

一种基于手绘草图的建模与动画系统*

费广正¹ 李欣² 韩红雷¹

(1. 中国传媒大学动画学院; 2. 中国传媒大学计算机学院, 北京 100024)

摘要:本文介绍一种基于手绘草图的建模与动画系统。传统的建模与动画系统要求用户具有专业的建模、动画技术及较强的三维感知,非专业用户根本无从入手。而传统的手绘交互的建模系统常常由于建模能力有限、无法保留手绘细节、轮廓线绘制不自由、无法提供方便的手绘编辑手段等原因很难应用于实际。这里呈现一种自由轮廓线、保持轮廓线细节、能修改形体表面细节的手绘草图建模方法,用户通过手绘草图的方法可以在几分钟内建立期望模型,同样用户可以通过手绘交互的方式进一步对该模型进行局部的细节修改,并且本系统中还引入了曲线骨架,用户同样可以通过手绘草图建立模型骨架、调节动画姿态。系统中方便的交互手段完全适合任何非专业用户使用,利用该系统建立输出的模型和动画可以适用于游戏模型创建、简单角色动画的要求。

关键字:手绘草图建模; 手绘草图编辑; 曲线骨架

A Sketch-based Modeling and Animation System

Guangzheng Fei¹ Xin Li² Honglei Han¹

(1. Animation School, Communication University of China, Beijing 100024;

2. Computers and Software School, Communication University of China, Beijing 100024)

Abstract: This paper proposes a sketch-based modeling and animation system. Most traditional modeling and animation systems requires users to have professional techniques and outstanding 3D perception, and the animation designers must perform a precise adjustment on the rigid skeleton position and angles for each key frame, which usually costs several hours to complete an animation. We here propose a modeling and animation system for non-expert users whose interactive format is sketching completely. In our system, we design a new soft curve skeleton to represent the model animation and deformation. By using this new curve skeleton, users can establish skeleton by sketch and design animation conveniently, and it will cost only several minutes to finish an animation work. Our system allows non-expert users to easily design and create non-precise models and animations.

Keywords: sketch-based modeling; sketch-based edit; curve skeleton

引言

随着计算机硬件尤其是图形扫描设备和图形处理硬件

性价比的提高,以及几何造型软件的普及,越来越多的三维模型在各个领域中得到了广泛地应用。相对于计算机性能的发展和三维建模技术的广泛应用,图形学领域中形体建模方式的发展却相对落后,人与电脑的交互方式也迫切的需要进一步开拓。传统的参数化建模方法往往要求使用者拥有丰富的专业知识,并且还要有较强的三维感知。采用传统的参数化的精确建模,设计者需要选择生成模型的形状、输入或调节各种建模参数、输入或调节生成模型的坐标、选择执

* 本文的研究工作得到国家自然科学基金项目(60403037)资助。

作者简介:费广正(1973年生),安徽合肥人,副教授,研究方向为计算机图形学、虚拟现实等;李欣(1979年生),贵州省贵阳市人,硕士研究生,研究方向为计算机图形学、计算机动画;韩红雷(1979年生),山西太原人,动画学院教师,研究方向计算机图形学、虚拟现实。

行某些布尔运算……很多建模方法过多地依赖于输入的数字,甚至对于一些能用草图绘制的模型也需要设计者估计其长宽数值才能建模。所有这些给建模的效率性和交互的方便性带来了很大的不便。在此基础上,非精确建模技术正逐步从精确建模的CAD时代走出来。非精确建模技术在动画、游戏、虚拟现实等诸多技术当中占着相当重要的比重,能广泛地应用于影视、娱乐、军事模拟、教育等各领域。本文力求设计一种更自然、更方便并且完全采用手绘交互的建模与动画系统。用户只需要勾勒出模型的特征轮廓线,就像漫画家绘制一幅漫画草图,我们的系统会自动地将其生成理想的三维模型。用户还可以在生成的三维模型上继续绘制特征轮廓线来描述模型的细节特征,其结果将会一一添加到三维模型当中。用户的所有操作都通过草图笔触的形式来表达,其结果直观可见并且能实时交互。本文还结合了刚性骨骼与变形算法的特点,设计了基于手绘笔触的手绘骨骼系统。动画师通过短短的几笔草图即可建立骨骼,在关键帧中同样通过草图的形式来完成对该帧骨骼状态的描述。

1 相关工作

Zelevnik^[1]等首次将手势引入三维造型过程研制了Sketch系统,造型手势包含了体素的类型、尺寸及其在三维空间的位置信息。此后在Eggli^[2]等研制的Quick-Sketch中,用户可以用笔直接在PC屏幕上勾画,系统将草图解释为准确的三维几何模型。早期的这两种方法都是将手绘草图作为一种手势来解释的建模方法。

