

清华大学精品课程教学参考书

计算机动画

算法与编程基础

雍俊海 编著



清华大学出版社



TP391.41/2099D

清华大学精品

2008

计算机动画算法与编程基础

Fundamentals of Computer Animation:
Algorithms and Programming

雍俊海 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书整理了现有动画算法和编程的资料,提取其中基础的部分,结合作者及同事和学生的各种实践经验,力求使得所介绍的动画算法和编程方法更加容易理解,从而让更多的人能够了解计算机动画,并进行计算机动画算法设计和编程实践。本书共8章,内容包括:计算机动画图形和数学基础知识,OpenGL动画编程方法,关键帧动画和变体技术,自由变形方法,粒子系统和关节动画等。本书属于计算机动画算法设计和软件编程的入门级教学参考书,同时也可以作为学习OpenGL和计算机图形学的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机动画算法与编程基础 / 雍俊海编著. —北京:清华大学出版社, 2008.7

ISBN 978-7-302-17355-7

I. 计… II. 雍… III. 动画—图形软件—软件设计 IV. TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第052782号

责任编辑:丁岭 徐跃进

责任校对:李建庄

责任印制:何羊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京嘉实印刷有限公司

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:12.25 字 数:289千字

附光盘1张

版 次:2008年7月第1版 印 次:2008年7月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:027521-01

Abstract

This book introduces the fundamentals of both algorithms and programming for computer animation, and builds a bridge between algorithms and programming for computer animation. Based on the experience of students, colleagues and the author, this book tries its best to make everyone be able to understand algorithms and programming of computer animation. Thus, this book is expected to be a key for everyone to enter the software field of computer animation. The contents of the book include the fundamental knowledge of both mathematics and geometry used in computer animation, the computer animation programming guide in OpenGL, keyframe animation, morphing, FFD (Free-Form Deformation), particle systems, and the forward and inverse kinematics. This book is a primer book for those who want to enter the software field of computer animation. This book can be used as a guide for learning OpenGL and computer graphics as well.

FOREWORD

前言

计算机动画是一个非常吸引人的领域，有着巨大的经济价值。动漫产业目前在全球持续增长，有些国家动漫产业的产值已经超过制造业的总产值。然而，计算机动画的编程与算法设计似乎高不可攀。我国动漫产业动画编程与算法设计人才严重缺乏，这已经成为我国动漫产业发展的桎梏。本书希望尽可能地降低其入门难度，让更多的人能够迅速进入动画编程与算法设计领域，实现计算机动画梦想或者从计算机动画的编程与算法设计技术得到更多的益处。

计算机动画是一门实践性很强的学科，本书的动画编程采用 OpenGL 进行图形绘制。OpenGL 目前仍在不断发展，在此过程中出现了多种版本。本书介绍的 OpenGL 是由 Microsoft Visual C++ 2005 开发平台提供的 OpenGL。本书详细介绍如何在 Microsoft Visual C++ 2005 环境下基于 MFC (Microsoft Foundation Classes, 微软基础类) 开发 OpenGL 应用程序。这样，一方面可以利用 MFC 提供的图形用户界面程序设计技术编写人机交互程序，另一方面可以利用 OpenGL 技术进行各种图形绘制。本书还可以用作学习 OpenGL 的入门性教材。

为了编写本书，作者及其同事和学生收集了计算机动画的编程与算法设计的大量相关资料。本书介绍的算法主要来自相关的科技论文，本书采用了一些来自这些科技论文以及通过网络检索得到的图片。在此，对这些算法和图片的作者以及这些网站表示诚挚的谢意。本书最主要的作用是将这些科技论文工作与作者及同事和学生的动画算法设计和编程实践以及在教学过程中积累的各种经验和成果相结合，抽取其中基础性的内容，并让相关的动画算法的设计和编程方法更加容易被人们接受，希望这些算法和编程方法能够广为传播。另外，由于计算机动画的强大吸引力，来自各行各业的人士都在计算机动画领域施展各自的才华。这就形成了丰富多彩的计算机动画术语。计算机动画术语目前的多样性，一方面体现在同一种含义具有非常多的不同术语名称，另一方面体现在同一个术语被赋予多种不同的含义。本书希望在这一方面也能有所贡献，减少由于术语问题而造成的困惑。

