计算机动画

金小刚

Email: jin@cad.zju.edu.cn

浙江大学CAD&CG系统全国重点实验室，紫金港校区蒙民伟楼512

课件: http://www.cad.zju.edu.cn/home/jin/3danimationcourse/3danimation.htm

学在浙大访问链接: https://courses.zju.edu.cn/course/join/L3FCJ67FOE5

@Copyright Xiaogang Jin

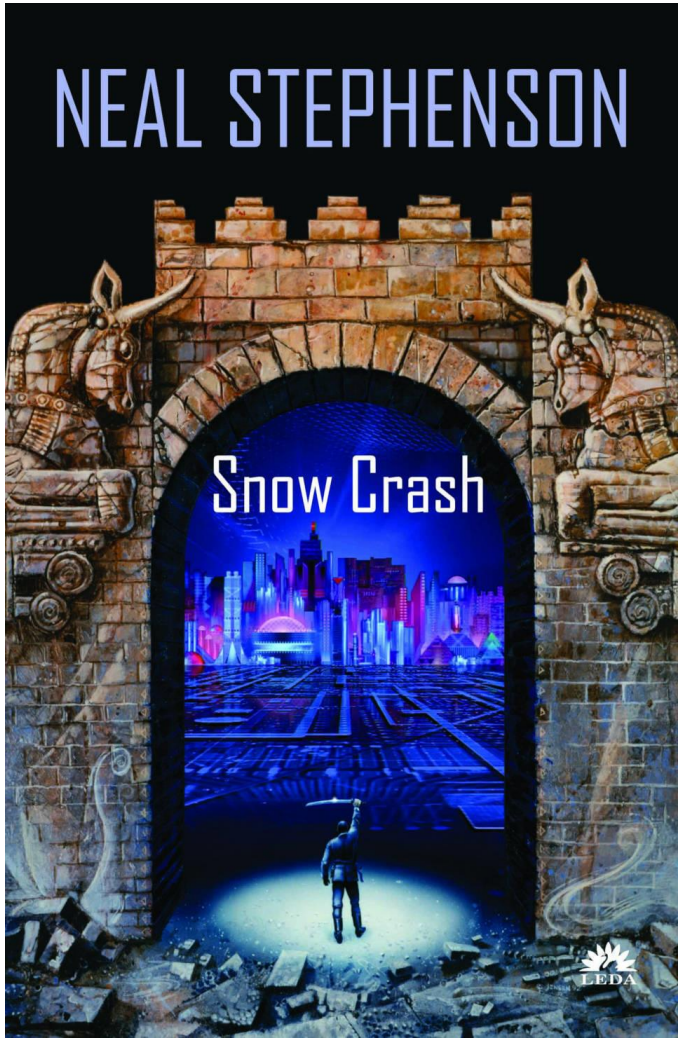
「人的感知」物理世界

「虚拟世界」与物理世界

计算机图形学

「图形与元宇宙」名字来源

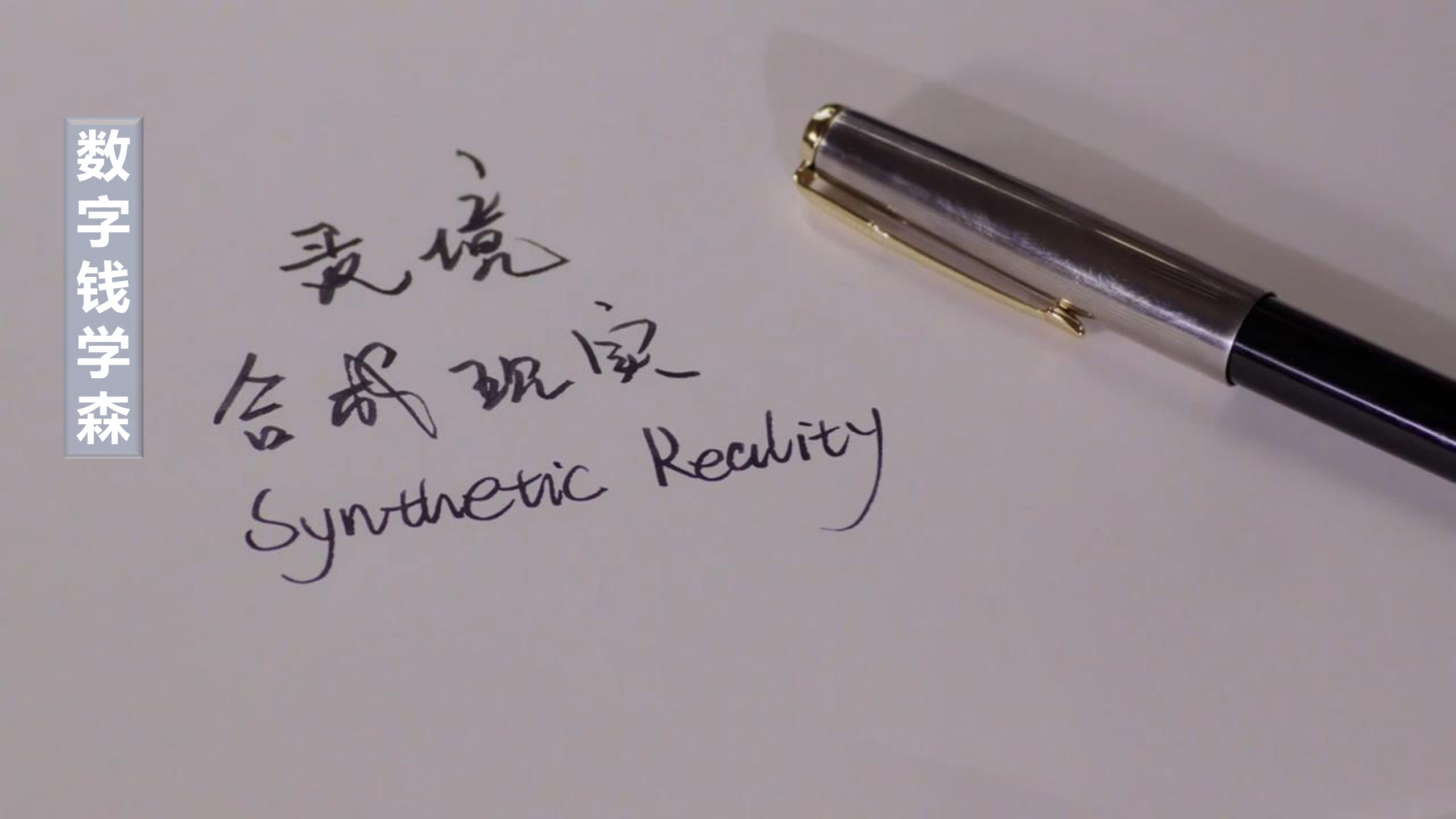
- **1992年**，美国作家尼尔·**斯蒂芬森**出版了一本名为**《雪崩》(Snow Crash)**的**科幻小说**
- 作者靠奇特的想象力构建了一个平行于现实世界的网络世界，并将其命名为“**Metaverse**”
- 所有现实世界中的人在metaverse中都有一个对应的**化身**(Avatar)
- Metaverse：就是现在所称的**元宇宙**



