

张宝印

著

基于矢量的

时序图形图像处理技术

研究与实践

- ▶ 时序图形图像处理的原理、方法和模型
- ▶ 时序图形图像处理技术
- ▶ 时序图形图像创新技术
- ▶ 时序图形图像处理系统设计
- ▶ 基于矢量的时序图形图像处理技术的技术优势
- ▶ 时序图形图像处理技术面临的挑战



西安地图出版社
XI'AN CARTOGRAPHIC PUBLISHING HOUSE

基于矢量的时序图形图像处理 技术研究与实践

JIYU SHILIANG DE SHIXU TUXING TUXIANG
CHULI JISHU YANJIU YU SHIJIAN

张宝印 著

西安地图出版社

图书在版编目(CIP)数据

基于矢量的时序图形图像处理技术研究与实践 / 张
宝印著. —西安: 西安地图出版社, 2008. 8

ISBN 978 - 7 - 80748 - 309 - 0

I. 基… II. 张… III. 二维—动画—计算机图形学
IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 124639 号

内容提要

随着 Internet 和 WWW 技术及其应用的日益普及, 网络动画飞速发展, 使得时序图形图像在这一领域的研究日趋活跃。本书在分析了国内外时序图形图像发展现状的基础上, 对新兴的基于矢量的时序图形图像作了充分的研究, 构建了其数学模型, 给出了从矢量表示到内在联系建立等一整套解决方案, 并对其进一步应用进行了探讨。

大量实验结果表明: 本书提出的建立时序图形图像内在联系的思想是正确的, 以此构建的骨架线-线宽矢量结构的时序图形图像处理方法, 在理论上和实践上都是可行的。

基于矢量的时序图形图像处理技术研究与实践

张宝印 著

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码: 710054)

新华书店经销 陕西地质印刷厂印刷

787 毫米 × 1092 毫米 · 1/16 开本 8.25 印张 187 千字

2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

印数: 0 001 - 1 000

ISBN 978 - 7 - 80748 - 309 - 0

定价: 29.80 元

前言

本书提出了基于矢量的时序图形图像处理方法。由于时序图形图像的研究在国内外均处于刚起步阶段,因此,寻找一个好的数据结构是构造强大、灵活的智能处理系统的关键。我们以十多年从事卡通制作和技术研究为技术积累,以基于矢量的时序图形图像处理方法为理论基础,提出了一套从先进的数据结构到智能二维动画的新方法和新技术,构建了全新的智能二维动画制作技术体系,使“无纸卡通”从概念走向了实用,从而实现了二维动画制作智能化的技术创新。

本书主要完成下列工作:

(1)首次提出了建立时序图形图像内在联系的思想,目的在于改变目前这一领域还处于把时序图形图像作为一个个静止图形图像单独进行处理的现状,把时序图形图像的研究向智能化方向推进一步。

(2)在数学模型的选择上,讨论了栅格结构的时序图形图像的处理模型、栅格矢量混合模型、矢量轮廓线模型和矢量骨架线模型。提出了骨架线-线宽模型,并充分论述和验证了新模型的优越性。同时,对新模型的应用前景进行了论述。

(3)在时序图形图像的矢量表示方面,比较了最基本的轮廓线表示方法和沈力等人提出的基于轮廓线表示法的改进方法,分析了基于骨架线-轮廓线的表示方法,进而详细地介绍了本书提出的线跟踪细化算法的改进算法,并以此算法为基础实现了时序图形图像的骨架线-线宽矢量表示。

(4)在时序图形图像相邻帧的配准问题上,讨论了轮廓匹配法的两种常用方法,即基于多边形轮廓的松弛迭代匹配法和基于多边形质心的多边形匹配法,并对基于质心的多边形匹配法进行了改进,使之适用于时序图形图像的匹配;最后引入了网络最大流量概念,提出了基于拓扑关系的网络最大流量匹配法,并对两种匹配方法的实验结果进行了分析比较。

(5)在中间帧内插方法方面,把关键点匹配引入到计算机图形内插领域,给出了轮廓关键点的确定方法,提出了一种解决不规则图形内插的新途径,最后讨论了不同速度的内插方法。

