

2018

计算机图形学 研究报告

AMiner 研究报告第九期

清华大学计算机系—中国工程科技知识中心

知识智能联合研究中心 (K&I)

2018 年 8 月

Contents 目录

1 概述篇

1.1 计算机图形学概念	2
1.2 计算机图形学发展历史	4
1.3 中国计算机图形学发展	6
1.3 计算机图形学著名公司	7

2 技术篇

2.1 计算机图形学总体框架	11
2.2 计算机图形学研究内容	12
2.2.1 建模	12
2.2.2 动画	14
2.2.3 渲染	15
2.2.4 图形交互	18
2.3 计算机图形学相关技术算法	21
2.3.1 OpenGL	21
2.3.2 二维图形变换	21
2.3.3 三维图形变换	21

3 人才篇

3.1 领军人物	26
3.2 中坚力量	30
3.3 领域新星	33

4 会议篇

4.1 2018 SIGGRAPH 中国学生发表的论文	39
-----------------------------------	----

5 应用篇

5.1 计算机图形学的应用	43
---------------------	----

6 趋势篇

6.1 计算机图形学的发展趋势	47
-----------------------	----

图表目录

图 1 计算机图形学发展历史	4
图 2 Ivan E. Sutherland	5
图 3 计算机图形学总体框架	11
图 4 计算机图形学技术起源	12
图 5 栅格化	16
图 6 栅格化的本质	17
图 7 光线投射流程	17
图 8 photoshop 网格线	18
图 9 方向约束示意图	19
图 10 引力场示意图	19
图 11 拖动	19
图 12 计算机图形学全球学者分布图	24
图 13 计算机图形学各国人才顺逆差图	24
图 14 计算机图形学学者 h-index 统计	25
图 15 计算机图形学学者男女比	25
图 16 计算机图形学学者中国分布图	25
图 17 《阿凡达》	43
图 18 游戏人物绘制	44
表 1 图形和图像辨析	2
表 2 图像处理&计算机视觉&计算机图形学对比	3
表 3 几何计算在计算机图形学中的作用	12
表 4 三维空间模型及构模方法比较	13

摘要

计算机图形学是计算机科学领域的重要研究方向之一，图形学技术也在社会生活和生产的各个领域得到应用。本研究报告对计算机图形学进行了简单梳理，包括以下内容：

计算机图形学概念。首先介绍计算机图形学的定义，接着对计算机图形学的发展历程进行梳理，对我国计算机图形学现状进行介绍。

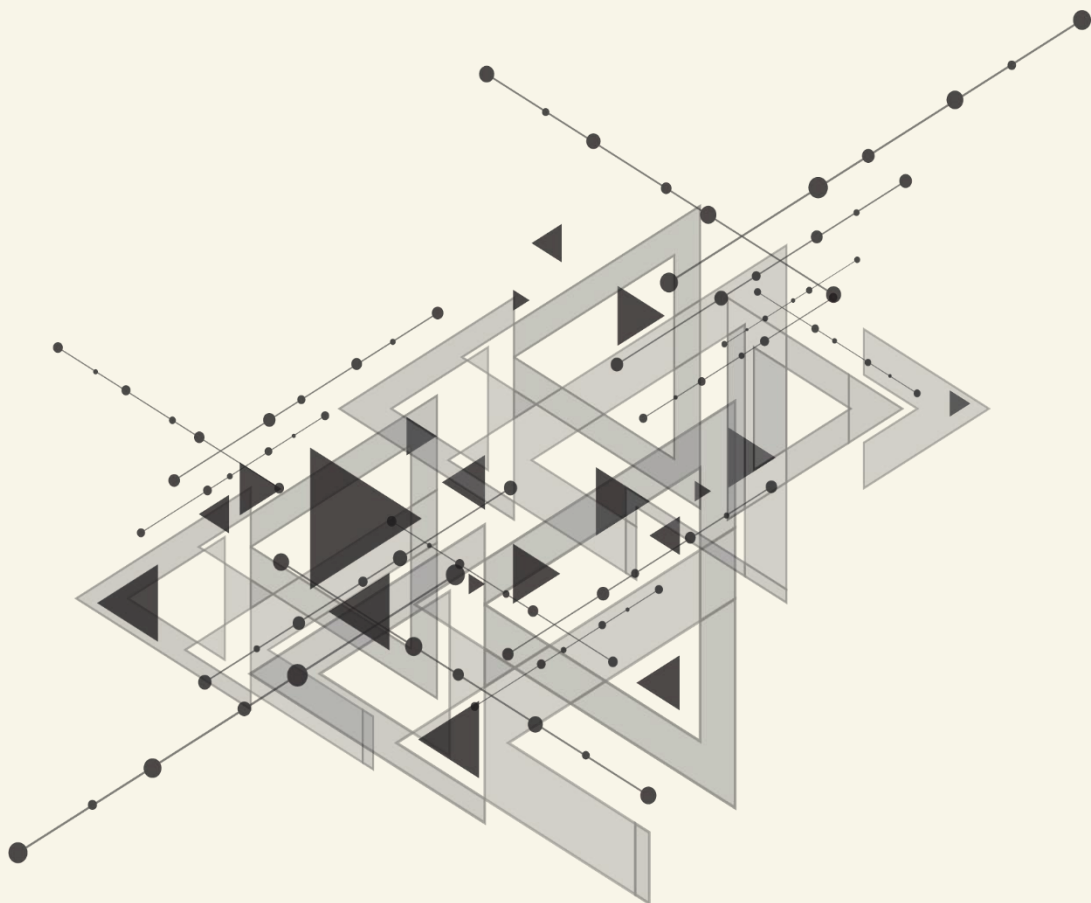
计算机图形学研究情况。对计算机图形学的主要研究内容，包括建模、动画、渲染和图形交互以及计算机图形学的相关技术算法进行介绍。

计算机图形学领域专家介绍。利用 AMiner 大数据对计算机图形学领域专家进行深入挖掘，对国内外计算机图形学的学者进行介绍。

计算机图形学的应用及趋势预测。计算机图形学在现实生活中应用广泛，目前的应用集中在影视制作、游戏制作、虚拟现实、仿真技术、科学计算可视化和计算机辅助设计与制造等领域，在介绍相关应用的基础上，对计算机图形学未来的发展趋势做出了相应的预测。

1 summary

概述篇



1. 概述篇

1.1 计算机图形学概念

(1) 什么是计算机图形学？（Computer Graphics）

关于计算机图形学的定义众说纷纭。IEEE 对计算机图形学的定义为：Computer graphics is the art or science of producing graphical images with the aid of computer。

国际标准化组织 ISO 将计算机图形学定义为：计算机图形学是一门研究通过计算机将数据转换成图形，并在专门显示设备上显示的原理方法和技术的学科。它是建立在传统的图学理论、应用数学及计算机科学基础上的一门边缘学科。

总而言之计算机图形学是研究怎样利用计算机来显示、生成和处理图形的原理、方法和技术的学科，这里的图形是指三维图形的处理。

(2) 相关概念辨析

表 1 图形和图像辨析

	图形 (graphic)	图像 (image)
数据来源	虚拟世界	客观世界
处理方法	几何变换、裁剪、隐藏线和隐藏面消除、明暗处理、纹理生成等	图像变换、图像增强、图像分割、图像理解、图像识别等
理论基础	仿射与透视变换、样条几何、计算几何、分形等	数字信号处理、概率与统计、模糊数学等
用途	计算机艺术、计算机模拟、计算机动画等	遥感、医学、工业、航天航空、军事等

● 计算机图形学&图像处理&计算机视觉

计算机图形学 (computer graphics) 的基本含义是使用计算机通过算法和程序在显示设备上构造图形。图形是人们通过计算机设计和构造出来的，不是通过摄像机、扫描仪等设备输入的图像。这里的图形可以是现实中存在的图形，也可以是完全虚拟构造的图形。以矢量图的形式呈现，更强调场景的几何表示，记录图形的形状参数与属性参数。例如，工程图纸 (drawing)，其最基本的图形单元是点、线、圆/弧等，其信息包含图元的几何信息与属性信息 (颜色、线型、线宽等显式属性和层次等隐式属性)。

图像处理 (image processing) 则是研究图像的分析处理过程，图像处理研究的是图像增加、模式识别、景物分析等，研究对象一般为二维图像。图像以点阵图形式呈现，并记录每个点的灰度或色彩。例如，照片、扫描图片和由计算机产生的真实感和非真实感图·形等，最基本的图像单元 (pels, picture elements) 是点—像素 (pixel)，其信息实际上是点与它的属性信息 (颜色、灰度、亮度等)。

计算机视觉 (computer vision) 包括获取、处理、分析和理解图像或者更一般意义的真实世界的高维数据方法，它的目的是产生决策形式的数字或者符号信息。

计算机图形学和计算机视觉是同一过程的两个方向。计算机图形学将抽象的语义信息转化成图形，计算机视觉则从图形中提取抽象的语义信息，图像处理研究的则是一个图像或一组图像之间的相互转化和关系，与语义信息无关。下表从输入和输出的角度对三者的区别进行辨析：

表 2 图像处理&计算机视觉&计算机图形学对比

input \ output	image	knowledge
image	图像处理	计算机视觉
knowledge	计算机图形学	——

计算机图形学，输入的是对虚拟场景的描述，通常为多边形数组，而每个多边形由三个顶点组成，每个顶点包括三维坐标、贴图坐标、RGB 颜色等。输出的是图像，即二维像素数组。

计算机视觉，输入的是图像或图像序列，通常来自相机、摄像头或视频文件。输出的是对于图像序列对应的真实世界的理解，比如检测人脸、识别车牌。图像处理，输入的是图像，输出的也是图像。Photoshop 中对一副图像应用滤镜就是典型的一种图像处理。常见操作有模糊、灰度化、增强对比度等。

尽管三者所涉及的都是运用计算机来处理对象，但是长期以来却是属于不同技术领域，近些年来，随着多媒体技术、计算机动画以及三维数据场显示技术等迅速发展，计算机图形学、图像处理和计算机视觉结合日益紧密，并且相互渗透。例如，三维游戏为了增加表现力会叠加全屏的后期特效，原理就是数字图像处理，只是将计算量放在了显卡端；计算机视觉对需要识别的照片进行预处理也是运用了数字图像处理技术；最明显的是增强现实(AR)，用数字图像处理技术进行预处理，用计算机视觉技术进行跟踪物体的识别与姿态获取，用图形学技术进行虚拟三维物体的叠加和显示。

1.2 计算机图形学发展历史

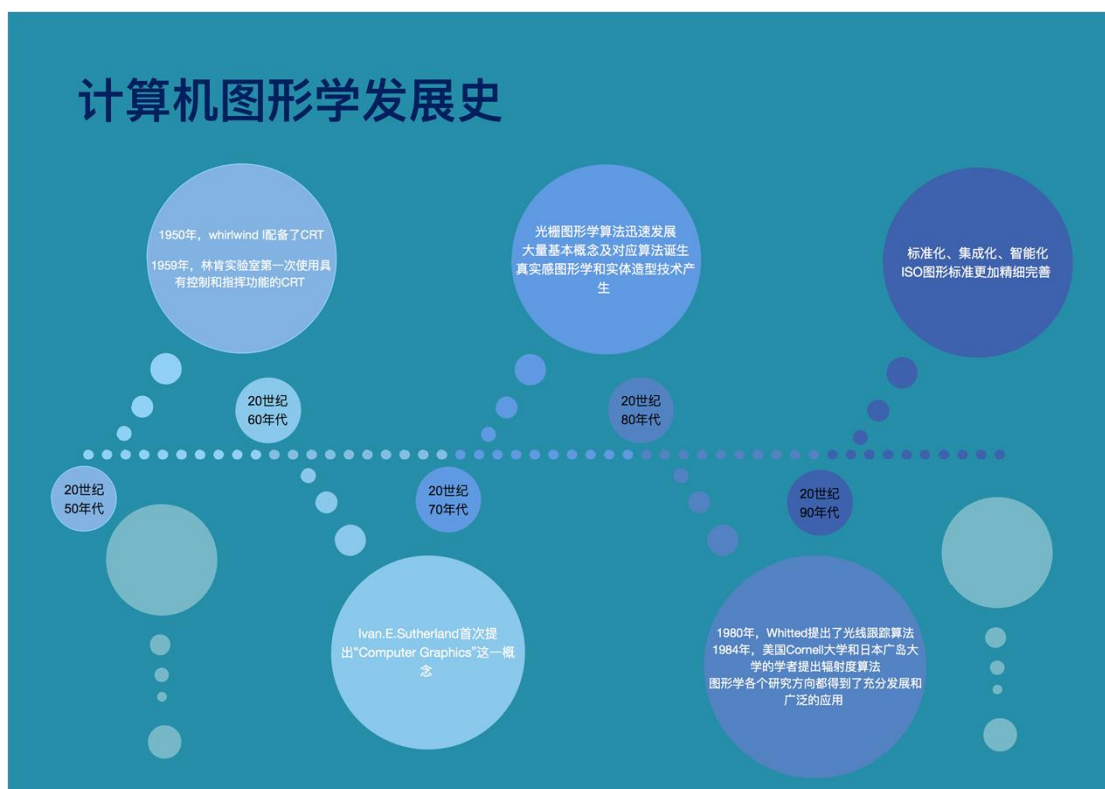


图 1 计算机图形学发展历史

20 世纪 50 年代：1950 年，美国 MIT 的旋风一号（whirlwind I）计算机配备了世界上第一台显示器——阴极射线管（CRT）来显示一些简单的图形，使得计算机摆脱了纯数值计算的单一用途，能够进行简单的图形显示，从此计算机具有了图像显示功能，但是还不能对图形进行交互操作，这时的计算机图形学处于准备和酝酿时期，并称之为“被动式”图形学。

50 年代末期，MIT 的林肯实验室在“旋风”计算机上开发 SAGE（Semi—Automatic Ground Environment System）空中防御体系。SAGE 于 1957 年投入试运行，已经能够将雷达信号转换为显示器上的图形并具有简单的人机交互功能，操作者使用光笔点击屏幕上的目标即可获得敌机的飞行信息，这是人类第一次使用光笔在屏幕上选取图形。1959 年，麻省理工学院林肯实验室第一次使用了具有指挥和控制功能的 CRT，“被动式”图形学开始迈向交互式计算机图形学。

20 世纪 60 年代：1962 年美国 MIT 林肯实验室的 Ivan E.Sutherland 发表了一篇题为“sketchpad: 一个人机交互通信的图形系统”的博士论文，首次使用了“Computer Graphics”这一概念，证明了交互式计算机图形学是一个可行的、有应用价值的研究领域，从而确立了计算机图形学正式成为一个独立学科的分支。1968 年 Ivan E. Sutherland 又发表了《头戴式三维显示器》的论文，在头盔的封闭环境下，利用计算机成像的左右视图匹配，生成立体场景，使人置身于虚拟现实。Ivan E. Sutherland 为计算机图形学技术做出了巨大的贡献，被

称作计算机图形学的开山鼻祖，1988 年 Ivan E. Sutherland 被授予 A.M 图灵奖。并且这一时期，光栅图形学算法开始萌芽。



图 2 Ivan E. Sutherland

20 世纪 70 年代：图形学在这一时期进入了兴盛期，光栅图形学算法迅速发展，区域填充、裁剪、消隐等概念及其相应算法纷纷被提出，实用的 CAD 图形系统也开始出现。除此之外，真实感图形学和实体造型技术的产生也是 70 年代计算机图形学的两个重要进展。1970 年 J. Bouknight 在 ACM 上发表论文，提出了第一个光反射模型¹，指出物体表面朝向是确定物体表面上一点光强的主要因素，并用 Lambert 漫反射定律计算物体表面上各多边形的光强，对光照射不到的地方用环境光代替。1971 年 Henri Gouraud 在 IEEE Trans.Computer 上提出被称为 Gouraud 明暗处理的“漫反射模型+插值”思想，对多面体模型，用漫反射模型计算多边形顶点的光亮度，再用增量法插值计算多边形的其他内部点²。1975 年 Phong 在 ACM 上发表论文提出了著名的简单光照模型“Phong 模型”³，Phone 模型虽然只是一个经验模型，但其真实度已经达到了较好的显示效果。这些都是真实感图形学最早的开创性工作。从 1973 年开始，相继出现了英国剑桥大学 CAD 小组的 Build 系统、美国罗彻斯特大学的 PADL-1 系统等实体造型系统，这些都为 CAD 领域的发展做出了重要贡献。

70 年代图形软件标准化程度提高，1974 年，ACM SIGGRAPH “与机器无关的图形技术”的工作会议的召开，提出了图形软件标准化问题，ACM 成立图形标准化委员会，制定“核心图形系统”（core graphics system），ISO 发布 CGI、CGM、GKS、PHIGS 一系列的图形标准，其中 1977 年的 CKS 是 ISO 批准的第一个图形软件标准软件，是一个二维图形软件标准，1986 年，ISO 公布了程序员级的分层结构交互图形系统 PHIGS，这是一些非官方的图形软件，广泛应用于工业界并成为事实上的标准，PHIGS 是对 CKS 的扩充，增加的功能有对象建模、彩色设定、表面绘制和图形管理等。伺候 PHIGS 的扩充成为 PHIGS+；1988 年的 CKS3D，是 ISO 批准的第二个图形软件标准软件，是一个三维图形软件标准。

20 世纪 80 年代以后：出现了带有光栅扫描显示器的微型计算机和图形工作站，极大的推动了计算机图形学的发展，如 Machintosh、IBM 公司的 PC 及其兼容机，Apollp、Sun 工

¹ J. Bouknight , K. Kelly An Algorithm for Producing Half-Tone Computer Graphics Presentations With Shadows and Movable Light Sources [J] Managing Requirements Knowledge, International Workshop on 1970(7):1

² H. Gouraud, Computer Display of Curved Surfaces [J] Doctoral Thesis, 1971 (6): 623-629

³ Phong, Bui Tuong: Illumination for Computer Generated Images [N] Comm. ACM, 1975(6):311-317

工作站等。随着奔腾 III 和奔腾 IV 系列 CPU 的出现, 计算机图形软件功能一开始部分地由硬件实现。高性能显卡和液晶显示屏的使用, 高传输率大容量硬盘的出现, 特别是 Internet 的普及使得微型计算机和图形工作站在运算速度、图形显示细节上的差距越来越小, 这些都为图形学的飞速发展奠定了物质基础。1980 年 Turner Whitted 提出了光透视模型, 并第一次给出光线跟踪算法的范例⁴, 实现了 Whitted 模型; 1984 年美国 Cornell 大学和日本广岛大学的学者分别将热辐射工程中的辐射度算法引入到计算机图形学中, 用辐射度的方法成功地模拟了理想漫反射表面间的多重漫反射效果。以上二者的提出, 标志着真实感图形的显示算法已逐渐成熟。80 年代中期以后, 超大规模集成电路的发展, 计算机运算能力的提高, 图形处理速度的加快, 促使了图形学各个研究方向都得到了充分发展和广泛的应用。

20 世纪 90 年代以后: 微机和软件系统的普及使得图形学的应用领域日益广泛, 计算机图形学朝着标准化、集成化和智能化的方向发展, 多媒体、人工智能、计算机可视化、虚拟现实等分支蓬勃发展, 三维造型也获得了长足发展。ISO 公布的图形标准越来越精细, 更加成熟。这是存在着一些事实上的标准, 如 SGI 公司开发的 OpenGL 开放式三维图形标准, 微软公司为 PC 游戏开发的应用程序接口标准 DirectX 等, Adobe 公司 Postscript 等, 均朝着开放式、高效率的方向发展。

1.3 中国计算机图形学发展

中国的计算机图形学发展最早可以追溯到 20 世纪 80 年代末期, 清华大学、浙江大学等率先开始了对计算机图形学技术的研究, 但是由于经济发展程度以及对外开放程度等原因, 绝大多数的学校和个人都没有机会接触计算机图形学, 计算机图形学此时在中国处于萌芽阶段。

1990 年-1998 年间, 图形学在中国迎来了发展。中国图形学专家在贝塞尔曲线、非均匀有理 B 样条曲线以及计算机真实感图形渲染算法方面都取得了一定的成绩。比如邵敏之教授和朱一宁教授分别在 1988 年和 1990 年成功采用辐射度算法在封闭空间中绘制出了真实感很强的图像, 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室开发出中国自己的虚拟现实系统——CAVE, 这套系统依靠高性能计算机同步产生同一场景相邻视域内的四幅画面并分别投影到大屏幕上, 通过液晶眼镜产生立体视觉效果。这些成就都表明中国的计算机图形学发展已经取得了一定的成果。

1998 年至今, 中国计算机图形学逐渐走入了正轨。中国计算机图形学行业的分工以及产业结构日益专业化、标准化、商业化和智能化。国内不断有新的动画算法和渲染算法理论被提出, 不断有论文入选 SIGGRAPH, 各大高校纷纷开设图形学课程, 一批具有自主知识产权的二维绘图软件和三维 CAD 商品化软件进入市场。

⁴ Turner Whitted, Bell Labs, Holmdel, NJ An improved illumination model for shaded display [J] Communications of the ACM 1980 (23): 343-349

近年来，随着我国改革开放的不断深化，以及各项方针政策的落实，科学技术得到了广泛的发展应用，计算机图形学的理论和技术迅速发展，并取得了可喜的成果。在硬件方面，我国研制出多种系列和型号的绘图机、数字化仪和图形显示器，其技术指标居国际先进水平，具有高分辨率的光栅图形显示器、全色的图形图像处理卡、国际上广泛应用的 Sun SPARC 系列工作站、HP 9000/800 系列工作站等，在我国也有定点工厂生产，鼠标等交互设备也已在国内生产。

1.4 计算机图形学著名公司

● 欧特克公司

欧特克股份有限公司 (Autodesk, Inc)，为财富杂志票选全球前 1000 大企业，更为杂志内 100 强之公司企业均使用其产品和服务。欧特克一直致力于用户的创意实现，并在 2009 年于全球突破拥有超过 900 万用户，提供制造业、传媒暨娱乐、地理信息空间、汽车与交通运输业、建筑、工程与施工，以及无线数据服务等领域行业的全球顶尖软件和服务之企业。

欧特克系由约翰·沃克等人在 1982 年建立。在美国的马林县设有多个分公司，且在全球拥有 16 家研发中心，超过 3000 名研发人员，而目前则以圣拉菲尔为总部。其中，位于中国上海的欧特克中国研究院是欧特克全球最大的研发机构，拥有超过 1500 名研发人员，欧特克每年的研发投入基本维持在全球总收入的 20% 的比例。纵观历史，欧特克从过去 2D 设计到现在的 3D 建模，从数字化原型 (DP)、建筑信息模型 (BIM) 到在过去十四年历届奥斯卡最佳视觉特效奖全部获奖视频的数字娱乐创作解决方案 (DEC)，欧特克提供数字化设计领域中广泛且强大的产品组合。

● 工业光魔

工业光魔 (Industrial Light and Magic, ILM)，是著名的电影特效制作公司。乔治·卢卡斯 (George Lucas) 于 1975 年创建该公司、并参与第一部《星球大战》(Star Wars) 的特效制作，到今天工业光魔已经为多达 300 多部影片提供了视觉特效制作服务。工业光魔的奇迹并不局限于在很多影片中创造的许多惊人的 CG 和视觉效果，更在于它开创了一个电影特效行业的新时代，迄今为止，ILM 获得过 15 次奥斯卡最佳视觉效果奖。时至今日，工业光魔公司依然代表着当今世界电影特效行业顶尖的制作水准，取得的技术成就更是无出其右。

工业光魔是卢卡斯影业公司的子公司，总部位于加利福尼亚州旧金山市的莱特曼数码艺术中心，2012 年，沃特·迪士尼公司以 40.5 亿美元收购卢卡斯影业，此次收购包括了卢卡斯影业旗下的所有子公司，工业光魔也在其中，《星球大战》《加勒比海盗》《变形金刚》《哈利波特》《冒牌天神》等系列电影的特效都与工业光魔有关。

● Oculus

Facebook 2014 年 7 月宣布以 20 亿美元的价格收购 Oculus，被外界视为 Facebook 为未来买单的举措。2015 年 1 月，Oculus 周一在圣丹斯电影节上宣布，已组建了一个名为“故

事工作室”（Oculus Story Studio）的内部实验室，以创作虚拟现实版本的电影。Facebook 于 2017 年 5 月份宣布关闭 Oculus Story Studio 故事工作室，以重新分配资源，通过投资的方式继续资助虚拟现实影视内容。

Oculus 成立于 2012 年，当年 Oculus 登陆美国众筹网站 kickstarter，总共筹资近 250 万美元；2013 年 6 月，Oculus 宣布完成 A 轮 1600 万美元融资，由经纬创投领投。Facebook 在 2014 年 7 月宣布以 20 亿美元的价格收购 Oculus，被外界视为 Facebook 为未来买单的举措。在 Facebook 看来，Oculus 的技术开辟了全新的体验和可能性，不仅仅在游戏领域，还在生活、教育、医疗等诸多领域拥有广阔的想象空间。对于虚拟现实技术的态度，Facebook 已经用行动证明自己的观点，其抢购 Oculus 背后的野心已昭然若揭：“攻”可做虚拟现实领域的“苹果”，“守”可为下一个社交时代做准备。

● Base FX

是一家电影后期视觉特效和动画公司，2010 年公司凭借在 HBO 迷你剧集《太平洋战争》中的特效制作，获得第 62 届艾美奖最佳视觉特效奖；2011 年，公司凭借为 HBO 制作的《海滨帝国》再度赢得艾美奖最佳视觉特效奖；2014 年，公司凭借为 Starz 制作的《黑帆》第三次赢得艾美奖最佳视觉特效奖。

公司成立于 2006 年，总部位于北京，特效制作和项目管理团队位于北京、无锡、厦门和洛杉矶，并在大厂建立了培训基地。截至 2015 年 3 月，公司现已完成了 130 余部国内外的影视特效制作，如《美国队长 2》、《变形金刚 4》、《环太平洋》、《狼图腾》、《王的盛宴》、《金陵十三钗》、《赵氏孤儿》、《四大名捕》等。

2012 年 5 月底，Base FX 正式与工业光魔展开战略合作，进行好莱坞项目的特效制作。2015 年 5 月 20 日，在第五届北京国际电影节上，Base FX 发起成立了中国影视后期产业联盟（CPPA）

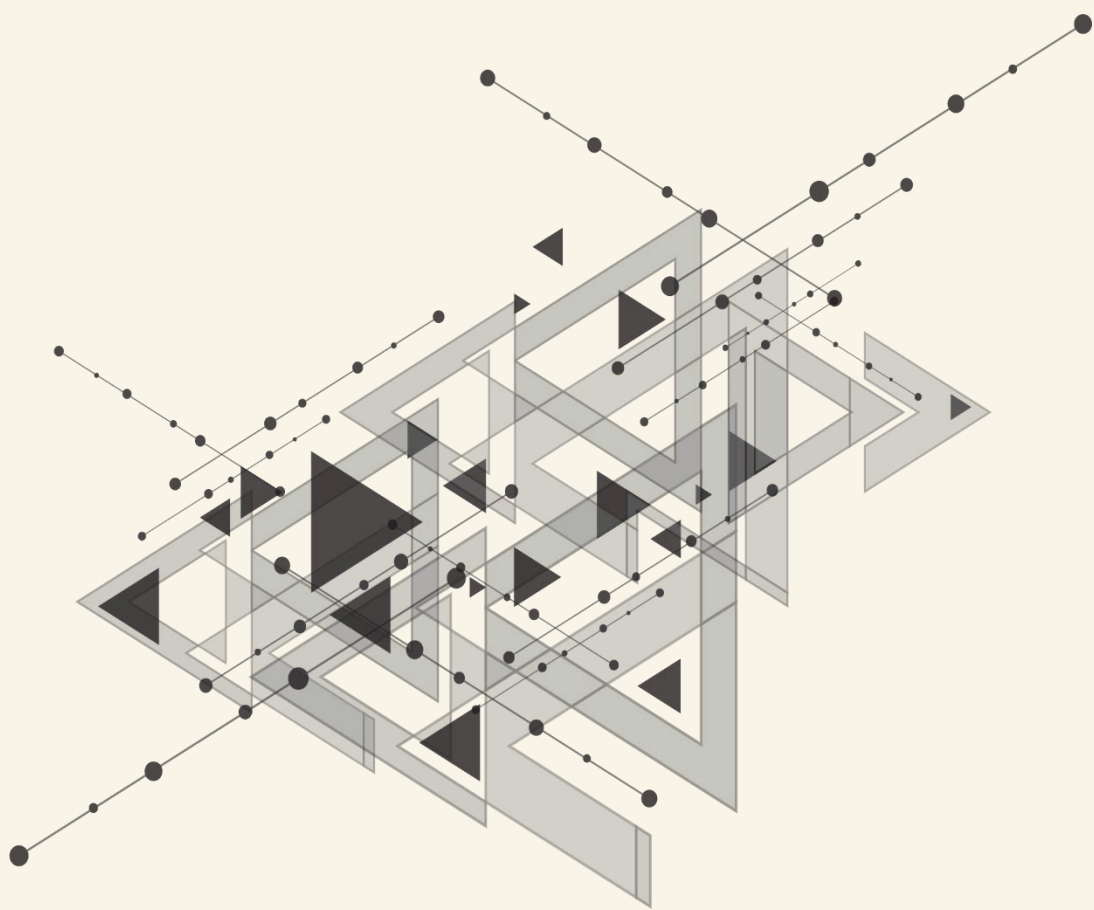
● 皮克斯

皮克斯动画工作室（Pixar Animation Studios），是一家位于加州爱莫利维尔市的计算机动画制片厂。该公司制作计算机三维软件，如用于影视效果制作并匹配自家制定的 RenderMan 规范的三维渲染软件包——PRMan。皮克斯的前身是卢卡斯影业于 1979 年成立的计算机动画部。1986 年，苹果公司联合创始人史蒂夫·乔布斯收购了卢卡斯的计算机动画部，成立了皮克斯动画工作室。2006 年，皮克斯被迪士尼以 74 亿美元收购，成为华特迪士尼公司的一部分，乔布斯亦因此成为迪士尼的最大个人股东。截至 2018 年，皮克斯共发布了 20 部动画长片，第一部是 1995 年的《玩具总动员》，最近的一部是 2018 年的《超人总动员 2》。皮克斯的 20 部作品都获得了好评与商业上的成功，这些作品都获得了 CinemaScore 至少“A-”的评价，该公司也制作一些动画短片。截至 2017 年 12 月，该公司的所有作品在全世界累计获得了 115 亿美元的票房，平均每部电影获得 6.08 亿美元。皮克斯电影都曾进入电影票房收入前五十名，其中《海底总动员》与《玩具总动员 3》一直保持

在前五十名，《玩具总动员 3》在全球获得了十亿美元票房。

2 technology

技术篇



2. 技术篇

2.1 计算机图形学总体框架

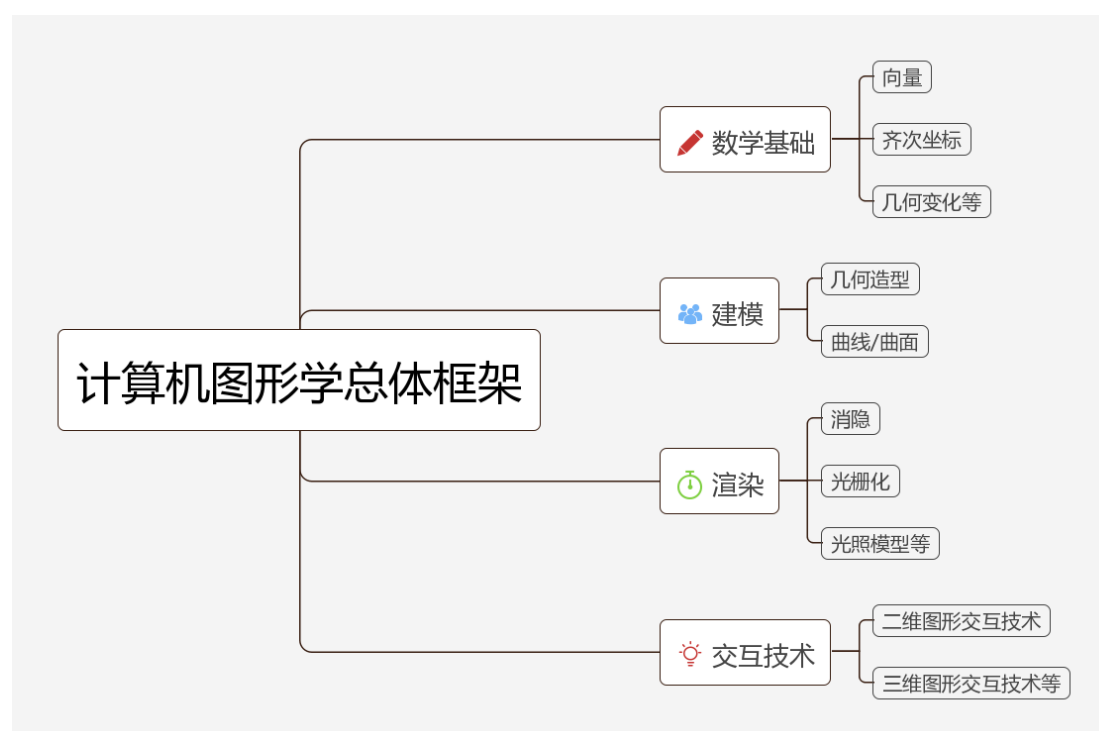


图 3 计算机图形学总体框架

数学基础：主要包括一些基本的算法，例如向量与几何的变换，如几何建模时的三维空间变换、绘制时的三维到二维的投影变换和二维空间的窗口和视图变换等。

建模：三维和二维空间的各种几何模型，有解析式表达的简单形体，也有隐函数表达的复杂曲线等。建模的主要工作是几何计算。

渲染：或者叫做绘制，指的是模型的视觉实现过程，计算机图形学的光照、纹理等理论和算法都需要对模型进行处理，其中也要用到大量的几何计算。

交互技术：如今的交互式图形学已经可以提供图形通讯手段，成为图形交互的主要工具。几何计算贯穿于以上各个过程之中，是计算机图形学的基础。在图形学中那些看上去是“绘制”的内容，本质上仍是几何计算的问题。例如隐藏线、隐藏面的消除以及具有光照效果的真实感图形显示虽是提升图形显示效果的手段，但其主要的工作恰是几何计算。**Gourand** 插值模型(通过对多边形顶点颜色进行线性插值来绘制其内部各点)和 **Phong** 插值模型(对多边形顶点的法线方向进行插值以产生中间各点的法线方向)的实质均是几何插值问题；光线跟踪的工作和时间花费主要是几何计算-光线与景物的求交计算及交点处景物表面的法向、反射光线与折射光线的方向计算等。下表对几何计算在图形学中的作用做一总结。

表 3 几何计算在计算机图形学中的作用⁵

计算机图形学的主要内容	几何计算	其他理论和技术
基本几何的相交、相切计算	几何求交	几何
二、三维模型	几何求交、线面方程	拓扑、数据结构
图形变换	仿射几何	代数、投影
曲线、曲面	计算几何理论	微分几何等
光栅化	几何插值	显示
图形裁剪	几何求交	编码技术
隐藏线消除	几何求交、线面方程	变换、显示
光照模型	几何求交、几何插值	颜色、光学等
透明效果	几何求交、几何插值	颜色、光学等
阴影显示	几何求交	颜色、显示等
纹理映射	几何求交、几何插值	颜色、显示等
交互设计	几何求交、参数方程	人机界面、交互技术
动画	运动轨迹、几何插值	变换、物理（运动轨迹）

2.2 计算机图形学研究内容

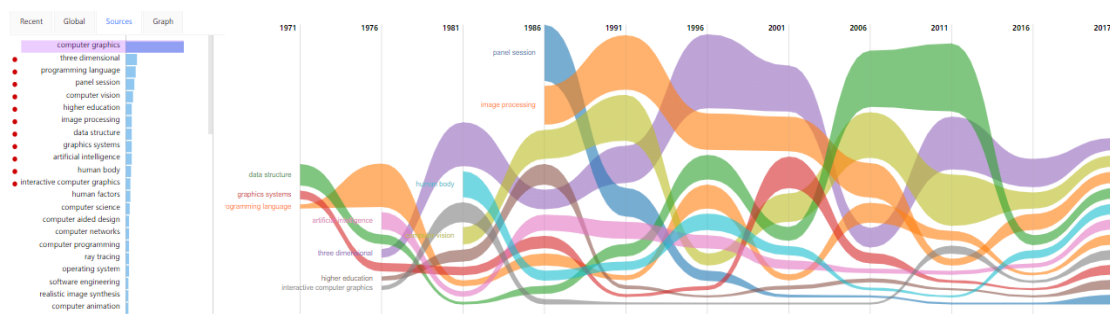


图 4 计算机图形学技术起源

随着图形学技术的不断发展，计算机图形学被广泛应用于工程技术、艺术、动画电影等领域，反过来，这些产业的发展又大大促进了图形学的发展，目前计算机图形学的研究内容不断扩大，参考中国科技大学刘利刚老师的分类，可以将计算机图形学主要研究内容分为：建模（Modeling）、渲染（Rendering）、动画（Animation）和图形交互（Interactive graphics）四部分。⁶

2.2.1 建模

没有模型，图形就无从谈起，建模是计算机图形学各项工作的基础和前提，建模技术的

⁵何援军 论计算机图形学的若干问题

⁶刘利刚 什么是计算机图形学

核心是根据研究对象的三维空间信息构造其立体模型，尤其是几何模型，并利用相关建模软件或编程语言生成该模型的图形显示，然后对其进行处理。目前，物体的三维几何模型就其复杂程度来说可以分为三类：线模型、面模型和体模型。对三维建模技术的研究基本上都是针对三维面元模型和体元模型来展开的。

下表对三维空间模型及构模方法进行一比较：

表 4 三维空间模型及构模方法比较

分类	构模方法	优点	缺点	适用场合
基于面元模型	边界表示法	精确、数据量小；几何信息与拓扑信息分开储存、完整清晰	难以描述不规则三维物体	简单形体
	线框表示法	数据结构简单、数据存储量小、便于修改	形体对象的表示不唯一、难以计算物体的几何特征	工程地质 地下工程
	小平面对示法	通用性好、图形生成速度快、对于切层数据构造三维实体非常有效	存储量不确定、布尔运算及坐标运算复杂	医学 CT 图像重构
	扫描表示法	三维实体二维图形化	不能直接进行正则布尔运算、难以处理非规则类三维物体	CAD/CAM
基于规则体元模型	实体几何构造法	适合对复杂目标采用“分治”算法、无冗余几何信息；可以附加各种属性	不具备是体面、环、边、点的拓扑信息，实体的 CSG 表示不唯一	规则形体
	八叉树表示法	结构简单、检索速度快、存储方便、布尔操作和几何特征计算效率高	难以精确表达三维实体的边界、存储空间大	医学、机械学、生物学
	空间位置枚举法	空间搜索速度快、运算效率高、易于描述空间拓扑关系	近似表达空间实体信息描述精确度不高、难以对单个实体进行操作	规则形体/不规则形体
	规则块体构模法	采用隐含定位技术、节省存储空间和运算时间	对有边界约束的实体建模效果不是太有效	属性渐变的三维空间
基于不规则体元模型	四面体表示法	计算量小，可以进行三维插值计算和可视化、反应空间实体间拓扑关系	难以描述三维连续曲面、算法复杂、存在大量数据冗余	矿体、水体云体
	三棱柱构模法	模型几何精良度高、可视化方便、反应空间实体间拓扑关系	难以描述三维连续曲面，算法复杂、存在大量数据冗余	工程地质 城市地质

广义三棱柱构模法	拓扑关系描述完善、实体查询分析方便、便于进行地上集成建模	可视化速度慢，设计复杂	区域地质、城市地质、工程地质
不规则块体构模法	空间建模精度高，利于地质体的查询和分析	对基于体元的空间检索和查询不太方便	属性渐变的三维空间

现在，建模已经用于各种不同的领域。医疗行业运用建模技术制作精确的模型；电影行业将建模技术运用于构造活动的人物和物体中；电子游戏行业运用建模技术使得游戏角色更为逼真；科学领域运用建模技术可以得到精确的化合物模型；建筑业中经常利用建模技术实现建筑物或者风景的模拟；工程界将建模技术应用于设计新设备、交通工具、结构等方面；近年来，地球科学领域也开始构建三维地质模型。

2.2.2 动画

(1) 什么是计算机动画？

计算机动画（Computer Animation），是借助计算机来制作动画的技术。计算机的普及和强大的功能革新了动画的制作和表现方式。由于计算机动画可以完成一些简单的中间帧，使得动画的制作得到了简化，这种只需要制作关键帧（key frame）的制作方式被称为“Pose to pose”。

(2) 计算机动画如何分类？

计算机动画也有非常多的形式，但大致可以分为二维动画和三维动画两种。

二维动画也称为 2D 动画，借助计算机 2D 位图或者是矢量图形来创建修改或者编辑动画。制作上和传统动画比较类似，许多传统动画的制作技术被移植到计算机上，比如渐变，变形，洋葱皮技术，转描机等。二维电影动画在视频效果上有非常巨大的改进，制作时间上却相对以前有所缩短。现在的 2D 动画在前期上往往仍然使用手绘然后扫描至计算机或者是用数写板直接绘制在计算机上，然后在计算机上进行对作品上色的工作。而特效、音响音乐效果，渲染等后期制作则几乎完全使用计算机来完成。可以制作二维动画的软件包括 Animate、After Effects、Premiere 等，迪士尼在 1990 年代开始以计算机来制作 2D 动画。并且他们把以前的作品重新用计算机进行了上色。

三维动画也称为 3D 动画，是基于 3D 计算机图形的动画表现形式。有别于二维动画，三维动画利用三维数字模型来制作动画，这个技术给予动画者更大的创作空间。精细的模型和高质量的渲染使动画的各方面水平都有了新的提高，也使其被大量的用于电影之中。3D 动画可以通过计算机渲染来实现各种不同的视觉效果，包括逼真的图片效果，以及 2D 动画的手绘效果。三维动画制作涉及到的主要技术有：建模、渲染、光照阴影、纹理材质、动力学、粒子效果（部分 2D 软件也可以实现）、布料效果、毛发效果等。著名的 3D 动画工作室包括皮克斯、蓝天工作室、梦工厂等。软件则包括 3ds Max、Blender、Maya、LightWave 3D、

Softimage XSI 等。

(3) 计算机动画制作流程

计算机动画可以分为辅助动画和造型动画两种。计算机辅助动画属于二维动画，其重要用途是辅助动画师制作传统动画，造型动画属于三维动画。下文对计算机动画制作流程进行介绍。

关键帧的产生：关键帧及背景画面可以用摄像机、扫描仪、数字化仪器进行数字化输入。可以用扫描仪输入铅笔原画，再通过计算机进行后期制作，也可以用相应软件直接生成。动画软件提供的各种工具方便了制作过程，可以随时存储、检索、修改和删除任意帧。传统动画制作中的角色设计及原画创作等几个步骤，在计算机中一步就完成。

中间帧的生成：利用计算机对两幅关键帧进行插值计算，自动生成中间帧，这是计算机辅助动画的主要优点之一。利用计算机自动生成的中间画面不仅精确、流畅，还将动画制作人员从繁琐的劳动中解放了出来。

分层制作合成：传统动画的一帧画面，是由多层透明胶片上的画面叠加而成的，这是保证质量、提高效率的一种方法，但制作中需要精确对齐，而且受透光率的影响，所以透明胶片最多不超过 4 张。在动画软件中，也同样使用了分层的方法，但对齐非常简单，层数从理论上没有限制，对层的各种控制如移动、旋转等也非常容易。

着色：动画着色是非常重要的一个环节。计算机动画辅助着色可以代替乏味、冗长的手工着色过程。

(4) 计算机动画技术有哪些？

计算机动画制作技术不仅用在动画制作上，还用在电视、电影的制作上。这些技术包括卡通渲染动画 (Cartoon Shading Animation)、动作捕捉 (Motion capture)、色键 (Chroma key)、非真实渲染 (Non-photorealistic rendering)、骨骼动画 (Skeletal animation)、目标变形动画 (Morph target animation)、模拟 (Simulation，模拟风、雨、雷、电等)。另外亦有使用位图或矢量图形制成的小动画，互联网上主流的格式是位图 GIF。

2.2.3 渲染

计算机图形学的一项主要工作是将计算机中抽象的模型转换为人们直观可见、可以形象理解的图形。它综合利用数学、物理学、计算机等知识，将模型的形状、物理特性 (如材料的折射率、反射率、物体发光温度等，机械强度、材料密度等对运动模拟的影响等)，以及物体间的相对位置、遮挡关系等性质在计算机屏幕上模拟出来，是一个将“几何”演绎到画面上的再创造过程，这就是渲染，也叫绘制。

(1) 什么是渲染？

当需要把模型或者场景输出成图像文件、视频信号或者电影胶片时就需要用到渲染（Render）。渲染是指软件由模型生成图像的过程。模型是用语言或者数据结构进行严格定义的三维物体或虚拟场景，它包括几何、视点、纹理、照明等信息。图像是数字图像或者位图图像。除去后期制作，渲染是计算机图形处理的最后一道工序，通过它得到模型与动画的最终显示效果。实现渲染依靠多种软件，如各种 CG 软件自带渲染引擎、RenderMan 等。

随着计算机图形学的不断深入发展，渲染的应用领域越来越广泛：计算机与视频游戏、模拟、电影或者电视特效以及可视化设计。作为产品来看，现在已经有各种不同的渲染工具产品，有些集成到更大的建模或者动画工具中，有些是独立产品，有些是开放源代码的产品。从内部来看，渲染工具都经过了仔细的设计，其理论基础是光学、视觉感知、数学以及软件开发等各种科学理论。

(2) 渲染技术有哪些？

研究人员已经研究出了许多渲染算法，用于生成最终图像。在应用中，对场景中的每束光线进行跟踪的耗时较高；如果没有对采样进行很好的约束，即使是只进行一部分光线的跟踪也需要非常大量的时间。基本的渲染技术大致可以分为四类。大多数高级的方法都是使用多种技术的组合，以在合理的开销范围内，实现足够好的结果。

扫描线渲染与栅格化：扫描线渲染是一行一行进行的一项技术和算法集。所有待渲染的多边形首先按照顶点 y 坐标出现的顺序排序，然后使用扫描线与列表中前面多边形的交点计算图像的每行或者每条扫描线，在活动扫描线逐步沿图像向下计算的时候更新列表。这种方法的一个优点是没有必要将主内存中的所有顶点都转到工作内存，只有与当前扫描线相交边界的约束顶点才需要读到工作内存，并且每个定点数据只需读取一次。主内存的速度通常远远低于中央处理单元或者高速缓存，避免多次访问主内存中的顶点数据，就可以大幅度地提升运算速度。

栅格化又叫光栅化，是将几何数据经过一系列变换后最终转换为像素，从而呈现在显示设备上的过程。栅格化将顶点数据转换为片元，片元中的每一个元素对应于帧缓冲区中的一个像素。如下图。

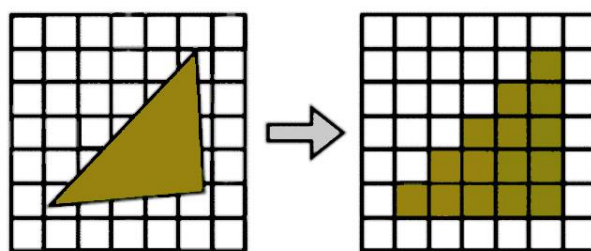


图 5 栅格化

栅格化的本质是坐标变换、几何离散化，如下图。

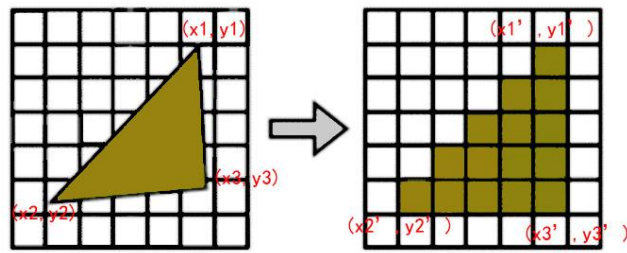


图 6 栅格化的本质

所以栅格化其实是一种将几何图元变为二维图像的过程。该过程包含了两部分的工作。第一部分工作：决定窗口坐标中的哪些整型栅格区域被基本图元占用；第二部分工作：分配一个颜色值和一个深度值到各个区域。

光线投射：从不同视角观察场景，并根据几何与反射强度的基本光学原理计算观察到的图像，这就是光线投射。光线投射算法的基本思想是从视平面每个像素发出一条光线，穿过体数据，基于最基本的光线吸收和发射模型，沿着光线方向对颜色和阻光度进行积累。当光线与物体交叉的时候，交叉点的颜色可以用几种不同的方法来计算。其中最简单的方法是用交叉点处物体的颜色表示该点的实际颜色；也可以用纹理映射的方法来确定；一种更加复杂的方法是依据局部光照模型进行计算。为了减少人为误差，可以对多条相邻方向的光线进行平均。另外的一些计算涉及到从光源到物体的入射角，以及根据光源的强度计算像素的亮度值。

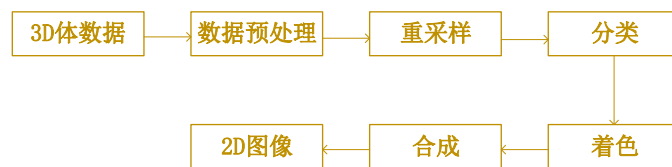


图 7 光线投射流程

光线投射算法从视点发出一组光线，对光线经过的三维数据集上的数据可以间隔均匀地采样，与人类真实视觉相似，适用于透视投影。因此光线投射主要被用于实时模拟场景下，例如三维计算机游戏以及动画等，这类场景往往对细节不太重视而且通过人为制造细节可以得到更好的表现效果。

辐射着色：辐射着色是模拟反射光线如何反射到它表面以及如何照亮周围环境的方法。这种方法可以生成较为真实的浓淡效果，并且更加易于捕捉室内场景的环境光。这种模拟的光线基础是特定物体表面某一点的漫反射的光线散布在很大的方向范围内并且会照亮周围的环境。

各种模拟技术的复杂性可能会有所不同。许多渲染方法所用的辐射着色模型都非常原始，它们只是简单地根据环境因数变化照亮整个场景。但是当高级的辐射着色与高质量的光线跟踪算法组合在一起使用的时候，它们能够生成相当真实的图像，尤其是对于室内场景更是这

样。在高级的辐射着色模拟中，递归的有限元分析算法不断地将光线在模型表面之间来回反射，直到达到一定的递归条件为止。这样一个表面的色彩就会影响其它相邻表面的色彩，反之亦然。整个模型的照明结果会被保存起来，在光线投射或者光线跟踪模型中作为输入使用。由于这项技术的递归特性，所以对于复杂物体的模拟速度非常缓慢。一些先进的辐射着色计算方法可能只计算房间中从墙面、地板与房顶反射的环境光，而并不计算复杂物体反光对于辐射着色的影响，或者在辐射着色计算中使用同样尺寸及纹理的简单物体取代复杂物体。如果场景中运动的辐射着色物体很少，那么可以在多帧画面中重复使用同样的辐射着色数据。

光线跟踪：类似于光线投射，但是光线跟踪使用了更加先进的光学模拟方法，并且通常使用蒙特·卡罗方法以实现更加真实的结果，不过这样做的代价通常是速度的大幅度降低。

光线跟踪是比其他渲染方法如扫描线渲染等更加能够实现的模拟光线，因此像反射和阴影这样一些需要复杂精确渲染的效果，就需要光线跟踪算法来实现。因此，在要求高质量渲染效果的光线跟踪中，通常每个像素都需要采样多条光线，并且不仅是跟踪到第一次相交，而是需要按照“入射角等于反射角”这样的光学定律以及更加高级的处理折射与粗糙表面反射的定律处理多次连续反射。一旦光线遇到光源更可能出现的是光线反射次数已经达到设定的限制，那么最终点的表面照明就通过上面的方法确定下来，并且经过多次反射发生的变化也可以估计在观察点看到的亮度。每个采样点、每个像素都要重复这个过程。在有些场合中每个交点可能生成多条光线。

作为一种非常有效的方法，光线跟踪的处理速度很慢，但也在一些需要高真实感效果的场合下得到应用，例如电影制作、广告制作等。此外，简化的光线跟踪方法可以广泛应用于不需要高质量细节的场合。目前已经出现了一些处于原型阶段硬件加速的光线跟踪设备，在一些游戏演示中也有实时软件或者硬件光线跟踪的应用。

2.2.4 图形交互

(1) 二维图形交互技术有哪些？

● 几何约束

几何约束可以用于对图形的方向、对齐方式等进行规定和标准。

① 对定位的约束（网格吸附）表示如下：

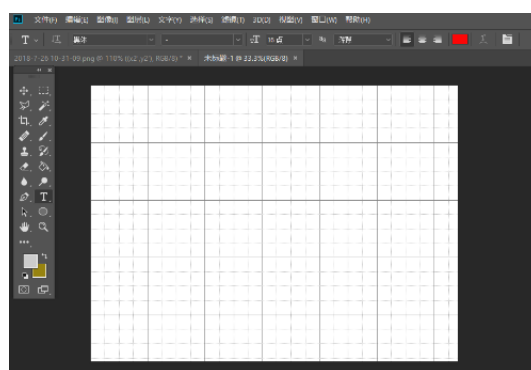


图 8 photoshop 网格线

②方向上的约束：例如要绘制垂直或水平方向的线，当给定的起点和终点与水平线的交角小于 45° 时，便可绘出一条水平线，否则会绘制出垂直线，如下图：

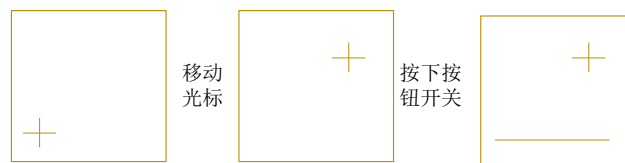


图 9 方向约束示意图

在 word 中绘图时，通过锁定纵横比，拖动线段的一个端点时，线段只是沿原来的方向放缩。

● 引力场

引力场可以看作是一种定位约束，通过在特定点周围假想有一个区域，当光标中心落在这个区域内时，会自动地被直线上最近的一个点代替。就像一个质点进入直线周围的引力场，然后被吸引到这条直线上去一样。引力场的大小要适中，太小了不容易进入引力区，太大了线和线的引力区相交，光标在进入引力区相交部分有可能被吸引到不希望选的线段上去，增大误接的概率。

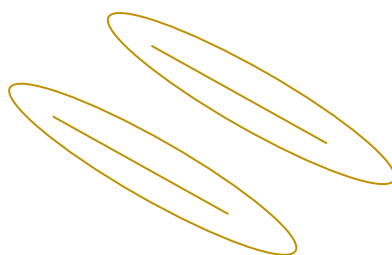


图 10 引力场示意图

● 拖动

要把一个对象移动到一个新的位置时，如果不是简单地用光标指定新位置的一个点，而是用光标移动时拖动着被移动的对象，会使用户感到更直观，并且可以使对象放置的位置更恰当。

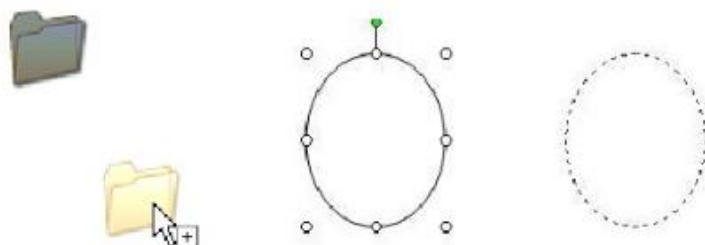


图 11 拖动

● 橡皮筋技术

被拖动对象的形状和位置随着光标位置的不同而变化,是一个不断地进行画图—擦除—画图的过程。

- ①从起点到光标中心点 (x, y) 处画图
- ②擦除起点到光标中心点 (x, y) 处的图形
- ③光标移动到新的位置: $x=x+\Delta x, y=y+\Delta y$
- ④转第①步,重复这个过程,直到按下确认键。

● 操作柄技术

可以用来对图形图像进行缩放、旋转、错切等几何变换。先选择要处理的图形对象,该图形对象的周围会出现操作柄,移动或者旋转操作柄就可以实现相应的变换。

(2) 三维图形交互技术相关概念

● 三维交互技术面临的问题

①三维交互技术采用六自由度输入设备,即沿三维空间 X、Y、Z 轴平移和绕 X、Y、Z 轴旋转,而现在流行的用于桌面型图形界面的交互设备,如鼠标、轨迹球、触摸屏等只有两个自由度(沿平面 X、Y 轴平移)。

②窗口、菜单和传统的二维光标在三维交互环境中会破坏空间感,用户难以区分屏幕上光标选择到对象的深度值和其他显示对象的深度值,使交互过程非常不自然。

● 三维图形交互技术有哪些?

①直接操作:直接操作要求三维光标必须有深度感,即必须考虑光标与观察者的距离,离观察者近的时候比较大,离观察者远的时候比较小。同时为了保持三维用户界面的空间感,光标在遇到物体时不能进入到物体内部。为了增加额外的深度线索,辅助三维对象的选择,可以采用半透明三维光标。

②三维控件:1992 年美国布朗大学计算机系提出三维控件设计原则。

a.三维控件的几何形状应能表示其用途。例如,一个用来扭曲物体的控件最好本身就是一个扭曲的物体。

b.适当选择控件控制的自由度。由于三维空间有六个自由度,有时会使三维交互操作变得过于复杂,因此用户在使用某种控件时,可以固定或者自动计算某些自由度的值。

c.根据三维用户界面的用途确定控件的功能。例如,用于艺术和娱乐的三维用户界面的控件,只要能够完成使画面看起来像的操作即可,但是用于工业设计和制造的用户界面,则必须保证交互操作参数的精确性。

③视图输入:用二维输入设备在一定程度上实现三维的输入。如果输入一个三维点,只要在两个视图上把点的对应位置指定后,便唯一确定了三维空间中的一个点;把直线端上两

端点在三视图上输入后便可决定三维空间的一条直线；把一个面上的各顶点在三视图上输入后，也唯一确定了三维空间中的一个面；如果把一个多面体上的各面均用上述方法输入，也就在三维空间中输入了一个多面体。

2.3 计算机图形学相关技术算法

2.3.1 OpenGL

OpenGL 定义了一个跨编程语言、平台的编程接口的规范，一般用于三维图形，但也可用于二维图像。OpenGL 是一个功能强大，调用方便的底层图形库，它与硬件无关可以在不同的平台如 windows、mac、linux 等之间进行移植，支持 OpenGL 的软件具有很好的移植性，可以获得非常广泛的支持。OpenGL 不提供几何实体格式，不能直接用于描述场景。但是，通过一些转换程序，可以很方便的将 AutoCAD、3ds MAX 等 3D 设计软件制作的 DXF 和 3DS 模型文件转换成 OpenGL 的顶点数组。

OpenGL 可以与 Visual C++ 紧密结合，以实现有关计算和图形算法。OpenGL 使用便捷、效率高，可以实现建模、变换、映射（光照、材质、纹理）等功能。此外，OpenGL 还能实现运动模糊等特殊效果，并支持消隐算法。

2.3.2 二维图形变换

图形的几何变换一般是指图形的几何信息经过变换后产生新的图形，图形几何变换既可以看作是坐标系不动而图形变动，即变动后的图形在坐标系中的坐标值发生变化；又可以看作是图形不动而坐标系变动，即变动后的图形在新坐标系下具有新的坐标值。基本的变换有平移、旋转、缩放等。

计算机图形学中基本的二维图形的几何变换算法：

$$[x' y' 1] = [x y 1] \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ax+df+g & bx+ey+h & 1 \\ cx+fy+i & cx+fy+j & 1 \end{bmatrix}$$

2.3.3 三维图形变换

三维图形的基本变换有：三维比例变换、三维对称变换、三维错切变换、三维旋转变换。和二维图形一样，用适当的变换矩阵也可以对三维图形进行各种几何变换。对三维空间的点如 (x, y, z)，可用齐次坐标表示为 (x, y, z, 1) 或 (x, y, z, h)，三维空间里的点的变换可写为：

$$[x' y' z' 1] = [x y z 1] [M]$$

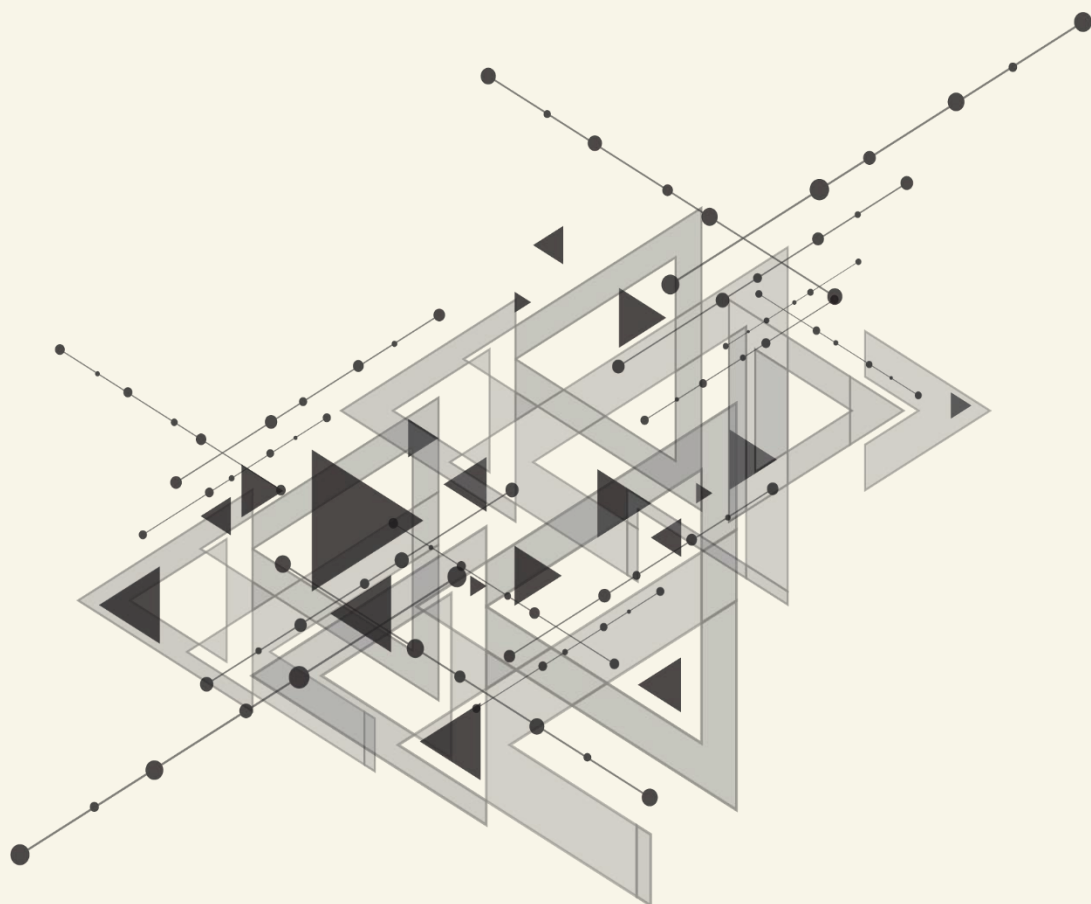
其中[M]是 4*4 阶变换矩阵，即：

$$[M] = \begin{bmatrix} A & B & C & P \\ D & E & F & Q \\ H & I & J & R \\ L & M & N & S \end{bmatrix}$$

Diagram illustrating the components of the 4x4 transformation matrix [M]:

- 比例、对称、错切、旋转** (Scale, Symmetry, Shear, Rotation) - associated with the top-left 3x3 submatrix (A, B, C; D, E, F; H, I, J).
- 透视** (Perspective) - associated with the top-right column (P, Q, R).
- 比例** (Scale) - associated with the bottom-right element (S).
- 平移** (Translation) - associated with the bottom-left column (L, M, N).

3_{talent} 人才篇



3. 人才篇

AMiner 基于发表于国际期刊会议的学术论文，对计算机图形性学领域全球 top1000 的学者进行计算分析，绘制了该领域学者的全球分布地图。



图 12 计算机图形学全球学者分布图

根据上图，我们可以得出以下结论——从国家来看，美国是计算机图形学研究学者聚集最多的国家，英国、德国、加拿大和中国紧随其后；从地区来看，西欧是计算机图形学人才的集中地，而美国东西部等其他先进地区也吸引了大量计算机图形学的研究学者。

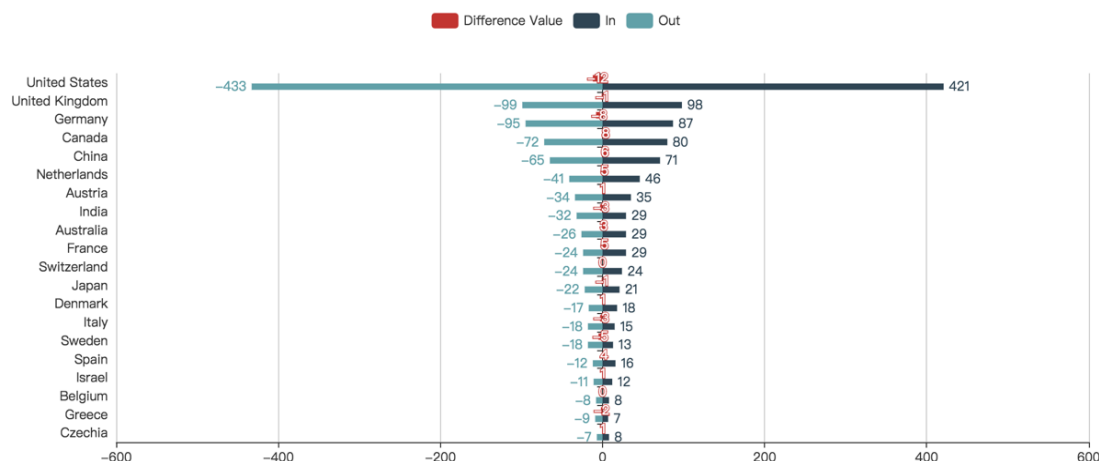


图 13 计算机图形学各国人才顺逆差图

AMiner 选取计算机图形学领域影响力排名前 1000 的专家学者，对其迁徙路径做了分析。由上图可以看出，各国计算机图形学领域人才的流失和引进是相对比较均衡的，其中美国是计算机图形学领域人才流动大国，人才输入和输出都大幅领先，且从数据来看，人才流出略大于流入。英国、加拿大、德国和中国等国人才流动量落后于美国，除中国外各国均有轻微的人才流失现象，中国人才流入量大于流出量。

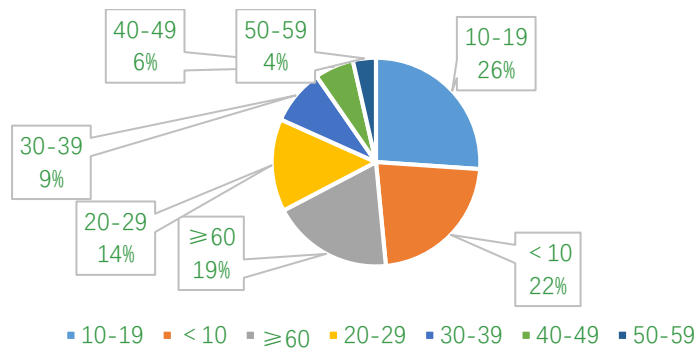


图 14 计算机图形学学者 h-index 统计

由上图可以看出，全球计算机图形学学者 h-index 指数在 20 到 40 之间的学者最多，占 30%，h-index 指数在 40 到 60 之间的学者次之，占比 25%，h-index 指数在 50-59 以下的学者最少，占比 4%。

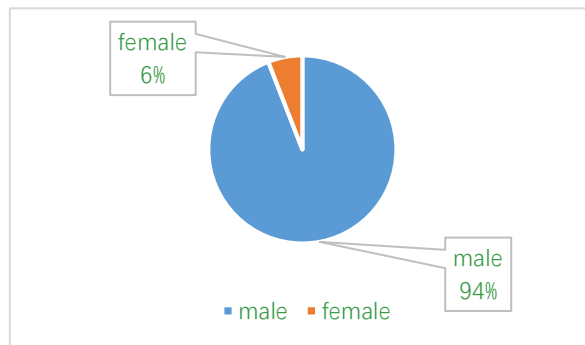


图 15 计算机图形学学者男女比

全球计算机图形学学者男性占 94%，女性占 6%，男女人数相差悬殊。



图 16 计算机图形学学者中国分布图

我们以“computer graphics”为关键词，在 AMiner 数据库中对国内计算机图形学人才进行挖掘，得到了国内计算机图形学领域人才分布图。计算机图形学学者在中国集中于北京及东南沿海等有计算机基础的地方。

为了更好地了解这一领域学者状况，AMiner 还统计了 2016 计算机图形学最具影响力学者库，这是由 AMiner 系统中部署的计算机算法自动确定的，该算法对顶级出版物收集的引文数量进行跟踪并对学者进行排名。具体来说，AMiner 基于 2016 年发表于 ACM SIGGRAPH 会议中的学术论文引文数量并对学者进行排名，计算出计算机图形学领域全球 top100 的学者。近期我们将会推出 2017 最具影响力学者以及近十年最具影响力学者，欢迎关注。

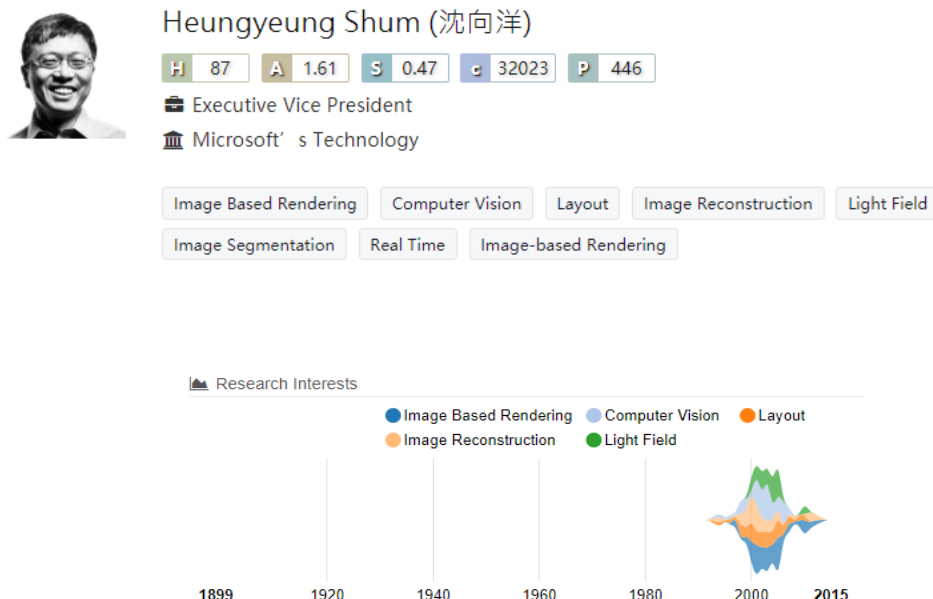
根据这一智库，我们按照相关度和影响力等对专家进行排序和分类，分成领军人物、中坚力量、领域新星三类。排序和分类规则主要参考专家的 h-index、paper、citation、专家所获得的荣誉、任职机构排名、专家 Activity、Sociability 以及 Diversity 等。我们按照 AMiner 提供的数据选取 10 位学者做简单介绍。

3.1 领军人物

● 沈向洋

Aminer 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/heungyeung-shum/5619547045cedb3397d7f1cd>



沈向洋，微软全球执行副总裁，负责微软人工智能事业部与微软全球研究院。1996 年获卡内基梅隆大学计算机学院机器人专业博士学位。沈向洋博士是计算机视觉和图形学研究的世界级专家。曾任 IEEE PAMI 编委、计算机视觉国际会议 ICCV2005 大会主席和 ICCV2007 程序委员会主席。

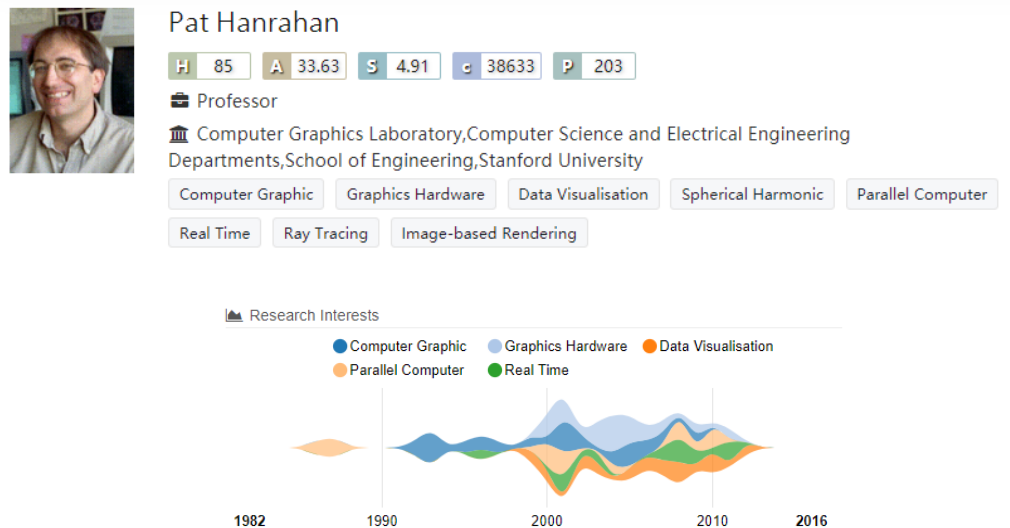
沈向洋博士在计算机图形学领域的顶级会议 ACM SIGGRAPH 上发表论文 53 篇，在计算机视觉领域的 ICCV 和 CVPR 上发表论文 55 篇。2006 年入选 IEEE Fellow 和 ACM Fellow。2011 年获第十届“全美亚裔年度杰出工程师奖”。2014 年获“微软公司杰出技术领袖奖”。

2017 年 2 月，当选美国国家工程院外籍院士。

● Pat Hanrahan

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/pat-hanrahan/53f42ff1dabface4dc7395aa>



Pat Hanrahan，斯坦福大学计算机图形实验室教授，1985 年获得威斯康辛大学麦迪逊分校生物物理学博士学位。主要研究兴趣包括可视化、图形系统和架构以及渲染算法的研究等。Pat Hanrahan 教授是皮克斯动画工作室的创始员工，涉及作品有《玩具总动员等》。在斯坦福大学任教期间开发了 Tableau 软件。

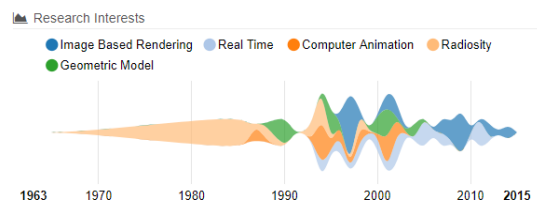
Pat Hanrahan 教授因其在渲染和计算机图形领域的重要贡献获得了三项奥斯卡奖，多次在图形学重要会议上获奖，同时是美国国家工程院院士。

● Michael F.Cohen

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/michael-f-cohen/54876368dabfae8a11fb3887>





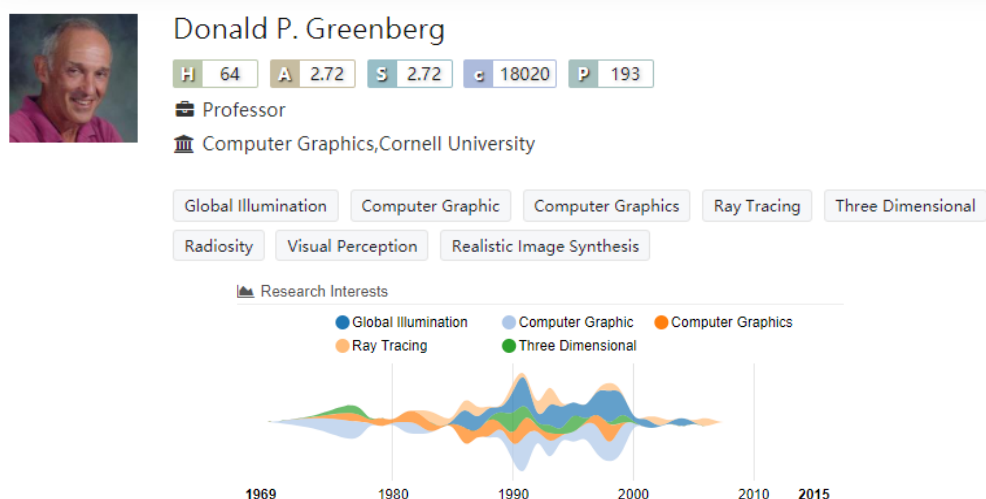
Michael F. Cohen, Facebook 计算摄影研究小组负责人，华盛顿大学教授，美国计算机图形学专家。1992 年在犹他大学获得博士学位。主要研究兴趣有计算机图形学、计算机视觉和计算机摄影。

因在现实图像合成中所开发的辐射度方法而获得 1998 年 ACM SIGGRAPH 图形学成就奖。

● Donald Greenberg

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/donald-p-greenberg/53f45d59dabface4dc82bb0e>



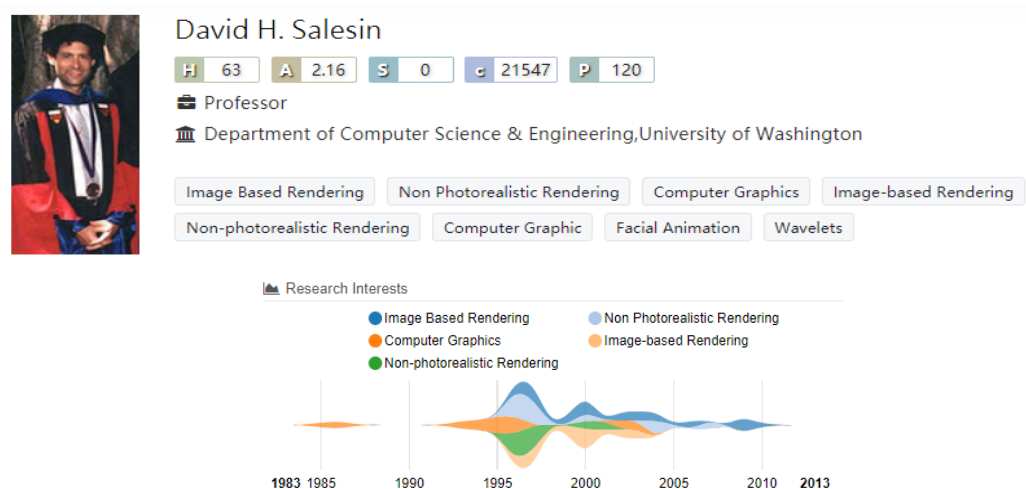
Donald Greenberg, 康奈尔大学计算机图形学教授，1968 年康奈尔大学取得博士学位。主要研究兴趣包括实时真实感绘制、色彩科学和计算机辅助建筑设计等。Greenberg 是国际公认的计算机图形学先驱，撰写了数百篇文章，并指导了许多知名的计算机图形学学生。

Donald Greenberg 教授是美国国家工程院院士，1997 年获 ACSA 建筑创意研究奖，1989 年获得 National Computer Graphics Association Academic Award, 1987 年获图形学最高奖 ACM SIGGRAPH Steven A. Coons Award。

● David Salesin

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/david-h-salesin/53f438c2dabfaefdbadeef4>



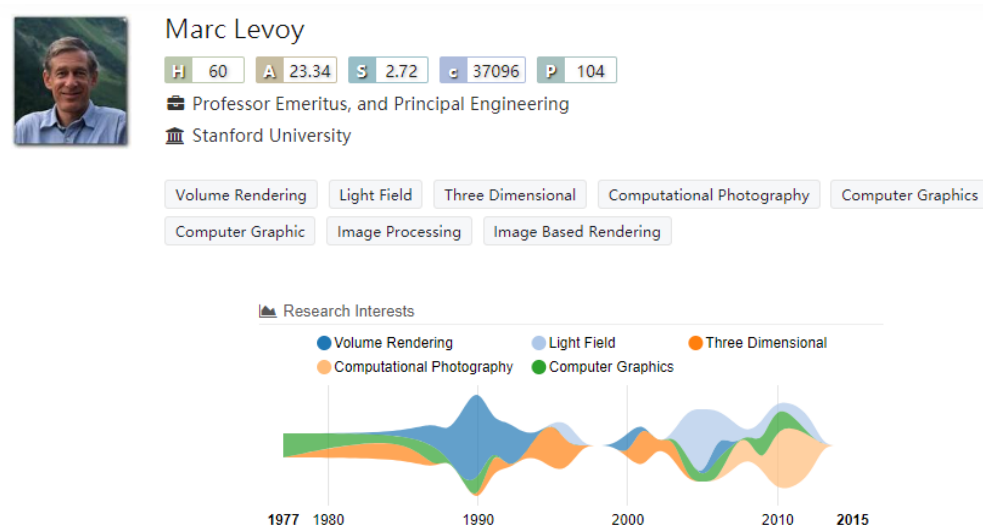
David Salesin, 华盛顿大学计算机科学与工程系教授, 1991 年在斯坦福大学获得博士学位。David Salesin 教授曾在卢卡斯电影公司和皮克斯公司工作, 为奥斯卡获奖短片 Tin Toy 和长篇电影 Young Sherlock Holmes 做动画制作。他的研究兴趣主要是计算机图形学, 包括数字摄影和视频、自动设计和信息的展示、非真实感渲染、可视化等。

David Salesin 1993 年获得 NSF Young Investigator award 以及 1995 年的 NSF Presidential Faculty。2000 年获得 ACM SIGGRAPH 图形学成就奖, 2002 年被评为 ACM Fellow。

● Marc Levoy

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/marc-levoy/5484e184dabfae9b401331f6>



Marc Levoy, 原斯坦福大学计算机图形学教授, 现在在谷歌工作。20 世纪 70 年代, Marc

Levoy 教授致力于电脑动画开发，汉娜-芭芭拉公司用他的系统制作了 The Flintstones，Scooby Doo 等影视作品。他对绘制技术、3D 激光扫描以及计算机摄影和显微技术都有较深入的研究。在谷歌工作期间，Marc Levoy 教授参与开发了谷歌图书扫描仪，推出了谷歌街景项目。

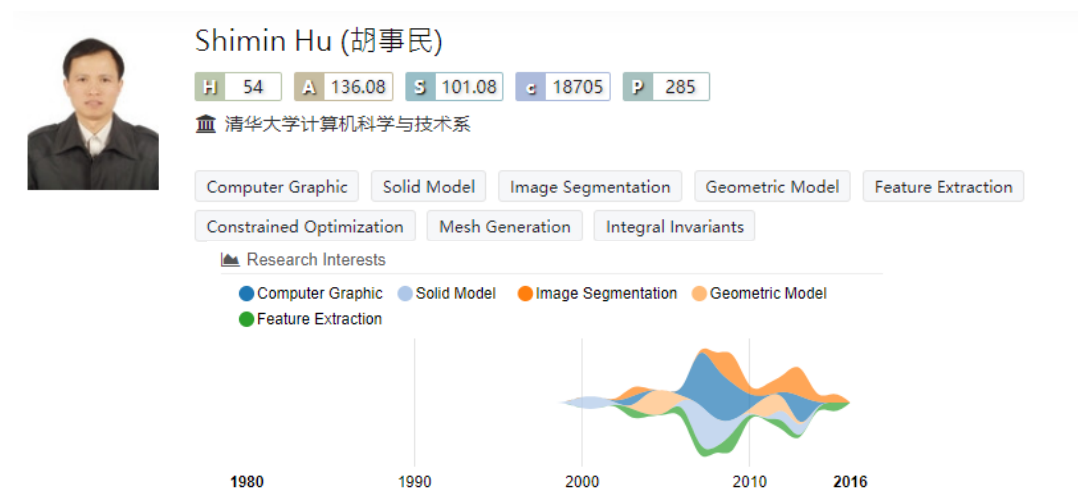
Marc Levoy 教授 1996 年获 ACM SIGGRAPH 计算机图形成就奖，2007 年当选为 ACM Fellow。

3.2 中坚力量

● 胡事民

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/shimin-hu/542e017ddabfae4b91c3b7e4>



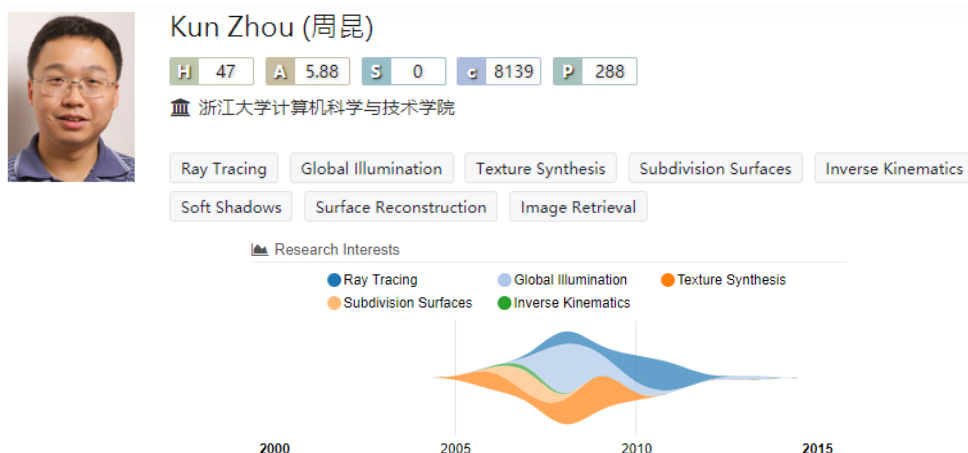
胡事民，清华大学教授。主要研究兴趣有计算机图形学、视觉计算、智能信息处理、系统软件、几何计算和智能信息处理等。近几年来，在特征敏感的三维模型几何处理、基于草图的互联网图像合成和可视媒体高效编辑与处理等方面发表重要国际刊物论文 100 余篇，相关技术获得授权发明专利 40 余项，成果获国家技术发明二等奖 1 项。

胡事民教授 2002 年获得国家杰出青年基金资助，2006 年任国家 973 计划项目首席科学家，2007 年入选教育部长江学者特聘教授，2015 年成为国家自然科学基金委创新群体负责人。

● 周昆

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/kun-zhou/5445475edabfae862da111ee>



周昆，浙江大学计算机辅助设计与图形学国家重点实验室主任，教育部长江学者特聘教授，国家杰出青年科学基金获得者，国际电气电子工程师协会会士（IEEE Fellow）。

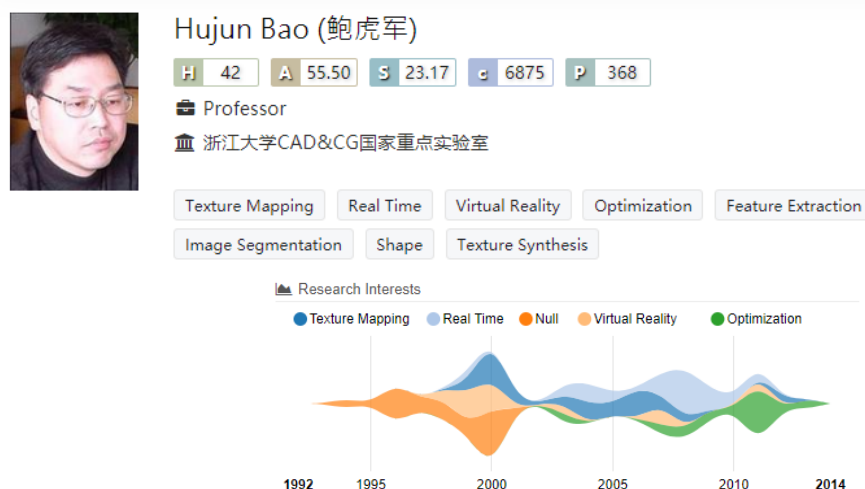
周昆教授的研究领域包括计算机图形学、人机交互、虚拟现实和并行计算。近年来在ACM/IEEE Transactions 上发表论文 70 余篇，获得美国发明专利 30 余项。现担任《ACM Transactions on Graphics》、《The Visual Computer》、《Frontiers of Computer Science》、《计算机研究与发展》等多个期刊编委，担任《IEEE Spectrum》编辑顾问委员会委员。

周昆教授曾获得 2010 年中国计算机图形学杰出奖、2011 年中国青年科技奖、2011 年麻省理工学院《技术评论》全球杰出青年创新人物奖（MIT TR35 Award）、2013 年国家自然科学二等奖等奖项。

● 鲍虎军

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/hujun-bao/542c3fb6dabfaed7e63fac55>



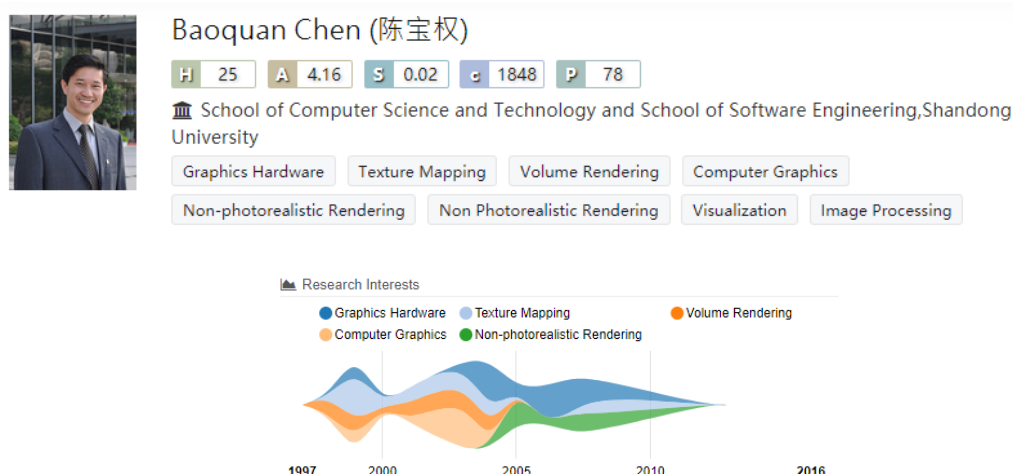
鲍虎军，国家杰出青年基金获得者，教育部长江学者特聘教授，浙江大学信息学部主任，计算机学会计算机辅助设计和图形学专业委员会主任。

鲍虎军教授的主要研究兴趣是计算机图形学和虚拟现实，所领导的团队曾获首届国家创新研究群体科学基金的资助，并作为首席科学家，先后二次承担了国家重大基础研究发展规划（973 计划）项目虚拟现实技术的研究。近年来在虚拟环境的几何物理建模和交互计算、复杂虚拟场景的实时高保真绘制和呈现、虚拟和现实环境的融合呈现等方面取得了重要进展，自主研发了虚拟现实驱动引擎和支撑软件平台。部分成果分别获国家自然科学奖二等奖和教育部高等学校优秀成果一等奖。

● 陈宝权

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/baoquan-chen/5440dcfdbabfae7f9b357ac3>



陈宝权，北京大学教授，前沿计算研究中心执行主任，长江特聘教授，973 首席科学家，国家“万人计划”领军人才。主要研究兴趣为大规模城市场景三维获取及海量数据可视化，在 ACM SIGGRAPH、IEEE VIS、ACM TOG 等国际会议和刊物发表论文 100 余篇。

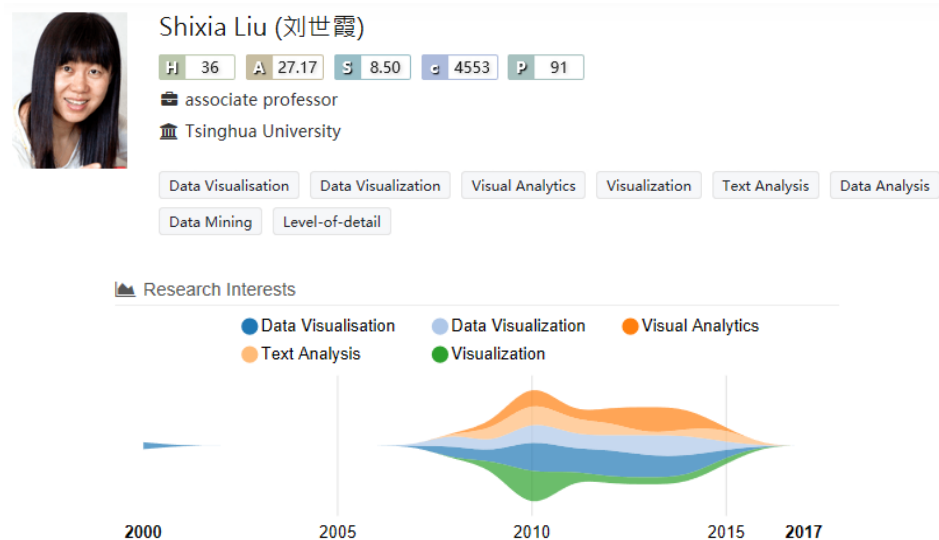
陈宝权教授是现任期刊 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 编委，可视化领域顶级会议 IEEE VIS 指导委员会委员，以及计算机图形领域顶级会议 SIGGRAPH Asia 指导委员会委员。曾任 SIGGRAPH Asia 2014 会议主席，第一次将该会议引入中国大陆。获 2003 美国 NSF CAREER 奖，2005 年 IEEE Visualization 可视化国际会议最佳论文奖，2008 年入选中科院“百人计划”，2010 年获国家杰出青年科学基金资助，2013 年入选国家“百千万人才”工程计划和“中青年领军人才”，2014 年获得“中国计算机图形学大会杰出奖”。

3.3 青年学者

● 刘世霞

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/shixia-liu/548cb3dddabfaed7b5fa462b>



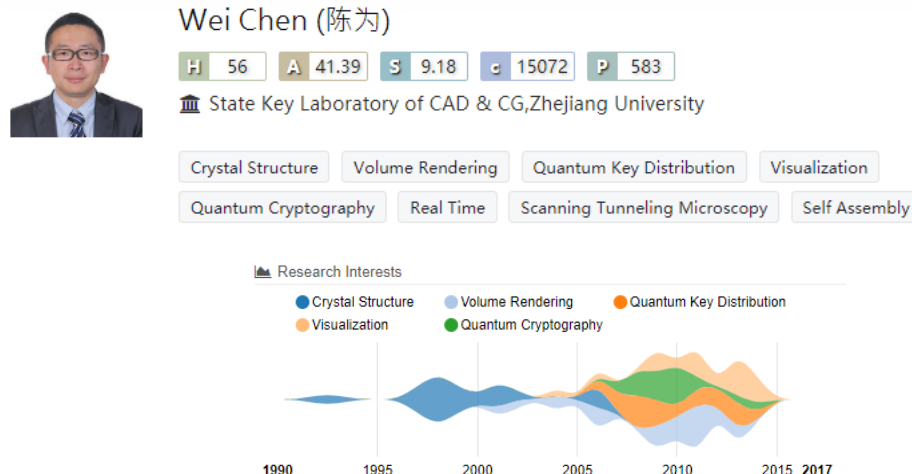
刘世霞，清华大学副教授。在 MSRA 领导信息可视化研究工作，主要研究行为包括文本可视分析，社交媒体可视分析，日志数据可视分析以及文本挖掘。

刘世霞教授担任 CCF A 类会议 IEEE VIS (VAST) 2016/2017 论文主席，是该会第一位来自亚洲的论文主席；担任 CCF A 类期刊 IEEE TVCG 编委，获 2016 最佳编委；担任 IEEE TBD 编委。

● 陈为

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/wei-chen/542d8af3dabfae11fc47f8d6>



陈为，浙江大学计算机学院 CAD&CG 国家重点实验室教授，国家“优青”获得者，十三五国家重点研发专项“云计算与大数据”总体组、指南组专家。主要研究兴趣是数据可视化和可视分析。

陈为教授主持国家自然科学基金等项目多项，发表国际一流学术论文数十篇。出版教材 3 部，专著 1 部（大数据技术）。担任 Journal of Visualization 等期刊编委，多次担任计算机图形学国际会议主席，例如 ACM SIGGRAPH Asia Workshop on Visualization 2016 大会论文主席、IEEE LDAV 2017 大会论文主席等。荣获 IEEE Visualization 年会最佳论文提名奖、浙江省科学技术奖二等奖、IEEE Conference on CAD&CG 大会最佳论文奖、教育部科学技术进步二等奖等。

● 刘利刚

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/ligang-liu/5448ba95dabfae87b7e6ea4e>

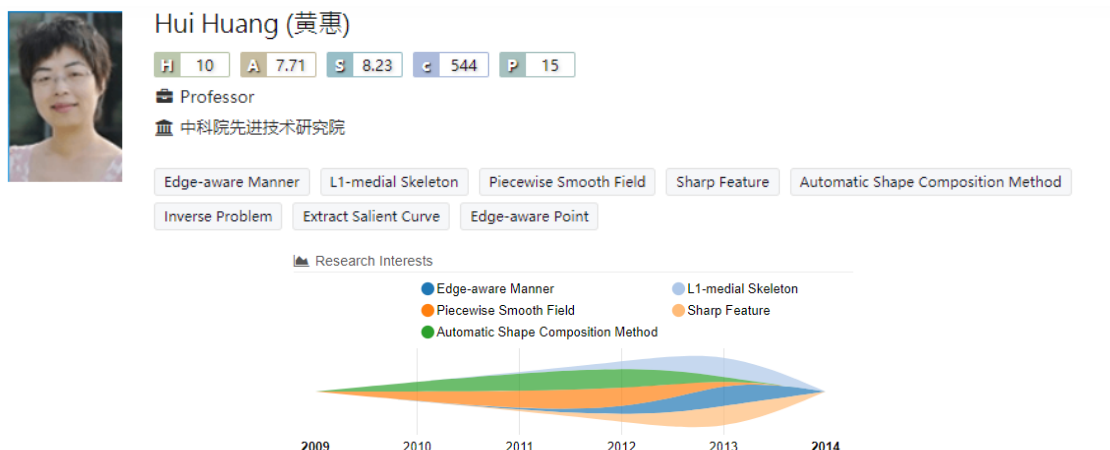


刘利刚，中国科学技术大学数学学院教授，博士生导师，中国科学院“百人计划”。研究兴趣包括计算机图形学，3D 几何建模与处理等，已在计算机图形学顶级期刊 ACM Trans. on Graphics (Siggraph/Siggraph Asia)上发表论文 20 余篇。主持国家自然科学基金项目 5 项，2012 年获得国家自然科学基金“优秀青年基金”项目，2013 年获得国家自然科学基金二等奖。国际会议 GMP 2017 大会共同主席，SPM 2014，SGP 2015，CVM 2016，CAD/Graphics 2017，GMP 2018 的论文共同主席。

● 黄惠

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/hui-huang/53f7ded9dabfae90ec126c9f>



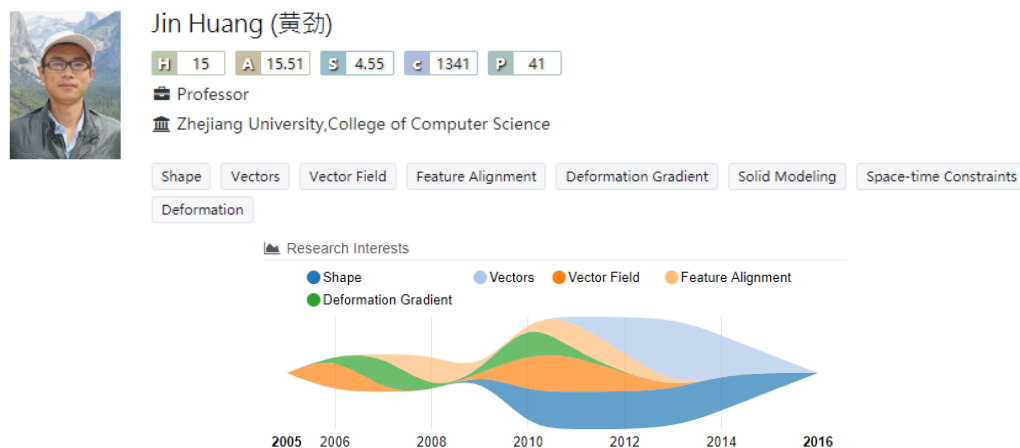
黄惠，深圳大学特聘教授，博士生导师，可视计算研究中心主任，国家优青，ACM 高级会员。研究方向为计算机图形、图像处理和科学计算，主要研究几何建模、形状分析、点优化、图像处理、3D/4D 采集与创作等。

黄惠教授在国际顶级学术会议和 JCR 一区期刊上发表多篇论文，现主持 973 前期研究专项、深圳市基础学科布局等重点项目。担任 SCI 期刊 The Visual Computer 副总主编、Computer Graphics Forum 副主编和 Frontiers of Computer Science 青年 AE。

● 黄劲

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/jin-huang/56283c6b45ce1e5965da61a4>



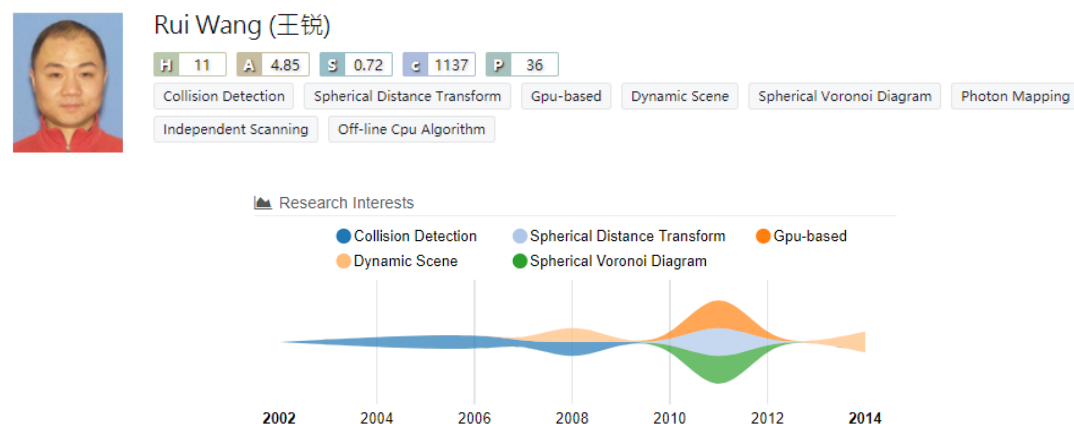
黄劲, 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室导师, 博士生导师, 国家自然科学基金委优秀青年科学基金项目获得者。主要从事几何处理与物理模拟方面的研究, 在国际会议与国内图形学期刊已发表论文 50 余篇, 共有十余篇长文发表在国际图形学顶级期刊 ACM Transactions on Graphics 和 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics。

黄劲教授担任 ACM SIGGRAPH 等国际会议的委员会委员, Computer-Aided Geometry Design 期刊副主编, 并且主持和参与了十多项国家级研究项目。

● 王锐

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/rui-wang/53f42bf8dabfaec22ba01f2b>



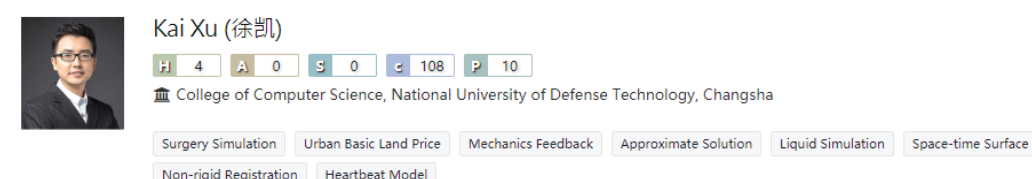
王锐, 浙江大学中国计算机学院国家重点实验室教授、计算机图形学领域专家。主要研究兴趣包括实时渲染、现实渲染、基于 GPU 的计算和 3D 显示技术等。在快速/实时全局光照绘制、光场传输于采样、绘制流水线设计与优化等方面取得了具有国际先进水平的研究成果。

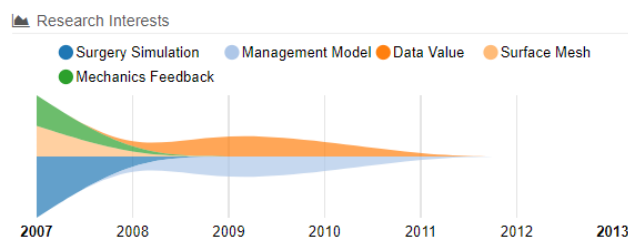
王锐教授在计算机图形学的顶级期刊/会议 ACM Transaction on Graphic 及 SIGGRAPH, SIGGRAPH Asia 发表文章 9 篇, 在 IEEE Transaction on Visualization and Graphics, Computer Graphics Forum, Computer & Graphics, Visual Computer, Euro Graphics, Pacific Graphics 等国际知名期刊和会议共发表论文三十余篇。申请多项国家发明专利。

● 徐凯

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/kai-xu/542cdd45dabfae4bbcf8016a>





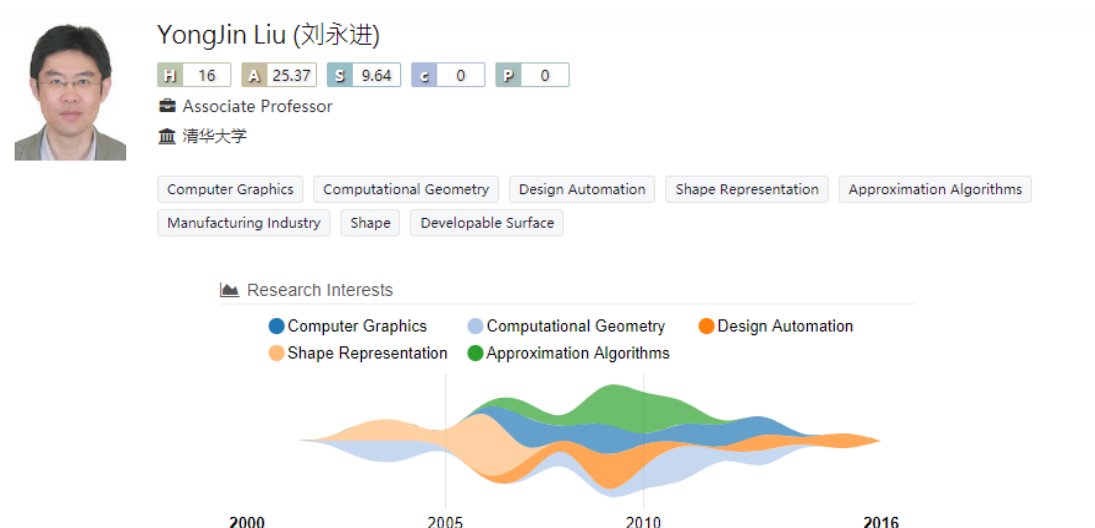
徐凯，国防科技大学副教授，国家自然科学基金优秀青年基金获得者。主要研究兴趣为几何处理与建模、数据驱动的形状分析、基于三维几何的计算机视觉等。

徐凯教授已在计算机图形学顶级国际会议 SIGGRAPH / SIGGRAPH Asia 上发表论文 13 篇。担任 SCI 期刊 Computer Graphics Forum、Computers and Graphics 和 The Visual Computer 的编委。担任会议 GDC 2016 和 CAD/Graphics 2017 的论文共同主席，以及 SIGGRAPH Asia、PG、SGP 等国际会议的程序委员。曾获全军优秀博士论文奖，湖南省自然科学一等奖，军队科技进步二等奖，中国工业与应用数学学会“几何设计与计算青年学者奖”，以及陆增镛 CAD&CG 高科技奖二等奖。

● 刘永进

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/yongjin-liu/542aa803dabfae646d57cc7f>



刘永进，清华大学计算机系副教授。于 2000 年和 2004 年分别获得香港科技大学硕士和博士学位，2004-2006 年在香港科技大学任职博士后副研究员。2006 年到清华大学任教，2017 年获杰青，研究方向为计算几何与图形学，主要从事计算机辅助设计中的三维数字几何建模研究。

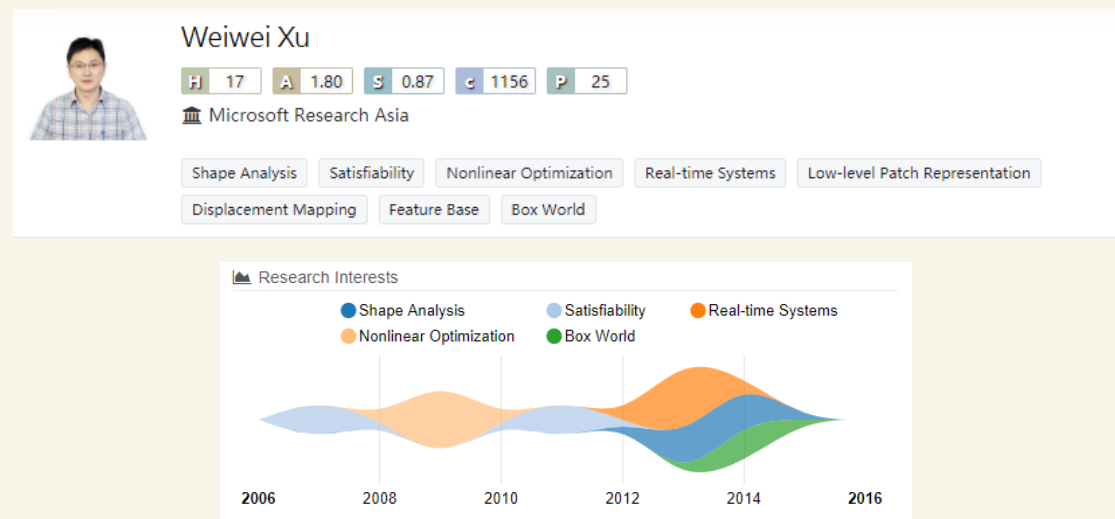
刘永进教授是中国工业与应用数学学会几何设计与计算专委会副秘书长，CCF 高级会员。在 IEEE Trans.Robotics, IEEE Trans.Automation Science & Engineering, Visual Computer

等著名国际期刊上发表论文 15 篇。

● 许威威

AMiner 链接:

<https://www.aminer.cn/profile/weiwei-xu/5405aebdabfae92b41f175a>



许威威, 浙江大学 CAD 国家重点实验室百人计划研究员。2003 年于浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室获博士学位, 2004 年到 2005 年于日本立命馆大学任博士后研究员。2005-2012 年任微软亚洲研究院网络图形组研究员。研究方向主要为数字几何处理、基于物理的计算机仿真和虚拟现实。

许威威教授于国际图形学会议和学术期刊发表高水平论文近 50 余篇, 其中国际顶尖计算机图形学会议 ACM SIGGRAPH 及 SIGGRAPH Asia 会议论文 16 篇。2013 年 9 月获得国家自然科学基金优秀青年基金资助。

4 会议篇

4. 会议篇

SIGGRAPH 是由 ACM SIGGRAPH (美国计算机协会计算机图形专业组) 组织的计算机图形学顶级年度会议。第一届 SIGGRAPH 会议于 1974 年召开。该会议有上万名计算机从业者参加, 最近一次在洛杉矶举行。过去的 SIGGRAPH 曾经在达拉斯, 波士顿, 西雅图, 新奥尔良, 圣地亚哥和美国的地点举办。SIGGRAPH 2011 于 2011 年在温哥华举行, 这是 SIGGRAPH 首次在美国以外的城市举行。2018 年 SIGGRAPH 将于 8 月在温哥华举行。以下是 2018 SIGGRAPH 中国学生发表论文 list:

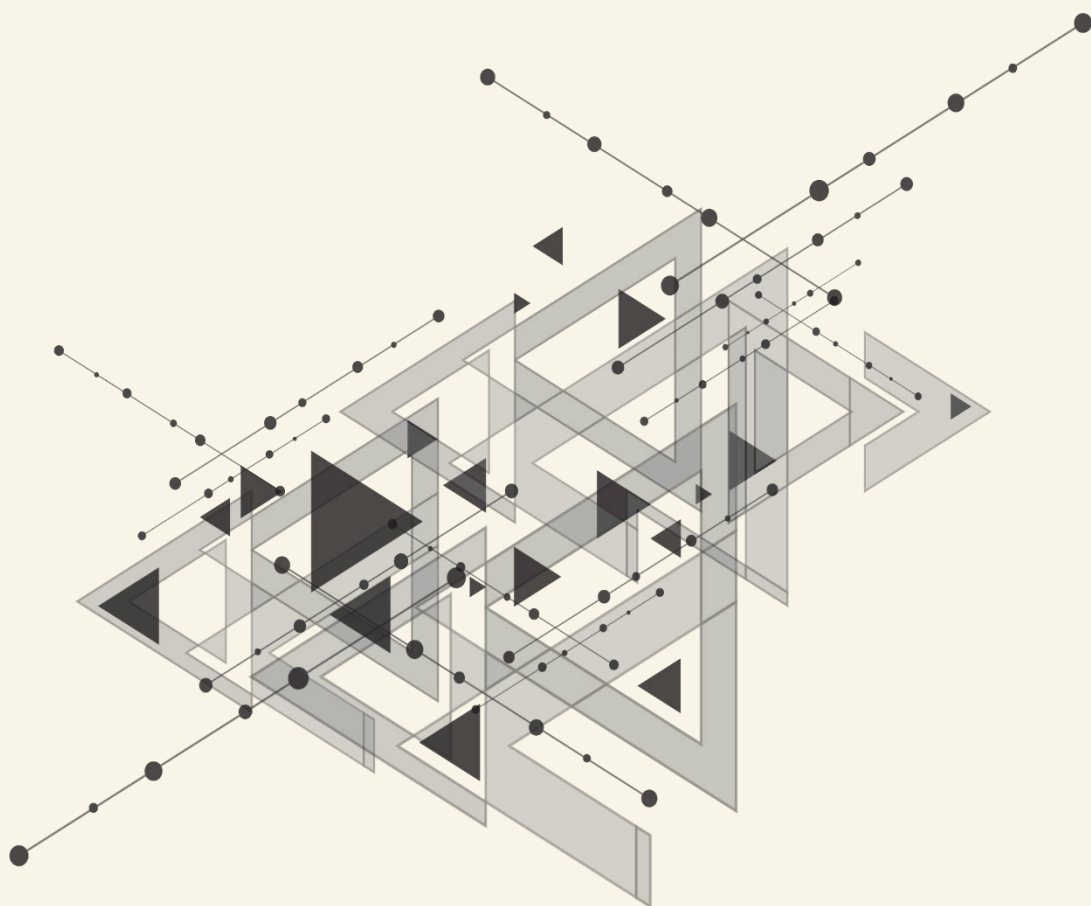
论文题目	作者	机构
Progressive Parameterizations	Ligang Liu	University of Science and Technology of China
	Chunyang Ye	
	Ruiqi Ni	
	Xiao-Ming Fu	
Implicitizing Rational Tensor Product Surfaces Using the Resultant of Three Moving Planes	Li-Yong Shen	University of Chinese Academy of Sciences
	Ron Goldman	Rice University
Deep Exemplar-Based Colorization	Mingming He	Hong Kong UST
	Dongdong Chen	University of Science and Technology of China
	Jing Liao	Microsoft Research
	Pedro V. Sander	Hong Kong UST
	Lu Yuan	Microsoft Research
Locally Adaptive Rank-Constrained Optimal Tone Mapping	Xiao Shu	McMaster University, Shanghai Jiao Tong University
	Xiaolin Wu	
Non-Stationary Texture Synthesis by Adversarial Expansion	Yang Zhou	Shenzhen University, Huazhong University of Science and Technology
	Zhen Zhu	Huazhong University of Science and Technology
	Xiang Bai	
	Dani Lischinski	The Hebrew University of Jerusalem
	Daniel Cohen-Or	Shenzhen University, Tel Aviv University
	Hui Huang	Shenzhen University
Appearance Modeling Via Proxy-toImage Alignment	Hui Huang	Shenzhen University
	Ke Xie	
	Lin Ma	
	Dani Lischinski	The Hebrew University of Jerusalem
	Minglun Gong	Memorial University of Newfoundland
	Xin Tong	Microsoft Research Asia
	Daniel Cohen-Or	Shenzhen University, Tel Aviv University
Creating and Chaining Camera Moves for Quadrotor Videography	Ke Xie	Shenzhen University
	Hao Yang	
	Shengqiu Huang	
	Dani Lischinski	The Hebrew University of Jerusalem
	Marc Christie	IRISA/INRIA Rennes Bretagne
	Kai Xu	Shenzhen University
	Minglun Gong	Memorial University of Newfoundland
	Daniel Cohen-Or	Shenzhen University, Tel Aviv University
	Hui Huang	Shenzhen University

Quadrangulation Through MorseParameterization Hybridization	Xianzhong Fang	Zhejiang University
	Hujun Bao	
	Yiying Tong	Michigan State University
	Zhejiang University	California Institute of Technology
	Jin Huang	Zhejiang University
Fluid Directed Rigid Body Control Using Deep Reinforcement Learning	Pingchuan Ma	Nankai University
	Yunsheng Tian	
	Zherong Pan	University of North Carolina at Chapel Hill
	Bo Ren	Nankai University
	Dinesh Manocha	University of Maryland at College Park
Full 3D Reconstruction of Transparent Objects	Bojian Wu	SIAT, Shenzhen; Shenzhen University
	Yang Zhou	Shenzhen University, Huazhong University of Science and Technology
	Yiming Qian	University of Alberta
	Minglun Gong	Memorial University of Newfoundland
	Hui Huang	Shenzhen University
Object-Aware Guidance for Autonomous Scene Reconstruction	Ligang Liu	University of Science and Technology of China
	Xi Xia	
	Han Sun	
	Qi Shen	
	Juzhan Xu	Shenzhen University
	Bin Chen	
	Kai Xu	National University of Defense Technology, Shenzhen University
What Characterizes Personalities of Graphic Designs?	Nanxuan Zhao	City University of Hong Kong
	Ying Cao	
	Rynson Lau	
City University of Hong Kong	You-En Lin	National Tsing Hua University
	Yong-Liang Yang	University of Bath
	Hung-Kuo Chu	National Tsing Hua University
Numerical Coarsening Using Discontinuous Shape Functions	Jiong Chen	Zhejiang University
	Hujun Bao	
	Tianyu Wang	
	Mathieu Desbrun	California Institute of Technology
	Jin Huang	Zhejiang University
Computational Design of Transforming Pop-Up Books	Nan Xiao	Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University
	Zhe Zhu	Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University & Duke University
	Ralph R. Martin	School of Computer Science and Informatics, Cardiff University
	Kun Xu	Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University
	Jia-Ming Lu	
	Shi-Min Hu	
Autocomplete 3D Sculpting	Mengqi Peng	The University of Hong Kong
	Jun Xing	USC Institute for Creative Technologies
	Li-Yi Wei	Adobe Research, The University of Hong Kong
DSCarver: Decompose-and-SpiralCarve for Subtractive Manufacturing	Haisen Zhao	Shandong University
	Hao (Richard) Zhang	Simon Fraser University
	Shiqing Xin	Shandong University

	Yuanmin Deng	
	Changhe Tu	
	Wenping Wang	University of Hong Kong
	Daniel Cohen-Or	Tel Aviv University
	Baoquan Chen	Shandong University
Semi-Supervised Co-Analysis of 3D Shape Styles from Projected Lines	Fenggen Yu	Nanjing University
	Yan Zhang	
	Kai Xu	National University of Defense Technology
	Ali Mahdavi Amiri	Simon Fraser University
	Hao Zhang	
Predictive and Generative Neural Networks for Object Functionality	Ruizhen Hu	Shenzhen University
	Zihao Yan	
	Jingwen Zhang	
	Oliver van Kaick	Carleton University
	Ariel Shamir	The Interdisciplinary Center
	Hao (Richard) Zhang	Simon Fraser University
	Hui Huang	Shenzhen University

5 application

应用篇



5. 应用篇

图形学发展迅速，已经成为一门独立的学科。计算机图形学已经应用到各个领域，例如计算机辅助设计与制造，自然景物仿真和计算机动画等，在我们的生活随处可见，将可视化用于天气预报，使气象预报越来越准确；用于地质勘探，使地质学家可以发现新资源；用于医学，做一些精密的手术等。下面对计算机图形学的应用做一一介绍。

(1) 影视制作

计算机图形学在影视动画领域有着广泛的应用。早期的计算机动画灵感来源于传统的卡通片，在关键帧之间由软件来创建过渡帧，当连续播放时 2 个关键帧被有机的结合起来，整个场景就会动起来。计算机动画内容丰富多彩，生成动画的方法也多种多样，比如基于特征的图象变形，二维形状混合，轴变形方法，三维自由形体变形等。近年来人们普遍将注意力转向基于物理模型的计算机动画生成方法。这是一种崭新的方法，该方法大量运用弹性力学和流体力学的方程进行计算，力求使动画过程体现出最符合真实世界的运动规律。

最为人熟知的是 2010 年的《阿凡达》，这部被称为电影技术革命的电影，将计算机动画技术运用到了炉火纯青的地步。据报道，《阿凡达》中 60% 的画面是由图形学的相关技术来完成的，这其中包括：场景渲染技术、动作和表情捕捉技术以及基于虚拟现实的拍摄技术等。为了将潘多拉星球的景象展现在屏幕前，首先需要建模师对出现在场景中的所有物体进行建模，然后借助于计算机，就可以得到在某一时刻、某一位置下的场景效果。由于人的动作和表情更为细腻，当场景中不仅只有景物，还有人物时，为了让虚构的纳威族人具有和人一样敏捷的动作和饱含感情的表情，就需要用到动作和表情捕捉技术。动作和表情捕捉是通过对人体和人脸进行采样，然后将采样点映射到模型上来实现模型和演员做同样的动作、表达同样的情感。



图 17 《阿凡达》

(2) 游戏

游戏一直都是计算机图形学的一个重要应用方向，计算机图形学为游戏开发提供了技术支持，如三维引擎的创建等。图形学在游戏中有三大应用：几何学、动画和绘制。

几何学中边界表示法、CSG、多边形网状表示法对于游戏中物体之间的互动有着重要的意义；动画捕捉通过记录运动物体的位置、角度、速度等得到精确的数据，然后把得到的数

据用于模型，现如今流行的游戏中都可以找到动作捕捉的运用；绘制是游戏制作中最复杂的部分，在游戏中有两种绘制方法：基于预处理的绘制和实时绘制。基于预处理的绘制一般用于游戏场景中不会改变的模型上，实时绘制用的较为普遍，大多数游戏都采用这种方法。

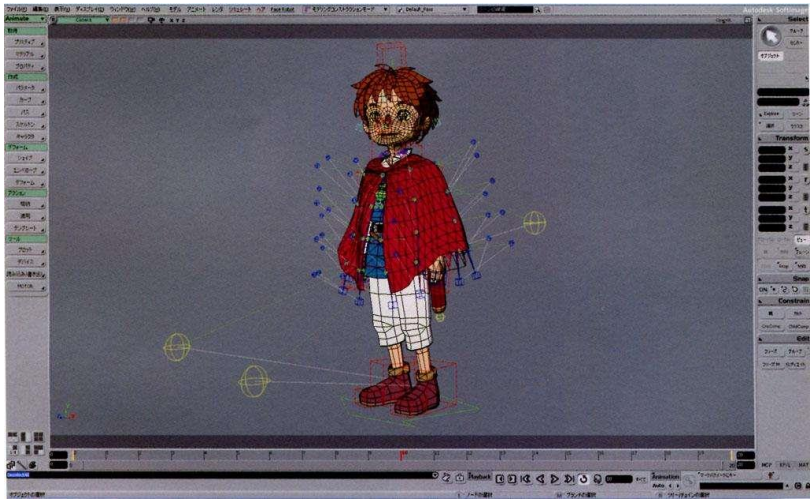


图 18 游戏人物绘制

(3) 虚拟现实

虚拟现实是用计算机技术来生成的三维视觉、听觉、触觉或嗅觉等感觉世界，让用户从自己的视点出发，利用某些设备对这一生成的虚拟世界客体进行直接自然的交流。

计算机图形学则是实现虚拟现实最重要的保证。虚拟现实为了使人和计算机能够融洽的交互，必须配备相应的硬件设备，包括：跟踪系统、触觉系统、音频系统、图像生成、显示系统和可视化显示设备。

由此可以看出，虚拟现实本质上是一种与计算机图形学理论与技术密切相关的仿真系统。建立在计算机图形学上的仿真系统更具有真实性和多维性，同时随着图形学的发展和进步，虚拟现实系统对对象的刻画更为深刻，从而推动了虚拟现实在城市规划、室内设计、文化保护、交通、教育等方面的运用。

(4) 仿真技术

重现真实世界的场景在图形学中叫做真实感绘制，真实感绘制主要是模拟真实物体的物理属性，简单地说就是物体的形状、光学性质、表面的纹理和粗糙程度，以及物体间的相对位置，遮挡关系等。运用这一技术可以实现物理仿真，物理仿真在几何图形、广告影视、指挥控制和科学计算等方面应用很广，可以带来巨大的社会效益。例如仿真技术应用于航空工业领域，利用飞机仿真器在地面训练飞行员，不仅节省大量燃料和经费，而且不受气象条件和场地的限制；仿真技术运用于交通控制、城市规划、资源利用等领域，也有着重要的意义。

(5) 科学计算可视化

目前科学计算可视化广泛应用于医学、流体力学、有限元分析和气象分析当中。尤其在医学领域，可视化有着广阔的发展前途。依靠精密机械做脑部手术是目前医学上很热门的题目，而这些技术的实现基础则是可视化。当医生做脑部手术时，可视化技术将医用 CT 扫描的数据转化成图像，使得医生能够看到并准确地判别病人的体内患处，然后通过碰撞检测异类的技术实现手术效果的反馈，帮助医生成功完成手术。

(6) 计算机辅助设计与制造

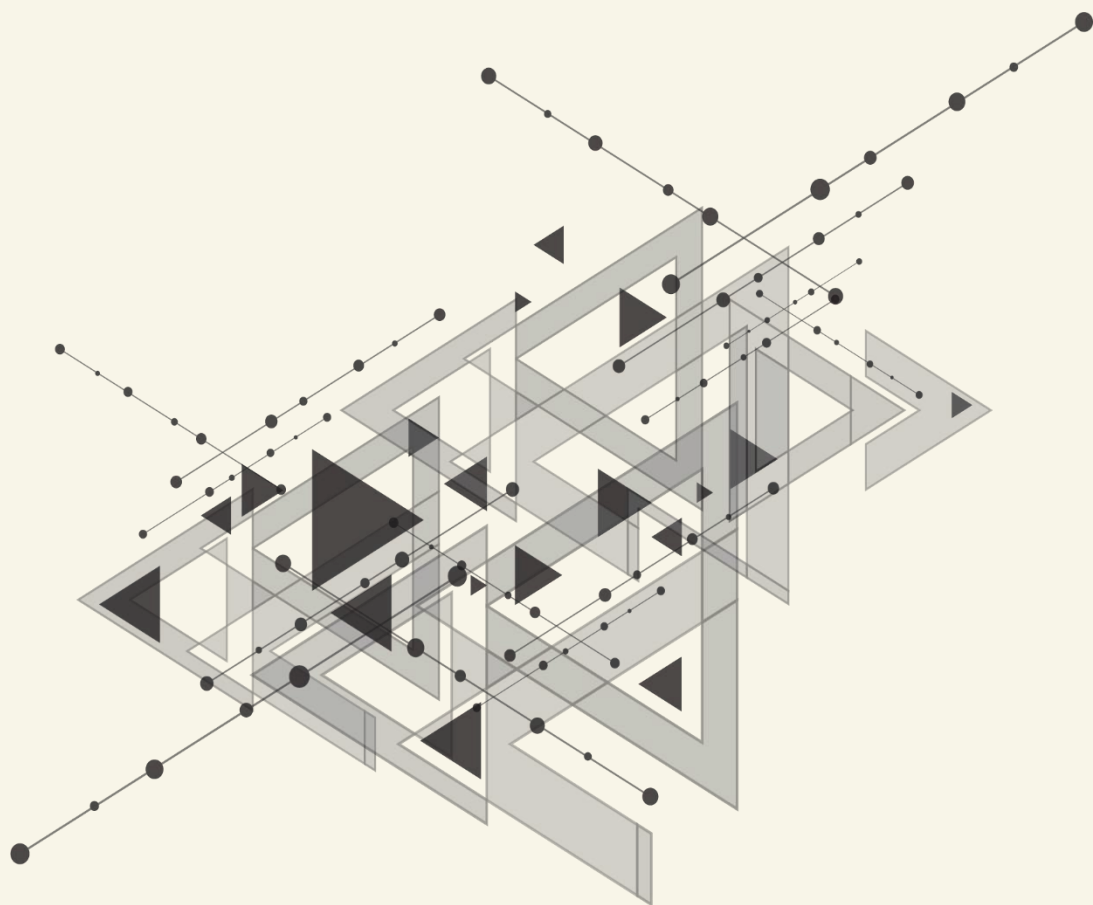
CAD/CAM 是计算机图形学在工业界最广泛、最活跃的应用。计算机图形学被用来进行土建工程、机械结构和产品的设计，包括设计飞机、汽车、船舶的外形和发电厂、化工厂等的布局以及电子线路、电子器件等。CAD 是基于工程图纸的三维形体建模。三维形体建模就是从二维信息中提取三维信息，通过对这些信息进行分类、综合等一系列处理，在三维空间中重新构造出二维信息所对应的三维形体，恢复形体的点、线、面及其拓扑关系，从而实现形体的重建。

在电子工业中，计算机图形学应用到集成电路、印刷电路板、电子线路以及网络分析中有很大的优势。复杂大规模的集成电路版图依靠手工设计和绘制是不可能的，但运用计算机图形系统既可以进行设计和画图，又可以在较短的时间内完成并把其结果直接送至后续工艺进行加工处理。

在飞机工业中，美国波音公司已经运用 CAD 系统实现波音 777 飞机的整体设计和模拟，包括飞机外型、内部零部件的安装和检验等，使其设计制造成本下降百分比大于 30%。

6 trend

趋势篇



6. 趋势篇

随着 AI 时代的来临，计算机图形学与 AI 结合取得了许多突破性发展，并且有了全新的发展趋势，下文对计算机图形学未来的发展趋势进行简单预测与介绍。

(1) 采集趋势

目前，图像视频等二维数据的采集很方便，使用照相机、摄像机即可以进行采集，但是采集三维数据却没有一个便携的采集设备，随着采集设备的不断进步，预测图形学在三维数据采集方面会有一个集中的爆发。

(2) 技术本身

就图形学的技术本身而言，有很多问题没有解决，例如图形学中很重要的一个内容——绘制，包括物理仿真，其本质是在计算机中再现三维世界，使得模拟更为逼真。但是逼真效果和速度之间有很大的鸿沟。举一个简单的例子，许多 3D 电影中观众看到的效果和真实照片很接近，但是这一效果的实现需要后台艺术家前期做大量的工作，越是逼真的效果渲染速度越慢，要达到同时做到实时速度和完全逼真的目标，还有很长的路要走。

(3) VR（虚拟现实）/AR（增强现实）

虚拟现实/增强现实的技术和产品目前发展势头正强，但是大多数产品是雷声大雨点小。例如 Google Glass 和微软的 HoloLens 仍然有许多要改进的地方，更大程度上使用意义并不高。如何真正实现视觉技术和图形学技术的结合，真实世界和虚拟世界的结合是这类虚拟现实产品需要考虑的问题。

(4) AI 结合

AI 热潮席卷而来，计算机图形学与传统的 AI 技术相结合，如深度学习、神经网络、运用于图形学中建模绘制的技术，在图像的补全和仿真上有着举足轻重的作用。以往图形内容的生成需要艺术家和工程师大量的交互和手工劳动。近年来，随着机器学习和数据的增多，如何利用数据驱动的方法，快速方便地生成高质量的图形内容也将成为图形学研究的热点。

(5) 城市级别

大场景的获取和展现将会成为计算机图形学的一个发展趋势。例如 Google 地图、腾讯街景等目前只是利用上传或捕捉的图片进行展示，更多的是非动态的图片，是图像之间的过渡，并非三维场景的完美再现，并不能使用户实现真正的身临其境，完全逼真。随着各种硬件及算法的不断发展，城市级别大场景的获取和展现有着更好实现的可能。

参考文献

- [1] Foley J D 计算机图形学导论[M] 董士海译 北京: 机械工业出版社
- [2] 孙家广 胡事民 计算机图形学基础教程[M] 北京: 清华大学出版社 2005
- [3] 何援军 论计算机图形学的若干问题 [J]
- [4] 何援军.计算机图形学 [M] 北京:机械工业出版社 2006
- [5] 刘永进 中国计算机图形学研究进展 [J] 2016
- [6] Hanson Robotics.We bring robots to life[EB/OL].2016: 05-29
- [7] 赵国朕, 宋金晶,葛燕等.基于生理大数据的情绪识别研究进展[J].计算机研究与发展,2016,53(1):80-92
- [8] Fu C W, Song P, Yan X Q Computational interlocking furniture assembly[J].ACM Transactions on Graphics, 2015, 34(4): Article 91.
- [9] Ren P R, Wang J P, Gong M M Global illumination with radiance regression functions[J].ACM Transactions on Graphics, 2013, 32(4): Article 130
- [10] Wang W M, Wang T F, Yang Z W, Cost-effective printing of 3D objects with skin-frame structures[J].ACM Transactions on Graphics, 2013, 32 (5):Article 177
- [11] Chen X L, Zhang H, Lin J, Dapper: decompose-and-pack for 3D printing[J].ACM Transactions on Graphics, 2015, 34(6):Article 213
- [12] Xu K, Huang H, Shi Y F Autoscanning for coupled scene reconstruction and proactive object analysis[J].ACM Transactions on Graphics, 2015, 34 (6): Article 177
- [13] 罗嘉玲.浅谈计算机技术之计算机动画和计算机图形学[J].黑龙江科技信息, 2016(07).
- [14] 牛成英.浅谈计算机图形学与图形图像处理技术[J].信息化建设, 2016(06)
- [15] 章伟.试分析计算机图形学的应用与发展[J].科技与创新, 2016(19).
- [16] 王义豹.计算机图形原理与编程[M].天津: 天津科学技术出版社,1993
- [17] 孙家广.计算机图形学(新版)[M].北京: 清华大学出版社,1995
- [18] 张彩明, 杨兴强, 李学庆.计算机图形学 [M] 北京: 科学出版社, 2008
- [19] 陈敏雅, 金旭东.浅谈计算机图形学与图形图像处理技术 [J] 民营科技, 2011, 12:62.
- [20] Huang S S, Shamir A, Shen C H, Qualitative organization of collections of shapes via quartet analysis[J].ACM Transactions on Graphics, 2013, 32 (4): Article 71
- [21] Wang R M, Liu L G, Yang Z W, et al. Construction of Manifolds via Compatible Sparse Representations[J].ACM Transactions on Graphics, 2016, 35(2): Article 14
- [22] Li S W, Huang J, de Goes F, Space-time editing of elastic motion through material optimization and reduction[J].ACM Transactions on Graphics, 2014, 33(4): Article 108
- [23] Zhong F, Yang S, Qin X Y, et al. Slippage-free background replacement for hand-held video[J].ACM Transactions on Graphics, 2014, 33(6): Article 199

版权声明

AMiner 研究报告版权为 AMiner 团队独家所有，拥有唯一著作权。AMiner 咨询产品是 AMiner 团队的研究与统计成果，其性质是供用户内部参考的资料。

AMiner 研究报告提供给订阅用户使用，仅限于用户内部使用。未获得 AMiner 团队授权，任何人和单位不得以任何方式在任何媒体上（包括互联网）公开发布、复制，且不得以任何方式将研究报告的内容提供给其他单位或个人使用。如引用、刊发，需注明出处为“AMiner.org”，且不得对本报告进行有悖原意的删节与修改。

AMiner 研究报告是基于 AMiner 团队及其研究员认可的研究资料，所有资料源自 AMiner 后台程序对大数据的自动分析得到，本研究报告仅作为参考，AMiner 团队不保证所分析得到的准确性和完整性，也不承担任何投资者因使用本产品与服务而产生的任何责任。