「图形与元宇宙」雪崩

在《雪崩》中，元宇宙**由现实与虚拟混合而成的数字世界**，主人公**戴上眼镜和耳机**，连接电脑，就能进入一个虚构空间。它平行于现实世界，但拥有**完整社会**、**经济**和**价值体系**的三维数字空间，具有**去中心化**特征，有一套与现实**相似的运作规则**——土地可以开发，做生意需要钱和许可证，人们在这个世界有分身，可娱乐、交易、生活。

数字钱学森



「2019年图灵奖」没有他们，就没有《玩具总动员》

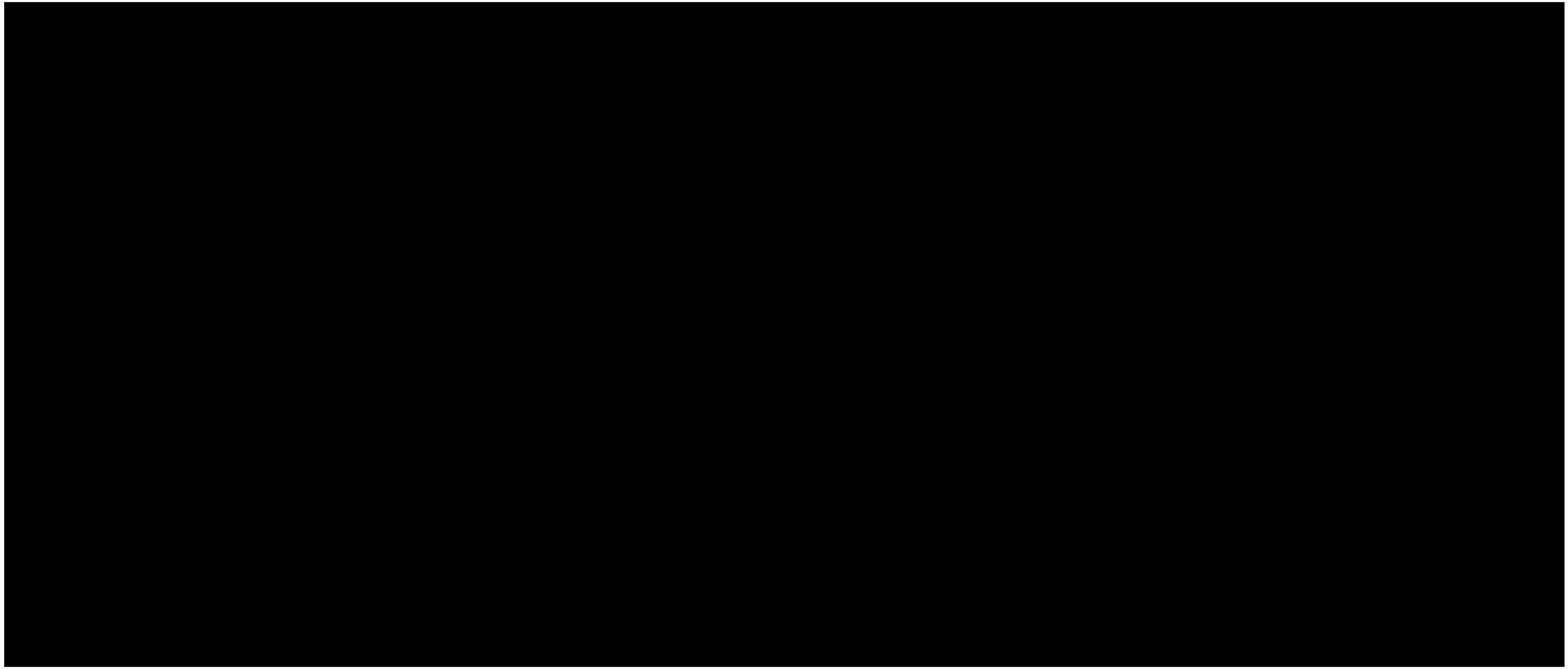
2019 ACM A.M. Turing Award

AWARDS & RECOGNITION

ACM Announces 2019 Turing Award Recipients

2020年3月18日，美国计算机学会ACM）公布了2019年的图灵奖获得者，他们分别是斯坦福大学计算机图形学实验室教授Patrick M. Hanrahan以及计算机科学家、皮克斯动画工作室联合创始人Edwin E. Catmull，以表彰他们对 3D 计算机图形学的奠定性贡献。

Pixar片头



动画(Animation)

- **‘animate’ == ‘to give life to’**
- 移动不能自己移动的物体
- 在图形上加上时间这一维度
- 动画师指定物体如何在时间或空间域上移动

动画形成的视觉原理

- 所谓动画，就是指通过以每秒若干帧的速度顺序地播放静止图像帧以产生运动错觉的艺术。

- 动画利用了人的视觉残留这一特点，即上个画面的残留还未消失，下一个画面又进入视觉，这样循环往复，在人的眼中形成动态的画面。

动画形成的视觉原理——西洋镜

1831年，法国人William George Horner(威廉·乔治·候纳)发明了zoetrope(西洋镜)。把画好的图片按照顺序放在机器的圆盘上，圆盘可以在机器的带动下转动。这部机器还有一个观察窗，用来观看活动图片效果。在机器的带动下，圆盘低速旋转。圆盘上的图片也随着圆盘旋转。从观察窗看过去，图片似乎动了起来，形成动的画面，这就是原始动画的雏形。起初候纳称这种机器为Daedatalum，但是后来法国发明家Pierre Desvignes将它改名为西洋镜——zoetrope(词根zoe表示动物生活，trope表示转动的事物)。

动画形成的视觉原理——动画演示

传统卡通动画(Cartoon)