在1999年,Teddy^[3]建模技术的提出使手绘建模技术的发展又迈出了重要的一步。Teddy中采用了Chordal Axis脊线和手绘曲线作为模型轮廓线直接进行三角化,使得手绘建模更直观便利。Teddy系统中,用户可以自由勾画构造三维自由表面体。相对于比较完善的Teddy建模算法,我们的算法力求解决以下几个问题:①三角化的过程是沿着手绘轮廓线的递推,如果手绘草图的轮廓线出现自交则无法生成模型,更无法实现多轮廓线共同建模,毕竟漫画家们都不是采用“一笔画”来设计草图的。②所创建的模型都是基于球形拓扑膨胀的,对于某些尖锐形体则无法通过该系统实现,比如无法轻松地绘制一个正六面体。③算法生成模型网格中的三角形数目明显偏高,特别是在脊线交汇点处,可能会产生十个以上的三角形汇聚一点,并且狭长三角形也为数不少,基于对Teddy算法中网格质量问题的解决,Igarashi又提出了对于Teddy所生成模型的光滑算法^[4],然而这种算法需要花费2~4s的时间来重新处理网格。

Karpenko^[5]等人设计了利用隐式曲面(Implicit Surface)进行联接来建模的方法,这种方法可以将多个Teddy系统生成的手绘模型合并,但是却无法提供更加细致的表面修改功能。

Bourguignon^[6]设计了将手绘素描解释为一种3D结构的算法Relief,Relief中采用的是草图识别算法,让用户从绘制各种手势中解脱出来,但是建模结果却不是理想。

Chen Yang^[7]设计了一种参数对象的手绘建模算法。该

算法主要采用的是将手绘草图与给定的经验2D模版进行匹配,通过让计算机来认识手绘笔划的意义从而定义特定的目标。如果最合适的2D模版匹配成功,系统将采样手绘笔划中的特征点来构建3D模型。

相对于手绘建模算法,手绘模型编辑与手绘动画系统的研发相对比较欠缺。Nealen^[8]等人设计了一种能保持模型细节的手绘模型编辑系统。这个系统可以让用户对模型进行基于视点的手绘修改,但是它只提供了侧面轮廓线的手绘修改功能。Thorne^[9]的Motion Doodle给我们展示了一种通过手绘曲线绘制运动路径来自动产生角色动画的系统,该系统大大吸取了艺术家在创作动画时期的另一种草图模式——路径描述。Kho^[10]等人设计了一种基于手绘曲线的模型变形算法,该算法的独特性和方便性给予本文在创作手绘动画系统方面很大的启示。

2 系统概述

当一个产品外观设计者或者动画角色设计者灵感突发的时候,通常会用纸张记录自己所想到的形体,而不是直接利用传统的建模软件输入参数来开始建模。通常这样的灵感突发所想到的东西都仅仅表现在外形的大致轮廓上,而对于模型的具体长宽高数据却很模糊。但是传统的纸张绘制的模型只能表现模型的某一个视点的外观,也许在物体产生旋转后的另一视点却不是那么的理想,这时就需要一种能快速、交互地创建艺术家所思考模型的软件,并且能提供自由视点的浏览和修改,对一种非真实感、非精确的手绘草图建模系统的研发势在必行,这也是本文创作研发这样的手绘草图建模系统的主旨和出发点。

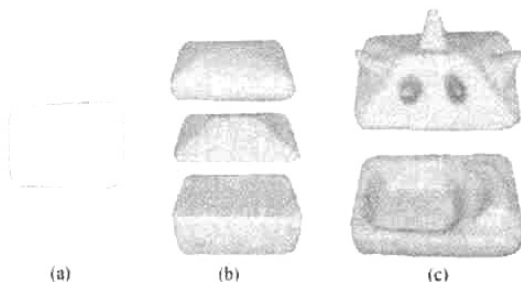


图1 用户的建模过程

在本文的手绘建模系统中,首先由艺术家在2D屏幕上绘制模型的轮廓线(本文系统所采用的输入设备为鼠标和手写板),所绘制的轮廓线可以由一笔划表示,也可以是多条笔划衔接表示,并且允许轮廓线的自交情况,如图1(a)所示。此后,系统将绘制的模型轮廓线进行3D扩展生成基本形体,艺术家可以按照自己的思路选择基本形体的大致扩展形状(圆形扩展、方形扩展、锥形扩展等)以及扩展的厚度(通过鼠标滚轮或者手写板的特殊键实现调节厚度),如图1(b)所示。这时,一个3D模型雏形已经建立,用户可以交互地改变视点观察模型,也可以继续添加、修改轮廓线重构该初模型,并且用户还可以对某些区域进行掏空操作(通过鼠标点选需要掏

空的封闭区域)。当艺术家满意自己设计的初时形体以后,可以继续通过手绘的方式直接在模型上圈点需要添加/修改的细节,如图 1(c)所示。

3 算法概述

基于对上述手绘建模功能的实现,本系统采取了以下的算法步骤,本章也将按照该些的步骤对该算法进行描述,如图 2 所示:

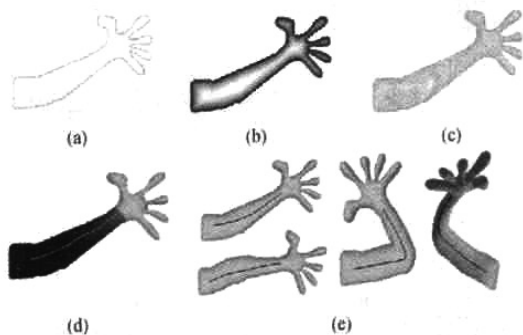


图 2 算法处理步骤

(1) 将轮廓线投影到视图平面上(如图 2(a)所示),填充轮廓线的封闭区域准备扩展 3D 模型,并计算填充区域的距离场。

(2) 把距离场进行换算得到高度场(如图 2(b)所示)。

(3) 采样构造模型拓扑网格(如图 2(c)所示)。

(4) 处理用户在形体上绘制的手绘曲线,并将计算后得到的细节添加在已经生成的模型上(如图 1(c)所示)。

(5) 处理用户定义的手绘骨架(如图 2(d)所示)。

(6) 手绘骨架系统的变形和关键帧插值(如图 2(e)所示)。

3.1 距离场生成计算

本系统中所创建的模型是以用户当前绘图的视图平面为基准,由视线方向两端扩展得到的形体。所以我们将用户绘制的信息投影到某个二维图像上面。这里再确定一下本文中距离场的概念,本文中出现的距离场是指在一个 2D 平面上,某区域所有像素点到平面轮廓线的最短距离的集合。按照本文的建模思路,将用户的手绘轮廓线先投影在一个 2D 的绘图平面上后,根据该 2D 轮廓线计算相应区域的距离场,用此距离场来生成阴影场以扩展为 3D 模型。

在生成距离场之前,我们需要先确定需要产生距离场的区域。在绘制有轮廓线的视图平面,首先计算轮廓线的封闭区域,通过填充算法很容易就能得到用户希望扩展模型的区域。利用填充的交互,我们可以让用户制作一些带孔的形体,比如在制作一个圆环时,用户首先将圆环的轮廓线(两个同心圆)绘制出来,然后点取内圆区域示意为非填充区域即可。如图 3(a)中绘制了两个封闭的同心圆,这时系统将默认填充所有的封闭区域,在图 3(b)中,用户指定了中心区域为非填充,因此在初始化填充区域的时候不让他扩展为形体,

最后得到图 3(c)中的圆环效果。

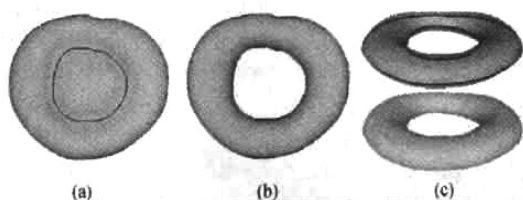


图 3 设置非填充区域

在对距离场的具体算法中,我们受文献[11]中起飞~着陆二维距离变化的启示,采用了如下计算方法:

1) 首先从左下、左上、右下和右上四个角起扫描初始图像,进行相应的变换:

(1) 从左下角起扫描图形,像素点灰度值为相邻左方点和相邻下方点间最小灰度值加 1。

$$I_{LB}(x, y) = \min(I_0(x-1, y), I_0(x, y-1)) + 1 \quad (1)$$

(2) 从右下角起扫描图形,像素点灰度值为相邻右方点和相邻下方点间最小灰度值加 1。

$$I_{RB}(x, y) = \min(I_0(x+1, y), I_0(x, y-1)) + 1 \quad (2)$$

(3) 从左上角起扫描图形,像素点灰度值为相邻左方点和相邻上方点间最小灰度值加 1。

$$I_{LT}(x, y) = \min(I_0(x-1, y), I_0(x, y+1)) + 1 \quad (3)$$

(4) 从右上角起扫描图形,像素点灰度值为相邻右方点和相邻上方点间最小灰度值加 1。

$$I_{RT}(x, y) = \min(I_0(x+1, y), I_0(x, y+1)) + 1 \quad (4)$$

2) 然后对于图像中每一个像素点,取四个图像数组中对应位置灰度值最小者,得到以灰度值表示的距离场。

$$I_0(x, y) = \min(I_{LB}(x, y), I_{RB}(x, y), I_{LT}(x, y), I_{RT}(x, y)) \quad (5)$$

