

基于草绘辅助 3D 动画综述*

李松, 杨征, 魏迎梅, 吴玲达

(国防科学技术大学 信息系统与管理学院 C4ISR 国防科技重点实验室, 长沙 410073)

摘要: 提高 3D 动画的制作效率是发展 3D 动画的一个关键问题, 随着计算机硬件技术和辅助技术飞速发展, 为解决这一问题提供了可能。基于草绘交互方式的辅助技术正受到相关研究者的关注。简要地回顾了基于草绘辅助技术的研究现状和发展历程, 总结分析了其在 3D 动画制作中各环节的辅助技术, 并对今后的发展方向进行了展望。

关键词: 辅助; 三维动画制作; 草绘; 交互

中图分类号: TP391.3 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2010)09-3210-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.09.003

Survey of sketch-based technique aiding 3D animation

LI Song, YANG Zheng, WEI Ying-mei, WU Ling-da

(College of Information Systems & Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Improving the efficiency of three dimension animation producing is a key problem in animation industry. As the techniques of computer hardware and computer aiding develop fast, that makes solving the problem possible. The user interface based on sketch has been focused on many researchers. First of all, this paper reviewed the technique of sketch briefly, after that, summarized how it used in the three dimension animation. Finally, prospected its development in the future.

Key words: aiding; 3D animation; sketch; user interface

0 引言

传统的 3D 动画制作通常都是通过一些建模软件(如 3D MAX、Maya 等)来构建角色模型、编辑材质与灯光效果以及后期渲染等, 耗时耗力, 效率低下。因此, 在制作大规模 3D 动画时, 提高制作效率是一件很有意义的事情。一种方法是设计出一种交互方式, 使用户能够简单、快捷、高效地向计算机传递各种图形、绘制和修改信息。对此, 学者们提出了一种简单的交互方式, 即基于草绘的交互方式。这种方式最大的特点是: 没有使用复杂的 WIMP(windows, icons, menus, pointings), 操作简便, 就如平时用笔在纸上绘制一样。它最开始用于建筑和机械建模的概念设计, 由于其交互方便和快捷, 很快在 3D 动画制作中得到了应用和发展。

本文综述了近年来基于草绘的 3D 动画辅助制作的各种技术, 将其概括地分为两种: a) 根据现有的 3D 动画制作流程, 在每个阶段分别进行辅助, 如辅助建模、辅助变形和辅助添加特效等; b) 通过结合现在 2D 动画制作的成熟经验和高效性, 并按 2D 动画制作流程以 2.5D 的形式制作动画, 既可以提高效率又可以增加丰富的 3D 效果。

1 概述

基于草绘的交互方式应用于计算机辅助设计最早可以追溯到 1960 年, Sutherland^[1]开发的 SketchPad 系统可以用光笔

在计算机上得到图形图像。Johnson^[2]第一次将其推广到了 3D 建模, 然而, 设计出基于草绘的交互式的辅助系统需要相应的在线识别技术和与之匹配的硬件设备。随着技术的发展, 出现了越来越成熟的建模系统: Viking^[3]、IDeS^[4]、Quick-sketch^[5]、SKETCH^[6]、Digital Clay^[7]、Teddy^[8]、BlobMaker^[9]、SMARTPA-
PER^[10]、ShapeShop^[11]等。近期基于草绘的建模系统由于结合了较好的表面变形技术, 能够制作较复杂的角色模型并能构造丰富的细节^[12], 受到 3D 角色建模的启发, 国外许多研究机构和院校将笔式交互方式应用到 3D 动画制作的其他阶段。文献[13~16]将笔式交互方式应用于 3D 动画模型的变形从而能够辅助生成关键帧; 文献[17~19]将其应用于合成阶段的光照特效; 文献[20~26]将其应用于 2.5D 动画的制作方式, 同样得到了很好的效果。

国内相关的研究起步较晚, 研究范围也较小, 主要集中在辅助 3D 建模。代表性的工作有马翠霞等人^[25,26]提出的应用于概念设计的多层次特征手势、田丰等人^[27,28]研制的 Create Pan, Song Bao-hua 等人^[29]研制的 ISID 均是辅助 3D 建模, 且主要用途不在于辅助制作 3D 动画。因此, 国内在这方面的研究还较少。