(6)提出了利用多边形拓扑关系建立时序图形内在联系的方法,并验证了这种方法

应用于时序图形时可以获得较好的效果。

计算机技术与动画制作的有机结合,需要把多个领域的技术引入二维动画制作领域,涉及的学科及技术包括:计算机图形图像学、摄影测量与遥感、GIS 相关技术、模式识别、医学领域中的细胞相似性分析、古代文物复原技术中的轮廓线相似性配准、超图理论、模糊数学等。很多技术都是第一次应用于计算机动画制作领域,难免存在不妥及错误之处,作者会不断接受读者的批评指正,在今后的工作中不断完善和修正。

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 问题的提出	(1)
§ 1.2 二维卡通制作的发展历程及现状	(2)
§ 1.3 国内外研究现状	(4)
§ 1.4 二维动画技术发展趋势	(6)
§ 1.5 主要研究内容	(6)
第二章 时序图形图像处理的原理、方法和模型	(9)
§ 2.1 引言	(9)
§ 2.2 栅格数据结构模型	(9)
2.2.1 边界表示方法	(10)
2.2.2 区域表示	(12)
§ 2.3 完全基于矢量的时序图形图像	(12)
2.3.1 矢量结构的优势	(12)
2.3.2 矢量结构的构建	(13)
第三章 时序图形图像处理技术	(17)
§ 3.1 数据预处理技术	(17)
3.1.1 原画影像的校正	(17)
3.1.1.1 概述	(17)
3.1.1.2 图像匹配理论	(17)
3.1.1.3 图像去噪处理	(21)
3.1.1.4 图像校正	(21)
3.1.1.5 设计及实现	(22)
3.1.2 线划图像的矢量化表示	(22)
3.1.2.1 概述	(22)
3.1.2.2 轮廓线跟踪法	(23)

3.1.2.3 细化算法	(27)
3.1.2.4 矢量化表示	(35)
3.1.2.5 实验结果	(37)
§3.2 时序图形匹配技术	(41)
3.2.1 引言	(41)
3.2.2 轮廓匹配	(41)
3.2.3 网络最大流量匹配	(47)
3.2.3.1 网络模型	(47)
3.2.3.2 最大流量算法	(48)
3.2.3.3 匹配问题	(51)
3.2.3.4 基于拓扑关系的多边形配准问题	(53)
3.2.4 配准实验	(54)
3.2.5 基于超图理论的自动拓扑算法	(55)
3.2.5.1 概述	(55)
3.2.5.2 基本概念及约定	(56)
3.2.5.3 数学基础——超图	(57)
3.2.5.4 几何模型设计	(60)
3.2.5.5 几何数据类型的集运算	(61)
3.2.5.6 自动拓扑构建算法	(62)
3.2.5.7 实验结果	(65)
§3.3 中间帧内插技术	(67)
3.3.1 引言	(67)
3.3.2 中间帧内插顶点对应	(68)
3.3.2.1 基本描述	(68)
3.3.2.2 特征点匹配	(69)
3.3.3 中间帧内插路径	(72)
3.3.3.1 顶点多边形单调圆弧法	(72)
3.3.3.2 沿内插路径的内插速度变化	(74)
3.3.4 实验结果	(76)
第四章 时序图形图像创新技术	(80)
§4.1 技术突破点	(80)

§ 4.2 系统创新点	(81)
第五章 时序图形图像处理系统设计	(82)
§ 5.1 系统基本情况	(82)
§ 5.2 系统构成	(82)
5.2.1 硬件构成	(82)
5.2.2 软件构成	(82)
§ 5.3 总体技术方案	(83)
§ 5.4 系统软硬件环境	(84)
§ 5.5 系统基本模块及功能	(85)
5.5.1 功能模块及功能	(85)
5.5.2 系统管理模块设计	(91)
5.5.2.1 摄影表管理子系统	(91)
5.5.2.2 镜头设置子系统	(95)
5.5.2.3 项目管理子系统	(97)
5.5.3 系统管理模块功能	(101)
5.5.3.1 摄影表子系统	(101)
5.5.3.2 镜头设置子系统	(102)
5.5.3.3 项目管理子系统	(103)
第六章 基于矢量的时序图形图像处理技术的技术优势	(108)
第七章 时序图形图像处理技术面临的挑战	(110)
参考文献	(112)