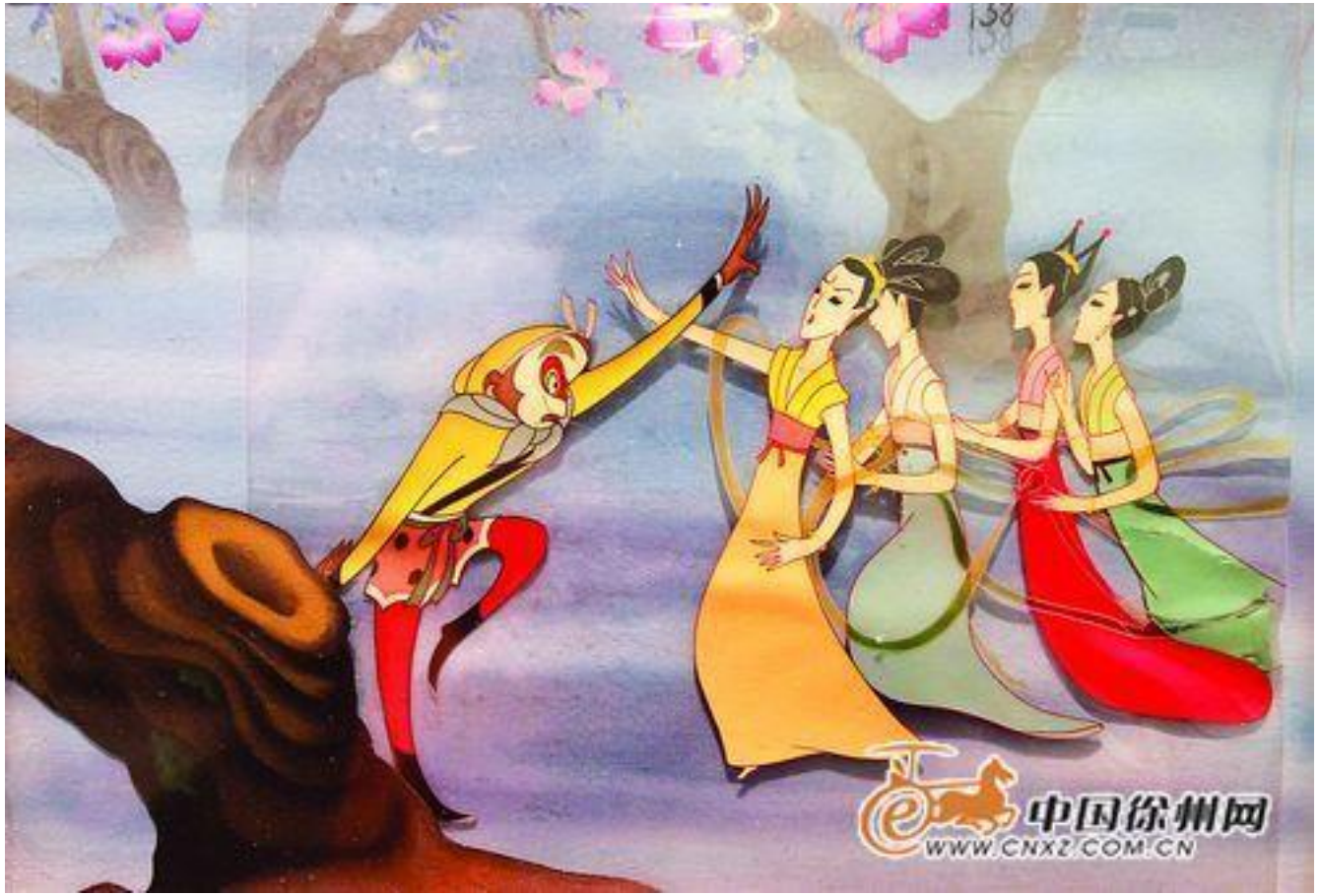
日本：《聪明的一休》

中国：《大闹天宫》

传统卡通动画(Cartoon)

《猫和老鼠》

传统手工卡通动画制作



非常珍贵的《大闹天宫》赛璐璐片

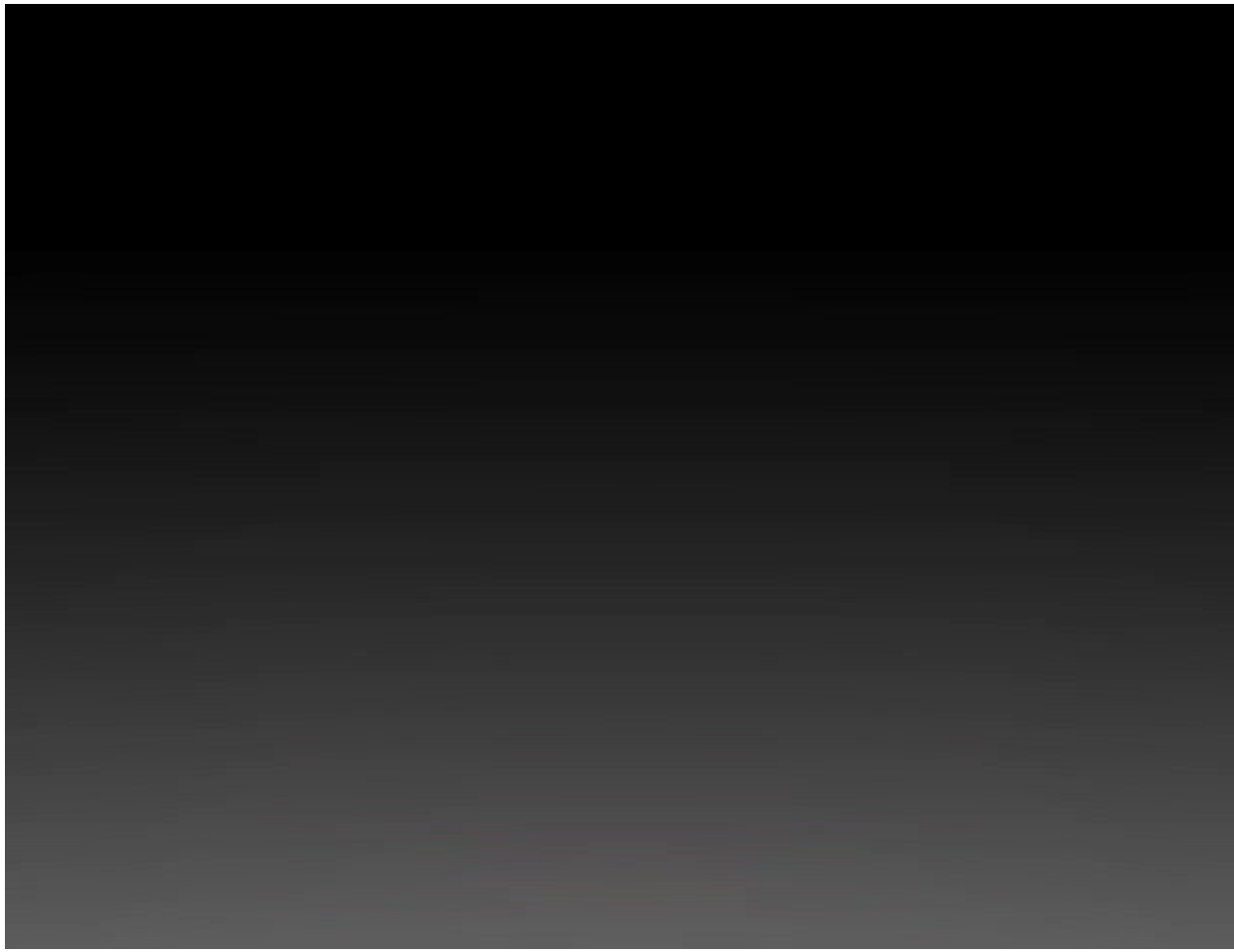
先由动画设计师用手工方式在塞璐路片(一种可以覆盖到背景上的透明胶片)上画好画面，与背景画面合成后，通过连续拍摄存贮在胶片上。

传统手工卡通动画制作流程

- 故事 →剧本→人物造型→原画→ 动画 →动检（检查出动作的流畅性等）→描线 →上色→色检→拍摄 →后期制作；
- 传统动画需要大量的劳动力和繁琐的手绘工作；
- 《大闹天宫》是我国第一部彩色动画长片，由上海美术电影制片厂历时4年完成，此片放映时间达117分钟，共绘全长3140米的15,4000张画面！
- 解决办法：**计算机动画!**