通过对国内外研究现状的分析, 本文将基于草绘辅助 3D 动画制作的基本任务概括为: 如何运用草绘的交互方式并通过学习或者各种先验知识, 使计算机能够自然、合理地联想到相应的动画视觉效果。

收稿日期: 2010-02-25; 修回日期: 2010-06-25 基金项目: 国家“863”计划资助项目(2009AA01Z335)

作者简介: 李松(1986-), 硕士研究生, 主要研究方向为计算机视觉(nudt_leeson@sina.com); 杨征(1978-), 男, 讲师, 博士, 主要研究方向为宽带卫星网络、多媒体系统; 魏迎梅(1972-), 女, 甘肃兰州人, 副教授, 博士后, 主要研究方向为多媒体信息系统与虚拟现实; 吴玲达(1962-), 女, 教授, 博导, 主要研究方向为多媒体技术与虚拟现实。

2 草绘辅助设计的提出

2.1 基于草绘的辅助设计的提出

基于草绘的辅助设计最初是用于建筑和工程设计中的概念设计。按照传统的方法,设计人员在初步的概念设计阶段都需要将其想法绘制到纸上作为草稿,通过修改后再将其输入到 CAD 软件中。传统的 CAD 界面基于 WIMP,使用起来非常复杂,并且需要较高的技术知识和较长的操作学习过程。在商业 CAD 软件的实际使用中,经过统计,用户 75% 的时间用于点击菜单选择模型^[30]。如果能够根据设计者绘制到纸上的草稿直接生成相应的 3D 模型,这样做将具有很大的意义。由此,提出了基于草绘的辅助设计。

然而,基于草绘的辅助设计在给设计人员带来便捷的同时也产生了很大的困难,主要表现在将绘制的草图直接转换为 3D 初始模型,其实质是几何重构。由于丢失了很多空间信息,要从 2D 重构出 3D 模型是不可能的。Lipson 等人^[31]指出:人类对 2D 线条的 3D 解释是一种可以学习的原理,如果能将其原理以算法的形式表述,计算机也能够“理解”线条。现在解决 3D 重构的主流方法是结合视觉感知和几何方法对其加以重构,但是问题还未能完全解决。具体参看文献[32],这里不再赘述。

2.2 基于草绘的辅助设计在 3D 动画制作中的应用

基于草绘的辅助设计在 3D 动画制作中的应用主要包括以下几个方面:

- a) 快速、直观地进行动画形象的 3D 建模。
- b) 在已有的 3D 角色模型上进行个性化修改,调整姿势,增加细节。
- c) 辅助修改或者直接加入明暗、阴影等光照效果以及渲染的效果。

值得指出的是,基于草绘的辅助设计在 3D 动画制作中的另一发展方向是辅助制作 2.5D 动画,即膨胀出一些特征线条(或者轮廓线条)以方便添加 3D 的效果^[22,23],不仅可以降低 3D 重构的难度,又能制作出丰富的 3D 效果。这是结合 2D 动画和 3D 动画制作的一种折中方法,但是,将 2D 信息恢复到 3D 是计算机视觉中需要解决的经典问题,存在很多的困难。

3 基于草绘的 3D 动画制作技术

3.1 基于草绘的 3D 动画角色建模

基于草绘的 3D 动画制作最早应用于 3D 动画角色建模。其一般的流程为:以鼠标或者电子笔作为输入设备,系统在捕获到输入的初始线条之后,进行去噪、合法性检验等预处理,系统根据预先定义的算法将其转换为相应的 3D 模型,用户根据系统提供的操作对生成的初始模型进行修改进而生成动画师所需要的角色模型。本节首先简要地回顾各种基于草绘的 3D 建模方式和模型表现形式;然后分析得出适合构造动画角色模型的类型;最后详细介绍几个对动画角色建模技术发展有较大影响的原型系统。

综合大多数基于草绘的 3D 建模系统,其构造 3D 模型的方式分为整体草绘构造和交互式增量草绘构造两种。第一种方式适合于使用重构方法进行 3D 建模,较多地应用于建筑和制造等较规则刚体,不适合对不规则动画角色的建模;第二种方