第一章 绪论

§ 1.1 问题的提出

随着计算机计算能力的不断提高,时序图形图像的研究也随之发展起来。时序图形图像是针对静态图形图像而言的,静态图形图像有时也称为静帧图形图像(still-frame image-graphics),其信息密度随空间分布,且相对于时间为常量;而时序图形图像,或称时变图形图像、图形图像序列(image-graphics sequences),其空间密度特性是随时间变化的,所以时序图形图像是一种时-空密度模式(spatio-temporal intensity pattern),它可以表示为 $S_i(x_1, x_2, t)$, 其中 (x_1, x_2) 为空间变量, t 是时间变量。时空信息是作为一种时间函数,按照预先的采样约定排序的。因此,时序图形图像处理对软、硬件都有很高的要求。首先是其具有海量数据,其数据量与时间成正比。其次要求有很高的处理速度,10 分钟的数字视频大约需要 $10 \times 60 \times 25 = 1.5$ 万幅图像,而中间处理过程中大约有 5 万幅图形图像,这么多幅图形图像要求在很短的时间内处理完毕,没有很高的处理速度是不能胜任的。第三,要求中间过程数据量要尽量的小,以满足处理速度和网络传输的要求。

近几年来,Internet 和 WWW 技术及其应用得到了飞速的发展,已经深刻地改变了人们的生产方式、工作方式、学习方式和生活方式。时序图形图像在这一领域的研究也日趋活跃。目前 Internet 上大多数的网页都是静止的,动画太少,供用户查询的信息只能是文字和静止图像,活动图像要在下载后才能实现,网页的生动性差,表现能力低,用户使用起来很不方便。迫切需要向网页中添加质量高、制作精美的动画,以解决这些问题。同样,对于随 Internet 出现的许多应用,如远程教学、网上教室、网上广告宣传等,也只有通过大量高质量的动画才能使其内容生动、丰富、翔实,增强其表现力,显示出它们的优越性。但是用传统的动画制作系统所做出的动画,数据量往往很大,把它们放到网上无疑会使本来就拥挤不堪的 Internet 雪上加霜,使用者也无法忍受其漫长的传送时间。因此,人们迫切地需要制作数据量小、处理及传送速度快的新型动画制作系统。

为了满足以上需求,现在市场上已经出现了几种新型的动画制作系统,其中比较典型的有 Macromedia 公司开发的 Flash,湖南国讯网络有限公司和国防科学技术大学计算机学院共同研制的“网动王 98”,这两个系统都采用了矢量图形技术,减少了数据量,大大

提高了文件的下载播放速度,用“网动王 98”所做的动画和图像大小仅为几十 KB,而且做出的动画精美、互动效果好。目前 Flash 在 Internet 上的应用更加广泛,已成为 Web 上矢量图形和动画的标准。

计算机动画是计算机图形学和艺术相结合的产物。二维多边形形体渐变是二维计算机动画中的一项基本技术,它是指从源多边形形体到目标多边形形体的视觉光滑过渡。二维形体渐变的研究包含两个问题:顶点对应问题和顶点插值路径问题。在过去的几十年里,人们针对这两个问题陆续提出了许多算法,用以实现二维形体之间的光滑过渡。本书在分析和比较已有的二维多边形形体渐变算法的基础上,提出了基于视觉特征的平面形体的渐变方法,并在此基础上给出了 2D 角色动画变形方法,可以实现包含多区域的形体的变形。

基于视觉特征的平面形体渐变提出了一个新的方法来建立两个平面形体特征点之间的对应。算法从源和目标形体中抽取特征点,利用以特征点为中心的矩形区域图像信息以及特征点之间的距离,给出一个新的特征点相似度的度量,利用动态编程方法找到特征点之间优化的对应关系。

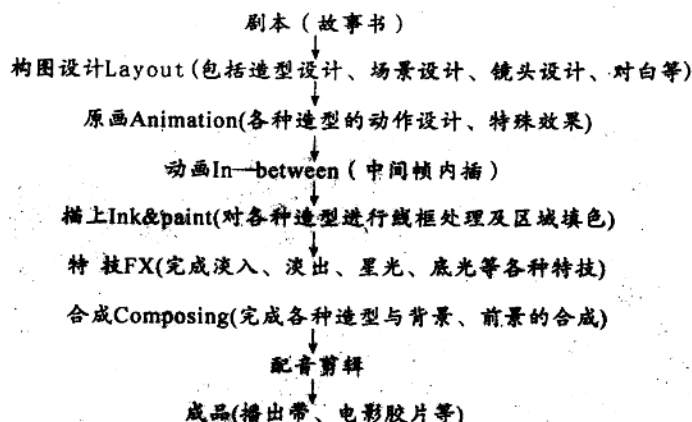
2D 角色动画变形方法可以对由多个封闭区域组成的形体进行变形。该方法主要包括四个部分:区域分段模块,该模块将用户输入的轮廓线表示的动画角色分解成各个部分,以便后面使用;区域匹配模块,该模块将起始帧和终止帧分解出来的区域对应起来;对应区域插值模块,在该模块中使用基于视觉特征的平面形体渐变方法插值生成每对区域中间渐变区域;区域调整和组合模块,这一模块将前面生成的各个中间帧渐变区域调整、组合成最终的中间帧,并输出。