计算机动画课程在清华大学成功开设,得益于许多同事的支持。张慧博士主动承担了清华大学计算机动画课程一半的教学工作量。吴绍莉和齐北老师承担了相关的教务工作。本书在编写与出版的过程中得到了许多朋友的帮助,这里一并表示诚挚的谢意。清华大学软件学院计算机图形学与辅助设计研究所的同事王斌博士、陈莉博士和张慧博士等为本书提供了大量建设性的意见;研究所的研究生汪亚君、夏雨、许嵩罡、王维勃、杜敏、高跃等同学为本书的成稿收集并整理了大量的相关资料;同事李琼以及研究生杜敏、汪亚君、王维勃、宋征轩、邓柏林、夏雨、许嵩罡、高跃、刘玉强、高歌、方欣、韩其才、陈福墩、邵斌、陶学慎、李雅子、史可鉴、李世雷、陈伟东、余忠冕、朱恬倩和本科生陈磊、张森、刘长远、陈家庭、姚春辉等同学参与本书的校对工作。本书也凝聚了他们辛勤劳动的结晶,这里再次表示衷心的感谢。同时还应当感谢本书的读者与选修我和张慧博士负责的计算机动画和计算机图形学课程的同学,他们不仅为本书的存在提供了最充分的理由,而且他们的学习过程、学习经验和课程作业为本书提供了非常有价值的原始素材。欢迎广大读者特别是采用本书授课的教师批评和指正。

本书在介绍计算机动画算法和编程时全部采用 C++ 语言。如果读者希望应用 Java 进行计算机动画编程,可以参考在本书参考文献中关于 Java 的教材和教参,尤其是教材《Java 程序设计教程(第 2 版)》(雍俊海编著,北京,清华大学出版社 2007 年出版)。

雍俊海

2008 年 3 月 3 日于清华园

本书约定

(1) 本书采用章、节和小节三级结构，其中小节是节的下一级结构。

(2) 在各种定义格式中，斜体部分表示某种格式的模板，在应用时需要进行替换。在格式模板中，中括号“[]”表示其内部的选项不是必须的。

(3) 点和向量采用“()”表示，例如： $\begin{pmatrix} p_x \\ p_y \end{pmatrix}$ ；矩阵采用“[]”表示，例如： $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ 。

CONTENTS

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 动画片基本原理和基本概念.....	1
1.2 动画片制作过程.....	2
1.3 动画片历史简介.....	3
1.4 计算机动画简介.....	4
1.5 提高计算机动画效果的基本手法.....	5
习题.....	9
第 2 章 图形坐标与基本变换	10
2.1 点和向量.....	10
2.2 矩阵.....	14
2.3 二维基本图形变换.....	17
2.4 三维基本图形变换.....	19
2.5 齐次坐标和基本图形变换.....	20
习题.....	23
第 3 章 OpenGL 动画编程	24
3.1 基本程序.....	24
3.1.1 基本 MFC 应用程序的生成.....	25
3.1.2 基于 MFC 的基本 OpenGL 应用程序生成.....	28
3.2 投影变换和视口变换.....	43
3.3 OpenGL 基本图形元素和模型变换.....	50
3.3.1 基本图形元素.....	51
3.3.2 模型变换.....	56
3.4 真实感绘制.....	60

3.4.1	OpenGL 真实感绘制基本程序	60
3.4.2	纹理映射	67
3.5	二次曲面和基本实体模型	82
3.5.1	二次曲面	82
3.5.2	基本实体模型	87
3.6	基于 OpenGL 的动画编程	94
	习题	104
第 4 章	图形基础	105
4.1	Bézier 曲线和曲面	105
4.2	B 样条曲线和曲面	109
4.3	NURBS 曲线和曲面	112
	习题	114
第 5 章	关键帧动画和变体	115
5.1	关键帧插值	115
5.2	基于网格的图像变体技术	120
5.3	Minkowski 和	123
	习题	124
第 6 章	自由变形	125
6.1	二维自由变形	125
6.2	三维自由变形	128
6.3	自由变形的进展小结	130
	习题	131
第 7 章	粒子系统	132
7.1	基本原理	132
7.2	基于粒子系统的礼花设计	133
	习题	156
第 8 章	关节动画	157
8.1	正向运动学	157
8.2	初等矩阵	160
8.3	Moore-Penrose 广义逆矩阵	162
8.4	逆向运动学	164
8.5	相关研究方向小结	168
	习题	169