式可以进行结合变换视角修改操作,较适合于构造出角色模型。

模型的表现方式主要有基于体积、表面、多边形网格三种表现形式。基于体积的表现形式最大的特点是能够构造出细节性强的模型,可以解决自相交问题,并且由于没有复杂的网格编辑而比较容易实现;基于表面的表现形式最大的优点是其能解决光滑问题,但同时也带来了缺点,即由于隐式函数是连续的,这将导致它不能构造不连续的特征,如尖锐特征,现在还没有很好的解决方法。由于模型最终的渲染是基于多边形网格,基于多边形网格的表现形式的优点在于能与传统的 3D 建模软件兼容,但是它也存在相应的缺点:a) 限制了局部修改,但可以通过层次化构造解决该问题;b) 任意光滑形状的建立存在着困难,因为用网格构建的模型一般存在网格不均匀,模型有小的凹凸和花边,对于该缺点可以采用网格细分和网格平滑的方法解决。总的来说,构造动画角色模型较适合采用基于体积或基于多边形网格的表现形式。

构建 3D 模型的方法大致可以分为:a) 基于重构的 3D 建模,主要有基于 Huffman 标签的重构方法和基于优化算法的重构方法;b) 基于手势的 3D 建模,其又可以细分为启发式 3D 建模和基于膨胀方法的 3D 建模。一般而言,基于重构的 3D 建模方法更多地应用于建筑和工程设计,基于手势的 3D 建模方法更适合应用于动画制作。因为前者是基于对素描线条的识别、理解以及视觉感知的原理来重构出最可能的 3D 模型,其重构模型大多为多面体或者刚体,而不适合构造出不规则自由形态的动画角色形象。基于手势的 3D 建模大多是交互式增量草绘构造方式,适用于构造不规则自由形态的物体,因此其适合动画角色建模。

本文列出了角色 3D 模型构造系统(表 1)并着重对典型的构造 3D 动画模型系统进行介绍,对于其余用途的 3D 构造系统参看文献[33],此处不再赘述。

表 1 典型动画建模系统比较

时间	参考文献	作者	建模方式					表现方式			层次性		
			交互式增量草绘	整体草绘	基于 Huffman 标签的重构	基于优化算法的重构	启发式	膨胀方法	体积	表面	多边形网格	是	否
1996	[6]	Zeleznik	*					*		*		*	
1999	[8]	Igarashi	*					*		*		*	
2002	[36]	Karpenko	*					*		*		*	
2003	[9]	Araujo	*					*		*		*	
2003	[42]	Owada	*					*	*			*	
2004	[10]	Shesh	*			*		*		*		*	
2005	[43]	Yang	*	*				*		*		*	
2005	[11]	Schmidt	*					*	*			*	
2007	[38]	Wang	*					*		*		*	
2007	[44]	Nealen	*			*		*		*		*	
2008	[12]	Schmidt	*					*		*		*	*

在 1996 年的 SIGGRAPH 上,Zeleznik 等人^[6]开创性地设计出了 SKETCH 系统。与以前常用的 WIMP 风格不同,SKETCH 是典型的基于手势的交互生成 3D 多面体模型的系统。SKETCH 预定义了一些基本模型和操作规范,系统识别用户绘制的手势动作,构造出相应的基本模型。例如,如果用户绘制了三条相交于一点的线条,且在透视图分别与 x、y、z 轴平行,系统则将其识别为立方体,通过组合以及修改这些基本模型就能生成复杂的 3D 模型,并且用户只需操作三个鼠标就可以完成复杂的 3D 建模。它最大的贡献在于摒弃了传统繁琐的 WIMP 操作风格,使得 3D 模型的构造几乎只需依靠笔式交互,从而达到直观、高效、快速地构建 3D 模型的目的。由于 3D 模型是通过一系列规则的立体元素构成并且采用结构实体几何(CSG)的建模方法,适合构建出动画的 3D 场景,但是不适合用于构建动画人物形象。

Teddy^[8]系统是由 Igarashi 等人设计的,其目的是能够方

便、快捷地构造3D动画人物形象。该系统第一次采用了基于自由形态(free form)的3D模型,其操作相当简洁,用户通过绘制对象的轮廓就能创建出3D模型,因而受到人们的很大关注。Teddy系统的主要思想是根据用户绘制的闭合轮廓膨胀为初始3D模型,结合挤压、弯曲、切割等操作修改初始模型以得到更多的细节,但是,Teddy构建的模型不光滑。后来为了弥补这一缺陷,Igarashi等人^[34]又通过Skin算法^[35]对其进行网格细分或者网格平滑从而得到更规则、均匀的网格。但是,由于其只能同时构建一个物体且不具备层次性,该系统只能构造出简单粗糙的3D模型,在构造复杂的3D动画角色模型时仍会有困难。