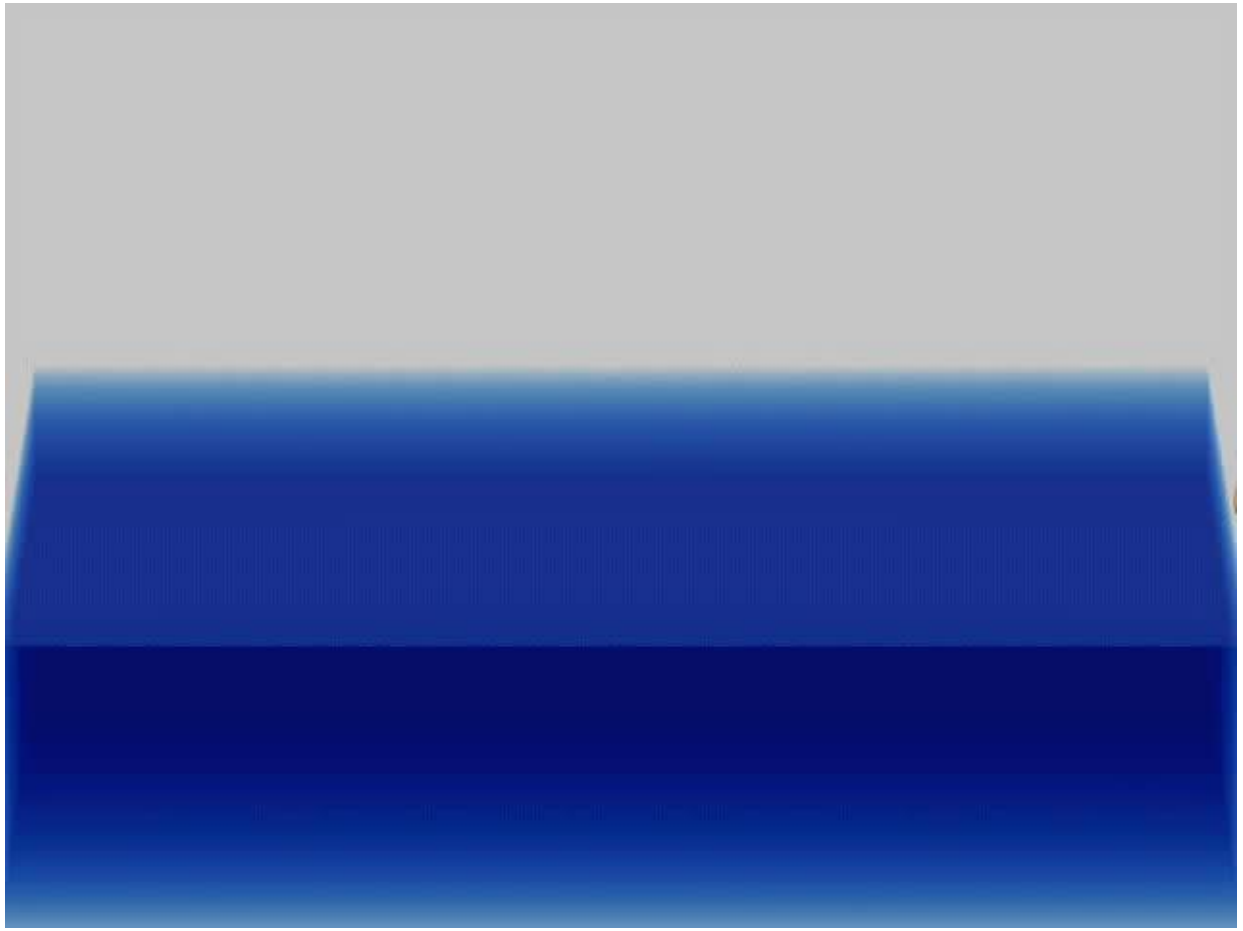
采用计算机动画，可以比较容易地制作传统动画难以制作的动画！

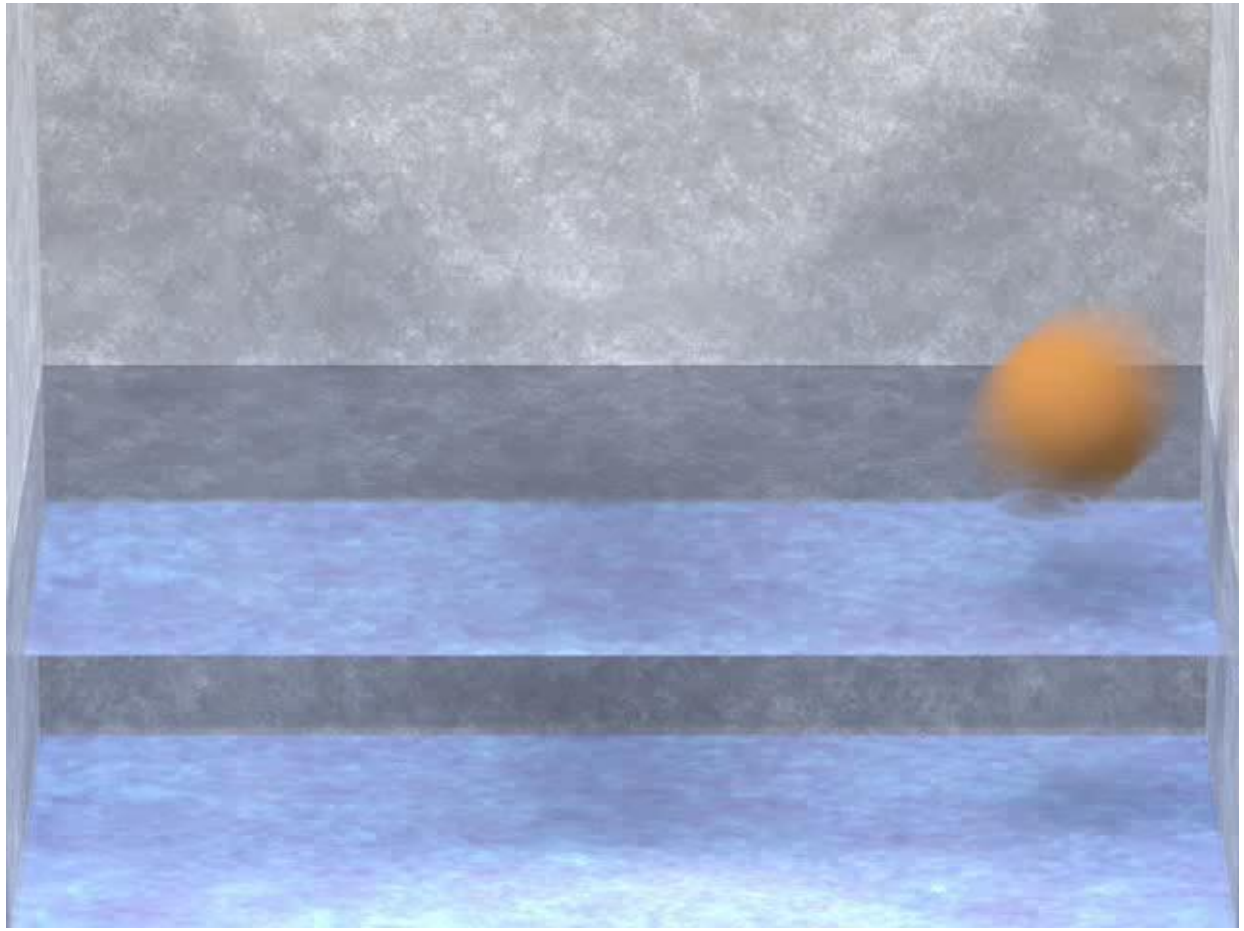
火、烟



Ronald Fedkiw

水





Ronald Fedkiw

衣服

Kwang-Jin Choi and Hyeong-Seok Ko, SIGGRAPH 2002

Linctex, 2019年

东京原宿大街裸眼大屏：Style3D携知名设计师Anna Choi亮相东京乐天时装周（2024）

群组行为

狮子王(1994)