二维动画序列是典型的时序图形图像,时序图形图像的各种处理方法和理论是二维动画系统的理论基础。所以本书以二维动画序列为主要的研究对象,在没有特殊说明的情况下,本书所说的时序图形图像特指二维动画序列。但本书所讨论的很多方法对计算机视觉、模式识别、模拟仿真、视频检索、数据库相似性查找等均有借鉴意义。

§ 1.2 二维卡通制作的发展历程及现状

二维动画领域在没有引入计算机技术之前就早已作为一个行业发展了起来,那时候还没有像二维动画这种与计算机技术紧密联系的专业名词。20 世纪 90 年代之前我们还只能称之为“卡通”,所有的制作过程全部是手工劳动,制作经费非常昂贵(几乎每部作品都在 5000 万美元以上,国内所熟悉的几部作品制作费都在 1 亿美元左右),制作周期很长(一般为 3—5 年),所以只有像美国和日本等这样的发达国家才有能力制作。

其基本制作流程如下:



传统的动画是由画师先在画纸上手绘真人的动作,然后再复制于卡通人物之上。直至20世纪70年代后期,电脑技术发展迅速的纽约技术学院的电脑绘图实验室导师丽荷·卡亚伦女士将录像带上的舞蹈演员影像投射在电脑显示器上,然后利用电脑绘图记录影像的动作,再描摹轮廓。1982年左右,美国麻省理工学院及纽约技术学院同时利用光学追踪技术记录人体动作,演员身体的各部分都被按上发光物体,在指定的拍摄范围内移动,同时有数部摄影机拍摄其动作,然后经电脑系统分析光点的运动,再产生立体的活动影像。

1983年,麻省理工的 Ginsberg 和 Maxwell 发展了一套系统 (Graphica Marionette), 利用计算机语言控制卡通的动作。但受到当时计算机硬件速度的限制,一个简单的电脑动画往往需要花费很长的时间。随着计算机硬件及动画软件的迅速发展,越来越多的研究机构及商业机构加入到电脑动画领域,电脑动画的制作水平也随之日新月异。动画日益形成一个重要的产业,在美国、日本、英国和荷兰这些动画片的制作强国,动画产业在国民生产总值中占有非常重要的地位,日本的动画产业更是国民经济六大支柱产业之一。

在过去几十年里,计算机动画一直是人们研究的热点。在全球的图形学盛会 Siggraph 上,几乎每年都有计算机动画的论文和专题。在计算机动画每年一度的学术会议 Computer Animation 和学术期刊 Journal of Visualization and Computer 为专业人士观摩和交流这方面的研究成果进一步提供了机会。目前,计算机动画已形成一个巨大的产业,并有进一步壮大的趋势。

传统的2D动画制作是一个劳动密集型的过程,所有的动画序列都要由动画师手工完成。一般由高级动画师画出角色关键帧,然后由普通动画师补出两个关键帧中间的部分,使得整个序列流畅。在多个多边形形体渐变方面,已有的算法要么不能实现局部控制,不能产生很好的效果,要么用户的交互过于复杂,不直观。

其中的动画 (In-between) 以及描上 (Ink&paint) 两个过程是传统卡通制作中劳动量最大、制作周期最长、劳动密集、劳动效率很低的工序,更是影响卡通片制作周期和制作成本的最大因素。美国、日本等大的卡通制作公司通常把这两部分的工作分散到全世界很多大大小小的制作公司,一方面是要尽量缩短制作周期,另一方面就是要降低

制作成本。

图 1-1 演示了传统卡通制作流程。



图 1-1 传统卡通制作流程

§ 1.3 国内外研究现状

进入 20 世纪 90 年代后,计算机技术开始向卡通行业渗透,最初只是帮助设计人员进行一些动作设计和动作预演工作,解决传统制作过程中作品完成之前动作无法把握的难题。当时只引入了时序图像最基本的概念,没想到却产生了非常好的效果,大大地缩短了设计周期。之后,基于栅格数据结构的时序图像处理理论正式应用于卡通行业,计算机二维动画的概念逐步被确立。