在此基础上,Karpenko等人^[36]对其进行了改进,采用了变形的隐式表面^[37]代替三角网格,通过合并操作能将多个模型合并在一起且具有层次性,轮廓重绘制能够改变局部的形状。采用隐式表面可以解决模型光滑的问题;层次性建模可以在不影响其他部分的情况下对特定的部分进行修改;重绘制可以精炼(refine)模型,使得模型能够逐渐达到满意的效果。

为了解决隐式表面合并时的复杂计算,BlobMaker^[9]采用了表面骨骼的方法,即在合并时,只需合并骨骼,将骨骼按照同样的方法膨胀为3D隐式表面,进而构造出3D模型,这大大减少了计算量。但是这也带来相应的缺点:当一个小物体合并到大物体时,小物体的细节信息可能会丢失,并且由于采用可变的隐式表面,同样不能表示不连续的特征。这在构造3D动画角色中会受到一定的限制。

近年来,大多数基于草绘的建模系统更多地采用了层次化的建模方式^[12,13,38],这样可以记录建造的历史记录,能够局部地非线性编辑和移除。文献[38]采用分层网格的表现方式进行建模,通过最简单的点、曲线两种元素定义出不同的表面,通过膨胀和光滑能够产生一系列丰富的形状。文献[11]采用了流程建模的方式支持 workflow,记录下用户操作历史,用户可以回到之前的任何步骤进行修改而不用撤销修改步骤之后的工作,从而避免了重复劳动。但是它只能够构造出粗糙的3D角色模型,并且对于细节的建模还需要借助传统的表面变形工具。基于此,文献[12]可以进行大比例的细节的编辑和拓扑结构的改变,其效果均较理想。

总的来说,现在已经有比较成熟的方法实现基于草绘的3D角色建模。针对动画应用而言,基于自由形态的3D建模适用于设计师在初期的构想和人物形象设计,即初步的概念设计阶段对非刚体(non-rigid)的动画人物形象进行建模;缺点是不能直接构造出逼真、精确的3D角色模型,这些将会在一定程度上限制其在3D动画制作上的应用,这也是有待于改进之处。

3.2 基于草绘的3D动画角色模型修改

对于已经建好的3D动画角色模型,需要经常通过变形来产生各种姿态和表情。传统3D动画的制作方法是通过手工驱动3D模型的骨骼变形,十分麻烦,这也是3D动画制作过程中相当耗时耗力的阶段。因此,提高计算机在角色变形方面的辅助效率对于提升3D动画的制作具有很大的意义。

自由形态的变形方法^[39]是一种很重要的变形方法,通过编辑复杂的格子能够精确地控制变形,但是编辑这些格子非常耗时且不直观和不方便。另一种重要的变形方法是基于曲线的变形,其能获得大比例的变形,Kho等人^[13]提出了一种简单

容易的方法可以使用户通过绘制曲线来改变3D模型的形状。用户首先绘制一条参考曲线以选定需要变形的区域和对该区域的控制,如人的手臂可以用类似于骨骼的一条弯曲的曲线来选定和表示,绘制第二条曲线来表明参考曲线将变成的形状以此来改变被选定的区域,同时,该系统也提供通过修改参数来达到扭曲和放缩的效果,最后采用了优化的方法光滑变形的表面。该系统能够方便地对模型进行变形,但缺乏对细节的修改。

Fleisch等人^[14]通过重绘能够改变3D曲线,它可以局部地修改轮廓形状。Nealen等人^[15]提出了可以用绘制的方式直观地修改细节,与其他变形技术不同,该技术不是基于空间的变形,而是对表面细节的修改。通过轮廓线和特征线可以局部地修改形状,构造沟、脊和折等特征。通过扩展Laplace/Poisson网格建模的框架,该系统能够修改感兴趣区域并且能够尽可能地保持被修改的表面细节不变。