附录 A 算法索引	170
附录 B 图的索引	171
附录 C 表的索引	173
附录 D 例程索引	174
附录 E 函数说明索引	175
参考文献	177

绪论

动画涵盖了一个非常广泛的领域,包括影视动画片、影视特技动画、广告动画、游戏动画、国防军事训练和作战演习模拟、科学可视化以及教育、医疗卫生等。动画顾名思义就是运动(活动)的画面(图像)。动画是通过连续播放一系列画面,给人的视觉造成连续变化的效果。动画主要可以分为二维动画和三维动画两种。二维动画指的是主要通过设计和绘制二维图形或图像而生成的动画。三维动画指的是主要通过构造三维模型并直接控制三维模型运动而生成的动画。

1.1 动画片基本原理和基本概念

动画的基本原理是视觉暂留原理,即在人的眼睛看到一幅画或一个物体后,大约在0.05~0.1秒内不会消失。利用这一原理,在一幅画还没有消失前播放下一幅画,就会给人造成一种流畅的视觉变化效果。在动画中的每幅画通常称为一帧。每秒钟的帧数(即每秒钟播放画面的幅数)通常用来表述动画的播放速度。现在电影的播放速度为24帧/秒。电视画面的播放速度为25帧/秒(PAL制,中国规定)或30帧/秒(NSTC制,欧美国家规定)。

设每秒钟的帧数为24,则5分钟的动画需要 $24 \times 60 \times 5 = 7200$ 幅画面。为了降低动画(尤其是动画片)的成本,常常采用一拍二或一拍三模式,即连续的两帧或三帧重复同一幅画面。这样,虽然时间相同的动画的总帧数是不变的,但是所需要的不同画面在一拍二模式下减少为原来的一半,在一拍三模式下减少为原来的三分之一。如果不采用重复画面的模式,则称为一拍一模式。采用一拍二或一拍三模式,动画质量会下降,但基本上还是能够被人们所接受。例如,日本动画片基本上都采用一拍三模式。一拍三模式可能是能够被人们所接受的极限模式。

这里需要注意的是,动画和动画片是两个不同的概念。动画片是动画的一种,也是影片的一种。影片按制作方式主要可以分为如下三种:

(1) 主要通过对人或动物等真实物体或场景进行拍摄而得的影片称为电影。

(2) 主要采用实物模型(如木偶)拍摄而得的影片称为木偶片。

(3) 主要通过绘制画面而得的影片称为动画片。

木偶片和动画片通常统称为卡通片(Cartoon)。

1.2 动画片制作过程

制作一部完整的动画片大体上需要三个阶段:前期筹备阶段、中期制作阶段和后期制作阶段。在前期筹备阶段,首先需要提出初步的创意。创意是关于动画片的一些基本设想,包括创作的目的,如何吸引观众,以及如何进行市场运作等。然后一般需要依据创意写出故事提要。故事提要是简明扼要介绍故事主要情节的文字。接着需要将故事提要扩充成为文学剧本。文学剧本对故事情节进行详细文字描述。文学剧本还需要进一步改编成为分镜头剧本。分镜头剧本和文学剧本通常都可以称为脚本或台本,都属于文字剧本,是制作动画片的基础。分镜头剧本又称为故事板,是将文学剧本分割为一系列场景和一系列可供拍摄镜头的一种剧本。每一个场景构成了分镜头剧本的一个片断,它一般被限定在由一组角色(如人物)在某一个地点内的活动。在每一个场景中可以拍摄多个镜头。在电影或电视的拍摄过程中,一个镜头指的是摄像机从开机到结束拍摄这段时间内,摄像机不间断地拍摄下来的一组画面。在动画中,一个镜头可以指的是在同一个场景中一组连续的画面。分镜头剧本主要包含如下的内容,即它需要:

(1) 描述组成各个场景的前景、后景和角色等内容。

(2) 对每个镜头依次编号,标明镜头长度,写出各个镜头画面内容、台词、音响效果、音乐及光照要求等基本设想。

(3) 说明镜头之间的连接和转换方式。

分镜头剧本从整体上体现出导演对剧本的理解和构思,是动画制作的指南。

在前期筹备阶段还需要进行美术设计。美术设计是体现动画效果的重要因素,包括造型设计和场景设计。造型设计是对动画角色及其服装和道具等的设计,用来体现角色的年龄、性别和性格等特点。场景设计指的是设计包括动画前景、中景和背景在内的整个环境,用来反映动画所发生的地点、年代、季节、社会背景和氛围等。在美术设计之后,通常将造型设计和场景设计成果按照镜头整理成为镜头设计稿,通常简称为设计稿。设计稿是根据镜头对在动画片中出现的各种角色的造型、动作、色彩、背景等作出设计的结果,包含标明镜头的编号、秒数、拍摄要求等详细内容。有时,还在前期筹备阶段设计主题曲和插曲等音乐,以及进行一些配音等工作,这些工作称为先期音乐和对白制作。先期音乐和对白制作的优点是可以根据音乐和对白确定动画的节奏以及镜头或场景的长度,从而方便动作与音乐和对白的配合。这样做往往有一定的难度,不过效果好,在电影动画片中经常使用。

在中期制作阶段主要是完成画面制作,包括原画创作、中间插画制作、画面测试、描线和上色。原画创作是由动画设计师绘制出动画的一些关键画面,例如绘制动作的起始画面。这些关键画面通常称为原画或关键帧。中间插画制作是在相邻原画之间补充画面,将原画连贯起来,例如使得前后动作连贯起来。这些补充的画面称为中间插画。画面测试是将各个画面输入动画测试台进行检测,测试动作等是否连贯自然。如果连贯不自然,则可能还需要调整原画或中间插画。描线是将画面通过手工描绘或照相制版等方法复制到胶

片上。上色是使胶片画面色彩鲜艳,又称为着色。

后期制作阶段首先进行校对检查。这时检查各种衔接是否自然、是否存在细节失误等。接着进行拍摄,即动画摄影师把一系列画面通过拍摄依次记录在胶片上。然后进行剪辑,即删除多余的画面,连接前后镜头或场景,或者根据不同的需要剪辑成为不同的版本。最后进行对白、配音和字幕等的制作,从而完成动画片的制作过程。

1.3 动画片历史简介

大约在1825年,英国人 John Ayrton Paris 发明魔术绳转盘(Thaumatrope)。先在圆盘的正面和背面分别画上不同的图像,再将绳子系在圆盘任意一条直径的两端,这时当以绳子为中心轴并以较快的速度转动圆盘时可以看到由圆盘正反面图像组成一幅跳动的完整画面。如图1.1所示,魔术绳转盘正面画的是除始祖鸟之外最原始的鸟类——孔子鸟,背面画的是鸟笼,这样当以较快的速度转动圆盘时可以在视觉上“合成”出在鸟笼中的孔子鸟画面。