20 世纪 90 年代中期,出现了大量的基于栅格数据结构的二维动画制作系统,如美国 USAnimation 公司的 USAnimation 早期版本,法国 MediaPEGS 公司的 PEGS、AXA 公司的 AXA,日本 CELSYS 公司的 RETAS 等制作系统。这些系统的主要功能就是把大量的动画原稿经过扫描进入计算机系统,在计算机上实现动画的区域填色工作,替代传统作业方法中在纸上填涂颜色的繁重劳动,彻底取代了传统制作过程的描上(Ink&paint)工序,得到了广泛的应用。使得制作成本大大降低,制作周期缩短,国内也开始出现了大量的二维动画作品。

20 世纪 90 年代后期,随着 Internet 的日益普及以及网络动画的迅速发展,对二维动

画制作又提出了更新更高的要求。要求能够制作出各种形式、各种分辨率的二维动画作品,以满足网络上的各种需要。由于栅格数据结构不适应分辨率变化的要求(需要重新扫描),这就促使基于栅格结构(也就是时序图像)的二维动画系统向基于矢量结构(也就是时序图形)的二维动画系统转变。对此,ToonBoom 公司的 USAnimation,英国 Cambridge Animation 公司的 ANIMO、法国 MediaPEGS 公司的 PEGS 等都根据发展的要求推出了基于矢量结构的产品。这些产品都是经过一次扫描得到动画的扫描稿后,对扫描稿进行矢量化处理得到矢量图形,然后对矢量图形进行填色。有的系统可以对线条进行进一步处理,有的可以自动检查多边形的漏填颜色,有的还可以对图形的局部进行处理,这些都充分体现了矢量结构的优越性。但是目前这些系统还都没有考虑二维动画的内在联系,只是把二维动画当做一个个静止的图形图像进行处理,这说明在二维动画领域内,计算机二维动画的研究才刚刚开始。

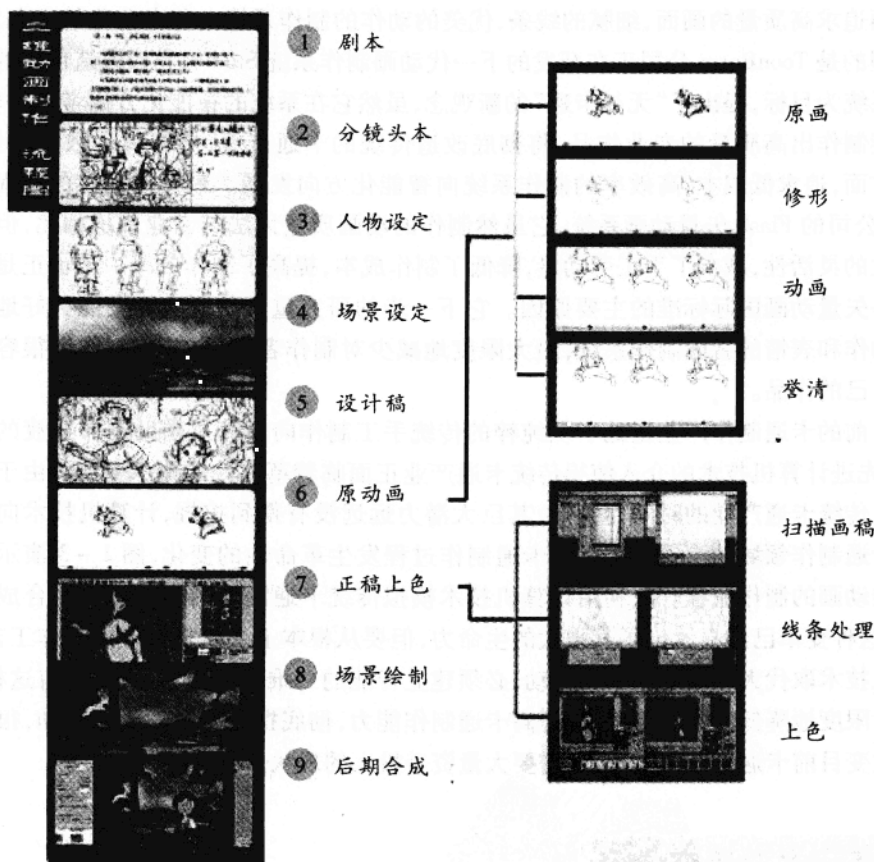


图 1-2 目前流行的二维动画制作流程

目前,各种模拟传统卡通制作工艺的二维动画制作系统大量涌现,如国外的 USAnimation、ANIMO、PEG、Studio 等,图 1-2 说明了目前基于以上技术的二维动画制作流程。