在动画的制作中,动画师常常会通过夸张、特色的动画形象反映出动画角色的鲜明个性,Li Yin等人^[16]将传统2D动画融入到3D动画中,使得动画师能够制作个性化的3D动画,即在已生成的3D关键帧基础上以草绘的方式进行个性化修改,其最大难点在于如何确保修改后的帧之间能够平滑过渡。通过修改之后的模型与原模型的不同之处主要分为两部分:动画角色的骨架不同和动画角色表面上点的位置不同。a)用户用2D绘制工具绘制出动画角色的关键特征,以表现出角色人物的特性,这是动画师的艺术创作而不能被计算机取代;b)通过覆盖图,用户调整原有的3D模型骨骼使之能尽量与绘制的角色匹配,用户再标注两者相对应的特征点将两者联系起来;c)系统能自动实现从原模型到修改后模型的平滑过渡。该技术的缺点是对于修改复杂的模型会需要较多的人工干涉,并且只能修改关键帧,不能修改诸如时间长短和路径等,这也在一定程度上限制了其应用。

3.3 基于草绘辅助生成3D动画效果

在3D动画合成阶段,为了得到满意的效果,需要不断地调整光源和动画角色,很不方便和直观。针对这个问题,近期有学者尝试通过草绘的方法采用直接的方式对光照等效果进行个性化修改。

传统的3D动画制作需要给模型加入材质纹理,安装光源,调整摄像机,最终渲染出合成的画面。Kalnins等人^[17]通过笔刷直接在3D模型上绘制,采用非真实感渲染得到丰富的效果。系统定义了三种类型的画笔能够绘制出轮廓,添加表面图案和绘制模型的明暗和色调。该方法可以让艺术家根据自己的喜好在3D模型上绘制出不同风格的效果,但其缺乏真实感,所有的效果都是绘制上去的,失去了3D丰富真实的效果。不过却提出了在3D模型上绘制各种艺术风格的方法,能在一些3D动画中使用。

对于传统的3D动画,如果需要制作动画师所期望的光照效果,需要调整光源,特别是对于细节效果的改变,这不仅很麻烦,而且很多时候达不到满意的效果。因此,取代光源的调整而通过直接绘制得到期望的光照效果既方便又能提高动画的表现力。Todo等人^[18]设计出的系统能够使用户方便、直观地控制和修改局部的光照效果,该方法允许用户在3D模型上直接绘制来添加光照和明暗,而不用操作光源。其核心思想是通过修改亮度分布来变化亮度区域,用户首先生成初始化的3D场景,再用画笔修改每个关键帧所期望的明暗区域,最后通过

线性插值能自动生成每个中间帧的亮度分布。同样地,针对明暗和高光等光照效果,Anjyo 等人^[19]提出了通过直观的点击和拖拽操作能够编辑3D模型的明暗区域和灵活地操作高光,包括平移、旋转、放缩、分裂等,并且同样不需要控制光源。通过使用 Lambert 漫反射模型将明暗分为很多区域,每个区域采用同一的颜色,选中明暗区域的一点将其拖动到另一处即能产生明暗的变化。其基本思想是将点击点的亮度给拖动点的亮度,而对高光的编辑是通过定义局部光照来完成。

3.4 基于草绘的2.5D动画制作

虽然基于 SKETCH 的3D建模能够大大地减轻3D建模的工作量,基于草绘的3D变形在一定程度上减少了制作关键帧的工作量,类似于车和机器这样的刚体可以只需构建一次3D模型就能在各个场景里应用。但是,对于像人这样的非刚体在动画制作中则需要经常变形,因此,逐帧地进行变形也是十分耗时的。对于很多动画而言,精确的3D模型不是必需的,人们往往通过将角色制作为3D只是为了能方便地加入3D的效果,因此,可以不必真正地制作完全的3D模型,并且现在2D动画的制作已经相当成熟,只是效果仍不及3D动画。一种折中的办法是采用2.5D的制作方式。所谓的2.5D即正面几何模型(frontal geometry),是指(在一定透视视角下)只将可见部分的线条转换到3D空间^[40]。前期按照2D动画的制作方式绘制各种人物形象和背景,在动画合成前将2D人物转换为2.5D,使其具备一定的3D信息,在此基础上可以添加诸如明暗(shading)、阴影(shadow)等光照效果,同时还可以在一定范围内调整摄像机视角,从而达到或者接近3D动画的效果。

将2D动画人物形象地转换到2.5D,其形式类似于基于几何的重构,因为它也是将单视角的2D投影图转换到3D的空间。虽然在形式上类似于基于几何的重构,但是因为动画人物形象大多是不规则形状,而基于几何的重构方法只能处理由直线段或者少量曲线组成的刚性多面体,所以在方法上不适合采用基于几何的重构方法。国内外在这方面的研究并不多,原因主要在于没能找到合适、普遍有效的方法将2D图形转换为2.5D。