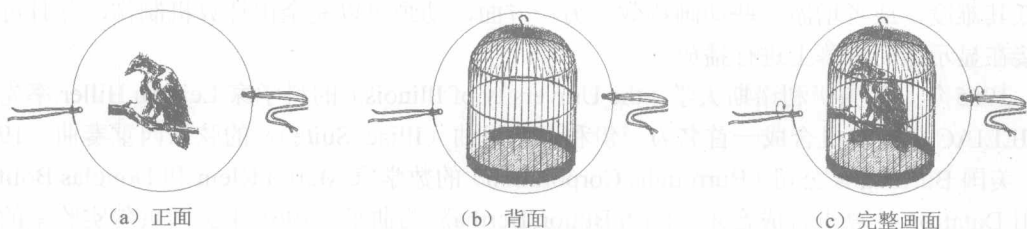


图1.1 魔术绳转盘(Thaumatrope)示例

大约在1833年,比利时人 Joseph Plateau 发明幻透镜(phenakistiscope)。如图1.2(a)所示,将一个圆盘均匀等分成为若干个格子(例如16个格子),在每个格子中画上一些连续的图案。如图1.2(b)所示,在另一个圆盘均匀挖开相同个数的条状缝隙。将这两个圆盘平行正对着放置,并按一定的速率转动这两个圆盘,然后按图1.2(b)所示透过缝隙观看在图案圆盘上的图案。如果圆盘的速率等条件合适,则可以观察到运动的视觉效果。魔术绳转盘和幻透镜都属于西洋镜。

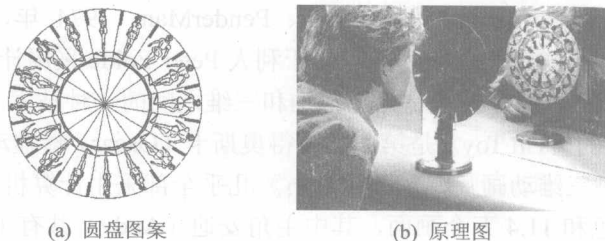


图1.2 幻透镜(phenakistiscope)示意图^[34]

大约在1895年,法国的卢米埃尔(Lumiere)兄弟在巴黎的一家咖啡馆地下室里,放映他们自己拍摄的《火车进站》和《工厂大门》等动画短片,而且可以容纳多名观众同时观看。这标志着动画片的诞生。在此之后,根据相关文献,第一部有声电影是1927年美国

的《爵士歌王》，第一部彩色有声电影是 1935 年美国好莱坞的《浮华世家》。第一部计算机动画片一般认为是贝尔实验室（Bell Labs）扎伊克（Zajac）在 1961 年制作的，它通过线框图形展示了地球卫星在太空运行时的景观。1995 年，迪斯尼（Disney）公司和皮克斯（Pixar）公司联合推出这两个公司的第一部三维动画片《玩具总动员（Toy Story）》，并从该动画片获得了 3.6 亿美元以上的票房收入。

1.4 计算机动画简介

1946 年第一台计算机 ENIAC（Electronic Numerical Integrator And Computer，电子数字积分计算机）在美国宾夕法尼亚州（Pennsylvania）诞生。计算机的出现给传统动画注入了新鲜的血液。1950 年显示器（monitor，也常称为监视器）在美国 MIT（Massachusetts Institute of Technology，麻省理工学院）的出现为动画显示提供了新的舞台。MIT 研制的显示器是作为旋风一号（Whirlwind I）计算机的一个组成部分。旋风一号计算机生成一些简单的图像，并通过显示器显示。这样一方面，计算机可以作为工具加速传统动画的制作，降低其难度，或者增添一些动画特效。另一方面，动画可以完全由计算机制作，并且可以直接在显示器的屏幕上进行播放。