由于这些软件以模拟传统卡通制作工艺为主,在理论上没有考虑充分利用计算机优势进行智能化处理问题,理论上存在着较大缺陷。而国内由于没有形成一个完整的卡通产业,从业人员很少,而且大部分是美术设计人员,以从事传统卡通片制作为主,从事卡通制作研究的人员极少。在系统方面,除北大方正的“点睛”系统外,至今还没有其它系统开发成功,至于带有智能性的系统更是鲜有人涉及。国外带有智能性的系统也基本处于实验阶段,没有应用于实际制作过程。

§ 1.4 二维动画技术发展趋势

由于对动画产品需求的多样化,二维动画制作系统出现了向两个方面发展的趋势。一方面追求高质量的画面,细腻的线条,优美的动作的制作系统向着专业化的方向发展。最典型的是 ToonBoom 公司正在开发的下一代动画制作系统 Studio,它以改造传统的专业制作系统为目标,提出了“无纸卡通”的新观念,虽然它在系统的智能化方面考虑得较少,但它能制作出高质量的专业作品,将彻底改造传统的卡通产业,全部实现数字化生产。另一方面,追求低成本、高效率的制作系统向智能化方向发展。最有代表性的是 Macromedia 公司的 Flash 矢量动画系统,它虽然制作的动画质量无法与专业系统相比,但它具有很大的灵活性,减少了手工劳动量,降低了制作成本,提高了制作效率。这也正是它成为网络矢量动画国际标准的主要原因。它下一步的研究重点是研究开发能更好地生成各种动作和表情的智能制作系统,最大限度地减少对制作者的要求,使制作者很容易地完成自己的作品。

目前的卡通制作产业正处于从纯粹的传统手工制作向计算机辅助制作过渡的历史时期,先进计算机技术的介入使得传统卡通产业正面临着革命性的技术变革。由于计算机进入传统卡通产业的时间非常短,其巨大潜力远远没有得到挖掘,计算机技术向传统动画卡通制作领域的渗透必将引起卡通制作过程发生革命性的变化,图 1-3 演示了智能二维动画的制作流程。从利用计算机技术模拟传统卡通制作的描上和后期合成工作开始,这种变革已经显示出了其强大的生命力,但要从根本上变革整个卡通制作工艺,用计算机技术取代大量重复性手工劳动,必须建立智能的二维动画制作系统,只有这样,才能最大限度地降低制作成本,大大提高卡通制作能力,彻底摆脱大量的手工劳动,很大程度上改变目前卡通制作费时费力、需要大量资金投入的现状。