3.2 高度场换算

模型是一个在平面上拥有高度的结构,因此我们需要将距离场先换算为高度场。由于采用的扫描式的距离场灰度计算方法,在生成的距离场中会存在少许噪音以及一些非自然脊线,因此我们首先需要将所生成的距离场进行模糊处理。本文采用的是 3×3 的高斯模糊算法。下一步,我们将高斯模糊处理后的距离场进行单位化,以便进行插值计算:将距离场中最大距离像素的灰度值设置为 1,边界像素的灰度值设置为 0,其余像素按比例权重到 0~1 之间。

通过不同的函数,我们可以把距离场转换为不同的高度场,这样,用户可以根据自己的需求选择需要扩展的模型形状。在本文的系统中,使用了以下几种普通的函数就产生了不同高度场和模型效果:

(1) 线性插值: $f(x) = x$, 这样得到的模型将会呈现锥形,距离场中的最高的点为锥形的顶点(如图 4 所示)。

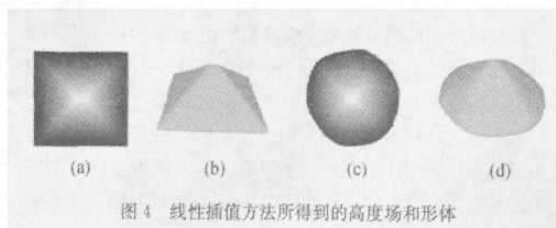


图4 线性插值方法得到的高度场和形体

(2) 圆弧插值: $f(x) = \sqrt{2x - x^2}$, 这样插值的目的是为了以后进行正反面形体缝合时, 在边界缝合处也能够得到 C^2 的光滑度。圆弧插值产生的模型类似于 Teddy 算法依靠脊线进行三角化得到的模型形状(如图5所示)。

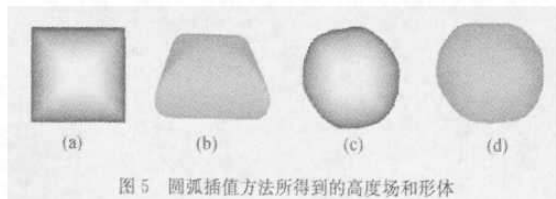


图5 圆弧插值方法得到的高度场和形体

(3) SIN 插值: $f(x) = \sin(x)$, 该插值函数产生的阴影场可以在边界与水平面保持 C^2 光滑度的连续(如图6所示)。

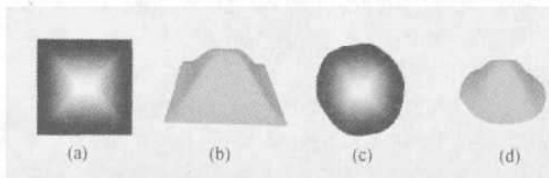


图6 SIN 插值方法得到的高度场和形体

(4) 0-1 插值: $f(x) = \begin{cases} 0 & (x=0) \\ 1 & (x>0) \end{cases}$, 从函数即可看出, 只要有高度场的区域, 其阴影场灰度值均为 1, 只有在边界线灰度值才为 0。因此, 我们可以利用这种函数得到直线方向扩展的形体模型, 长方形、圆柱等模型都可以这样得到(如图7所示)。

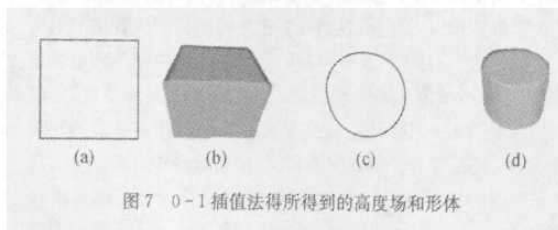


图7 0-1 插值法得到的高度场和形体

3.3 构造模型

本文通过对高度场进行采样, 得到了网格模型的顶点, 然后用三角形连接相邻顶点构成网格模型及其拓扑。在构造模型的时候, 我们对系统有这样的要求: 可以让用户交互地指定模型中三角形密度以及轮廓线扩展为模型的厚度。对于不同模型的厚度, 可以根据高度场中 Z 值乘以一个比例因子实现; 对于能产生不同的三角形密度的网格模型, 我们采用了对高度场间隔采样的方法来构造模型, 这样可以通过调节采样密度来决定生成模型中顶点数和三角形数的规模。

采样时的采样间隔决定了创建网格的密度和精度。采样间隔越小网格密度越大、精度越高, 但是采样间隔过密将会造成生成的顶点过多降低系统速度, 影响实时交互。图8中显示了不同采样间隔得到的网格密度。在建立模型的过程中, 我们对于采样时高度场中灰度值大于 0 的像素点(非边界点)都建立正反两个顶点, 以便在生成模型的时候可以相互扣合形成封闭曲面。因此在构造模型的具体问题上, 间隔采样存在这样一个问题: 间隔采样不可完美地采样到轮廓线, 所以在扣合模型的时候会造成正反面在轮廓线上无法封闭的情况。基于对这个问题的解决, 需要在第一次采样完成后, 继续对轮廓线进行第二次采样, 并且为了在采样中保持手绘输入曲线的轮廓, 我们需要将采样的点自适应地调节到轮廓线上。第二次采样我们按照如下的步骤进行: 首先, 我们收集所有与第一次采样时的采样点(非边界点 $Z > 0$, 说明没有找到边界)所相邻的未采样点, 如图9中的空心点, 利用向已采样点四个方向遍历的方法可以很快确定这些点; 然后, 在这些点的周围沿着四个方向来寻找最近的轮廓线像素, 如图9中的灰色点; 最后, 以轮廓线像素的信息来采样这些点(如图9中采样所有空心点, 但是 $XY = \text{灰色点的 } XY, Z = 0$)。第二次采样不仅能够封闭曲面, 而且能够让采样边界与用户所绘制的曲线吻合, 杜绝因为间隔采样而产生的锯齿边界。

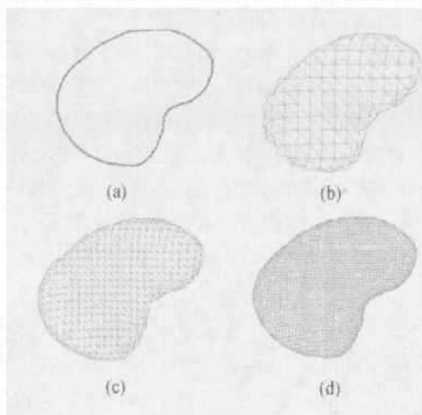


图8 不同网格密度的模型

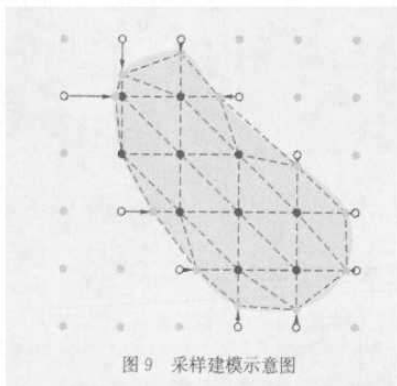


图9 采样建模示意图

3.4 添加表面细节

通过高度场建立的模型可以通过编辑二维高度场来修

改生成的网格模型,这正是基于高度场建模方法的一个优势所在,利用这个特点我们实现了一些可以让用户通过手绘草图修改、添加模型表面特征的功能。通过对手绘草图绘画时的习惯进行分析,我们设计了使用户通过绘制封闭区域添加、修改形体表面细节的功能。用户通过绘制形体上的某块区域,设置该区域的立体信息,即凸起或凹下,并通过选择凹、凸时的形状达到添加表面细节效果。本文系统在实现该功能的算法按照了如下的步骤进行:

(1) 用户可能在任意视点绘制模型的表面细节,因此系统的第一步工作就是需要将用户绘制的细节曲线投影在一个关系图像上,该图像即为 3.2 节中生成的高度场。在步骤 3.3 完成初型的创建后,我们保留高度场图像以及网格模型上顶点与高度场像素的对应关系。当用户在视平面上绘制一条封闭曲线后,系统首先将该封闭曲线投影到模型上,然后根据曲线在网格模型上的位置以及网格模型与高度场图像的对应关系,最后将曲线在投影在高度场图像上。

(2) 通过将投影在高度场图像上的封闭曲线进行填充,这样就得到了需要凸、凹形变的区域在二维图像上的具体位置区域。然后系统根据高度场的二维图像与模型网格的对应关系确定需要进行修改的顶点集;利用 3.1~3.2 中所展示的算法建立该填充区域的高度场,在建立高度场时同样可以让用户交互地更改凸、凹区域的形状。

(3) 通过上面两步,系统已经得到了需要修改的顶点集以及修改的区域的高度场,现在只需要做的就是将顶点集中的所有顶点按照高度场的大小产生位移。这里产生位移的方向有两种选择:一种是保持 X 、 Y 的位置,只在顶点的 Z 方向上做位移;第二种是根据顶点的法向量方向进行位移。图 10(b)编辑了局部放大,图 10(c)为局部缩小,图 10(d)为手绘区域凸起,图 10(e)为手绘区域凹下,图 10(f)为双面凸起。

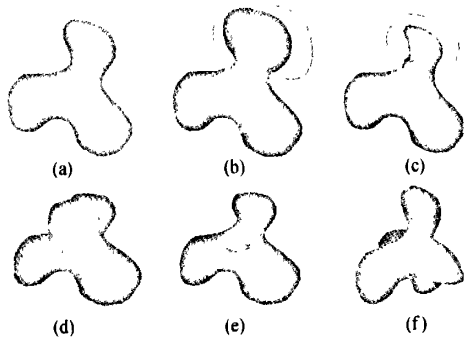


图 10 手绘模型表面细节修改

3.5 初始化角色动画系统

在我们的系统中,用户可以按照以下的步骤对一个现有模型进行骨架动画制作。①在模型上绘制骨骼,定义骨骼信息,本文采用的骨骼系统并不是传统的节点骨骼。用户在绘制的每一段曲线上的每一点在动画系统中均有意义,极大地获取了用户想表现的信息,最终用户可以将整个模型抽象为以曲线骨骼来表现的姿态。②在定义完毕曲线模型后,用户

可以重新绘制曲线骨骼来完成模型的姿态调整,这一步就像动画家在书角的第二页绘制一个新的小人一样。系统将对模型进行刚体和形状变形以转变到新姿态,姿态变形结合了局部刚体运动和形体变形。用户绘制的这些姿态都将作为关键帧来作为整个动画的插值基础。③系统根据所绘制的关键帧对动画每一帧进行插值和变形运算,最终输出完整的动画。

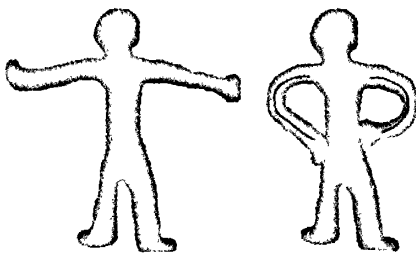


图 11 动画骨架变形

这里我们先介绍如何将一条单一的手绘曲线转化为该曲线骨骼,要把用户徒手绘制的曲线翻译为骨骼系统中的曲线骨骼,我们需要作以下几个步骤的处理:①将骨骼系统投影到模型内部中心位置,根据曲线的位置来划分该曲线影响的区域。②建立模型上的点与该骨骼的对应关系。

本文采用的曲线骨骼是有自身的方向的,也就是用户从落笔绘制曲线到抬笔结束绘制的顺序。曲线在投影到模型形体中心后也保留该顺序,这样在曲线起始位置和终点位置的两个切面会将整个模型划分为三个区域。参照文献[10]中的思路,本文的系统同样把骨骼控制的模型划分为:①静态区域——在起始切平面以外的区域,这个区域不受骨骼的影响,属于静态部分。②形变区域——在两个切平面之间的部分,这部分形体将会随着曲线骨骼的具体形状进行相应的变换。③刚体运动区域——该区域内部结构相对稳定不变,但是为了和形变区域保持连续,我们将会让其做刚体运动。为了得到相应的变形,我们需要建立模型与曲线骨骼的对应关系。这里,对于每条骨骼我们指定一个 S 值赋予到每个顶点,这个 S 值表达了该顶点对于某个骨骼的具体位置,也就是骨骼的某个具体位置直接控制该顶点。对于 S 值的计算我们采用的是骨骼曲线的弧长值,从起始点开始弧长为 0,叠加曲线的每一段长度直到终结点,将换算后的总弧长单位化,也就是 $S=0$ 的时候指向曲线的起始点, $S=1$ 指向曲线的终结点,其余曲线上的点以弧长为基础换算。

3.6 骨骼变形算法

在进行变形计算之前,我们先确定一下已知信息以及需要求取的信息:系统在这一步保存有初始模型中都有顶点的坐标集,保存有原始曲线骨骼(用户定义骨骼的曲线)以及 3.1 节中所计算的曲线和骨骼的对应关系 S 值集,获取用户输入的目标骨骼曲线,根据以上的信息,系统求取当前时刻用户所期望的模型状态。

针对于模型上单个顶点 V 的变形计算,我们将这些信息

提取出来;坐标值 V_0 ——该顶点在原始模型上的坐标值;坐标值 S_0 ——该顶点存储的 S 值所对应的原始骨骼曲线上的具体 S 位置的坐标;坐标值 S_r ——该顶点存储的 S 值所对应目标骨骼曲线上的具体 S 位置的坐标;单位向量 u_0 ——初时曲线 S 位置处的法向量,单位向量 u_r ——目标曲线在 S 位置时的法向量。有了这些值,我们就可以开始如下的转换工作:首先将向量 $V_0 - S_0$ 旋转至与 u_0 旋转到 z 轴同样的角度,然后旋转 z 轴到 u_r 的角度,最后加上目标骨骼的位置 S_r ,得到单一顶点的变形计算公式:

$$V_r = S_r + R_{rx}^T R_{ry}^T R_{rz}^T (V_0 - S_0) \quad (6)$$

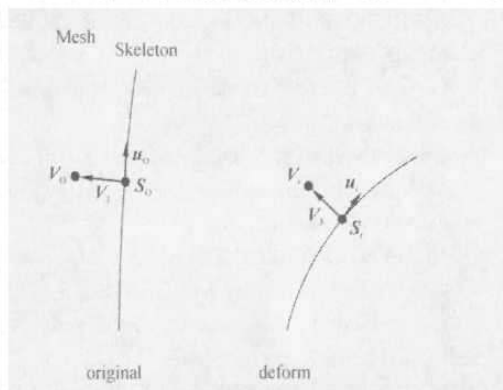


图 12 变形算法时的顶点位移示意图

4 结论

本文介绍了一种新的手绘草图建模以及动画系统及其算法。通过该系统,用户可以通过简单的手绘交互方式来建立模型以及角色动画。本文采用了距离场-阴影场-模型的形体扩展方式。本文的算法在建模的自由度方面显得稍有不足,但在操作简便性方面具有明显的优势,特别是在创建一些空心、尖锐形状模型方面显得十分便利,本文的系统还支持多轮廓线共同建模的功能,并且允许轮廓线带有自交,生成的模型也极大程度上保留了用户绘制的轮廓线细节。

在建模系统中,用户可以通过一些交互选择实现创建模型的任意网格密度、自由的模型厚度以及不同的扩展形状,不仅如此,用户还可以通过在模型上直接手绘的交互方式,来对模型表面的细节进行修改。通过本文系统所创建的模型,完全地保留了用户轮廓线的各种细节特点,并且在拓扑上完全的封闭;模型的三角形面数均为 6,除了在极少数边界缝合点数为 4 或者 8,绝大多数情况下避免了狭长三角形的产生。

本文的动画系统提出了一种新的曲线型骨架方案,该曲线骨架系统在结合模型的变形动画以及手绘曲线编辑方面具有很大的优势,并且该曲线骨架动画系统可以作为独特的技术使用于其他非手绘建模的动画领域。本文所探索的曲线骨架系统无论在表达方式还是交互方式上,在当今动画技术方面均属于比较新颖的思路,值得对其进行深入研究探索。

图 13 中展示了一条鱼模型的绘制过程,图 14 为一些非专业人员通过该系统,仅仅花费几分钟绘制的模型。

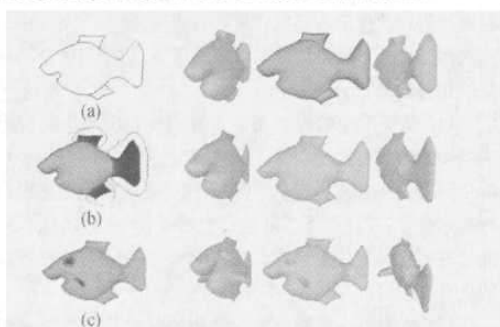


图 13 绘制鱼模型过程

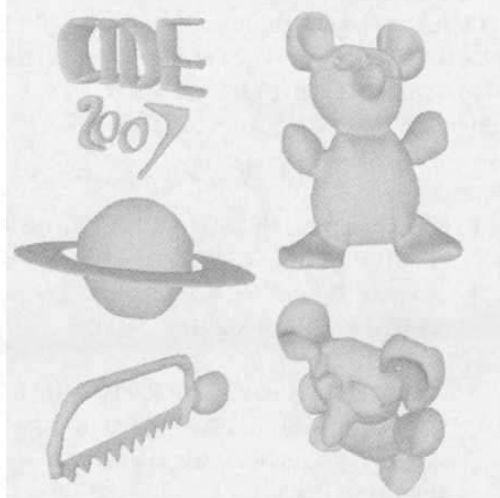


图 14 一些通过该系统绘制的模型

5 未来工作

本文所介绍的研究工作试图创建一个新颖的、便利的、整体的手绘建模及动画系统。但是由于时间、能力等因素,该目标并不容易达到,本文的系统仍存在一些不足以及一些可以扩展的地方,目前归纳有以下几点有待未来研究的工作:

(1) 真正的全自由度建模。目前的建模系统仍然局限于对在平面上的轮廓曲线的扩展,而对于任意的立体手绘曲线不支持。如何将空间上任意一条曲线扩展为手绘模型是今后该系统的工作重点。

(2) 某些无法实现的模型拓扑。当前建模工具已经能够表达并创建大多数拓扑的模型,但是对于一些比较特殊的拓扑,如空心的球体模型、管状结构的模型以及一些非流体拓扑模型无法实现建模。针对各种特殊拓扑的模型建模,我们将会继续研究其手绘交互方法。

(3) 网格模型优化。目前生成的网格模型,虽然在三角形面数和狭长三角形的避免上面有一定的优势,但是所生成

的顶点和三角形数量偏多,如果要作为普通实时渲染的模型,需要将其进行简化。根据我们构造模型拓扑的方法,在轮廓线附近的模型需要比较精确的描述,而在距离场中部的一些部位完全不需要构造如此多的顶点,选择一种合适的网格简化算法势在必行。

(4) 基于手绘的模型布尔运算。我们所产生的模型均为基于轮廓线投影一次构造的封闭拓扑,如果用户需要构造两个网格拓扑来表达一个物体,系统需要将两个拓扑网格进行布尔合并,并且在连接处进行光滑处理,这些操作也需要能通过手绘的方式来操作。这方面是 Teddy 系统比较成熟的优势,也是我们当前正在努力的方向。

(5) 精炼曲线骨架系统。目前的曲线骨架系统还只是处于在动画基本功能上的适应性研究和实现,并且使用了本系统建模模型的特性,我们下一步的工作首先是将该系统修改于能适用绝大多数的网格拓扑。此外,用户在使用骨架的功能时需要有一定的经验以及了解我们的骨架系统,我们将会另外构造一种用户通过手绘曲线创立曲线骨架的方式来适应用户的需求。

参考文献

- [1] ZELEZNIK R C, HERNDON K P, HUGHES J F. SKETCH: An interface for sketching 3D scenes[C]// Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, New Orleans, 1996, 1:163-170.
- [2] EGGLI L, HSU C Y, BRUDERLIN B D, et al. Inferring 3D mode from free hand sketches and constraints[J]. Computer Aided Design, 1997, 29(2): 101-112.
- [3] IGARASHI T, MATSUOKA S, TANAKA H. Teddy: A sketching interface for 3D free-form design [C]// Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Addison Wesley, 1999, 1:409-416.
- [4] IGARASHI TAKEO, HUGHES JOHN F. Smooth meshes for sketch-based freeform modeling [C]// Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, San Diego, 2003: 139-142.
- [5] KARPENKO, OLGA, HUGHES, et al. Free-form sketching with variational implicit surfaces[J]. Computer Graphics Forum 2002, 21(3):585-594.
- [6] DAVID BOURGUIGNON, RAPHAËLLE CHAINE, MARIE-PAULE CANI, et al. Relief: A Modeling by Drawing Tool [C]// Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces, 2004-08.
- [7] YANG C, SHARON D, PANNE M. Sketch-based Modeling of Parameterized Objects [M]// SIGGRAPH 05, Sketch Session.
- [8] NEALEN A, SORKINE O, ALEXA M, et al. A sketch-based interface for detail-preserving mesh editing[J]. ACM Transactions on Graphics, 2005, 24(3):1142-1147.
- [9] MATTHEW THORNE, DAVID BURKE, MICHIEL VAN DE PANNE. Motion Doodles: An Interface for Sketching Character Motion. Computer Graphics Proceedings [C]// Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH.
- [10] KHO Y, GARLAND M. Sketching mesh deformations[C]// Proceedings of the ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, Washington D C, 2005: 147-154.
- [11] 张若文,等.一种快速简便的图像骨架变换方法[J]. 信息与电子工程, 2003-05, 1(1).