1955 年，美国伊利诺斯大学（the University of Illinois）的科学家 Lejaren Hiller 率先利用 ILLIAC I 计算机合成一首名为《伊利亚克组曲（Illiac Suite）》的弦乐四重奏曲。1956 年，美国 Burroughs 公司（Burroughs Corporation）的数学家 Martin Klein 和 Douglas Bolitho 利用 Datatron 计算机合成音乐《Push Button Bertha》的曲子。1961 年美国贝尔实验室的扎伊克（Zajac）制作了贝尔实验室的第一部采用计算机制作的电影《A two gyro gravity gradient altitude control system》。该影片展示了可以让人造卫星在其运行轨道上保持同一侧面朝向地球。1962 年，美国计算机图像公司（Computer Image Corporation）的 Lee Harrison III 作为计算机动画的先驱之一利用计算机制作出人物动画《Mr. Computer Image ABC》。1963 年，贝尔实验室的肯·诺尔顿（Ken Knowlton）采用 FORTRAN 语言在 IBM 7094 计算机上制作了 BEFLIX 的二维动画制作软件系统——BEFLIX 编程语言。通过 BEFLIX 编程语言，可以利用图片生成计算机动画。肯·诺尔顿本人和 Stan VanDerBeek 共同利用该软件系统制作了《Poem Field》系列动画片。目前已经涌现出很多二维和三维动画制作软件系统，如：Maya、Alias、Softimage、Wavefront、PenderMan。1974 年，加拿大动画电影局（National Film Board of Canada）出品了由匈牙利人 Peter Folde 采用计算机辅助制作的 2.5 维动画短片《Hunger》。2.5 维技术是介于二维和三维之间的一种技术。1989 年，Pixar 公司 John Lasseter 制作的《Tin Toy》是第一部获得奥斯卡（Oscar）最佳动画短片奖的计算机动画短片。1995 年，三维动画片《玩具总动员》几乎全部采用计算机制作，片长约 81 分钟，共包含 76 个角色和 11.4 万个画面，其中主角安迪（Andy）共有 12 384 根头发，小狗头的毛发多达 15 977 根，而且每一根毛发都能活动，牛仔胡迪（Woody）全身有 700 多个控制点，仅仅脸部就有 212 个可活动的控制点。

在国内，1990 年，由中科院软件所、北方工业大学 CAD 中心和上海南方 CAD 公司等单位利用计算机三维动画技术制作了北京第 11 届亚运会新闻节目片头，并用于中央和北京等电视台在当时的电视转播。1992 年，北方工业大学 CAD 中心、北京科教电影制片厂和

北京科协合作完成了我国第一部完全用计算机编程技术实现的科教电影《相似》。

随着计算机越来越广泛地应用到各行各业,计算机动画同样也越来越深入各个领域。计算机动画具有非常多的分类方式,其中有些分类标准不是十分严格。根据计算机在动画制作过程中所扮演角色的重要性,可以划分为仅以计算机作为辅助工具和主要以计算机为主的两类计算机动画。前者主要以传统的方式生成动画,计算机只是用来加速这一过程或为其提供某些便利,例如:生成某些特效。因此,前者也称为计算机辅助动画(computer assisted animation)。按照计算机动画与现实客观世界的接近程度,计算机动画追求的目标主要可以分成两类。其中一类是追求逼真度,即追求真实性,让计算机表示的模型及其运动模式更加逼近真实的客观世界,例如:计算机仿真。另一类是追求非真实性,尤其是艺术性或娱乐性,例如:让计算机设计的角色具有卡通特点等。按照计算机动画对时间性能的要求,可以分为实时动画和非实时动画。前者按动画播放的速度快速生成组成动画的每一帧,即动画帧的生成和播放是同步的。后者通常需要较长的时间生成组成动画的每一帧。因此,后者通常先生成并保存组成动画的每一帧,然后再播放动画,即动画帧的生成和播放是异步的。根据维数,一般可以分为二维计算机动画和三维计算机动画。三维计算机动画通常是直接在计算机中构造三维模型并控制三维模型运动而生成的动画。三维模型运动控制方式主要可以分为基于运动学的方式、基于运动捕捉的方式和基于动力学的方式。基于运动学的方式直接给出模型的位置、速度和加速度等全部或部分信息,并由计算机计算剩余的信息;对于基于运动捕捉的方式,通常是在演员的身上放置传感器或各种标志,然后通过捕捉演员的运动方式控制在计算机中的模型的运动方式;基于动力学的方式主要通过给定力和扭矩并依据动力学方程计算模型的位置、速度和加速度等数据。利用动力学方程等求解动画场景或角色模型的运动轨迹常常需要计算机耗费大量的时间。如何使得计算更快、效果更好、模型设计和运动控制更为方便一直是计算机动画算法设计和编程追求的目标。

1.5 提高计算机动画效果的基本手法

迪斯尼公司对其长期动画制作的经验进行了一些总结,形成一些提高计算机动画效果的基本手法,并用于该公司的动画课程。这些提高计算机动画效果的基本手法实际上都来自于传统的动画制作,即对提高计算机动画效果仍然通用的传统动画制作基本手法。一般认为,这些基本手法应当成为计算机动画制作的基本常识。它们分别是:

- (1) 挤压与拉伸 (Squash and Stretch);
- (2) 时间分配 (Timing);
- (3) 预备动作 (Anticipation);
- (4) 场景布局 (Staging);
- (5) 惯性动作与交迭动作 (Follow Through and Overlapping Action);
- (6) 连续动作与重点动作 (Straight Ahead Action and Pose-To-Pose Action);
- (7) 慢进和慢出 (Slow In and Out);
- (8) 弧形运动 (Arcs);
- (9) 夸张 (Exaggeration);

(10) 附属动作 (Secondary Action);

(11) 吸引力 (Appeal)。

下面分别介绍这些基本手法。

一般认为, 挤压与拉伸手法是其中最重要的手法。除了完全刚性的物体, 各种物体在运动的过程中一般都会发生一定的变形。如图 1.3 所示, 当球与地面发生碰撞时, 球会被压扁; 当球在碰撞之后离开地面的时候, 球会出现拉长现象。图 1.3 同时给出了动物和人脸在运动时发生挤压与拉伸现象的示例。在挤压与拉伸手法中一个非常重要的原则是让物体在挤压与拉伸的过程中保持体积大致不发生变化。如图 1.3 所示, 动物的身体和人脸在拉长的时候都会变瘦。挤压与拉伸手法在一定程度上表现了物体的硬度 (rigidity)。如果物体的挤压与拉伸变形很大, 则说明物体很柔软。在动画中的挤压与拉伸变形不一定必须与真实的物理表现完全一致。一些夸张的变形可以增加喜剧或幽默等的力度和效果。挤压与拉伸手法不仅表现在物体外围轮廓的变形, 而且也体现在物体内部各个部分之间的挤压和牵引。如图 1.3 所示, 当压扁嘴巴时会引起脸颊的变形。

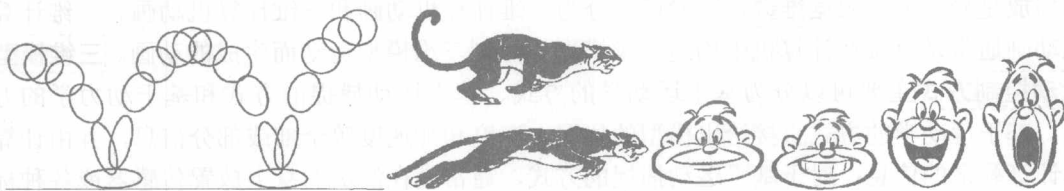


图 1.3 弹性球、动物和人脸的挤压与拉伸示例^{[31]、[52]}

挤压与拉伸手法还可以用来提高运动在视觉上的连续性。如图 1.4 (a) 所示, 当物体做慢速运动时, 物体在相邻帧的图像中是互相重叠的。这时, 物体运动的动画效果在视觉上是连续的。如图 1.4 (b) 所示, 当物体的运动速度快到一定程度时, 物体在相邻帧的图像中是不互相重叠的。这时, 物体运动的动画效果在视觉上是跳跃着运动的, 即不连续。如果采用传统拍摄的方式, 则这时运动物体在胶片上显示的是一种模糊影像; 而且运动的速度越快, 则在胶片上物体影像的模糊程度就越严重。这样在播放的时候, 物体运动在视觉上是连续的。这种现象在动画领域中称为运动模糊。如何产生这种运动模糊的效果是计算机动画的一个难题。其中一种解决方法就是通过挤压与拉伸手法将物体压扁或者拉长, 使得运动的物体在相邻帧的图像中互相重叠, 如图 1.4 (c) 所示。这样, 物体运动的动画效果在视觉上一般就变得连续了。



图 1.4 运动在视觉上的连续性^[52]

时间分配手法在动画中是非常基本的。各个动作的节奏控制在一定程度上决定了观众能否很好地理解动作本身。观众需要有足够的时间来观看动作的前期准备、动作本身和动作产生的效果。如果节奏太快, 则观众可能会来不及注意或理解该动作; 如果节奏太慢, 则常常无法吸引观众的注意力。适当的时间分配手法还可以用来反映物体的重量和体积大

小、人物的精神和表情状况、动作的含义以及动作产生的原因等。重的物体比轻的物体不容易加速或减速。如果人的动作很敏捷,则表示他的精神状态很好;如果人的动作很迟缓,则表示他可能很累。急促的动作可以用来表示紧张或者兴奋,缓和的动作可以用来表示镇静或者放松。将不同的时间分配给相似的动作一般会产生不同的含义。例如:一个人的头从左边转到右边。如果转动的速度很慢,则他可能在寻找某种东西;如果转动的速度稍快一些,则他可能想说“不”;如果转动的速度相当快,则他的头可能刚刚被一个篮球击中。

一个完整的动作包括动作的准备、进行和终止三个阶段。**预备动作手法**就是为动作做准备。首先,它可以让动作的进行更加符合物理规律,使得动作更加自然,容易理解。例如:在做“跳”这个动作之前,应当安排“蹲”这个预备动作;否则,双腿直立实际上很难做出“跳”这个动作。如果不设计“蹲”这个预备动作,而直接进行“跳”这个动作,则动作将非常生硬不自然。这样通过预备动作可以帮助观众理解将要进行的动作本身。其次,预备动作还可以用来吸引观众的注意力,引导他们关注将要进行的动作或者注意屏幕的正确位置。例如:在进行“抓住某个物体”这个动作之前,可以安排将手抬起并伸向该物体的预备动作,从而引导观众将视线转向该物体。预备动作持续的时间长短要根据具体的情况而定。如果将要进行的动作持续的时间很长,则预备动作一般很短;如果将要进行的动作持续的时间非常短,则预备动作一般需要长一些,从而保证观众不容易忽略将要进行的动作。例如:目前卡通片在表现“飞快地跑”这一动作时,常常会在预备动作中摆出抬腿并弯曲双臂的姿势,如图 1.5 所示。预备动作还可以用来反映物体的重量和体积大小等信息。例如:如果需要搬动一个很重的物体,则在预备动作中需要站到正确的位置并且适当弯曲自己的身体。



图 1.5 预备动作手法^[38]

场景布局手法是利用场景将动画所要表达的意思完整准确地表现出来的手法,从而使动作可以被观众所理解,个性能够被识别,表情能够被看清楚,情绪能够带动观众等。因此,场景布局应当能够引导观众在正确的时机关注到屏幕的正确位置。在场景布局中应当控制好角色或动作出现的先后顺序和时机,从而引导观众将焦点从一个角色或动作转移到另一个角色或动作。最理想的场景布局是在每个时刻只存在一个角色或动作。如果同时存在多个角色或动作,则应当注意对比度,使得需要关注的焦点能够在场景中突出出来。否则,杂乱的没有重点的角色或动作只会分散观众的注意力,让观众无所适从。很多种方法可以突出场景的焦点。例如:在一组相对静止的角色或动作中,单个运动的角色或动作容易吸引观众的目光;在一组运动的角色或动作中,单个相对静止的角色或动作容易吸引观众的目光。用色彩或灰度值突出焦点也是常用的方法,例如,尽可能清晰显示焦点角色或动作,同时稍微模糊显示场景的其余部分。另外,还可以让场景中其他角色的目光都投向需要关注的焦点角色或动作。总而言之,场景布局手法就是设计好每个镜头以及它们之间的衔接,使得每个镜头及其含义尽可能清楚地呈现给观众。

惯性动作与交迭动作手法包括惯性动作手法和交迭动作手法。**惯性动作手法**用在动作的最后一个阶段,即动作终止阶段。动作很少会突然完全停止,一般会在惯性作用下继续运动一段时间。例如,标准的投篮动作在球投出去之后,手臂仍然会继续向斜上方运动。在动作终止阶段还应当注意运动的主体及其附属物之间的运动差异。例如:在跳伞运动中,