§ 1.5 主要研究内容

基于上述分析我们认为,专业化与智能化的有机结合是未来二维动画制作系统的重要发展方向,随着计算机技术以及各个专业领域的先进技术不断地应用于二维动画制作

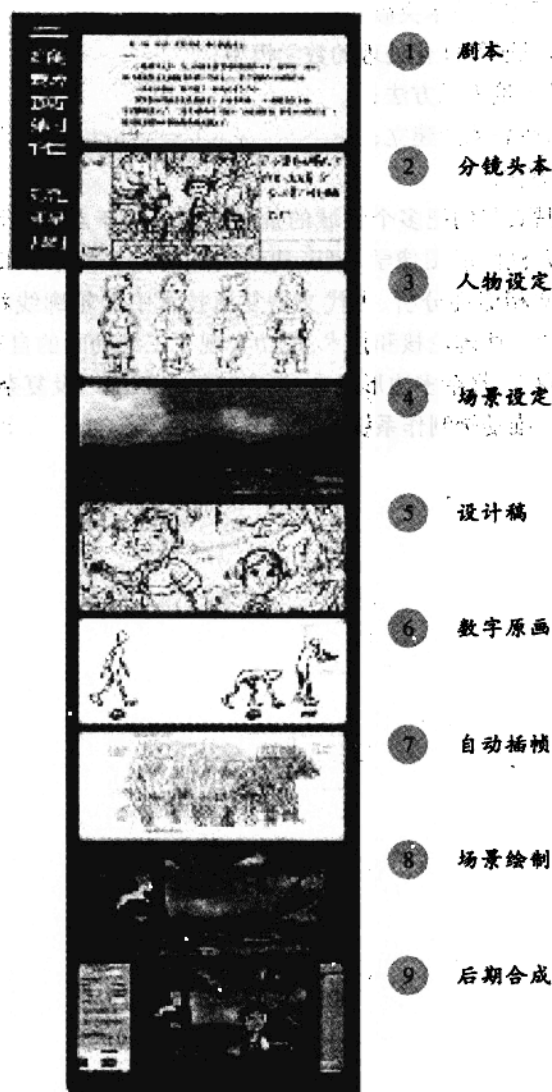


图 1-3 智能二维动画制作流程

领域,最终会实现专业化与智能化的完美结合,并赶上时代发展的潮流,进入全数字化时代。

对于完全基于矢量数据的二维动画智能制作系统的研究,首先要解决如何用矢量数据来有效地表示这些二维动画以及如何对这些用矢量表示的图像(也即时序图形)进行进一步的处理,尤其是怎样建立二维动画之间的内在联系正是现在需要进一步研究的课题。其次,适合二维动画的内插方法以及特征点匹配方法需要深入研究,这是建立更加专业,更加智能的新一代动画制作系统亟待解决的问题。

因此,根据二维动画领域技术的发展,以及本书设计的目标,从下列几个重大方面进

行技术攻关,并取得了重大技术突破:

- (1) 适合于二维动画智能化处理的数学模型;
- (2) 二维动画的矢量表示方法;
- (3) 二维动画内在联系的建立;
- (4) 中间帧内插方法。

为了解决这些问题,我们把多个领域的技术成功应用于二维动画制作领域,涉及的学科及技术包括:计算机图形图像学、摄影测量匹配的相关技术、GIS 相关技术、模式识别、医学领域中的细胞相似性分析、古代文物复原技术中的轮廓线相似性配准、超图理论、模糊数学等。利用这些理论核和技术,成功实现了二维动画的自动对位、半自动及自动矢量化、自动拓扑建立、复杂多边形配准、轮廓特征点匹配以及复杂图形内插等多个技术突破,奠定了智能二维动画制作系统的理论基础。

第二章 时序图形图像处理的原理、方法和模型

§2.1 引言

数字视频的发展,使得时序图像的研究达到了一个很高的阶段。网络视频的需要,又对时序图像提出了更高的要求。由于时序图像的数据量与时间成正比,所以它一般具有海量数据,而且对软、硬件都有很高的要求。目前的研究方向主要集中在图像数据压缩领域,出现了许许多多的压缩算法和压缩标准,从 JPEG 到 H.261 再到 MPEG, MPEG 也已经从 MPEG-1 发展到目前的 MPEG-4。但是由于网络传输速度和带宽的限制,目前的网络视频远远达不到人们的要求,于是网络动画迅速兴起,它以线条和填充颜色为主,数据量极小,开始阶段还主要以栅格形式为主,目前已出现了矢量动画制作系统,但是,对于完全基于矢量的时序图形图像的研究才刚刚开始,如何用矢量来有效地表示这些时序图形图像以及如何对这些用矢量表示的图像(也可以称为时序图形)进行进一步的处理正是目前需要进一步研究的课题。

本部分首先介绍基于栅格数据结构的时序图形图像模型,然后比较基于栅格数据结构和基于矢量数据结构的时序图形图像的优劣,之后在分析目前两类常用的基于矢量数据结构的时序图形图像模型的基础上,提出了一种新的矢量模型,即骨架线-线宽矢量模型,最后对利用这一新模型进行进一步处理所需的一些技术进行了介绍。

§2.2 栅格数据结构模型

在计算机存储、处理和显示图像中一种最常见的而且是最基本的表达就是二维数据矩阵表达,其中每一个矩阵元素代表对应点的灰度值,这种表达也称为位图标(bitmap)表达。这种表达的优点是直接对应于光栅显示设备,因而不必经过任何计算就可以在显示器上显示,这是矢量图形所无法比拟的。这一点对于时序图像的显示非常重要。尽管如此,这一表达方法仍有以下明显的不足: