

# 未来影像：艺术与计算机科学的 联姻与趋势

陈宝权 曾琼

—

信息技术革命时代，计算机科学的发展为各行各业带来了新的生机——移动设备的普及缩短了人与人之间的距离，可穿戴设备为人类健康活动提供了智能监控，机器人将人类双手从繁琐的工作中解放出来，增强现实技术使得不同空间的人们拥有沉浸式真实感无缝互动体验，无人机为人们创造了从上帝视角俯瞰世界的机会，城市数据分析为政府部门推理和决策提供了科学依据……与其他各行各业一样，电影艺术也受惠于计算机科学技术的发展。电影与计算机科学之间互相影响、互相促进：电影艺术中的创意实现与大众对高品质视觉效果追求，给计算机科学（特别是计算机图形学）带来了挑战，是促进科学进步的有利因素；同时，电影创作需要先进计算机技术的支撑，离开先进技术支撑的艺术表现不仅无法达到理想中的极致，甚至可能乏味而空洞。

电影艺术与计算机科学（特别是计算机图形学）早在上世纪70年代便开始了互动。计算机图形学是一门交叉了计算机、数学、物理学、人类感知、人机交互、图形设计以及艺术等知识的学科，利用数学的方式形式化表示图形，并通过显示器及交互设备尽可能真实地绘制并呈现相关视觉信息<sup>[1]</sup>。早期图形学研究集中于麻省理工大学（MIT）、卡耐基梅隆大学（CMU）等美国院校，MIT 博士生 Ivan Sutherland 发明了首个交互绘图系统 Sketch Pad，奠定了计算机图形学的基础。Ivan 于 1967 年应邀从哈佛大学转至犹他大学，逐步将这里建成首屈一指的图形学学术圣地，培养了一大批早期图形学领军人才，包括图灵奖得主 Alan Kay、Z 缓冲技术合作发明人 Edwin Catmull（另一发明人为计算机图形学先锋 Wolfgang Straßer）、着色技术发明者 Henri Gouraud 等。计算机图形学从学术界走向电影工业界的革命起源于上世纪70年代的纽约理工学院（New York Institute of Technology, NYIT）计算机图形实验室（Computer Graphics Lab, CGL），引领计算机图形前沿科学（特别是三维计算机动画）近20年时间，创造了上世纪70~80年代计算机科学与电影动画结合的辉煌，至今仍影响着计算机科学界以及电影艺术领域。毫不夸张地说，纽约理工学院计算机图形实验室（简称 NYIT CGL）是现代视觉特效

## 提要

随着电影工业的发展，未来影像面临更高数据量、更高交互度、更高沉浸度以及更高维度等挑战，电影工业的“去中心化”已然成为未来发展趋势，计算机科学为电影工业的“去中心化”提供了强有力的支撑。

## 陈宝权

山东大学计算机科学与技术学院和软件学院院长，长江学者特聘教授，主要研究方向为场景及动作的三维获取与呈现。



## 曾琼

山东大学计算机科学与技术学院在读博士后，主要研究方向为计算机图形学，关注于2D-3D立体转换及动画情感分析与编辑。



的起源地。NYIT CGL由企业家 Alexander Schure 于 1974 年创办, Schure 梦想组建一支科研团队创造真正意义上的计算机动画电影。为组建该团队, Alexander 购买了当时最先进的计算机图形硬件及软件设备, 聘请犹他大学高材生 Edwin Catmull 管理团队, 并吸引了一大批犹他大学图形学领域研究人员、其他科技工作者及艺术家。NYIT CGL 一直从事计算机图形学前沿研究, 几乎每天都能创造重大突破点, 无数的图形学“第一次”在这里诞生: 第一个 24 位颜色 (RGB) 缓冲区革新了计算机管理颜色图像的方式, 第一个二维绘画程序为迪士尼二维卡通制作智能化铺设了道路, 第一个形变及反射贴图技术则是未来特效的雏形……更重要的是, NYIT CGL 是第一个艺术家与科技工作者协调工作的实验室, 共同创造了计算机动画领域一个又一个神话, 其强大的创造力、深远的影响力吸引了一大批科学研究人员、电影工作者参观学习。19 世纪 70 年代末期, 计算机图形学的发展吸引了愈来愈多电影公司关注电影视觉特效以及视觉特效人才。卢卡斯影业 (Lucasfilm) 在 1977 年专门为《星球大战》的特效制作成立了由 John Dykstra 带领的特效团队, 该团队后来发展成为 Industrial Light & Magic (工业光魔)。两年后, 卢卡斯影业聘请 Edwin Catmull、Alvy Ray Smith 以及其他在 NYIT CGL 积累了丰富经验的科学家、艺术家们组成计算机图形部门 (Lucasfilm's Computer Graphics Division), 主要研发电影工业中的先进计算机技术, 卢卡斯影业期望通过该部门构建一套非线性数字电影编辑系统、数字声音编辑系统、数字电影打印机以及未来图形学领域的其他创新; 卢卡斯计算机图形部门创造了一系列的新兴技术, 包括手绘纹理系统、运动模糊效果等。1986 年, Steve Jobs 收购卢卡斯影业计算机图形部门, 成立了著名的皮克斯动画, 逐步加快了计算机动画电影短片制作的进程。这样一个将计算机技术引入至电影艺术创作的从无到有的过程犹如婴儿学步般蹒跚, 但是却开启了电影艺术与计算机科学联姻的大门。

千呼万唤始出来。电影工业界积聚了 20 余年的能量在上世纪 90 年代中期爆发了出来, 自此以后, 电影艺术与计算机科技的结合愈来愈紧密。1995 年, 皮克斯动画制作的世界第一部计算机动画电影《玩具总动员》(如图 1) 上映, 该片获得了高达 3.6 亿美元的全球票房, 并凭借其前沿科技技术获得了盛赞。皮克斯动画工作室一直秉承艺术与技



图 1 《玩具总动员》动画角色图

术紧密结合的理念, 在制作过程中不断努力使用更为先进的计算机技术。动画艺术的创新需求驱使皮克斯动画工作室在计算机图形技术方面取得了许多基础性研究成果, 比如图像合成、运动模糊、细分曲面、纹理映射、反走样等, 并构建了

著名的渲染器 Render Man。Render Man 渲染器在电影视觉特效 (VFX) 领域已成功应用 25 余年, 制作的代表影片包括《爱丽丝梦游仙境 2: 镜中奇遇记》《星球大战: 原力觉醒》《侏罗纪世界》《阿凡达》等一大批人们熟知的优秀影片<sup>①</sup>, 为全球电影票房做出了重要贡献。2015 年, Render Man 渲染软件对非商业用途开放, 可用于图形科学研究、算法评估、教学、个人作品等。2006 年, 迪士尼 (Disney) 以 76 亿美金收购皮克斯动画工作室。与皮克斯一样, 迪士尼亦非常注重计算机技术与电影工业的融合。2008 年, 迪士尼成立研究中心, 将工业界需求与学术科研相结合, 推动迪士尼公司的前沿科技创新研究。目前, 迪士尼研究中心已成为有国际影响力的科研机构, 其研究领域涉及计算机图形学、视频处理、计算机视觉、机器人、无线通讯、人机交互、行为科学、计算材料科学、机器学习与优化理论等, 迪士尼科研成果被广泛应用于电影视觉特效中。以《冰雪奇缘》为例, 由于雪的建模往往存在多样性 (比如冰雪、雪花、雪球、碎雪等), 且电影动画中对于雪的精细度要求较高, 极具挑战性, 为此, 迪士尼科研人员、艺术家与加州大学洛杉矶分校科研人员合作提出了一种基于用户控制的弹塑性本构模型, 将其与兼具欧拉算法及拉格朗日算法优点的物质点法相结合, 用于雪的模拟, 使得能够利用规则笛卡尔网格自动控制雪元素的自碰撞以及破碎, 达到动态模拟复杂雪景的效果 (如图 2 所示)<sup>②</sup>。不仅仅是迪士尼、皮克斯, 其他世界顶尖的电影工作室都有自己的研发团队, 比如维塔工作室 (Weta

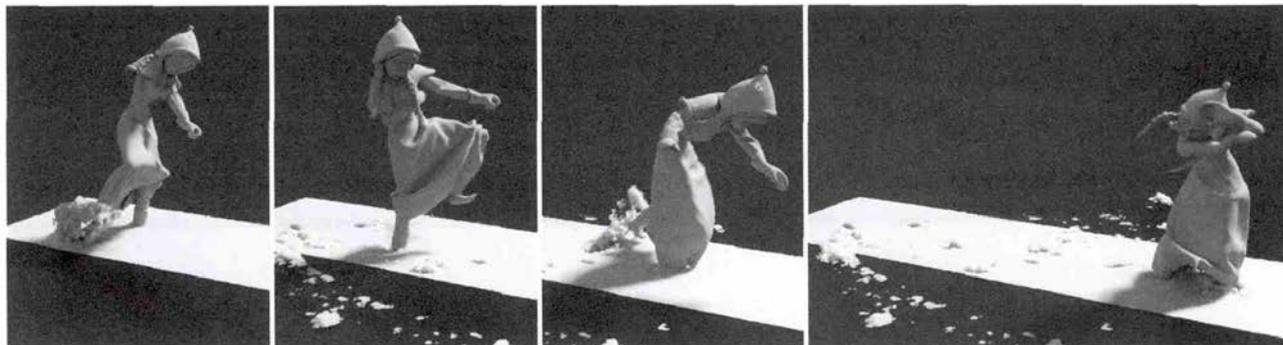


图2 《冰雪奇缘》中动画角色走路过程中的动态雪

Workshop)、工业光魔等特效工作室均与科研院校、研究机构、硬件厂商等有着合作关系，共同致力于高效呈现丰富、逼真的视觉效果。

谈到电影艺术与计算机科学之间的沟通与交流，不得不提计算机图形领域顶尖会议 SIGGRAPH。SIGGRAPH 全称为计算机图形图像特别兴趣小组(Special Interest Group for Computer Graphics)，创办初期主要为科学家探讨计算机图形学以及交互技术的研究进展提供交流平台，后逐渐引入商业参展。可以说，SIGGRAPH 见证了计算机图形学以及电影视觉特效技术的发展。在《玩具总动员》上映之前，计算机科学家与电影艺术家尝试过许多动画短片制作，其中许多优秀短片在 SIGGRAPH 展播。随着计算机科学技术的发展，近年来 SIGGRAPH 平均每年参会人数超 2 万人，参会人员包括计算机科学研究人员、视觉特效艺术家、图形软硬件厂商，已成为了图形领域当之无愧的“奥斯卡”盛会。目前，SIGGRAPH 会议主要包括技术报告、技术课程、艺术报告、计算机动画艺术节(包括优秀计算机动画作品展播、电影制作研讨等)、前沿技术、展览等，一方面为艺术人员提供了解计算机图形前沿发展的机会，另一方面为计算机科研人员近距离感受艺术界、产业界需求提供了平台。

## 二

2016 年 4 月，由迪士尼发行的《奇幻森林》(The Jungle Book) 凭借其真实的电影特效开启了电影艺术的新纪元。值得一提的是，该片中仅男主人公 Mowgli 为真人出演，其余约 70 种动物、森林场景均由计算机绘制。影片的后制作主要由 MPC (Moving Picture Company) 以及维塔特效工作室负责，其中 MPC 负责 1200 多个镜头的动物以及场景绘制，维塔负责巨猿 Louie 及其他猿猴相关序列的绘制；两个工作

室的 1000 多名后期特效艺术家耗费一年多时间制作男主人公与动物角色及环境之间的互动<sup>②</sup>。图 3 展示了《奇幻森林》基于蓝幕拍摄的场景以及呈现给观众的景象，右图背景中的森林场景根据 10 万多张印度丛林中的真实照片利用计算机图形技术生成，不涉及印度丛林的真实电影场景拍摄<sup>③</sup>。后期制作过程中为了避免陷入“恐怖谷”(Uncanny Valley)<sup>④</sup>，MPG 公司开发了能够高效利用已渲染的资源 Render Flow 系统，采用极高的精度计算动物的肌肉动态模拟、毛发绘制等效果。除此以外，迪士尼前所未有地同步推出了《奇幻森林》的虚拟现实(Virtual Reality, VR) 体验版，为观众提供了更为直接、深入的观影体验。

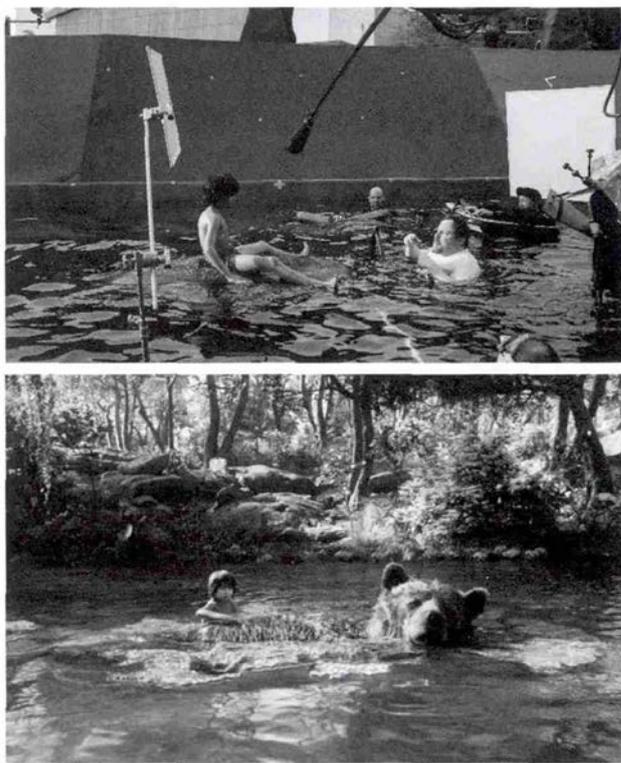


图3 上图为《奇幻森林》拍摄场景，下图为男主人公 Mowgli 坐在好朋友棕熊 Baloo 肚子上的场景。

《奇幻森林》影片展现了高精度的模型、惟妙惟肖的表情、自然顺畅的动作、高真实感的场景,构建如此精妙绝伦的电影特效不仅需要众多专业电影特效艺术家耗费大量时间精细化处理,还需要利用计算机机科学中的三维建模(3D Modeling)、运动捕捉(Motion Capture)、计算机动画(Computer Animation)、真实感渲染(Realistic Rendering)等图形学顶尖技术做支撑。《奇幻森林》耗资数亿元,制作时间长达2年多。显然,工具是限制电影艺术发展不可规避的因素。计算机图形学发展至今,在电影产业中的应用主要可以分为三维建模、运动捕捉、计算机动画、真实感绘制等4大块。其中,真实感绘制以及计算机动画是图形学的核心内容,直接决定了计算机图形图像(甚至是序列帧)的呈现效果,三维建模与运动捕捉则为真实感绘制以及动画提供数据基础。40多年的发展使得图形基本理论已经成熟,目前追求图形算法的精细化、智能化、自动化是图形科研领域主流研究思路。

**三维建模**指利用数学语言描述三维形状属性并将其显示在计算机中的过程。目前,电影产业中的三维建模方式主要有两类:过程建模技术以及三维扫描建模技术。过程建模技术依赖于预先指定的模型结构规则,能够生成大规模的虚拟场景,例如《汽车总动员2》中利用过程建模软件City Engine构建城市市场景;而三维扫描建模技术则往往利用三维扫描设备扫描实体三维模型(比如泥塑模型),并在此基础上进一步精细编辑以得到高精度三维模型,《侏罗纪公园》《阿凡达》等许多好莱坞大片中采用的就是三维扫描建模技术创建角色模型。电影产业中大规模城市市场景建模逐渐趋于真实性、完整性以及高精度,然而,现有的过程建模很难定义规则生成真实的建筑物模型。三维扫描建模技术由于采集精度无法满足需求,后期处理较为复杂,因此,不管是过程建模,还是三维扫描建模技术,甚至是传统手工建模工具(比如Maya、3Ds MAX、Blender等),研究内容正朝着自动化、智能化、规模化等方向发展。现如今,海量大数据图像、视频、三维模型等资源为三维模型建模提供了丰富的数据基础。我们认为,利用已有场景(或场景对象)大数据资源探索其共性特征与先验知识,从而实现渐进式、迭代式的城市大规模场景(或场景对象)建模。事实上,研究领域的大量工作为这一未来发展方向提供了基础,举例而言,研究人员曾提出非规则三维建

筑模型保结构变形技术生成大量相同风格的三维模型<sup>[3]</sup>,研究人员亦提出了若干利用已有素材辅助艺术家“创造性建模”的工具<sup>[4]</sup>。

**运动捕捉**指的是采集人体(或其他物体)三维空间运动信息的过程。典型的运动捕捉系统由标记点(或传感器)、数据采集设备(比如深度相机、高清相机等)、数据传输设备、数据处理设备等组成。运动捕捉技术分为有标记点(Marker based)的运动捕捉以及无标记点(Markerless-based)的运动捕捉技术。目前,电影领域应用较为广泛的是有标记点的运动捕捉技术。有标记点的运动捕捉技术主要应用于表情捕捉以及动作捕捉两个方面,例如《指环王》(Lord of the Rings)中创造了运动捕捉技术的经典形象咕噜(Gollum),其生动的表情、自然的动作为影片增色不少(如图4所示)。然而,基于标记点的运动捕捉存在一定的局限性,在整个过程中演员必须穿上包含标记点或者传感器的演出服,且演员在描述复杂动作时由于自遮挡容易出现标记点的丢失(数据噪声),除此以外,微表情获取也仍然是未解决的问题,仍需要较多的人工干预优化面部细节(专业级别的人脸表情编辑甚至涉及数百个控制参数)。因此,目前动作捕捉技术的研究正朝着轻量级、精细化、易于编辑等方向发展,即无标记点的运动捕捉技术。无标记点的运动捕捉技术受到环境、数据采集设备精度等影响,是极具挑战的工作。举例而言,研究人员仅利用3个深度相机及压力感知鞋捕获全身运动数据<sup>[5]</sup>,该系统融合深度、压力、几何以及环境约束因子等多源信息,能够在不穿戴动捕服的情况下自动捕获高精度的全身运动信息,如图5所示。尽管研究领域已经针对无标记点的动作捕捉技术提出了一系列的解决方案,但该问题并没有完全解决。

**计算机动画**是指利用计算机渲染生成二维或三



图4 左图为演员Andy Serkis身着动捕服,脸部涂了若干标记点;右图为其动作、表情迁移至虚拟角色咕噜。

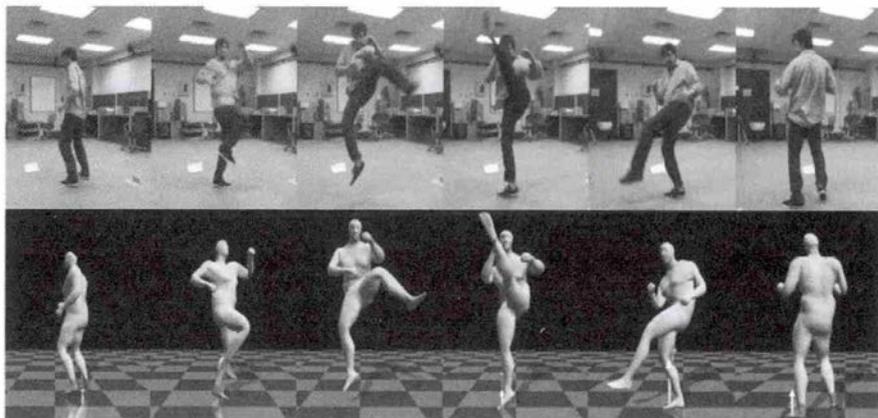


图5 利用深度相机、可穿戴压力传感器捕获全身动作

维运动序列的技术，是伴随着计算机硬件和图形算法高速发展起来的技术，也是计算机图形学和艺术高度结合的产物。计算机动画技术主要分为两大类，关节动画技术(Skeletal Animation)以及物理模拟动画技术(Physically based Animation)。关节动画技术由角色表面以及角色骨架组成，常用于驱动人体或其他有机体的运动。关节动画技术与前文中提到的运动捕捉技术有很大关联，可以利用运动捕捉得到的骨架数据驱动其他物体运动，比如图5中将演员的动作迁移至动画角色咕噜。然而，关节动画技术缺陷在于无法处理肌肉运动以及皮肤运动，仅涉及骨架。物理模拟动画技术指的是与物理模拟相关行为的动画序列生成技术，涉及刚体模拟、软体模拟、基于物理的角色动画、粒子系统、流模拟等内容。由于物理模拟动画技术考虑到物理合理性、稳定性以及物理视觉精确性，一定程度上弥补了关节动画的缺陷。然而，即使物理模拟动画技术大量使用物理方程模拟真实世界运动规律，要达到真正的运动计算量极大且非常复杂，因此，自动高效生成真实的动画效果仍然是科研人员努力追求的目标。近年来，在角色动画控制、动画编辑等领域积累了丰富成果。举例而言，研究人员基于谱分析提供编辑动画风格的系统，允许艺术家高效编辑骨架动画的风格<sup>[6]</sup>，同时还提出了一种基于采样的高效运动控制算法，能够真实模拟角色动画运动<sup>[7]</sup>。

**真实感绘制**是传统计算机图形领域的核心问题，研究内容涉及光照计算、粒子渲染、材质、高性能渲染加速等，快速的渲染能力、精细的渲染效果及自动化的处理方案是真实感绘制始终追求的目标。2016年3月迪士尼发行的《疯狂动物城》(Zootopia)全球票房总额突破10亿美元，该片精致

的渲染效果给观众们留下了深刻印象(如图6所示)。事实上，在真实感绘制过程中，直接影响人眼感知场景或物体对象真实性的因素是光照、阴影等基本属性，然而，对于大规模场景，光照计算往往需要耗费较长的时间。以动物毛发渲染而言，仅一只长颈鹿的毛发数量便超过900万缕，如此大量的毛发光照渲染需要强大的渲染计算平台支撑。为解决复杂场

景光照渲染时间长、效率低的问题，迪士尼研究院的研究人员提出了一种自适应多项式方程渲染的方式改进蒙特卡洛光线追踪算法，既能够减少渲染图像中的噪声，又能够保持渲染图像的边缘特征<sup>[8]</sup>。在视觉特效制作过程中，雪堆细粒度结构物体的建模与渲染是极具挑战的问题，其原因在于粒子之间的散射属性以及排列方式都会影响整个物体的渲染效果。迪士尼研究院的研究人员及其合作者研究了细粒度结构物体的多尺度建模与渲染方法<sup>[9]</sup>，能够自适应绘制不同尺度的散射光结构，并利用不同精细度的路径追踪算法模拟光线传输，可节省大量的渲染时间。除了上述内容，计算机图形领域有众多为真实感绘制服务的工作，如流体模拟<sup>[10]</sup>、渲染加速<sup>[11]</sup>等；而许多真实感绘制算法已集成至Render Man、Hyperion等渲染引擎中，提高了电影产业界的制作效率。

### 三

不管是已逐渐应用的云平台制作，还是正在起步的VR(Virtual Reality, 虚拟现实)观影，抑或是基于大数据的电影票房预测、电影剧本创作等，都是值得电影艺术、计算机科学等领域研究人员关注



图6 《疯狂动物城》动画场景图

的动态。电影的制作方式、产业分析方式以及呈现方式将朝着去中心化的方向发展。去中心化产生的原因一方面来自于日渐普及的移动设备(Mobile Device),比如虚拟现实眼镜、增强现实眼镜等;另一方面则归因于计算机网络(Network)的迅猛发展,计算机网络的迅猛发展带来了井喷式的大数据资源,并使得云端通讯、计算成为可能。我们将从网络分布式云计算、网络大数据分析以及智能移动设备的角度探讨未来影像去中心化的发展方向。

**网络分布式云制作** 在电影制作过程中,为了完美呈现电影中想要表达的艺术内涵,一方面需要获取丰富的电影素材,另一方面需要追求更为精致的渲染效果。丰富的电影素材以精湛的拍摄技术、贴合需求的场景布置等为基础,而高质量的渲染效果则依赖于更高质量的计算性能。目前的电影制作(不管是素材获取还是特效渲染)通常是多个工作室合作,各工作室可能分布在全球不同地区,相互之间的通讯、交流以及数据传输耗费了大量时间。与此同时,主流的电影渲染依赖于分布式并行集群计算系统,多节点、高配置的GPU渲染集群购置、维护以及更新等成本较高,还需要大规模的场地置放设备。这两点原因导致绝大部分资源掌握在少数顶尖特效公司手中。资源的过度集中化给电影创作带来了极大的约束,不利于创新作品的产生,同时集中化的电影制作方式也降低了电影制作的效率,拉长了特效制作时间。近年来,云计算井喷式兴起,基于云计算的网络分布式云制作在电影以及动画等领域均有广泛应用,比如影片《云中行走》(The Walk)中演员 Philippe Petit 在高空行走的场景制作。网络分布式云计算的发展,将为云制作中所面临的通讯效率、通信安全、数据安全等问题带来更为可信、鲁棒<sup>⑤</sup>的解决方案,为电影艺术的“去中心化”提供基础。

**网络大数据分析** 在大数据时代,影片资源的共享、社交平台观众的评分、网络视频的观看记录等数以亿计的信息正等待人们去探索。数据挖掘、可视分析、信息检索等计算机科学理论则是探索的强有力工具。当然,除了利用已有电影大数据,众包机制<sup>⑥</sup>也使得有机会挖掘更为细致的与人类感知相关的数据分析。目前,大数据分析逐渐在电视、视频行业中试水。举例而言,阿里云人工智能程序小 Ai 曾实时预测湖南卫视《我是歌手》栏目中歌手排名并成功预测冠军结果。2015年,爱奇艺与山东

大学共同建立“视频深度学习产业联合实验室”,试图利用可视计算、机器学习、大数据挖掘算法等提升其智能推荐和流量、票房预测。大数据在未来将给电影艺术领域带来无限可能,比如利用大数据挑选男、女主角,利用深度学习辅助机器自动撰写剧本,甚至是众包机制搜集特效艺术家提供的电影素材(比如场景素材、动作捕捉数据等)……大规模离散数据所带来的素材资源、预判以及决策,是电影艺术“去中心化”的保障。

**第五块屏** 电影艺术的过于集中化还体现在观影模式方面,主流观影终端有“四块屏幕”,分别是电影屏幕、电视屏幕、电脑屏幕以及手机屏幕。然而,主流观影模式不仅受到物理位置的限制,还无法提供观影者与影片之间的互动,且无法支持不同空间观众的实时观影与互动,对于观众而言,仍然是“被动式”的观影模式。近年来,头戴显示设备(即“第五块屏”)逐渐走入人们视野,最具代表性的便是虚拟现实技术(Virtual Reality, VR)和增强现实技术(Augmented Reality, AR)。《奇幻森林》影片上映时迪士尼携手 HTC VIVE 推出了虚拟现实(Virtual Reality, VR)体验,给观众以身临其境的360度全景体验。我们认为,以VR和AR为主“第五块屏”的发展将逐步革新电影观影模式。事实上,虚拟现实技术对于电影艺术界并不陌生。上世纪80年代,好莱坞影片中已有涉及虚拟现实题材的影片,比如《头脑风暴》(Brainstorm)。虚拟现实是一种沉浸式的三维显示技术,用户通过戴上沉浸式头盔(或者眼镜)感受计算机生成的、与其视点以及物理位置相匹配的三维场景,并支持交互以及感知(比如声音、触感等)。目前,VR观影眼镜的生产以及研发成为热潮,比如索尼 HMZ-T3W、国内海鲸科技的“嗨镜”(Highglass),其中“嗨镜”能够支持750寸巨幕成像。与虚拟现实稍有不同,增强现实是基于实际物理空

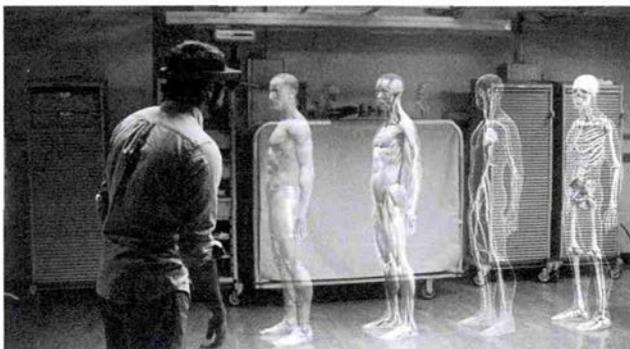


图7 微软 HoloLens 增强现实眼镜示例效果

间的虚拟表达，比如，允许用户在无任何装饰的空房间内添加虚拟物体(如图7所示)、允许不同空间的用户虚拟交互等。“第五块屏”的软硬件发展不仅为电影提供了创新内容，更重要的是，在未来能够革新观众的观影方式使得电影的呈现与表达不受地域限制，是电影艺术“去中心化”的直观表现。

#### 四

不可否认，计算机科学理论为电影艺术带来了创作素材，为电影艺术内容的表达与呈现提供了技术支撑，也为未来电影艺术的发展提供了方向。尽管目前国外计算机科学领域与电影艺术领域已有深入合作，但在国内二者之间的神秘面纱并没有完全揭开——计算机科学研究人员远离国内电影实际需求、数字媒体技术专项人才培养与实际脱节，国内电影领域往往停留在“操作”计算机软件的阶段，对我国计算机科学发展的水平以及对自主研发的认知不足。因此，国内电影人往往会产生这样的疑惑：顶尖计算机科学理论离我们到底有多远？

事实上，前文中所阐述的计算机科学理论——不管是计算机图形学界的三维建模、运动捕捉、计算机动画、真实感渲染、虚拟现实以及增强现实技术，还是大数据管理与分析、数据挖掘、网络安全等理论，抑或是大规模分布式并行计算理论，我国科学研究领域均有顶尖的科研成果。就计算机图形领域而言，我国科研人员国际学术影响力日渐增强，一系列高水平研究成果发表于SIGGRAPH、ACM TOG等计算机图形学顶级国际会议及期刊上，带动了电影动画产业的发展。举例而言，在真实感渲染技术方面，速度对于提高电影产业生产效率有着非常重要的作用，为此，国内研究人员提出了国际首个交互式的基于GPU的Reyes渲染架构系统——Render Ants渲染系统，比皮克斯同时期的PRMan渲染系统快一个数量级<sup>[12]</sup>。在视频编辑方面，视觉特效师往往耗费大量时间在视频抠图上，为了提

高视频抠图效率，国内研究人员提出了针对大位移、大形变的交互式视频抠图算法<sup>[13]</sup>，其性能远优于Adobe After Effects中的Rotobrush工具。除此以外，国内研究人员基于便携型手持设备提出了视频背景替换算法，能将传统电影特效技术推广到便携型手持设备所拍摄的视频中(见图8)<sup>[14]</sup>，相关研究内容已应用于三星电子、爱奇艺等知名企业。

国内日渐发展壮大的计算机图形技术为我国主办计算机图形学顶级国际会议SIGGRAPH Asia奠定了基础。2014年，SIGGRAPH Asia会议在创办6年后第一次在中国大陆(深圳)举办，吸引了来自影视、动画、游戏、设计、互动技术、虚拟现实等相关领域超过60个国家或地区、总人数达6000余人的参会代表，在学术界、工业界影响巨大。借这次大会契机，我们联合国内兄弟院校以及CG产业界领军企业等100余家单位，共同创建了“CG技术与产业联盟”，旨在促进产业界与学术界的合作创新。“联盟”首批成员代表包括来自Adobe、Autodesk等国际企业，腾讯、华为、联想、百度、爱奇艺等国内相关产业负责人，国家科技部和基金委领导等300余人。会议还邀请了数字媒体及娱乐产业先驱Scott Ross等多名领军人物面向电影动画产业举办研讨会，探讨产、学、研、用相结合的创新体系。SIGGRAPH Asia 2014的成功召开增强了我国计算机图形学的国际学术影响力，促进了产业联盟，带动了产业应用水平提升，为我国电影动画产业的发展注入了新鲜活力。

未来，我国电影工业的崛起很大程度上依赖于高精尖影像技术的发展，如何让顶尖的计算机科学理论为电影艺术服务是需要计算机科研人员、电影人共同思考的问题。借鉴NYIT CGL的模式，电影艺术界、产业界与计算机科学领域的深入合作与交流是回答该问题的最佳途径。事实上，近年来，国内计算机科学研究领域已与国外同行同台竞技、交流密切，但与国内电影产业之间仍然存在交流鸿沟。因此，鼓励电影艺术人员、电影制作公司与计算机

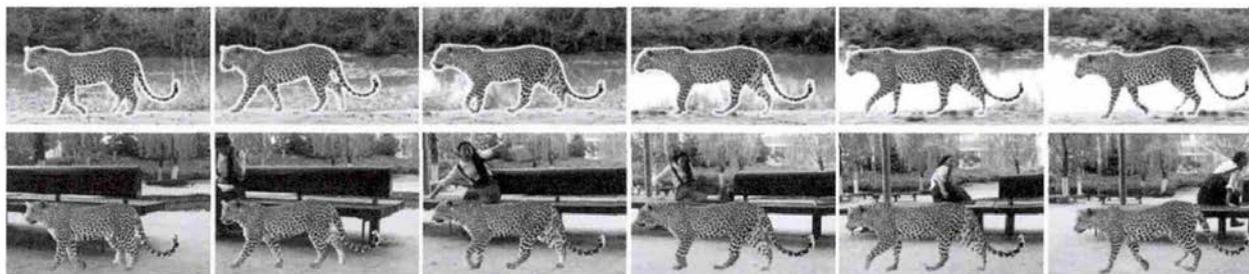


图8 便携型手持设备视频背景替换结果图

科研人员沟通交流,建立双方深层次的合作(比如培养优秀人才、创建先进电影工作室等)是未来努力的方向。值得一提的是,由北京电影学院牵头的“未来影像高精尖创新中心”于今年获批成功,该创新中心将在北京市政府、教育部和国家新闻出版广电总局的支持下,由北京电影学院与本单位联合参与建设,同时协同大量国内外高校、科研机构和知名企业,其目标在于基于艺术方面的理论创新与叙事创新、科技方面的技术及应用研发、产业方面的标准创立、智库建设等,创建未来影像采集、制作、

呈现的科技体系,构建面向未来影像的艺术与技术融合支撑平台。“未来影像高精尖创新中心”的建立、成长将有助于我国电影产业的发展。

我们认为,电影艺术界、产业界以及计算机科学领域应多方面建立合作,共同培养优秀领军人才。在“互联网+”的时代背景下,把握网络分布式云计算、网络大数据分析以及智能移动设备等技术发展机遇,充分利用未来影像科技的前沿尖端研究,提高电影工业的“去中心化”,为我国电影工业发展与崛起助力。□

#### 注释:

- ① <https://renderman.pixar.com/view/movies-and-awards>
- ② <http://www.cgw.com/Publications/CGW/2016/Volume-39-Issue-2-Mar-Apr-2016/Virtual-Verite-The-Jungle-Book.aspx>
- ③ <http://news.sky.com/story/1691563/new-photos-reveal-jungle-book-cgi-magic>
- ④ Uncanny Valley, 引申形容人类对与其(或真实世界)相似场景所呈现的排斥反应,参见维基百科“恐怖谷”词条。

- ⑤ Robust 音译,指稳定的、强健的程序或解决方案。
- ⑥ 众包机制,指一种分布式的问题解决和生产方式,问题或任务以公开招标的方式利用互联网平台传播给未知的解决方案提供者(或工人, worker)群体。众包机制能够以一种简单且便宜的方式,利用人类理解及感知能力,解决复杂的计算问题。

#### 参考文献:

- [1] James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner, John F. Hughes. Computer Graphics: Principles and Practice in C. Addison-Wesley Professional Publisher, 1995.
- [2] Alexey Stomakhin, Craig Schroeder, Lawrence Chai, Joseph Teran, Andrew Selle. A material point method for snow simulation. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2013), vol. 32, no. 4, pp. 102:1-102:10, 2013.
- [3] Jinjie Lin, Daniel Cohen-Or, Hao (Richard) Zhang, Cheng Liang, Andrei Sharf, Oliver Deussen, Structure-Preserving Retargeting of Irregular 3D Architecture. ACM Transaction on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH ASIA 2012), 30(6): 183:1--183:10, 2012.
- [4] Daniel Cohen-Or, Hao Zhang. From inspired modeling to creative modeling. The Visual Computer (invited paper), vol. 32, no. 1, 2016.
- [5] Peizhao Zhang, Kristin Siu, Jianjie Zhang, C. Karen Liu, Jinxiang Chai. Leveraging depth cameras and wearable pressure sensors for full-body kinematics and dynamics capture. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2014), vol. 33, no. 6, 2014.
- [6] M. Ersin Yumer, Niloy J. Mitra. Spectral Style Transfer for Human Motion between Independent Actions. ACM Transactions on Graphics, vol. 35, 2016.
- [7] Libin Liu, Kangkang Yin, Baining Guo. Improving Sampling-based Motion Control. Computer Graphics Forum, vol. 34, no. 2, 2015.
- [8] Bochang Moon, Steven McDonagh, Kenny Mitchell, Markus Gross. Adaptive polynomial rendering. ACM SIGGRAPH, 2016.
- [9] Johannes Meng, Marios Papas, Ralf Habel, Carsten Dachsbacher, Steve Marschner, Markus Gross, Wojciech Jarosz, Dartmouth College. Multi-scale modeling and rendering of granular materials. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2015), vol. 34, no. 4, 2015.
- [10] Xinxin Zhang, Robert Bridson, Chen Greif. Restoring missing vortices in advection-projection fluid solvers. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2015), vol. 34, no. 4, 2015.
- [11] Wade Brainerd, Tim Foley, Manuel Kraemer, Henry Moreton, Matthias Nießner. Efficient GPU Rendering of Subdivision Surfaces using Adaptive Quadrees. ACM SIGGRAPH, 2016.
- [12] Kun Zhou, Qiming Hou, Zhong Ren, Minmin Gong, Xin Sun, Baining Guo. RenderAnts: interactive Reyes rendering on GPUs. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2009), vol. 28, no. 5, 2009.
- [13] Qingnan Fan, Fan Zhong, Dani Lischinski, Daniel Cohen-Or, Baoquan Chen. JumpCut: non-successive mask transfer and interpolation for video cutout. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH Asia 2015), vol. 34, no. 6, 2015.
- [14] Fan Zhong, Song Yang, Xueying Qin, Dani Lischinski, Daniel Cohen-Or, Baoquan Chen. Slippage-free background replacement for hand-held video. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH Asia 2014), vol. 33, no. 6, 2014.