Kerautret 等人^[20]通过粗略地绘制在不同方向光照下的明暗情况可以生成相应的高程,从而采用了比较简单的方式操作高程。用户首先直接绘制或从图像中提取出轮廓,再绘制不同光照方向的明暗强度,利用基于明暗强度的建模^[7]方法可以对高程进行创建、编辑和增强,进而生成2.5D模型;用户可以加入纹理和光照,渲染成自己所期望的较真实的明暗效果。

Petrovic 等人^[21]提出了一种通过手绘给2D画面添加光照效果的半自动方法。该方法主要能添加三种光照效果:色调、接触阴影和投影阴影。用户首先在背景图上草绘出一些特征,通过类似于 SKETCH^[6]手势的方法,以此来构造3D背景场景,确定摄像机参数、地平面和背景物体。系统采用类似于 Teddy^[8]的膨胀方法,自动将卡通人物分层膨胀,通过深度平移、深度错切两种方法来调节各层深度,使其能保持轮廓投影,最后加入光照即可生成相应的光照效果。

Ono 等人^[22]通过用户将载入的图像标明轮廓和特征线后能够添加光照效果和纹理映射。首先使用因子分解方法^[41]可以初步估计特征点3D位置;再用最优化理论得到特征线的3D位置,由此将特征线转换到3D空间;最后使用与 Teddy 类似的算法将其余部分膨胀出来。类似于 Chen Bing-yu 等人^[23]提出的方法,由于保持了轮廓一致性、特征一致性和帧之间的对应

性,其不仅能够制作个性化动画,还能够应用于帧一致性的自动纹理映射,同时可以调整光照和观察视角。由于其保持了帧之间的对应性和特征一致性,能在每帧之间自动插入中间帧,即能够产生较平滑的动画。但是,该方法的局限性很大,原因在于最后膨胀到3D空间时缺乏深度信息,因此,可能会产生较大的凹凸性错误,从而不能显示正确的光照效果,而且对于复杂的模型,添加特征的对应关系仍然会是一件较麻烦的事情。

针对大多数基于草绘的3D建模都是通过轮廓进行的形状重构,相同的轮廓得到相似的模型,并且用户对表面内部缺乏足够的控制。由此,Andre 等人^[24]针对模型表面的内部细节提出了一种方法,通过在网格(grid)面上绘制曲线能够全局或局部地修改表面的形状,从而可以大比例地修改形状和添加细节。与以前的建模系统不同,它不是通过膨胀来转换到3D空间,而是通过构造表面来实现。因此,其构造是单视点的,构造的模型只能为2.5D。但是其最大的优点是能够方便地构造出表面的细节,这对于此后加入光照效果很有帮助。

现阶段关于2.5D动画制作的研究还不是很多,一个主要的问题是通过什么交互方式能够将模型必要的深度信息既简单又高效地传递给计算机,使得计算机能够将草图转换到3D空间,生成合理的2.5D模型,这也许是今后的重要研究方向,有待探索。但是很明显,2.5D动画制作的好处在于结合了2D动画制作的成熟经验和低廉的成本,同时一定程度上具备了3D动画的视觉效果。因此,2.5D动画的制作在今后相当一段时间里也许会是动画制作的重要发展方向之一。

4 结束语

随着3D动画影片需求的增加,提高制作效率迫在眉睫。基于草绘的交互方式能够辅助3D动画制作,并能在一定程度上提高3D动画制作效率。现已有很多学者从事相关的工作,并且开发出了很多系统,但同时也存在以下问题:

a)实用性。就现在的发展来看,虽然基于草绘的辅助方式涉及了3D动画制作的许多阶段,可是并没有形成体系,即使在每个阶段也还没有完全形成一种适用性强的方法,特别是在3D模型的变形和添加3D效果方面,这在今后有着较大的研究空间。

b)真实性。由于基于草绘的交互方式不能很好地解决精确性和细节性问题,缺乏一定的真实感。3D动画的最大优点和特点就在于真实性,因此解决这一问题也很重要。例如,如何结合先验知识绘制出真实的模型,如何通过草绘能够添加真实的材质信息和光照信息等。目前,这方面还没有相关的工作,这也是今后可能的研究方向之一。

c)集成性。现阶段基于草绘辅助3D建模系统仍然只是用于制作的某一个阶段,因此希望能够将它们结合起来,形成一个以草绘为基本交互方式的3D动画制作流程,这将会大大提高3D动画的制作效率、降低制作成本。当然,其中还有很多问题仍未解决,要形成成熟的技术辅助制作3D动画还有很长的路要走。

参考文献:

- [1] SUTHERLAND I E. SketchPad: a man-machine graphical communication system[D]. Cambridge: MIT, 1963.
- [2] JOHNSON T E. SketchPad III, three dimensional graphical communication with a digital computer[D]. Cambridge: MIT, 1963.

