时。大臂连接就会出现明显的凹陷。针对这一问题, 可以取消固定的连接点, 每次 TimeStep 都重新选择连接点, 使得肩部连接过渡更加自然。

设左侧肩部关节的坐标值为 Pos_l , 左侧大臂向

外的方向向量为 Vec_l 。则可以以 Pos_l 为圆心, 以 Vec_l 为法线, 以大臂最接近肩部的特征圈所得的平均半径 R 为半径画出一个圆, 在圆上均匀选取 K 个点。那么这 K 个点就是需要求出的连接点。以 Pos_l 为起点, 选取任意垂直于 Vec_l 的单位向量 n_y 为方向, 移动 R 的距离得到第一个连接点 P_0 。(右侧连接点算法与左侧完全相同)

$$P_0 = Pos_l + n_y \cdot Vec_l \quad (3)$$

接下来以 P_0 为起点, 以角度 $\alpha = 2 \times \pi / k$ 为步长, 以 Vec_l 为旋转轴, 依次旋转, 得到 K 个连接点 P_i 。

$$P_i = P_0 * Rotate(Vec_l, Pos_l, \alpha \times i) \quad (4)$$

其中: $Rotate(Vec_l, Pos_l, \alpha \times i)$ 是由旋转轴 Vec_l , 角度 $\alpha \times i$, 初始点 P_0 构成的旋转矩阵。

接下来只需要按照文献[2]中生成人体网格的方法将得到的 K 个连接点和最靠近肩部的大臂特征圈上的 K 个特征点相连, 便完成了人体模型肩部的连接。对比原方法, 这种方法避免了在肩部连接时出现的变形, 肩部和身体的过渡更加自然。同时, 该方法较原方法减少了线段对网格求交过程, 大幅度的提高了算法效率。优化后的效果如图 6。

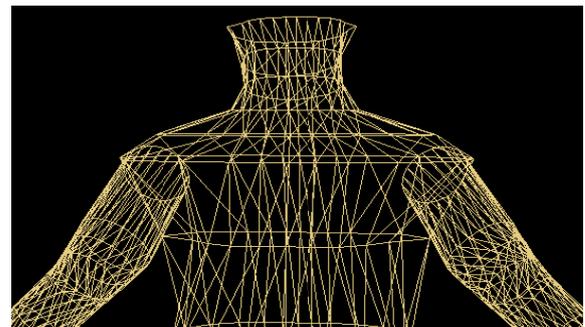


图 6 优化了肩部连接后的效果图

Fig. 6 Optimized shoulder junction

3 实时的人体模型穿衣仿真

在生成人体模型的基础上, 要实现人体模型的实时试衣需要解决布料动态的高仿真性和程序运行的高实时性的矛盾。在这一对矛盾中, 提高布料动态的拟真性往往需要庞大的计算量而实时性则要求算法的高效率。本文从包括优化特征圈在内的

算法和硬件的两个方面入手,提出了在精度要求不高的情况下实现的人体模型实时穿衣的方法。

3.1 通过并行计算优化布料动态的计算

本文采用弹性-质点法作为布料动态的基础,该算法具有相当高的仿真性以及优良的算法效率在不考虑碰撞的情况下,根据欧拉积分算法的时间复杂度为 $O(n)$,如果使用串行算法,需要每次遍历所有布料质点,所有的质点按照顺序进行积分运算。当衣物质点数量增加后,算法的实时性会受到严重的影响。

因为布料数据运算包含以下性质:

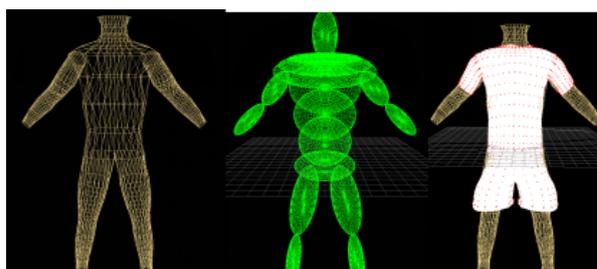
- 1, 质点之间运算相对独立,在同一 TimeStep 中,一个质点的动态不会影响其他质点
- 2, 每个 TimeStep 需要传输的数据相对较少,每次只需要从 GPU 拷贝回所有点的位置信息,硬件之间数据传输花费时间相对较少。

3, 总的运算规模很大,但是分散到每个点上的运算量非常有限。

所以使用 GPU 并行计算对布料动画的运算进行优化之后,单次 Timestep 需要的运算时间可以得到大幅度的优化。

3.2 人体模型跟踪椭球的构建

使用普通的碰撞检测和响应办法时往往每个布料质点都需要和所有的人体模型网格进行穿透测试,设布料点数为 n ,人体模型网格数量为 m 。则普通的碰撞检测的时间效率是 $O(n \times m)$,对于需要实时响应的程序来说,这样的时间效率是无法容忍的。所以,在这里引入跟踪椭球的概念,跟踪椭球是指根据特征圈数据产生的椭球,其大小大致可以覆盖人体模型网格,并且可以跟踪骨骼运动。当需要进行碰撞检测与响应时可以把布料质点和人体模型的碰撞转化为布料质点和跟踪椭球的碰撞,因为椭球数量远远少于网格数量,所以这种算法可以在保证仿真性能的同时大幅提高算法的效率,增强程序实时性,图 7 展示了未穿衣人体网格,椭球跟踪模型,以及最终穿衣效果图。



(a) 未穿衣人体网格 (b) 椭球跟踪模型 (c) 最终穿衣效果

图 7 未穿衣及穿衣效果图

Fig. 7 Human skeleton with and without clothing

针对每一个身体(腹部+肩部)特征环设置一个身体椭球,这个椭球的长轴长度和短轴长度和其对应的特征圈长轴长度和短轴长度都相同,椭球高度等于当前特征圈和其上方或下方特征圈对应骨骼节点距离的最大值 H 。这个椭球的平移和旋转都和其对应的特征环完全一致。

设当前特征环对应的跟踪椭球用矩阵表示为 MAT_e 。则可以通过特征环的长轴半径 R_l 和特征环的短轴半径 R_s 确定这个椭球的缩放参数,根据这个特征环对应的骨骼节点的坐标 Pos_e 确定这个椭球的位移参数。椭球的旋转参数则可以通过特征环所确定的坐标系 Mat_r 来确定。设该特征环坐标系原点为 Pos_e ,其 x 轴方向的单位向量 \vec{X} 由特征环长轴方向上的特征点和 Pos_e 所确定,其 z 轴方向的单位向量 \vec{Z} 由特征环上短轴方向上的特征点和 Pos_e 所确定,其 y 轴方向上的单位向量 \vec{Y} 由该特征圈对应的骨骼线段所确定。

则可以得到椭球对应的平移矩阵 MAT_{tran} , 缩放矩阵 MAT_{scal} , 旋转矩阵 MAT_{rot} 分别为:

$$MAT_{tran} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ Pos_{e,x} & Pos_{e,y} & Pos_{e,z} & 1 \end{bmatrix}$$

$$MAT_{scal} = \begin{bmatrix} L_l & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad MAT_{rot} = \begin{bmatrix} \vec{X} \\ \vec{Y} \\ \vec{Z} \end{bmatrix} \quad (5)$$

则可以计算出当前跟踪椭球矩阵 MAT_e

$$MAT_e = MAT_{tran} \cdot MAT_{rot} \cdot MAT_{scal} \quad (6)$$

由于四肢相对于身体来说, 更为“细长”所以像身体那样逐个特征圈设计椭球对四肢来说并不适用。针对四肢骨骼的特点, 为每一根骨骼设置一个跟踪椭球, 椭球的长轴等于骨骼的长度, 椭球的短轴和高度轴长度等于该骨骼所有特征圈平均半径的最大值。椭球的坐标值 Pos_e 和骨骼中心点的坐标一致, 椭球的长轴方向和骨骼所在的线段旋转方向一致。得到以上参数后, 生成椭球的过程和生成身体椭球的计算方法基本一致, 如图 8 所示。



(a) 拍摄到的人体 (b) 得到的实时椭球跟踪模型

图 8 人体及其椭球模型

Fig. 8 Human body ellipsoid model

3.3 碰撞检测与响应

由于织物是柔性物体, 必须对椭球进行精确的碰撞才能得到逼真的布料动态。因此必须在每个时间间隔内检测布料和椭球是否发生碰撞。如果存在质点穿透了椭球, 那么需要进行碰撞响应, 将这个质点移动到椭球表面最靠近初始位置的坐标。由 3.1 的分析易知, 并行计算同样适用于碰撞检测以及响应。

判断初始位置再 Pos_a 的质点和椭球 Mat_e 是否碰撞的方法是, 将这个坐标乘以 Mat_e 的逆矩阵得到其在椭球逆矩阵坐标系下对应的点 Pos_b 。

$$Pos_b = Pos_a \cdot MAT_e^{-1} \quad (7)$$

易知 Mat_e 在 Mat_e^{-1} 这个坐标系下表示的是中心在原点, 半径为 1 的圆球。于是便将质点和椭球碰撞检测的问题转化为了质点和圆球碰撞检测的问题。设 Dis 为该质点在

MAT_e^{-1} 坐标系下距离坐标轴原点的距离值。

$$Dis = |Pos_b| \quad (8)$$

当 Dis 小于 1 的时候显然 Pos_b 在圆球内, 从而推断出 Pos_a 和 Mat_e 发生了碰撞。

碰撞响应的思想是在检测到碰撞发生时, 将 Pos_b 移动到圆球表面上距离最近的 u 一点 Pos_c , 把 Pos_c 从 Mat_e^{-1} 坐标系转移到世界坐标系下, 便得到了碰撞响应后质点应该处于的位置 Pos_d 。

$$Pos_c = Pos_b / |Pos_b| \quad (9)$$

$$Pos_d = Pos_c \cdot MAT_e \quad (10)$$

4 仿真实验的结果以及分析

为了验证该方法的有效性, 拟真性以及实时性。特选取特征圈点数为 20, 布料质点数量为 2 000 的数据进行实验, 跟踪了随机 9 帧的运行时间。从统计信息中可以得到, 本文算法的主要时间消耗在椭球与布料碰撞检测的阶段, 其次是对布料进行欧拉积分的阶段, 其他阶段耗时都非常少, 在 1 ms 左右。因为在这个过程中需要大量矩阵运算, 相对运算量较大, 消耗时间较多。

(由于 CUDA 提供了更加精确的程序计时函数, 所以布料动画部分时间可以精确到小数点后 1 位), 平均时间每一轮计算只需要 41.1 ms, 约等于每秒达到了 24 帧。与其他穿衣算法相比, 虽然本文的精度没有他们高, 但是可以通过单台 Kinect 实时的生成穿衣模型, 在效率和效果的矛盾上找到了平衡点。本文的算法可广泛运用在电视机, 游戏, 虚拟试衣等场合, 具有广泛的应用场景。

将本文算法生成的实时穿衣模型(图 9)与文献 [2]中的人体模型穿衣效果进行对比可以得出, 通过本文算法生成的试衣模型能够比较真实地模拟出衣物的物理动态, 具有较高的仿真性能。

表 1 算法各个阶段耗时汇总

Tab. 1 Time cost for each step

帧编号	人体模型生成	生成跟踪椭圆	布料欧拉积分	椭圆碰撞	总耗时/s
1	0	0	3.9	36.4	40.3
2	1	0	3.9	36.5	41.4
3	0	0	4.0	36.2	40.2
4	2	0	4.1	36.2	42.3
5	1	0	3.9	36.4	41.3
6	0	0	3.8	36.6	40.4
7	0	0	3.9	36.5	40.4
8	2	0	4.0	36.5	42.5
9	1	0	4.1	36.5	41.3
平均时间	0.78	0	3.9	36.2	41.1



图 9 拍摄的人体画面和生成的试衣模型对比

Fig. 9 Virtual try-on



图 10 文献[2]中人体模型的穿衣效果

Fig. 10 Virtual try-on with ref [2]

4 结论

本文提出了一种基于人体胖瘦模型的实时服装仿真方法。本文的研究主要分为四个工作。第一个,对 Kinect 生成的实时人体胖瘦模型进行变形,使用椭圆的特征环代替特征圈进行模型生成;第二个,针对肩部连接出现的“凹陷”问题,设计了一种动态生成连接点的方法,使得肩部连接过渡更加自然。第三个,通过 GPU 加速对布料动画进行加速,提高了实时性;第四个,设计了一种椭圆跟踪模型,优化布料碰撞效率。仿真实验表明,本文算法是一种有效的穿衣实时仿真方法,具备布料动态仿真性好,算法效率高的优点。具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Isikdogan F, Kara G. A real time virtual dressing room application using Kinect[J]. CMPE537 COMPUTER VISION COURSE PROJECT, JANUARY, 2012.
- [2] 吴博. 基于人体基本信息的虚拟人实时生成[D]. 浙江大学, 2015.
Wu Bo. The virtual body rendering based on human basic information [D]. Zhejiang University, 2015
- [3] Zhang M, Lin L, Pan Z, et al. Topology-independent 3D garment fitting for virtual clothing[J]. Multimedia Tools and Applications, 2015, 74(9): 3137-3153.
- [4] Terzopoulos, D., Platt, J., Barr, A. H., Fleischer, K. Elastically deformable models[C]. ACM Siggraph Computer Graphics, 1987, 205-214
- [5] Provot X. Deformation constraints in a mass-spring model to describe rigid cloth behaviour. Graphics interface. Canadian Information Processing Society, 1995: 147-147.
- [6] Baraff D, Witkin A. Large steps in cloth simulation[C]//Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, 1998: 43-54.u
- [7] Müller M, Heidelberger B, Hennix M, et al. Position based dynamics[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2007, 18(2): 109-118.
- [8] Klosowski J T, Held M, Mitchell J S B, et al. Efficient collision detection using bounding volume hierarchies of k-DOPs[J]. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, 1998, 4(1): 21-36.
- [9] Zhang D, Yuen M M F. Collision detection for clothed human animation[C]//Computer Graphics and Applications, 2000. Proceedings. The Eighth Pacific Conference on. IEEE, 2000: 328-337.
- [10] 唐勇, 杨偲偲, 吕梦雅, 等. 自适应椭球包围盒改进织物碰撞检测方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(10): 1589-1596.
Tang Yong, Yang Sisi, Lü Mengya, et al. Enhanced textile collision detection based on adaptive ellipse bounding volume[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2013, 25(10): 1589-1596.
- [11] 孙守迁, 徐爱国, 黄琦, 等. 基于角色几何碰撞体估计的实时服装仿真[J]. Journal of Software, 2007, 18(11): 2921-2931.
Sun S, Xu A., Huang Q, Real time garment simulation based on geometry collision estimation, Journal of Software, 2007, 18(11): 2921-2931.
- [12] Meng Y, Mok P Y, Jin X. Interactive virtual try-on clothing design systems[J]. Computer-Aided Design, 2010, 42(4): 310-321.
- [13] Li Jun, Zhang Mingmin, Pan Zhigeng. Virtual Try-on Based on Images. State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China
- [14] 徐永. 基于人体混合层次包围盒的动态服装仿真[D]. 浙江理工大学, 2015.
Xu Y. Dynamic garment simulation based on hybrid multi-level bounding box [J]. Zhejiang Sci-Tech University, 2015.
- [15] 毛天露, 王兆其, 夏时洪. 三维服装仿真中的“服装-人体”快速冲突检测及响应算法[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(2): 356-361.
Mao T L, Wang Z Q, Xia S H. Rapid garment- human body collision detection and respond algorithm in 3D garment simulation[J]. Journal of computer research and development, 2006, 43(2): 356-361.
- [16] 朱小龙, 毛天露, 夏时洪, 等. 基于双层候选集的快速人体-服装冲突检测[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(7): 925-932.
Zhu X L, Mao T L, Xia S H, et al. Rapid human body-garment collision detection based on two level candidate set, Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2008, 20(7): 925-932.
- [17] 顾尔丹, 许端清. 结合一种面-面碰撞检测算法的服装动态模拟[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(11): 1036-1040.
Gu E D, Xu D Q. Dynamic garment simulation using face to face collision detection [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2002, 14(11): 1036-1040.
- [18] 水泳. 虚拟现实连续碰撞检测算法研究[D]. 中国科学技术大学, 2013.
Shui Y, The research of Continues collision detection in Virtual Reality[D]. University of Science and Technology of China, 2013.
- [19] Qing Z, Bo Fu, Mao ye, et al. Quality Dynamic Human Body Modeling Using a Single Low-Cost Depth Camera [C]//Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2014 IEEE Conference on. 2014.