

第5章 计算机图形与动画技术



计算机图形学主要用于需要操纵一组图形或以像素形式创建图形并在计算机上绘制的领域。它主要研究如何在计算机中表示图形以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理与算法。计算机图形学可用于数字摄影、电影、娱乐、电子设备和其他相关领域,它是计算机科学领域的一个广阔的学科,英文全称为 Computer Graphics(缩写 CG)。计算机动画是计算机图形学的一个主要应用场景,它是以数字方式生成动画图像的过程。近年来计算机动画通常借用三维计算机图形技术,它可以应用于游戏的开发、电视动画制作、吸引人的广告创作、电影特技制作、生产过程及科研的模拟,等等。

5.1 计算机图形学概念

随着计算机软硬件技术的快速发展,如今,计算机图形已经成为电影、动画、视频游戏、虚拟现实、手机和计算机显示器以及许多专业应用的核心技术。针对不同的应用场景,各大图形公司已经开发了大量专用硬件和软件,大多数设备的显示通过驱动计算机图形硬件完成。计算机图形学已经发展成为一个广阔的、蓬勃发展的计算机科学领域。

5.1.1 计算机图形学定义

计算机图形学是一门研究怎样通过计算机将数据转换为图形,并在专门的设备上输出的原理、方法和技术的学科。美国电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE)对计算机图形学的定义如下:“Computer graphics is the art or science of producing graphical images with the aid of computer.”

广义上讲,图形是能够在人的视觉系统中形成视觉印象的客观对象,它主要由几何要素和非几何要素组成。其中,几何要素指的是刻画形状的点、线、面、体、形状、轮廓等,非几何要素主要反映物体表面属性或材质的明暗、灰度、色彩等。图形在计算机中常用形状参数和属性参数表示,也称为矢量图,具有数据量少、易于进行变换操作等优点。而数字图像在计算机中用点阵图表示,顾名思义就是由像素构成的,若干个不同颜色的像素以矩阵排列成图案。数码相机拍摄的照片、扫描仪扫描的稿件以及绝大多数的图片都属于点阵图。

如图 5-1 所示,每个子图的左侧均为矢量图,右侧均为点阵图。图 5-1(a)中几乎看不出它们的区别,缩小后的效果图 5-1(b)还是看不出区别,这是因为缩小点阵图像并不会产生模糊,在丢弃原先的一些像素后,剩下的像素是足够描述图像的,并没有产生像素空缺。如果将点阵图不断放大,就会变得模糊,如图 5-1(c)和图 5-1(d)所示,这是由于放大后才产生了像素空缺。为什么矢量图不管放大多少倍都不会模糊呢?这就是矢量图的特点之一:通

过记忆线段的坐标来记录图像。图像放大缩小的同时坐标也放大缩小,而各个坐标之间的相对位置并没有改变。然后根据改动后的坐标重新生成图像,因此无论放大多少倍都不会失真。

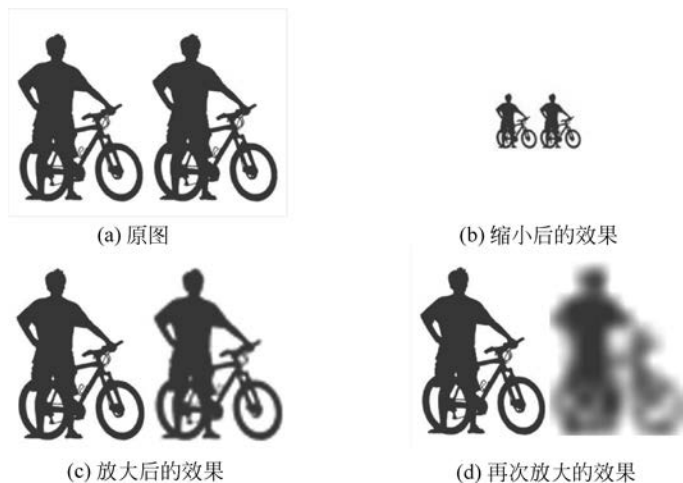


图 5-1 矢量图和点阵图对比

5.1.2 计算机图形学的研究内容

计算机图形学的主要研究内容就是研究如何在计算机中表示图形以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理与算法。图形通常由点、线、面、体等几何元素和灰度、色彩、线型、线宽等非几何属性组成。从处理技术上看,图形主要分为两类,一类是基于线条信息表示的,如工程图、等高线地图、曲面的线框图等,另一类是明暗图,也就是通常所说的真实感图形。可以说,计算机图形学的研究内容非常广泛,如图形硬件、图形标准、图形交互技术、光栅图形生成算法、曲线曲面造型、实体造型、真实感图形计算与显示算法以及科学计算可视化、计算机动画、自然景物仿真、虚拟现实等。这里选择几个主要的部分分别进行介绍。

(1) 基础模块。

在计算机图形学中,需要大量的数学基础知识,例如,向量、矩阵、齐次坐标和几何变换等。此外,还需要具备计算机软硬件基础知识,例如,图形输出设备与输出技术的简单基础知识,如光栅显示器基本原理、颜色处理与颜色模型等。

(2) 建模与表示模块。

这个模块主要研究如何用图形方式表示现实或虚拟世界中的对象与信息,如一座房子、一辆汽车、一个电影角色等。模型在外部显示上通常以点、线、面、体等各种几何元素及它们的组合来表现,而在计算机内部则是通过坐标、连接关系所对应的几何信息与拓扑信息来表示。

(3) 绘制模块。

这个模块主要将计算机中对象的数字几何模型转换为直观形象的图形或图像形式,是数字几何模型的视觉可视化过程,主要有应用程序、几何处理、像素处理等。

(4) 交互技术。

针对图形对象,研究合适的输入方法、操作方法,也就是友好的人机界面。典型的人机交互技术有定位技术、菜单技术、拾取技术、定值技术、拖拽技术、网格与捕捉技术等。此外还有图形用户界面,例如,窗口、菜单、指标等。

5.1.3 计算机图形学的相关学科

计算机图形学是一个综合性的学科,它集图形学理论、现代数学、计算机科学等于一体。它还与数字图像处理、计算几何、计算机视觉及模式识别等学科交叉融合。主要的相关学科之间的关系如图 5-2 所示。

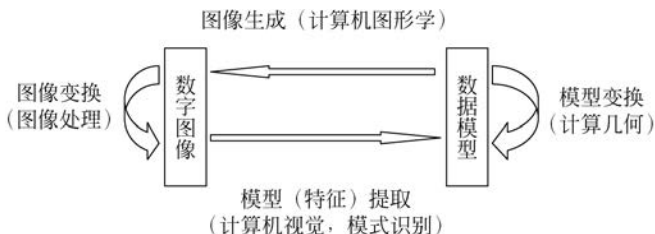


图 5-2 计算机图形学相关学科之间的关系

从图 5-2 中可以看出,虽然图像与图形存在很大关联性,但其本质处理方法却是截然不同的两个方向。计算机图形学试图从非图像形式的数据描述来生成数字图像。

(1) 数字图像处理。它着重强调在图像之间进行变换,旨在对图像进行各种加工以改善图像的视觉效果。研究如何对一幅连续图像取样、量化以产生数字图像,对数字图像进行各种变换以方便处理等。

(2) 计算几何。在数据和模型域中研究几何形体的计算机表示和分析的综合技术。研究如何方便灵活、有效地建立几何形体的数学模型以及在计算机中更好地存储和管理这些模型数据。

(3) 计算机视觉及模式识别。它是计算机图形学的逆过程,分析和识别输入的图像并从中提取二维或三维的数据模型(特征)。计算机视觉是指用摄像机和计算机代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量等;用计算的方法模拟人类的视觉系统。它是人工智能的一个分支,如机器人、运动跟踪等。模式识别对所输入的图像进行分析和识别,找出其中蕴涵的内在联系或抽象模型,如邮政分拣设备、地形地貌识别等。

5.2 计算机图形学的发展及应用

在 20 世纪上半叶,随着电气技术、电子技术和电视等技术发展,计算机图形学逐渐发展起来。第二次世界大战之后,计算机图形学从纯粹的实验室科学研究中发展到计算机技术与美国军队中的应用相结合。随着进一步发展到雷达、航空和火箭发射等战争应用中,需要新型显示器来处理相关的信息,从而推动计算机图形学发展成为一门学科。经过几十年的发展,现如今,计算机图形学已经得到了大量的应用,例如,流体力学可视化、天气预报、医学可视化、动画、虚拟现实等。

5.2.1 计算机图形学的发展历史

(1) 计算机图形学萌芽期：20 世纪 50 年代。

1950 年,第一台图形显示器作为美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology,MIT)旋风 I 号(Whirlwind I)计算机的附件诞生(如图 5-3 所示),它使用一个类似于示波器的阴极射线管(Cathode Ray Tube,CRT)作为一种可行的显示和交互界面,并引入了光笔作为输入设备。



图 5-3 旋风 I 号计算机

1959 年,在 MIT 林肯实验室开发的半自动地面防空(Semi-Automatic Ground Environment,SAGE)系统上进行了一项实验,通过编写的一个小程序,可以捕捉人的手指运动,并在计算机屏幕上显示其矢量信息。SAGE 系统控制室如图 5-4 所示,该系统的画板可以在计算机屏幕上绘制简单的形状并保存它们,甚至在以后调出它们。光笔的笔尖上有一个小光电管,当这个电池被放在计算机屏幕前,屏幕上的电子枪直接向它发射电子脉冲。只需根据电子枪的当前位置对电子脉冲进行计时,就可以很容易精确地确定在任何给定时刻光笔在屏幕上的位置。一旦确定,计算机就可以在该位置绘制光标。

(2) 线框图形学：20 世纪 60 年代。

1961 年,麻省理工学院的学生 Steve Russell 创造了历史上的第一个电子游戏:太空战争,如图 5-5 所示。大约在同一时期,剑桥大学的 Elizabeth Waldram 编写了在阴极射线管上显示射电天文地图的代码。同样在 20 世纪 60 年代初,雷诺的工程师 Pierre Bézier 提出了 Bézier 曲线为雷诺汽车车身开发三维建模技术。

1968 年,光线投射算法第一次被提出,这是一类基于光线跟踪的渲染算法。该算法通过对光线从光



图 5-4 半自动地面防空系统 SAGE 部门控制室



图 5-5 第一个电子游戏：太空战争

源到场景中的曲面以及进入相机的路径进行建模,成为实现图形中照片真实感的基础。此外,1969年,美国计算机协会(Association for Computing Machinery, ACM)成立了一个图形特别兴趣小组(SIGGRAPH),负责组织计算机图形领域内的会议、图形标准和出版物。到1973年,ACM举行了第一届SIGGRAPH年会,这已成为该组织的重点之一。随着计算机图形学领域的不断扩展,SIGGRAPH的规模和重要性也在不断增长。

(3) 光栅图形学：20世纪70年代。

20世纪70年代初,金属氧化物半导体MOS大规模集成技术的出现是实现实用计算机图形技术的一项重要技术进步。大规模集成技术使小型集成电路芯片的大量计算能力成为可能,这导致了1971年微处理器的开发以及1972年泰克4010计算机图形终端的开发。特别是1970年推出的动态随机存取存储器(Dynamic Random Access Memory, DRAM)芯片能够在单个高密度存储器芯片上保存千位数据,使整个标准清晰度光栅图形图像保存在数字帧缓冲区中成为可能,1972年出现了第一个与视频兼容、基于光栅的计算机图形系统。

1971年,Gourand提出“漫反射模型+插值”的思想,被称为Gourand明暗处理。1975年,Phong提出了著名的简单光照模型——Phong模型。图5-6分别给出了这两种光照模型的示例。这些模型为计算机图形的着色奠定了基础,使图形从“平面”外观转变为更准确地描绘深度的外观。1978年引入了凹凸贴图,这是一种模拟不平整表面的技术,也是当今使用的许多更高级贴图的前身。



(a) Gourand模型



(b) Phong模型

图 5-6 光照模型示例

(4) 真实感图形学：20世纪80年代。

20世纪80年代初,金属氧化物半导体超大规模集成电路(Very Large Scale Integration,

VLSI)技术催生了 16 位中央处理器(Central Processing Unit,CPU)——微处理器和第一个 GPU 芯片的出现,从而开始了计算机图形学的革命,为计算机图形终端以及个人计算机系统启用高分辨率图形。在真实感图形绘制领域,日本大阪大学开发了 LINKS-1 计算机图形系统,这是一个超级计算机,它在 1982 年就使用了多达 257 个微处理器,目的是绘制逼真的 3D 计算机图形。根据日本信息处理学会的说法:“3D 图像渲染的核心是从给定的视点、

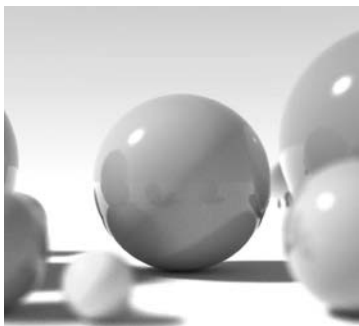


图 5-7 球体表面的光线追踪算法效果

光源和对象位置计算构成渲染表面的每像素的亮度。”LINKS-1 系统是为了实现一种图像渲染方法而开发的,在这种方法中,每像素都可以使用光线跟踪独立地进行并行处理。通过开发专门用于高速图像渲染的新软件方法,LINKS-1 能够快速渲染高度逼真的图像。一个球体表面的光线追踪算法效果如图 5-7 所示。

(5) 计算机图形学爆发期: 20 世纪 90 年代至今。

20 世纪 90 年代之后,随着个人计算机的普及以及渲染技术和算法继续得到极大改进,计算机图形学得到了全面的应用。到 20 世纪末,计算机采用了通用的图形处理框架,如 DirectX 和 OpenGL。从那时起,由于更强大的图形硬件和三维建模软件,计算机图形只会变得更加详细和逼真。在这十年中,AMD 公司成为图形学的领先开发者,在这个领域形成了垄断。

进入 21 世纪以后,GPU 持续增长并且功能日益复杂,3D 渲染功能成为标准功能,3D 图形 GPU 被认为是台式计算机制造商提供的必要设备。计算机图形学在电影和视频游戏领域的应用,推出了大量代表性的作品。在电子游戏领域,索尼、微软和任天堂等公司的产品至今还拥有着大量追随者。

近年来,非真实感图形学得到了大家的关注,它用摄像机和计算机代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量,并用计算的方法模拟人类的视觉系统。它是人工智能的一个分支,如机器人、运动跟踪等。非真实感图形学可以利用计算机模拟各种视觉艺术的绘制风格,也用于发展新的绘制风格,例如,模拟中国画、水彩、素描、油画、版画等艺术风格。图 5-8 给出了一个原始图像和非真实感渲染的对比。它的艺术表现形式丰富多样,还能够辅助完成原本工作量大、难度高的创作工作。



(a) 原图



(b) 非真实感渲染

图 5-8 非真实感渲染

5.2.2 计算机图形学的应用

图形图像一直都比单纯数据有更多的表现力。首先,图形可以将科学成果通过可视化的方式展示给人们;其次,在游戏和电影特效中,计算机图形学也发挥着越来越重要的作用;在艺术创作、产品设计等行业,计算机图形学也起着很重要的基础作用。可以说,计算机图形学已经在许多领域得到了应用。下面挑选一些主要应用进行简要介绍。

(1) 计算机辅助设计。

计算机辅助设计(Computer-Aided Design,CAD)是指使用计算机或工作站来帮助设计的创建、修改、分析或优化。CAD 软件用于提高设计师的生产力,提高设计质量,通过文档改善沟通,通过 CAD 软件进行的设计有助于保护专利申请中使用的产品和发明。CAD 输出通常以电子文件的形式进行打印、加工或其他制造操作。CAD 是一门重要的工业艺术,广泛应用于许多领域,包括汽车、造船和航空航天工业、工业和建筑设计、修复等。由于其巨大的经济重要性,CAD 已成为计算几何、计算机图形学(硬件和软件)和离散微分几何研究的主要推动力。

从 20 世纪 60 年代中期开始,随着 IBM 绘图系统的出现,CAD 系统开始提供更多的功能,而不仅仅是通过电子绘图再现手动绘图,转向 CAD 的成本效益变得显而易见。与手工绘图相比,CAD 系统的优势包括材料清单的自动生成、集成电路中的自动布局、干扰检查等。当前的计算机辅助设计软件包范围从基于二维矢量的绘图系统到三维实体和曲面建模器,如图 5-9 所示。现代 CAD 软件包还经常允许三维旋转,允许从任何所需角度查看设计对象,甚至从内部向外看。此外,一些 CAD 软件还能够进行动态数学建模。

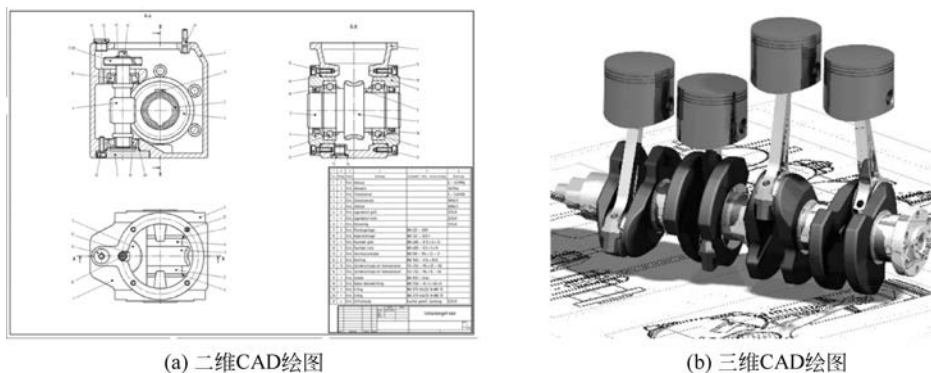


图 5-9 CAD 绘图

(2) 数字艺术。

数字艺术是一种艺术作品或实践使用数字技术作为创作或展示过程的一部分。自 20 世纪 60 年代以来,人们用各种各样的名称来描述这一过程,包括计算机艺术和多媒体艺术。

数字艺术可以是纯计算机生成的作品,如分形和算法艺术,也可以从其他来源获取,如扫描照片或绘图板使用矢量图形软件绘制的图像。数字艺术包括显示在电子显示器上的二维视觉信息,通过电子显示器上的透视投影,从数学上转换为三维图像的信息。例如,通过简单的 2D 计算机图形,反映了如何使用铅笔在一张纸上进行绘制。当用户使用平板电脑手写笔或鼠标在计算机屏幕上绘制时,屏幕上生成的内容可能看起来是用铅笔、钢笔或画笔

绘制的。此外,计算机图形在创建沉浸式虚拟现实装置时使用矢量图形,通过执行编码到计算机程序中的算法来生成 2D 或 3D 艺术。计算机的原生艺术形式主要有分形艺术、数据建模、算法艺术和实时生成艺术等。图 5-10 为分形艺术的作品。

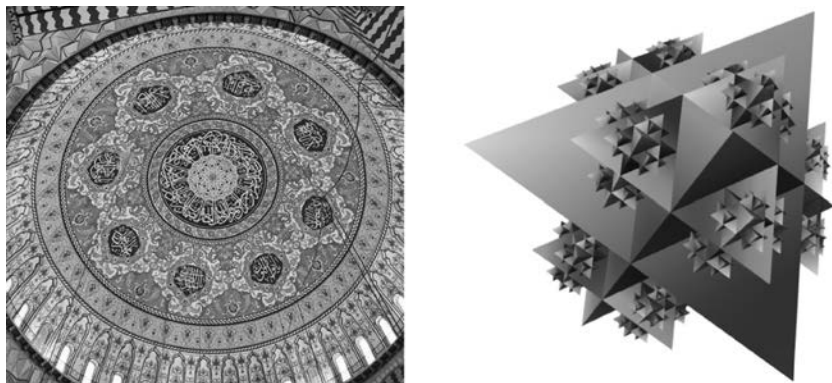


图 5-10 分形艺术作品

(3) 科学可视化。

科学可视化的目的是以图形化方式说明科学数据,使科学家能够理解、说明并从数据中收集信息。通过研究如何辅助人们阅读和学习各类知识,可以确定哪些类型和特征的视觉化在传达信息方面最容易有效理解。通过计算机软件可以模拟特定系统的抽象模型,计算机模拟已经成为物理学、计算物理学、化学和生物学中许多自然系统数学建模中常见的手段。此外,在经济学、心理学、社会科学、工程等学科中,通过科学可视化来深入了解这些系统的运行,或观察它们的行为。图 5-11 列举了科学可视化在不同学科中的应用。

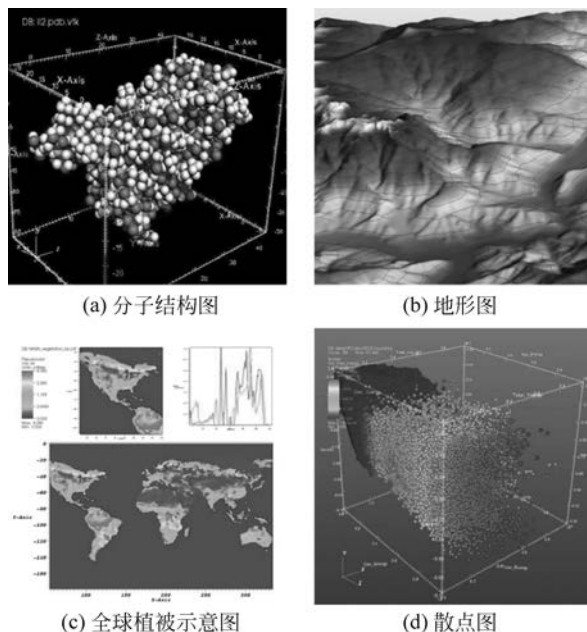


图 5-11 科学可视化示例

(4) 平面设计。

平面设计可以应用于一切视觉传达上的应用,从路标到技术示意图,从办公室备忘录到产品参考手册。平面设计可以帮助销售产品或想法,它适用于公司标识的产品和元素,如徽标、颜色、包装和文字。平面设计应用于娱乐行业的装饰、布景和视觉故事讲述。其他用于娱乐目的的设计示例包括小说、专辑封面、漫画书、电影制作中的开场白和闭幕词以及舞台上的节目和道具。平面设计也可能包括用于 T 恤衫和其他丝网印刷出售物品的艺术品。图 5-12 列举了不同场景下的平面设计案例。



图 5-12 平面设计应用举例

从科学期刊到新闻报道,观点和事实的表达往往通过视觉信息的图形和深思熟虑的组合得到改善,这就是所谓的信息设计。随着网络的出现,具有互动工具经验的信息设计师越来越多地被用于说明新闻故事的背景。平面设计可以包括数据可视化,这涉及使用程序来解释数据并将其形成具有视觉吸引力的表示,并且可以与信息图形相结合。

(5) 虚拟现实。

虚拟现实是一种与现实世界相似或完全不同的模拟体验。当前的虚拟现实系统使用虚拟现实耳机或投影环境来生成逼真的图像、声音和其他感觉,以模拟用户在虚拟环境中的实际感受。使用虚拟现实设备的人能够环视人造世界,在其中移动,并与虚拟特征或项目进行交互。这种效果通常由 VR 头戴式耳机产生,该头戴式耳机由头戴式显示器组成,在眼睛前面有一个小屏幕,但也可以通过具有多个大屏幕的专门设计的房间产生。虚拟现实通常包括听觉和视频反馈,但也可以通过触觉技术实现其他类型的感觉和压力反馈。

虚拟现实常用于娱乐应用,如视频游戏、3D 电影和社交虚拟世界。自 2015 年以来,过山车 and 主题公园已经结合了虚拟现实技术,将视觉效果与触觉反馈相匹配。虚拟现实常被应用于心理疾病、医学、工程、美术、教育等领域,图 5-13 展示了虚拟现实在不同场景中的应用。例如,在社会科学和心理学中,虚拟现实提供了一种经济高效的工具来研究和复制受控环境中的交互,从而用作治疗干预的一种形式。在教育方面,虚拟现实的使用已经证明能够

促进更高层次的思维,促进学生的兴趣和承诺、知识的获取,促进心理习惯和理解。



图 5-13 虚拟现实应用案例

5.3 色 彩

色彩在计算机图形学研究领域有着重要的作用,在设计一个好的图形作品时,需要对物体的表面建立光照模型从而进行上色。此外,在人类色彩感知领域尚有很多未解之谜。由于其重要性不仅涉及计算机成像方面,同时还关联到电子(数码)设备成像领域,我们将在这一节里对色彩的概念及属性进行简单介绍。

5.3.1 色彩基础

人们看到的色彩,事实上是以光为媒体的一种感觉。光是电磁波,能产生色觉的光只占电磁波中的一部分范围。而其中人类可以感受到的范围是 $780\sim 380\text{nm}$,这部分光称为可见光。太阳光属于可见光,牛顿第一次实验时,利用棱镜分散太阳光,形成光谱。可见光在电磁波中的位置如图 5-14 所示。可以看出左侧波长比较长的电磁波主要用于广播、雷达、电视信号的传输,右侧波长比较小的电磁波主要是 X 射线、伽马射线,而可见光只占很小的一部分。

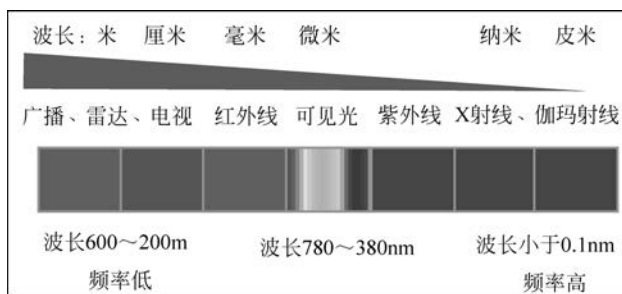


图 5-14 电磁波的种类与可见光

1671 年,牛顿命名的光谱中,彩虹的常见颜色包括仅由单一波长的可见光产生的所有颜色,即纯光谱颜色或单色颜色。表 5-1 显示了各种纯光谱颜色的近似频率(THz)和波长(nm),列出的波长是在空气或真空中测量的。颜色表不是一个确定的列表。纯光谱颜色形成一个连续的光谱,如何在语言上划分为不同的颜色是一个文化和历史问题(尽管世界各地的人们都以同样的方式感知颜色)。一个常见的列表确定了 6 个主要波段:红色、橙色、黄

色、绿色、蓝色和紫色。牛顿的构想包括第 7 种颜色——靛蓝,介于蓝色和紫色之间。

表 5-1 可见光谱的颜色

颜 色	波长间隔/nm	频率间隔/THz
红色	约 700~635	约 430~480
橙色	约 635~590	约 480~510
黄色	约 590~560	约 510~540
绿色	约 560~520	约 540~580
青色	约 520~490	约 580~610
蓝色	约 490~450	约 610~670
紫色	约 450~400	约 670~750

5.3.2 色彩三属性

(1) 色度/色相。

色彩最明显的特征是色彩的相貌和主要倾向,也指特定波长的色光呈现出的色彩感觉。每种颜色都有自己独特的色相(色度),区别于其他颜色。色彩是由于物体上的物理性的光反射到人眼视神经上所产生的感觉。色的不同是由光的频率的高低差别所决定的。作为色相,指的是这些不同频率的色的情况。频率最低的是红色,最高的是紫色。把红、橙、黄、绿、蓝、紫和处在它们各自之间的红橙、黄橙、黄绿、蓝绿、蓝紫、红紫这 6 种中间色——共计 12 种色作为色相环。在色相环上排列的色是纯度高的色,被称为纯色。这些色在环上的位置是根据视觉和感觉的相等间隔来进行安排的。用类似这样的方法还可以再分出差别细微的多种色来。在图 5-15 的色相环上,与环中心对称,并在 180°的位置两端的色被称为互补色。



图 5-15 色相环

(2) 亮度/明度。

表示色所具有的亮度和暗度被称为明度(亮度)。明度是辨别色彩明暗的程度。计算明度的基准是灰度测试卡。黑色为 0, 白色为 10, 在 0~10 之间等间隔地排列为 9 个阶段。色彩可以分为有彩色和无彩色, 但后者仍然存在着明度。作为有彩色, 每种色各自的亮度、暗度在灰度测试卡上都具有相应的位置值, 如图 5-16 所示。彩度高的色对明度有很大的影响, 不太容易辨别。在明亮的地方鉴别色的明度比较容易, 在暗的地方就难以鉴别。

(3) 饱和度/纯度。

纯度(饱和度)指色彩的饱和度或纯净程度, 也就是一种色彩中所含该色素成分的多少, 含得越多, 纯度就越高, 越少则纯度就越低。用数值表示色的鲜艳或鲜明的程度称为彩度。有彩色的各种色都具有彩度值, 无彩色的色的彩度值为 0, 对于有彩色的色的彩度(纯度)的高低, 是根据这种色中含灰色的程度来计算的。彩度由于色相的不同而不同, 而且即使是相同的色相, 因为明度的不同, 彩度也会随之变化的。降低纯度的方法有以下几种: ①加入白色, 加入越多, 纯度越低, 趋向粉色; ②加入黑色, 加入越多, 纯度越低, 趋向灰色; ③加入对比色, 加入越多, 纯度越低, 趋向灰色。



图 5-16 色度、亮度和饱和度的变化示意图

5.3.3 色彩模型

(1) HSB。

HSB 色彩模式以人类对颜色的感觉为基础, 描述了颜色的三种基本特性。它以色度(Hue)、饱和度(Saturation)和亮度(Brightness)来描述颜色的基本特征, 为将自然颜色转换为计算机创建的色彩提供了一种直接方法。如图 5-17 所示, 在进行图像色彩校正时, 经常都会用到色度/饱和度命令, 它非常直观。

色相(色度)就是纯色, 即组成可见光谱的单色, 色度以角度($0^{\circ} \sim 360^{\circ}$)表示, 红色在 0° , 绿色在 120° , 蓝色在 240° 。饱和度代表色彩的纯度, 为零时即为灰色。白、黑和其他灰度色彩都没有饱和度。最大饱和度时是每一色相最纯的色光。亮度是指色彩的明亮度。为零时即为黑色。最大亮度是色彩最鲜明的状态。饱和度和亮度以百分比值($0 \sim 100\%$)表示。



图 5-17 HSB 色彩模型

(2) RGB。

RGB 的含义为红色(Red)、绿色(Green)、蓝色(Blue)。通过 RGB 三种颜色的混合, 能够生成自然界里的任何一种颜色。一般 RGB 模式只用在屏幕上显示, 不用在印刷上。用户的显示器使用的就是 RGB 模式, 显示器里的电子枪把红色、绿色、蓝色激光射在显示器荧光屏幕上, 可以在屏幕上混合色彩, 变换荧光中光线的强度能生成各种色彩。在 RGB 模式中, 每像素由 24 位的数据表示, 其中 RGB 三种原色各用

了 8 位,因此这三种颜色各具有 256 个亮度级,能表示出 256 种不同浓度的色调,用 0~255 的整数值来表示。所以三种颜色叠加就能生成 1677 万种色彩。如此多的色彩,足以表现出五彩缤纷的世界了。RGB 色彩模式是通过红、绿、蓝三种颜色的叠加产生的颜色,增加每种颜色的光强度会产生不同的颜色,所以 RGB 模式又称为加色模式,如图 5-18 所示。

(3) CMYK。

CMYK 模式的颜色也被称作印刷色,原因是 CMYK 模式大多用在印刷上。CMYK 的含义为青色(Cyan)、洋红(Magenta)、黄色(Yellow)、黑色(blacK)。

这 4 种颜色都是以百分比的形式进行描述的,每一种颜色所占的百分比可以从 0 到 100%,百分比越高,颜色越暗。CMYK 模式是大多数打印机用作打印全色或者四色文档的一种方法,应用程序把四色分解成模板,每种模板对应一种颜色。然后打印机按比率一层叠一层地打印全部色彩,最终得到想要的色彩。

CMYK 是一种用于印刷品依靠反光的色彩模式。我们是怎样阅读报纸的内容呢?是由阳光或灯光照射到报纸上,再反射到我们的眼中,才看到内容。它需要有外界光源,如果你在黑暗房间内是无法阅读报纸的。因此,只要是在印刷品上看到的图像,就是 CMYK 模式表现的。例如,期刊、杂志、报纸、宣传画等都是印刷出来的,那么就是 CMYK 减色模式,如图 5-19 所示。

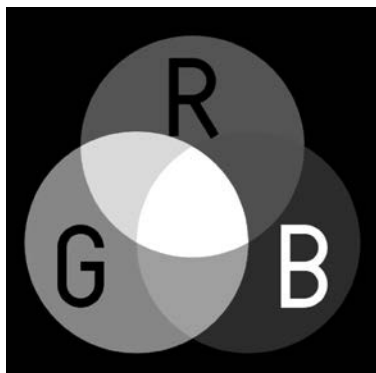


图 5-18 RGB 加色模式

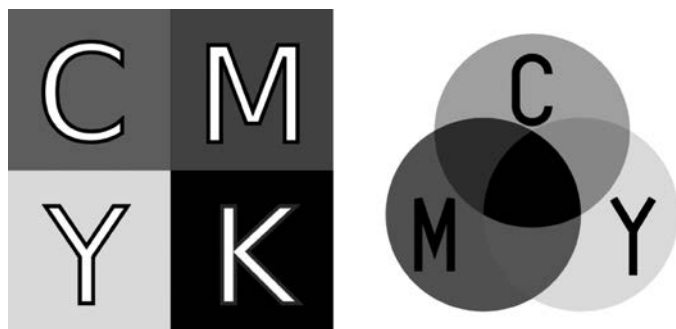


图 5-19 CMYK 减色模式

(4) Lab。

Lab 模式是根据国际照明委员会(Commission Internationale de l'Eclairage, CIE)在 1931 年制定的一种测定颜色的国际标准建立的,于 1976 年被改进并且命名的一种色彩模式。Lab 颜色模型弥补了 RGB 和 CMYK 两种色彩模式的不足。它是一种设备无关的颜色模型,也是一种基于生理特征的颜色模型。Lab 颜色模型由三个要素组成,L 是亮度,a 和 b 是两个颜色通道。a 包括的颜色是从深绿色(低亮度值)到灰色(中亮度值)再到亮粉红色(高亮度值);b 是从亮蓝色(低亮度值)到灰色(中亮度值)再到黄色(高亮度值)。因此,这种颜色混合后将产生具有明亮效果的色彩。

5.3.4 色彩对比和感觉

色彩对比,主要指色彩的冷暖对比。电视画面从色调上划分,可分为冷调和暖调两大类。红、橙、黄为暖调,青、蓝、紫为冷调,绿为中间调,不冷也不暖。色彩对比的规律是,在暖色调的环境中,冷色调的主体醒目,在冷色调的环境中,暖色调主体最突出。色彩对比除了冷暖对比之外,还有边缘对比、色别对比、明度对比、饱和度对比等。下面挑选几种典型的色彩对比进行介绍。

(1) 边缘对比。

两种颜色对比时,在两种颜色的边缘部分对比效果最强烈,这种现象称为边缘对比。尤其是两种颜色互为补色时,对比更强烈。

(2) 色度对比。

在色彩三属性中以色度差异为主形成的对比称为色度对比。两种以上色彩组合后,由于色度差别而形成的色彩对比效果称为色度对比。它是色彩对比的一个根本方面,其对比强弱程度取决于色度之间在色度环上的距离(角度),距离(角度)越小对比越弱,反之则对比越强。

(3) 亮度对比。

在色彩三属性中以亮度的差异形成的对比称为亮度对比。亮度高的会显得明亮,亮度低的会显得更暗。例如,同一亮度的色彩,在白底上会显得暗,而在黑色背景上却显得更亮。

(4) 饱和度对比。

在色彩三属性中以饱和度差异形成的对比称为饱和度对比。同一饱和度的颜色,在几乎等亮度、等色度而饱和度不同的两种颜色背景上时,在饱和度低的背景色上的会显得鲜艳一些,而在饱和度高的背景色上会显得灰浊。

此外,色彩的视认性是指在一定的背景中的色彩在多远距离范围内能够看清楚的程度,和在多长时间内能够被辨别的程度。对色彩视认性影响最大的是色彩和背景之间的亮度差。在色彩设计中经常要求某些部分的色彩特别突出,例如,路边的一些交通警示牌,包装上的标志,等等,这就是色彩的醒目性。醒目性和视认性有一定的联系,但又不大相同。有些色彩容易引起人们的心理反应,能从多种色彩中显出醒目的效果。一般来说,明亮的、纯度高的、暖色调的色彩醒目性高,与背景色明度差大、接近补色关系的配色醒目性高。

5.4 真实感图形学相关技术

真实感图形是综合利用数学、物理学、计算机科学以及其他科学技术在计算机图形设备上生成的、像彩色照片那样逼真的图形。生成一幅真实感图形时,必须逐像素地计算画面上相应景物表面区域的颜色。显然,在计算可见景物表面区域的颜色时,不但要考虑光源对该区域入射光及光亮度和光谱组成,而且还要考虑该表面区域对光源的朝向、表面的材料和反射性质等。

5.4.1 基本光学原理和光照模型

在计算机图形学中为表达自然光照现象,需要根据光学物理的有关定律建立一个数学模型去计算景物表面上任意一点投向观察者眼中的光亮度的大小,这个就称为光照模型。

光照模型包含许多因素,如物体的类型、物体相对于光源与其他物体的位置以及场景中所设置的光源属性、物体的透明度、物体的表面光亮程度,甚至物体的各种表面纹理等。不同形状、颜色、位置的光源可以为一个场景带来不同的光照效果。一旦确定出物体表面的光学属性参数、场景中各面的相对位置关系、光源的颜色和位置、观察平面的位置等信息,就可以根据光照模型计算出物体表面上某点在观察方向上所透射的光强度值。

光照到物体表面时,物体对光会发生反射、透射、吸收、衍射、折射和干涉等。在简单光反射模型中,假设光源是点光源并且物体不透明。只需要模拟光照射到物体表面产生的反射现象,简单光照模型如式(5-1)所示。

$$\text{入射光} = \text{漫反射光} + \text{镜面反射光} + \text{环境光} \quad (5-1)$$

其中,漫反射光指光照射到粗糙、无光泽表面的光现象,它的特点是向各个方向均匀反射;镜面反射光指光照在光滑表面,特别是有光泽的表面时,可能在某个方向上看到很强的高光;环境光是指光源间接对物体的影响,是在物体和环境之间多次反射,最终达到平衡时的一种光,环境光的光强分布是均匀的,它在任何一个方向上的分布都相同。

综合上面介绍的光反射作用的各个部分,Phong 提出图形学中第一个有影响力的光照模型。Phong 光照模型有这样的一个表述:由物体表面上一点 P 反射到视点的光强 I 为环境光的反射光强、理想漫反射光强和镜面反射光的总和,即

$$I = I_a K_a + I_p K_d (LN) + I_p K_s (RV)^n \quad (5-2)$$

其中, I_a 为环境光强度, K_a 为物体表面对环境光的反射系数, I_p 为入射光强度, K_d 为入射光的漫反射系数 ($0 < K_d < 1$), L 为入射光的方向, N 为法线方向, K_s 为镜面反射系数, R 为镜面反射方向, V 为观察者视线方向, n 为与物体表面光滑度有关的一个常数,一般取 1~2000, n 越大代表表面越光滑。图 5-20 为光照模型的示意图。

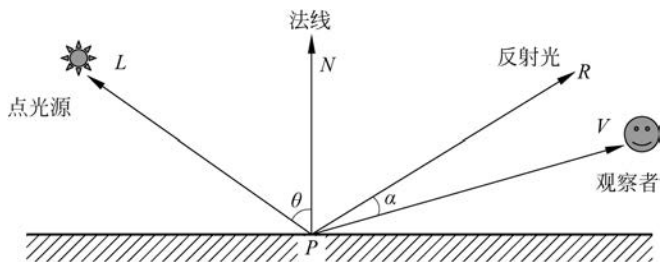


图 5-20 光照模型

5.4.2 透明与阴影

对于透明或半透明的物体,在光线与物体表面相交时,一般会产生反射与折射,经折射后的光线将穿过物体而在物体的另一个面射出,形成透射光。如果视点在折射光线的方向上,就可以看到透射光。最常见的方法是颜色调和法,该方法不考虑透明体对光的折射以及透明物体本身的厚度,光通过物体表面是不会改变方向的,故可以模拟平面玻璃。

设 t 是物体的透明度, $t \in [0, 1]$, $t = 0$ 表示不透明, $t = 1$ 表示完全透明,设过像素 (x, y) 的视线与物体相交处的颜色(或光强)为 I_1 ,视线穿过物体与另一物体相交处的颜色(或光强)为 I_2 ,如图 5-21 所示,则像素 (x, y) 的颜色(或光强)的计算式如下:

$$I = tI_2 + (1 - t)I_1 \quad (5-3)$$

式中的 I_1 和 I_2 可由简单光照模型计算。

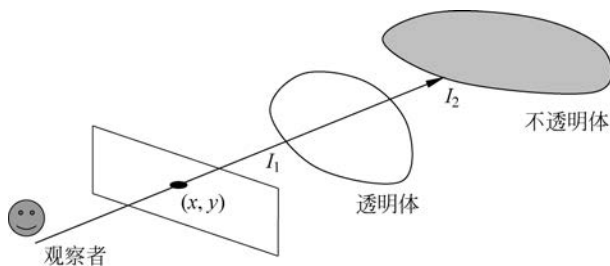


图 5-21 透明光照模型

阴影是现实生活中一个很常见的光照现象,它是由于光源被物体遮挡而在该物体后面产生的较暗的区域。在真实感图形学中,通过阴影可以提供物体位置和方向信息,从而可以反映出物体之间的相互关系,增加图形图像的立体效果和真实感。

当知道了物体的阴影区域以后,就可以把它结合到简单光照模型中去,对于物体表面的多边形,如果在阴影区域内部,那么该多边形的光强就只有环境光那一项,后面的那几项光强都为零,否则就用正常的模型计算光强。通过这种方法,就可以把阴影引入简单光照模型中,使产生的真实感图形更有层次感。

5.4.3 纹理映射技术

在现实世界中的物体,其表面通常有它的表面细节,即各种纹理。通过颜色色彩或明暗度变化体现出来的表面细节称为颜色纹理,如刨光的木材表面上有木纹,建筑物墙壁上有装饰图案,机器外壳表面有文字说明它的名称、型号等。另一类纹理则是由于不规则的细小凹凸造成的,例如,桔子皮表面的皱纹,称为几何纹理或称凹凸纹理。纹理映射是把得到的纹理映射到三维物体的表面的技术。

在纹理映射技术中,最常见的纹理是二维纹理。映射将这种纹理变换到三维物体的表面,形成最终的图像。二维纹理的函数表示如下:

$$g(u, v) = \begin{cases} 0 & [u \times 8] \times [v \times 8] \text{ 为奇数} \\ 1 & [u \times 8] \times [v \times 8] \text{ 为偶数} \end{cases} \quad (5-4)$$

为了实现这个映射,就要建立物体空间坐标 (x, y, z) 和纹理空间坐标 (u, v) 之间的对应关系,这相当于对物体表面进行参数化,反求出物体表面的参数后,就可以根据 (u, v) 得到该处的纹理值,并用此值取代光照模型中的相应项。二维纹理映射如图 5-22 所示。

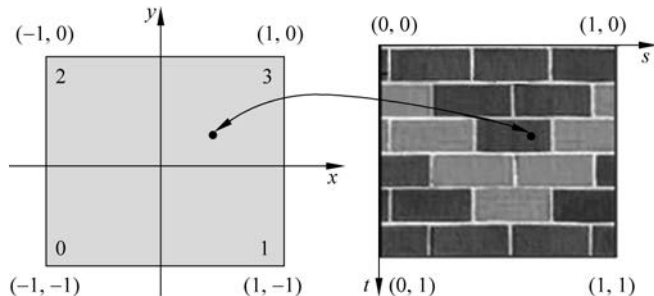


图 5-22 二维纹理映射

5.5 计算机动画

动画是一种操纵图形并显示为运动图像的方法。在传统动画中,图像是用手在透明的胶片上绘制的,以便在胶片上播放展示。如今,大多数动画都是用计算机生成图像(Computer-Generated Imagery, CGI)技术制作的。计算机动画有 2D 动画和 3D 动画,2D 计算机动画可以用于风格、低带宽或更快的实时渲染。通常,动画效果是通过快速连续的序列图像来实现的,这些图像之间的差异比较小,从而产生连续的视觉效果。动画在我们的生活中非常普遍,除了短片、故事片、电视连续剧、图形交换格式(Graphics Interchange Format, GIF)动画和其他专门用于显示运动图像的媒体外,动画还普遍存在于视频游戏、运动图形、用户界面和视觉效果中。

动画之所以能让人们产生连续的视觉效果,是基于视觉暂留原理。这一原理由英国科学家彼得·罗杰(Peter Roget)于 1824 年发现并定义。1828 年,另一位科学家约瑟夫·普拉托(Joseph Plateau)进一步研究证明平均的暂留时间为 34% 秒。为了诱使眼睛和大脑认为它们看到的是一个平稳移动的物体,图片应该以每秒 12 帧或更快的速度绘制。帧的速率并不是越高越好,速率高于每秒 75~120 帧,由于眼睛和大脑处理图像的方式不同,真实感和平滑度都无法提高。在低于每秒 12 帧的速度下,大多数人都可以检测到与绘制新图像相关的抖动,从而降低真实运动的错觉。传统手绘卡通动画通常使用每秒 15 帧,以节省所需的绘图数量,这个帧的速率通常被人们接受。为了产生更逼真的图像,计算机动画需要更高的帧速率。在视觉暂留原理的指导下,经过许多先驱者的劳动最终产生了电影和动画片,动画的技术指标用“帧速率”来描述并最终确定为每秒 24 帧。

5.5.1 动画的起源

25000 年前的石器时代洞穴上的野牛奔跑分析图,是人类试图捕捉动作的最早证据,在一张图上把不同时间发生的动作画在一起,这种“同时进行”的概念间接显示了人类“动”的欲望。文艺复兴时期,达·芬奇画作上的人有 4 只胳膊,表示双手上下摆动的动作;中国绘画史上,艺术家有把静态绘画赋予生命的传统,如南朝谢赫的“六法论”中主张“气韵生动”。清代蒲松龄的《聊斋志异》中,“画中仙”人物走出卷轴同样体现了古人对活动画面的诉求。这些和动画的概念都有相通之处。

在真正的动画出现之前的数百年里,世界各地的人们都在欣赏由木偶、皮影戏和幻灯等手工制作和操纵的移动人物表演。图 5-23 展示的是一个 1720 年的幻灯,它将一个怪物投射到墙壁上。该幻灯是已知保存最古老的例子之一,目前在莱顿布尔哈夫博物馆收藏。从 18 世纪末到 19 世纪上半叶,在西欧剧院非常流行的多媒体幻影表演,以移动的

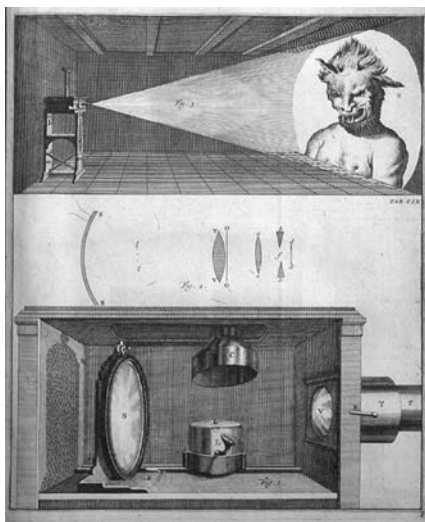


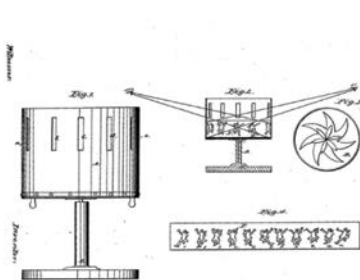
图 5-23 1720 年的幻灯

鬼魂和其他可怕的运动图像的逼真投影为特色。

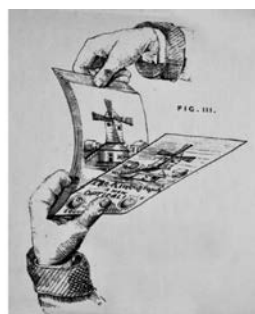
1833年,频闪观测盘引入了现代动画的原理,连续图像被一个接一个地快速显示,形成了一种电影的视觉错觉,如图5-24(a)所示。数千年来,人们偶尔会制作一系列连续图像,但频闪盘提供了第一种以流畅的动作表现这些图像的方法,艺术家们也首次创作了一系列动作的适当系统分解。频闪动画原理也应用于西洋镜(1867年,如图5-24(b)所示)、翻页书(1868年,如图5-24(c)所示)等原始动画制作中。19世纪的平均动画包含大约12幅图像,这些图像通过手动旋转设备显示为连续循环。翻页书通常包含更多的图片,并且有一个开始和结束,但是它的动画不会持续超过几秒。



(a) 1833年的频闪盘



(b) 1867年的西洋镜



(c) 1868年的翻页书

图 5-24 原始的动画播放装置

19世纪末期,由埃米尔·雷诺德(Émile Reynaud)发明的光学剧场是一种动画电影系统,并于1888年获得专利。图5-25展示了1892年7月发表在《自然》杂志上的想象中的动画场景。从1892年10月至1900年3月,雷诺德在巴黎格雷文博物馆为总共50多万名观众举办了12800场演出。他的哑剧《发光体》系列动画片于1895年12月28日首次商业公开放映,这一直被视为电影的诞生。

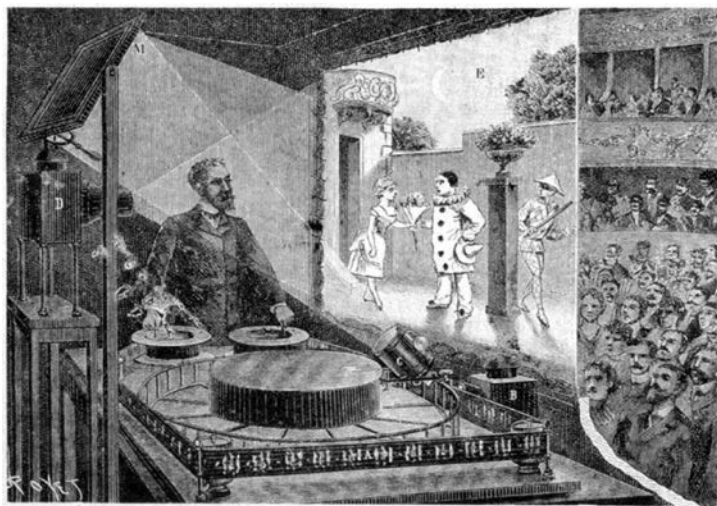


图 5-25 1892年7月发表在《自然》杂志上的想象中的动画场景

5.5.2 传统动画的发展史

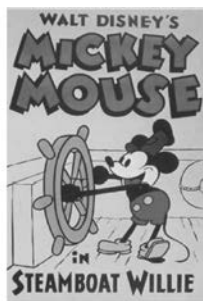
1895年,电影摄影终于取得了突破,这一新型媒体对逼真细节的描绘被视为当时的伟大成就。直到几年后,制造商才将电影动画商业化。图5-26展示的埃米尔·科尔的《幻想曲》(1908年)是已知的最古老的传统手绘动画。其他非常有影响力的动画短片有拉迪斯拉斯·斯塔雷维奇在1910年创作的木偶动画以及温莎·麦凯创作的《小尼莫》(1911年)和《恐龙格蒂》(1914年)等动画影片。



图 5-26 埃米尔·科尔的《幻想曲》(1908年)

大约从1910年开始,动画卡通的制作在美国开始成为一个产业,动画产业在美国逐渐进入黄金时期。1928年,以米奇老鼠和米妮老鼠为主角的《汽船威利》(*Steamboat Willie*)以同步声音推广了这部电影,并使华特·迪士尼的工作室走在了动画行业的前列。

米奇老鼠的巨大成功被视为美国动画黄金时代的开始,这一黄金时代持续到20世纪60年代。美国以大量动画剧场短片主宰了世界动画市场。有几家电影公司推出了一些非常受欢迎且生命力长久的动画角色,包括玛丽亚·布蒂诺瓦电影公司的 *Mapmo* (1924年)和 *The Leo King Knott* (1931年),华特·迪士尼制作公司的《高飞》(1932年)和《唐老鸭》(1934年),华纳兄弟卡通公司的《波基猪》(1935年)、《达菲鸭》(1937年)和 *Tweety* (1941/1942年)等,弗莱舍工作室/派拉蒙卡通工作室的《贝蒂·波普》(1930年)、《大力水手》(1933年)和《超人》(1941年),米高梅卡通工作室的《汤姆和杰瑞》(1940年)与洛皮,沃尔特·兰茨制作公司/环球卡通工作室的《伍迪啄木鸟》(1940年),20世纪福克斯的《大老鼠》(1942年)和联合艺术家公司的《粉红豹》(1963年)等。图5-27展示了部分有代表性的传统动画作品,有些作品直到今天还受到很多小朋友的喜爱。



(a) 1928年的《汽船威利》 (b) 1934年的《唐老鸭》 (c) 1940年的《汤姆和杰瑞》 (d) 1933年的《大力水手》

图 5-27 典型的传统动画

1937年,华特·迪士尼工作室的第一部动画片《白雪公主和七个小矮人》(图5-28)放映,截至2020年5月,这部动画片仍然是票房最高的传统动画片之一。弗莱舍工作室在1939年以《格列佛游记》取得了一些成功。但迪士尼接下来的几部电影《皮诺曹》、《幻想曲》



图 5-28 动画片《白雪公主和七个小矮人》

(均为 1940 年)和弗莱舍工作室的第二部动画片《Bug 先生进城》(1941/1942 年)的票房均告失败,部分原因是第二次世界大战切断了国外市场。此后几十年,迪士尼成为美国唯一一家定期制作动画片的工作室。

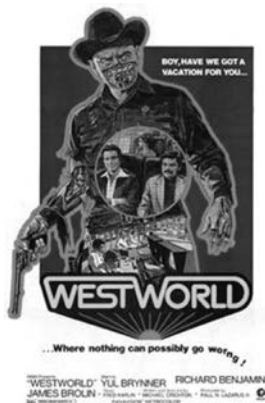
相对而言,很少有电影制造商能像迪士尼那样成功,但其他国家也发展了自己的动画产业,制作了各种风格的短剧和戏剧动画,通常包括定格动画和剪贴动画技术。俄罗斯联盟电影公司动画工作室成立于 1936 年,平均每年制作 20 部电影(包括短片),2018 年达到 1500 多部。中国、捷克、意大利、法国和比利时是其他发行动画片的国家,而日本则成为动画片制作强国,有效推动了动漫风格的发展。

5.5.3 计算机动画的发展史

与传统动画技术使用 2D 插图的逐帧动画不同,计算机动画通过建立 3D 模型生成连续的图像帧。计算机生成的动画还可以在不使用演员、昂贵的布景或道具的情况下制作电影视频。20 世纪 60 年代,贝尔电话实验室开发了早期的数字计算机动画,此外,劳伦斯·利弗莫尔国家实验室也在开始制作数字动画。

1967 年,Charles Csuri 和 James Shaffer 制作了一部名为《蜂鸟》的计算机动画。1968 年,Nikolai Konstantinov 制作了一部名为《小猫》的计算机动画,描绘了一只猫在四处走动。1971 年推出的一部名为《元数据》的计算机动画,显示了各种形状。

计算机动画史上的一个早期阶段是 1973 年电影《西部世界》的续集,这是一部科幻电影,讲述了机器人在人类社会中生活和工作的故事,如图 5-29 所示。它的续集《未来世界》(1976 年)使用了 3D 线框图像,其中有由犹他大学毕业生利用计算机创作生成出动画的手和脸。



(a) 1973 年的《西部世界》



(b) 1976 年的《未来世界》

图 5-29 早期的计算机动画

计算机生成图像 CGI 短片自 1976 年以来一直作为独立动画制作。结合 CGI 动画的故事片的早期例子包括 *Tron* (1982 年) 和日本动画电影 *Golgo 13: the Professional* (1983 年)。*Veggie Tales* 是第一个直接销售的美国全 3D 计算机动画系列 (1993 年制作), 它的成功启发了其他动画系列, 如 1994 年的 *ReBoot* 和 1996 年的《变形金刚: 野兽大战》。

第一部完整长度的计算机动画电视连续剧是 *ReBoot*, 于 1994 年 9 月首播; 《玩具总动员》(1995 年) 是皮克斯制作的第一部长篇计算机动画电影, 如图 5-30 所示。这部电影讲述了一个牛仔娃娃的故事, 当一个超级英雄太空人动作人偶取代他成为最受欢迎的玩具时, 他不得不与其成为朋友。这部开创性的电影也是许多全计算机动画电影中的第一部。《玩具总动员》的出现证明了完全靠 CGI 技术生成一部影片的可能性。作为第一部计算机三维动画长片, 《玩具总动员》以高清晰的图像质量、吸引人的角色和引人注目的故事情节确保了它的巨大成功。《玩具总动员》的制作动员了 100 多人花了将近 4 年的时间才得以完成。因为每帧的数据量高达 300MB, 而这部影片包含了 1560 个镜头和 110 000 帧, 最终为生成全部三维动画在 SGI 和 Sun 工作站上耗费了超过 80 万个机时。电影制作人不懈的努力带来了回报。《玩具总动员》不但票房收入丰厚, 也得到如潮的评论赞扬, 并获得了三个奥斯卡奖提名。导演 Lasseter 被授予了一个奥斯卡特别成就奖。

《玩具总动员》宣告了一个新的动画时代和电影时代的来临。它彻底改变了动画的生产方式及电影的制作方式。其意义不亚于《白雪公主和七个小矮人》在 1937 年给动画带来的革命性影响。在接下来的 10 年中, 观众开始热切期待使得传统动画几乎被废弃的计算机动画。

在美国现代动画时代, 特别是在特效领域, 计算机动画的普及率飙升。像《阿凡达》(2009 年, 如图 5-31 所示) 和《丛林之书》(2016 年) 这样的电影在大部分电影运行时都使用 CGI, 但仍然使用了人类演员。《阿凡达》的开发始于 1994 年, 这部电影广泛使用了新的动作捕捉拍摄技术, 并发布用于传统观看、3D 观看的不同版本以及在韩国的部分 4D 立体影



图 5-30 《玩具总动员》



图 5-31 《阿凡达》

院播放。阿凡达在近十年来一直是全球票房最高的电影,直到2019年被《复仇者:终局》超越,它还成为第一部总收入超过20亿美元的电影,并成为2010年美国最畅销的视频。《阿凡达》获得了包括最佳影片和最佳导演在内的9项奥斯卡奖提名,并获得了最佳艺术指导、最佳摄影和最佳视觉效果奖。

5.5.4 计算机动画关键技术

计算机动画结合了对对象的3D建模和编程。这些模型由三维坐标系中的几何顶点、面和边构成。在3D模型的基础上,必须使用纹理进行绘制,以实现真实感。此外,通过设置骨骼/关节动画系统以使CGI模型实现变形,例如,人形模型的行走。动画数据可以由人类动画师设置关键帧或使用运动捕捉来完成,下面对这两种技术进行介绍。

(1) 关键帧技术。

所谓关键帧技术,就是给需要动画效果的属性准备一组与时间相关的值,这些值都是在动画序列中比较关键的帧中提取出来的,而其他时间帧中的值,可以用这些关键值,采用特定的插值方法计算得到,从而达到比较流畅的动画效果。

早期的计算机动画生成几幅被称为“关键帧”的画面后,由计算机对两幅关键帧进行插值生成若干“中间帧”(每一幅都是对前一帧做小部分修改,如何修改便是计算机动画的主要研究内容),连续播放时两个关键帧就被有机地结合起来,整个场景就动起来了。一个简单的关键帧的例子如图5-32所示,图中编号为1、2、3号的图像为关键帧,利用一定的计算机模型生成其余的中间帧,连续播放就能产生动画的效果了。

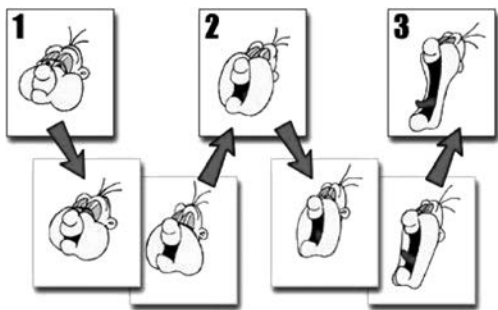


图 5-32 关键帧技术

(2) 动作捕捉。

动作捕捉是记录物体或人的运动的过程。它用于军事、娱乐、体育、医疗应用以及计算机视觉和机器人技术的验证。在电影制作和视频游戏开发中,它通过记录人类演员的动作,并使用这些信息在2D或3D计算机动画中为数字角色模型制作动画。如果包括面部和手指等微妙表情动作的捕捉,通常被称为性能捕捉。图5-33展示了一个身体动作捕捉系统。在许多领域,动作捕捉有时被称为运动跟踪,但在电影制作和游戏中,运动跟踪通常指匹配运动。

与传统的3D模型计算机动画相比,动作捕捉具有以下四个优势。

- ① 低延迟,接近实时获得结果。在娱乐应用中,这可以降低基于关键帧的动画的成本。
- ② 工作量不会像使用传统技术时那样随表演的复杂性或长度而变化。



图 5-33 身体动作捕捉系统

③ 复杂的运动和真实的物理交互,如二次运动、重量和力的交换,可以很容易地以基于物理原理的精确方式重新创建。

④ 与传统动画技术相比,在给定时间内可以生成的动画数据量非常大。这有助于提高成本效益和加快生产周期。

在视频游戏中,通常使用动作捕捉来为游戏角色制作动画。运动捕捉在 1994 年世嘉 2 号街机游戏《虚拟战士 2》中被用于制作 3D 角色模型的动画。1995 年的街机游戏《灵魂边缘》使用被动光学系统标记进行动作捕捉。

电影常常使用动作捕捉实现动画特效,在某些情况下取代了传统的动画,并完全由计算机生成动画形象,如《加勒比海盗》中的木乃伊、金刚等,《阿凡达》中的纳威人。《霍比特人:意外之旅》中的许多兽人和地精也都是通过动作捕捉创造的。《指环王:双塔》是第一部采用实时动作捕捉系统的故事片。这种方法将演员的动作实时传输到计算机生成的角色的皮肤中。

虚拟现实和增强现实的一些生产商允许用户通过捕捉手部运动实时与数字内容交互。这对于训练模拟、视觉感知测试或在 3D 环境中执行虚拟任务非常有用。此外,步态分析是运动捕捉在临床医学中的一个应用。这些技术使临床医生能够评估人体在几个生物力学因素中的运动,通常是把这些信息实时输入分析软件。图 5-34 展示了使用动作捕捉系统记录步态序列。

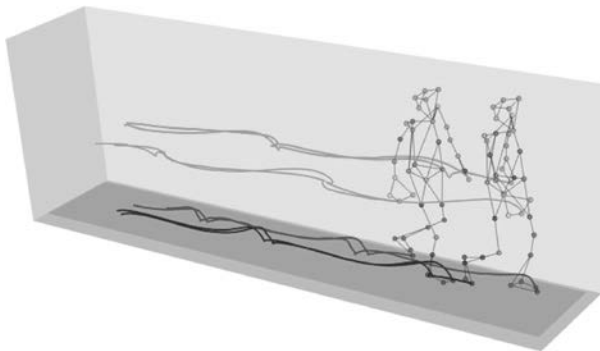


图 5-34 使用动作捕捉系统记录的步态序列

常见的光学运动捕捉系统有被动光学系统和主动光学系统。被动光学系统使用涂有标记反射的材料来反射光,从而被相机记录。主动光学系统通过一次快速点亮一个发光二极管(Light Emitting Diode,LED)或用软件点亮多个LED,通过它们的相对位置来识别位置,这有点类似于天体导航。这些标记本身可以发光,而不是将外部产生的光反射回来。这种方法可以产生极低的标记抖动和高测量分辨率,通常在校准体积内降至0.1mm。图5-35展示了一个高分辨率有源标记动作识别系统。

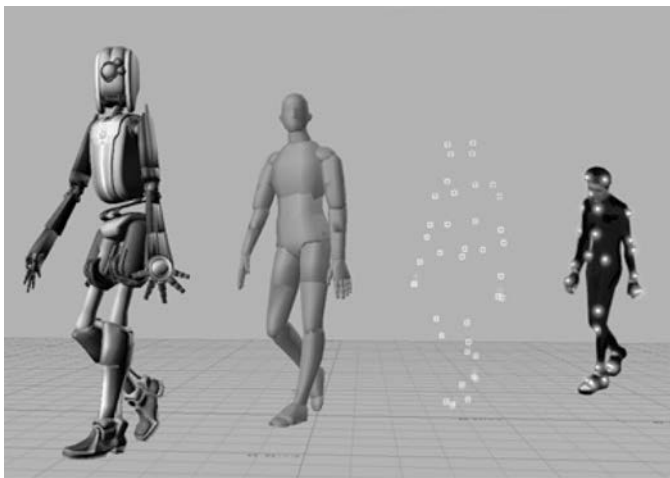


图 5-35 高分辨率有源标记动作识别系统

本章小结

计算机图形技术已经在我们的生活中得到了广泛的应用,并产生了深刻影响。本章首先对计算机图形学的相关概念进行简单介绍,包括它的定义、研究内容和相关学科领域,并梳理计算机图形学的发展历史和主要应用;然后,介绍图形学中有关色彩的相关知识,如色彩三属性、色彩模型等;接着,重点介绍真实感图形学的相关技术,包括光照模型、透明和阴影、纹理映射等;最后,对计算机图形学的典型应用——计算机动画进行详细的介绍,包括计算机动画的发展历史和关键技术。

本章习题

1. 简述计算机图形学的定义及特点。
2. 图形的几何要素主要有哪些?如果要建一座房子的模型,在计算机内部如何建立房子的几何拓扑信息?
3. 简述计算机图形学与计算机视觉的区别和关系。
4. 分别描述真实感图形学和非真实感图形学的主要特征,并简单比较两者的区别。
5. 计算机图形学已经在许多领域得到了应用,如计算机辅助设计、数字艺术、平面设计等,试描述一种计算机图形学在你身边的应用,重点说明它是如何利用图形学技术的。

6. 可见光是电磁波中的一部分,简述可见光的频率和波长范围。
7. 简述色彩的三属性,并说明每个属性的物理意义。
8. RGB 色彩模型主要用于哪些场景? 为什么它被称为加色系统?
9. Phong 光照模型主要由哪几部分组成?
10. 简述视觉暂留原理,并说明一般动画的帧速率需要达到多少,人眼才能产生连续的动画感觉。
11. 简述关键帧技术的原理。
12. 与传统的 3D 模型计算机动画技术相比,动作捕捉技术有哪些优点?