- [3] PUGH D. Designing solid objects using interactive sketch interpretation[C]//Proc of Symposium on Interactive 3D Graphics. New York: ACM Press, 1992: 117-126.
- [4] BRANCO V, COSTA A, FERREIRA F N. Sketching 3D models with 2D interaction devices[J]. *Computer Graphics Forum*, 2003, 13(3): 489-502.
- [5] EGGLI L, BRUDERLIN B P, ELBER G. Sketching as a solid modeler tool[C]//Proc of the 3rd ACM Symposium on Solid Modeling and Applications. New York: ACM Press, 1995: 313-321.
- [6] ZELEZNIK R C, HERMDON K P, HUGHES J F, *et al.* SKETCH: an interface for sketching 3D scenes[C]//Proc of Computer Graphics. New York: ACM Press, 1996: 163-170.
- [7] SCHWEIKARDT E, GROSS M D. Digital clay: deriving digital models from freehand sketches[J]. *Automation in Construction*, 2000, 9(1): 107-115.
- [8] IGARASHI T, MATSUOKA S, TANAKA H. Teddy: a sketching interface for 3D freeform design[C]//Proc of International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 1999: 409-416.
- [9] ARAUJOB, JORGE J. BlobMaker: free-form modeling with variational implicit surfaces[C]//Proc of the 12th Portuguese Computer Graphics Meeting. 2003: 17-26.
- [10] SHESH A, CHEN Bao-quan. SMARTPAPER: an interactive and user friendly sketching system[J]. *Eurographics Computer Graphics Forum*, 2004, 23(3): 301-310.
- [11] SCHMIDT R, WYVILL B, SOUSA M C. *et al.* ShapeShop: sketch-based solid modeling with BlobTrees[C]//Proc of Eurographics Workshop on Sketch-based Interfaces and Modeling. New York: ACM Press, 2005: 53-62.
- [12] SCHMIDT R, SINGH K. Sketch-based procedural surface modeling and compositing using surface trees[C]//Proc of Eurographics Workshop on Sketch-based Interfaces and Modeling. New York: ACM Press, 2008: 321-330.
- [13] KHO Y, GARLAND M. Sketching mesh deformations[C]//Proc of Symposium on Interactive 3D Graphics and Games. New York: ACM Press, 2005: 147-154.
- [14] FLEISCH T, RECHTEL F, SANTOS P, *et al.* Constraint stroke-based oversketching for 3D curves[C]//Proc of Eurographics Workshop on Sketch-based Interfaces and Modeling. New York: ACM Press, 2004: 161-165.
- [15] NEALEN A, SORKINE O, ALEXA M. A sketch-based interface for detail-preserving mesh editing[J]. *ACM Trans on Graphics*, 2005, 24(3): 1142-1147.
- [16] LI Yin, GLEICHER M, XU Ying-qing, *et al.* Stylizing motion with drawings[C]//Proc of ACM SIGGRAPH Eurographics Symposium on Computer Animation; Eurographics Association, 2003: 309-319.
- [17] KALNINS R D, MARKOSIAN L, MEIET B J, *et al.* WYSIWYG NPR: drawing strokes directly on 3D models[C]//Proc of the 29th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 2002: 755-762.
- [18] TODO H M, ANJYO K, BAXTER W, *et al.* Locally controllable stylized shading[C]//Proc of International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 2007: 17-24.
- [19] ANJYO K, WEMLER S, BAXTER W. Tweakable light and shade for cartoon animation[C]//Proc of the 4th International Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering. New York: ACM Press, 2006: 133-139.
- [20] KERAUTRET B, GRANIER X, BRAQUELAIRE A. Intuitive shape modeling by shading design[C]//Proc of the 5th International Symposium on Smart Graphics. Berlin: Springer, 2005: 163-174.
- [21] PETROVIC L, FUJITO B T, WILLIAMS L, *et al.* Shadows for cel animation[C]//Proc of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 2000: 511-516.
- [22] ONO Y, CHEN Bing-yu, NISHITA T. 3D character model creation from cel animation[C]//Proc of International Conference on Cyber-Worlds. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004: 210-215.
- [23] CHEN Bing-yu, ONO Y, NISHITA T. Character animation creation using hand-drawn sketches[J]. *The Visual Computer*, 2005, 21(8-10): 551-558.
- [24] ANDRE A, SAITO S, NAKAJIMA M. CrossSketch: freeform surface modeling with detail[C]//Proc of the 4th Eurographics Workshop on Sketch-based Interfaces and Modeling. New York: ACM Press, 2007: 45-52.
- [25] 马翠霞, 张风军, 陈由迪, 等. 支持概念设计的特征手势建模[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2004, 16(4): 559-565.
- [26] 马翠霞, 戴国忠, 滕东兴, 等. 概念设计中基于笔式手势的交互计算研究[J]. *软件学报*, 2005, 16(2): 303-308.
- [27] TIAN Feng, LI Jie, DAI Guo-zhong. A pen-based 3D sketch system for children[C]//Proc of the 5th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction. 2002: 612-623.
- [28] 李杰, 田丰, 王维信, 等. 面向儿童的多通道交互系统[J]. *软件学报*, 2002, 13(9): 1846-1851.
- [29] SONG Bao-hua, TANG Ming-xi, FRASER R J H, *et al.* Stroke-based intelligent sketching interface[C]//Proc of the 5th Asia-Pacific Conference on Computer Human Interaction. 2002: 500-509.
- [30] JORGE N F, CONESA J A, GOMZS J M, *et al.* Direct modelling: from sketches to 3D models[C]//Proc of the 1st Ibero-American Symposium on Computer Graphics. 2002: 109-117.
- [31] LIPSON H, SHPITALNI M. Optimization-based reconstruction of a 3D object from a single freehand line drawing[J]. *Computer-Aided Design*, 1996, 28(8): 651-663.
- [32] VARLEY P A C. Automatic creation of boundary-representation models from single line drawings[D]. Cardiff: Cardiff University, 2003.
- [33] 方贵盛, 何利力, 孔繁胜, 等. 计算机辅助三维概念形状草绘设计研究进展[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2006, 18(9): 1446-1454.
- [34] IGARASHI T, HUGHES J. Smooth meshes for sketch-based freeform modeling[C]//Proc of Symposium on Interactive 3D Graphics. New York: ACM Press, 2003: 139-142.
- [35] MARKOSIAN L, COHEN J M, CRULLI T, *et al.* Skin: a constructive approach to modeling free-form shapes[C]//Proc of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 1999: 393-400.
- [36] KARPENKO O, HUGHES J F, RASKAR R. Free-form sketching with variational implicit surfaces[J]. *Computer Graphics Forum*, 2002, 21(3): 585-594.
- [37] TURK G, O'BRIEN J. Shape transformation using variational implicit functions[C]//Proc of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 1999: 335-342.
- [38] WANG Hai-xiong, MARKOSIAN L. Free-form sketch[C]//Proc of the 4th Workshop on Sketch based Interaction and Modeling. New York: ACM Press, 2007: 53-58.
- [39] MACCRACKEN R, JOY K I. Free-form deformations with lattices of arbitrary topology[C]//Proc of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 1996: 181-188.
- [40] VARLEY P A C, MARTIN R R, SUZUKI H. Can machines interpret line drawings[C]//Proc of Eurographics Workshop on Sketch Input. 2004: 191-202.
- [41] TOMASI C, KANADE T. Shape and motion from image streams under orthography[J]. *International Journal of Computer Vision*, 1992, 9(2): 137-154.
- [42] OWADA S, NIELSEN F, NAKAZAWA K, *et al.* A sketching interface for modeling the internal structures of 3D shapes[C]//Proc of the 4th International Symposium on Smart Graphics. 2003: 49-57.
- [43] YANG Chen, SHARON D, PANNE M van de. Sketch-based modeling of parameterized objects[C]//Proc of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 2005.
- [44] NEALEN A, IGARASHI T, SORKINE O, *et al.* FiberMesh: designing freeform surfaces with 3D curves[J]. *ACM Trans on Graphics*, 2007, 26(3): 41-50.