《2012》特效制作花絮-洛杉矶地震

计算机动画

- 计算机动画是图形学和艺术相结合的产物。它综合利用计算机科学、艺术、数学、物理学和其它相关学科的知识用计算机生成绚丽多彩的连续的虚拟真实画面。

- 给人们提供了一个充分展示个人想象力和艺术才能的新天地。

- 计算机动画得以迅速发展，并形成一个巨大的产业，与影视、游戏的重大需求和推动是密不可分的。

- 1993年，电影《侏罗纪公园》采用计算机特技和动画技术制作的恐龙片段获得了该年度的奥斯卡最佳视觉效果奖。
- 1996年，世界上第一部完全用计算机动画制作的电影《玩具总动员》上映，该片不仅获得了破记录的票房收入，而且给电影制作开辟了一条新路。
- 《泰坦尼克号》 (1998年)：船的远景、海水、船翻沉时乘客的落水镜头等。
- 美国沃尔特·迪斯尼公司预言：21世纪的明星将是一个听话的计算机程序。从而不再有艺术上的争执，不再要求成百上千万美元的报酬或头牌位置。

www.mtime.com
时光网
Mtime
www.mtime.com

国产电影：《西游·降魔篇》

国产电影：《西游·降魔篇》

《西游·降魔篇》票房收益

- 2013年2月10日内地上映首日获7685万元票房，刷新华语片首日票房纪录。两日累计1.51亿元，三天票房突破2.2亿元。从大年初一到初六《西游·降魔篇》上映6天票房突破5亿元。[2013年4月8日影片在国内影院全面下线，内地总票房12.45亿]

- 2013年3月21日，《西游·降魔篇》全球累计票房已达2.15亿美元，刷新了由《卧虎藏龙》创下的2.13亿美元的华语片全球票房纪录，成为当年全球最卖座的华语电影。

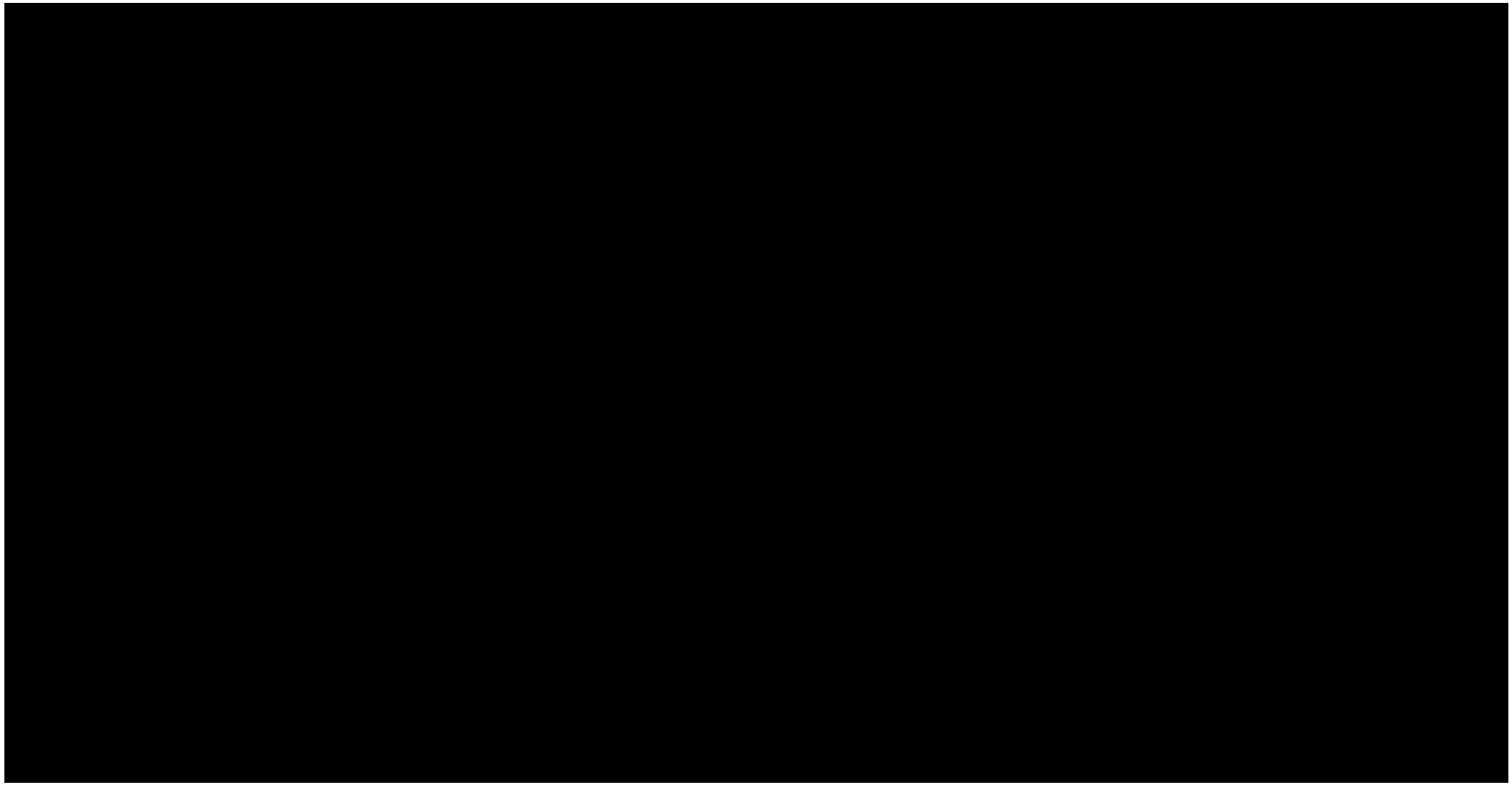
国产电影：《美人鱼》

《美人鱼》票房收益

33.91亿元

(2016年前内地电影票房总排行榜**第1**，历史第17)
https://piaofang.maoyan.com/rankings/year

《美人鱼》特效



艺术与技术的结合

- 艺术的美需要技术来恰当表达。
- 动画片的创作不以技术来论长短，用合适的技术来表达动画的美才是最重要的。
- **三维计算机动画是艺术与技术的完美结合！**
- 艺术创作要跟上技术的潮流。

计算机动画最为大家熟知的应用
——影视特技

- 看过《魔鬼终结者II》(1991年）的观众，一定会对片中那个打不死的液态金属人T1000留下极深刻的印象。由科技创造出来的角色成了好莱坞大片的票房卖点，并成为观众观赏电影的主要驱动力之一。这个计算机特效在电影中成功应用的典范，带动了90年代美国电影广泛导入计算机动画技术的潮流。

影视特技

- 其它电影
  - 《侏罗纪公园》、《泰坦尼克号》、《恐龙》、《海底总动员》、《指环王》、《加菲猫》、《变形金刚》、《2012》、《阿凡达》等优秀电影。

- 影视业高质量画面、高艺术水准、大胆的想象、大投资、紧迫的拍摄进度等极大地刺激了图形学研究的进一步深入。

计算机动画在影视特技起到什么作用?

- 现实世界中**无法拍摄到**的，如恐龙、变形金刚、阿凡达、…

- 现实世界中可拍摄到的，但

  - **成本太高和太危险**的，如龙卷风、核爆炸、地震、大规模人群、…

《恐龙》剧照

《海底总动员》剧照

《泰坦尼克号》剧照

《金刚》

《蜘蛛侠3》剧照

TRANSFORMERS
MEGATR
Beijing ww.com

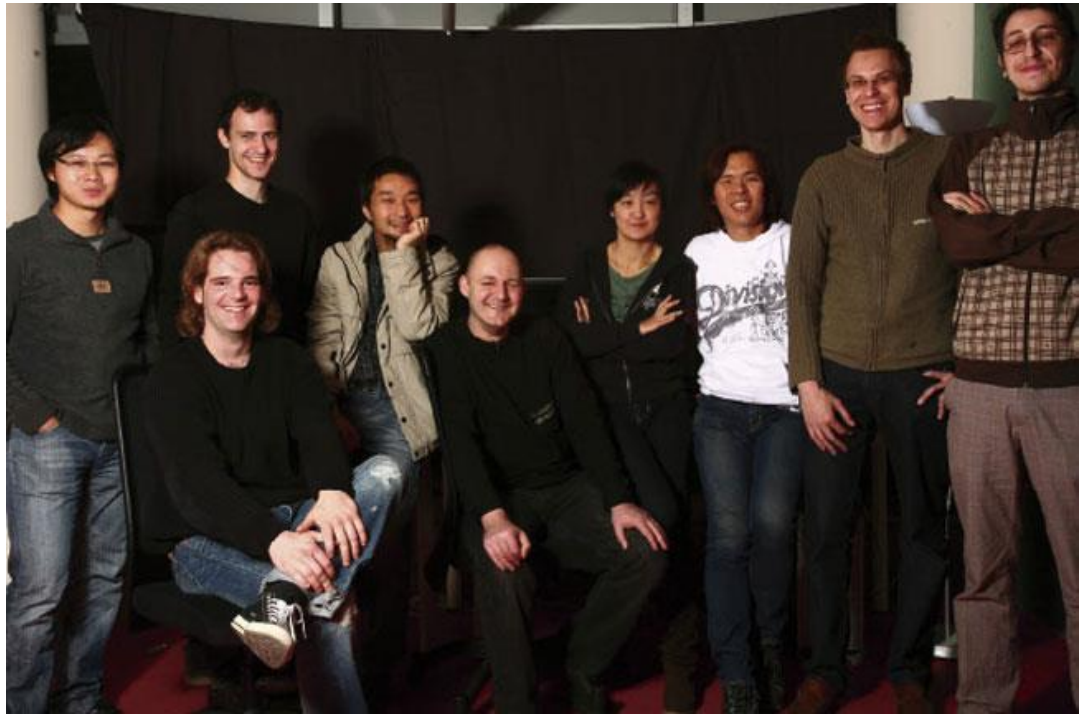
PROTECT
TRANSFORMERS
7.4.7

《变形金刚》

《尼斯湖怪：深水传说》剧照

《地心引力》剧照

狼图腾
WOLF TOTEM
2D & 3D
中国巨幕
2015.2.19
大年初一 全国上映
情人节当天 特别放映

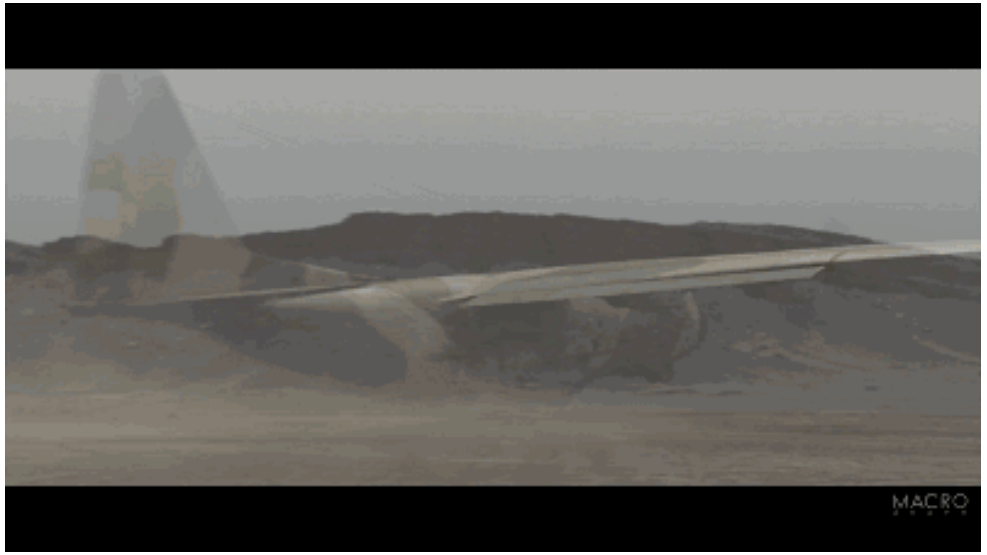


PIXOMONDO
VISUAL EFFECTS
LOSERS

@北京露米埃动画制作
weibo.com/u/5295491533

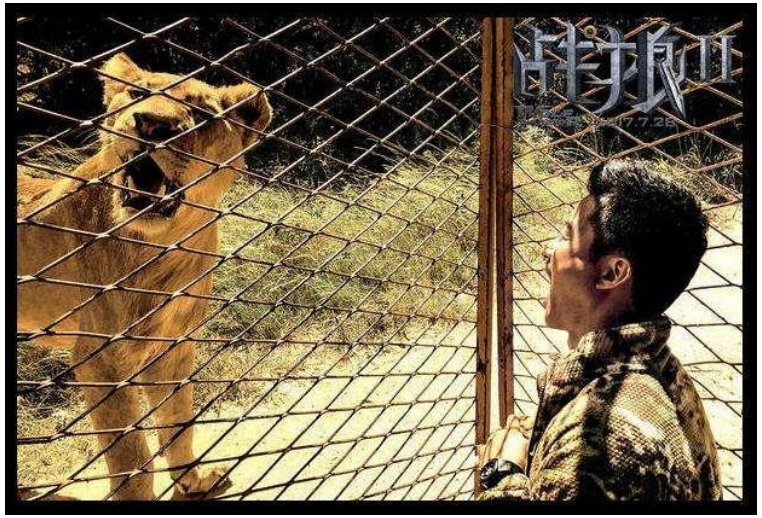
@北京露米埃动画制作
weibo.com/u/5295491533

@北京露米埃动画制作
weibo.com/u/5295491533



《红海行动》特效

《战狼2》中有1500多个特效镜头



刘德华
朱顾惠滨
王智
宁理
沙溢
李雪健
吴京
郭帆 刘慈欣
流浪地球
A FRANTGWO FILM
THE WANDERING EARTH II
2023
大年初一
CINITY
IMAX
CGS 中国巨幕
Dolby Cinema
Dolby Atmos
GDC
4DX
D-BOX
MX4D
WANOS 全景声

【泰坦尼克号】金奖导演詹姆斯·卡梅隆 革新影史巨作
2010年开篇之作 传奇呈现
超越想像 新世界
阿凡达
AVATAR
3D和IMAX3D也将同时上映
WWW.AVATARMOVIE.COM
昵图网 www.nipic.com BY:水中鱼儿
NO:20091215144331478096

AVATAR

《阿凡达》预告片

- 《阿凡达》(Avatar)是一部科幻电影，由著名导演**詹姆斯•卡梅隆**执导，二十世纪福克斯出品，该片有2D、**3D**和**IMAX-3D**三种制式供观众选择。
- 影片的预算超过5亿美元，成为电影史上预算金额最高的电影。

《阿凡达》的一些第一

- ✓ **全球票房：$29.237亿美元**

http://www.piaofang.biz/

- ✓ **全球电影票房历史排名第一**
- ✓ 北美票房：$7.85亿美元
- ✓ 北美电影票房历史排名第一
- ✓ 北美第一部票房突破7亿美元的影片
- ✓ 海外票房：$21.38亿美元，占总票房的73.1%
- ✓ 影史海外票房第一
- ✓ **《阿凡达2: 水之道》23.2亿，排名第3**

《复仇者联盟4：终局之战》(历史第二)

- ✓ 全球票房：$27.99亿美元

课程讲什么内容?

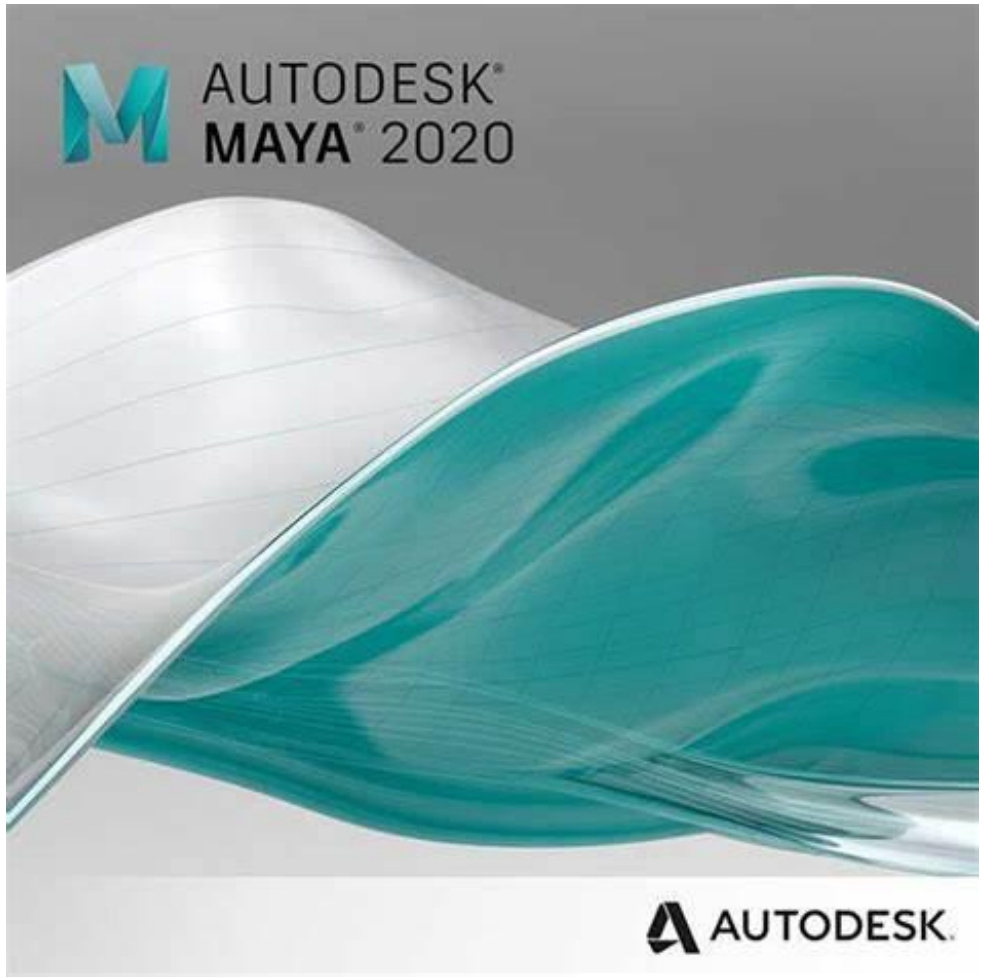
- 讲授计算机动画背后原理和算法：数学原理、物理原理等。

- 但是**掌握一门动画软件对动画的研发具有重要作用！**如Maya、3D Studio Max 、Lightwave、Blender等动画软件。

常用动画软件

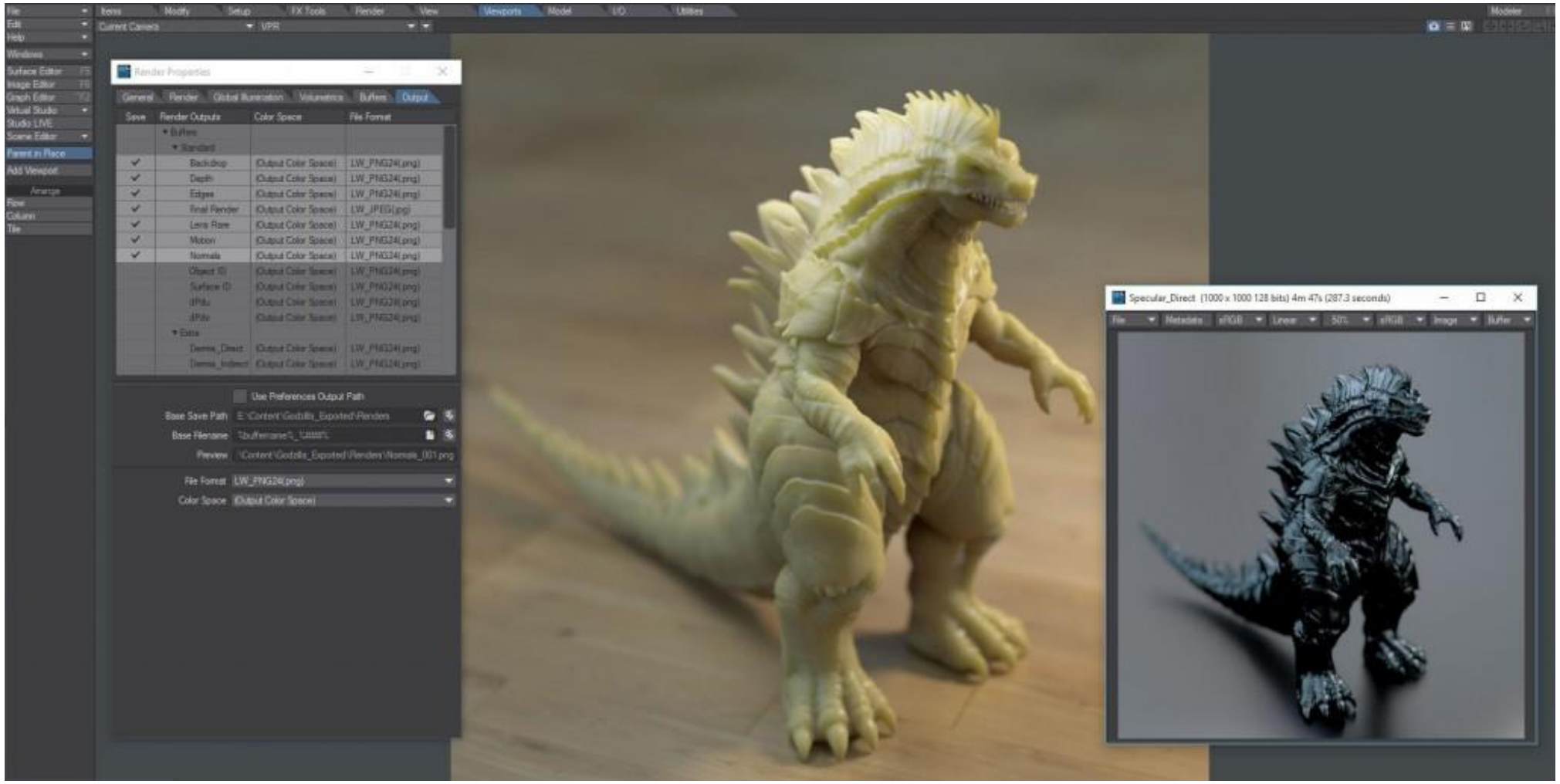
- Autodesk 3ds Max
- Autodesk Maya
- Houdini
- Poser
- Cinema 4D
- LightWave 3D
- MotionBuilder
- Blender

Autodesk Maya



Autodesk 3ds Max

Lightwave 3D



Renderman (Pixar)

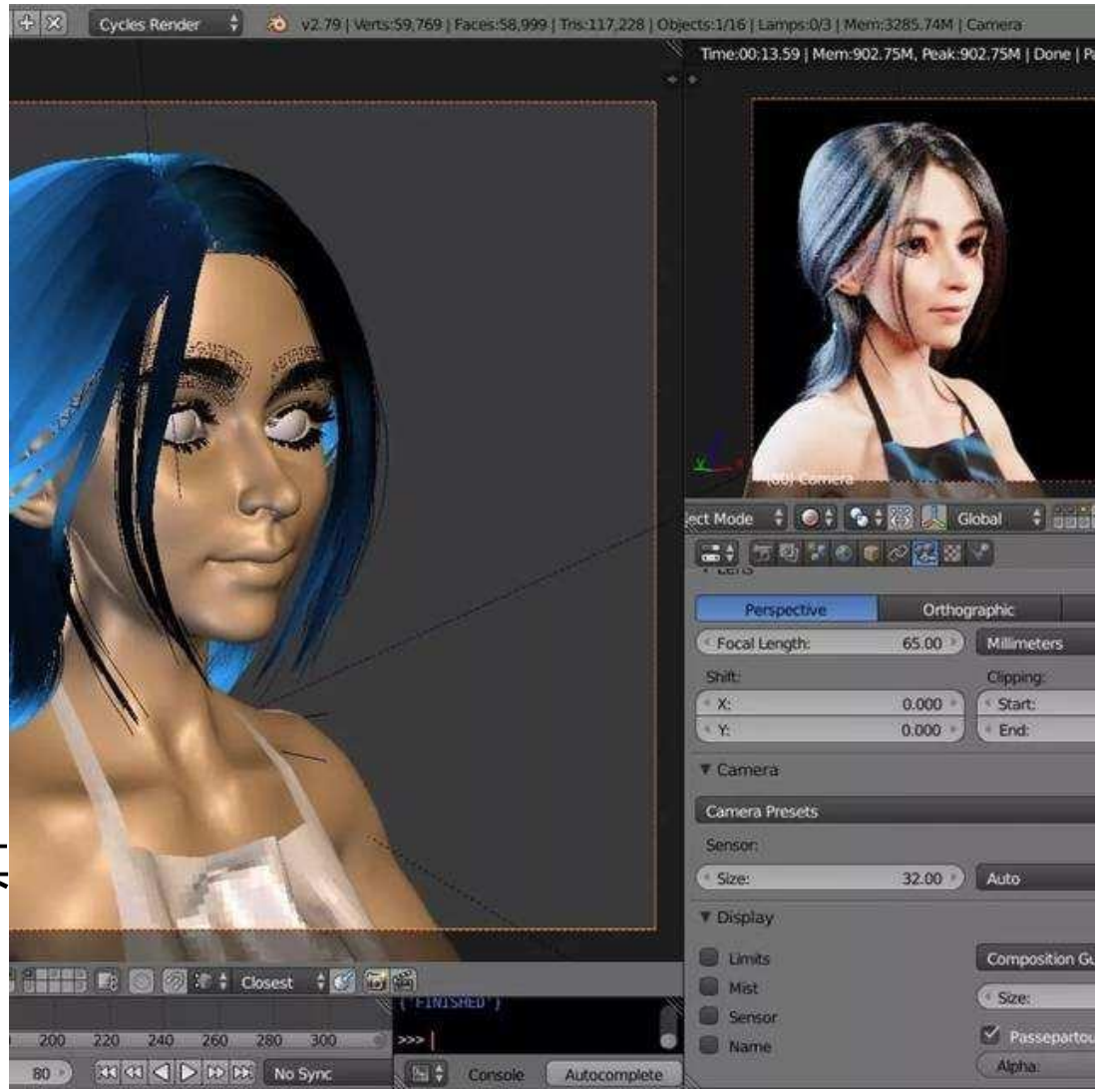
- RenderMan以其高超的渲染质量和及其快速的渲染能力被广泛应用在高端动画生产制作过程中。在当今的动画电影和影视特效等高端领域，RenderMan是必不可少的一个渲染解决方案（另一个高端解决方案是著名的Mental Ray渲染器），世界上许多著名制作公司象ILM和Sony等都使用它作为作为渲染的最终解决方案之一。 http://renderman.pixar.com/

Blender

- Blender是一套跨平台的开源动画软件，支持FreeBSD，IRIX，GNU/Linux，Microsoft Windows，Mac OS X，Solaris，及 SkyOS。

- 最初，Blender是荷兰一个影片工作组NeoGeo与Not a Number Technologies (NaN)设计的内部使用软件。但后来其主要设计者Ton Roosendaal于1998年6月将其进一步发展，并对外发布这个软件。

- 在经过债权人同意后，Blender缴付一次性报酬十万欧元后变为自由软件，并以GNU通用公共许可证发布。在2002年7月18日，Roosendaal开始为Blender筹集资金，在2002年9月7日，Blender宣布筹集足够资金，并将其源码对外公布。所以，Blender现在是自由软件，并由Blender基金会维护与更新。

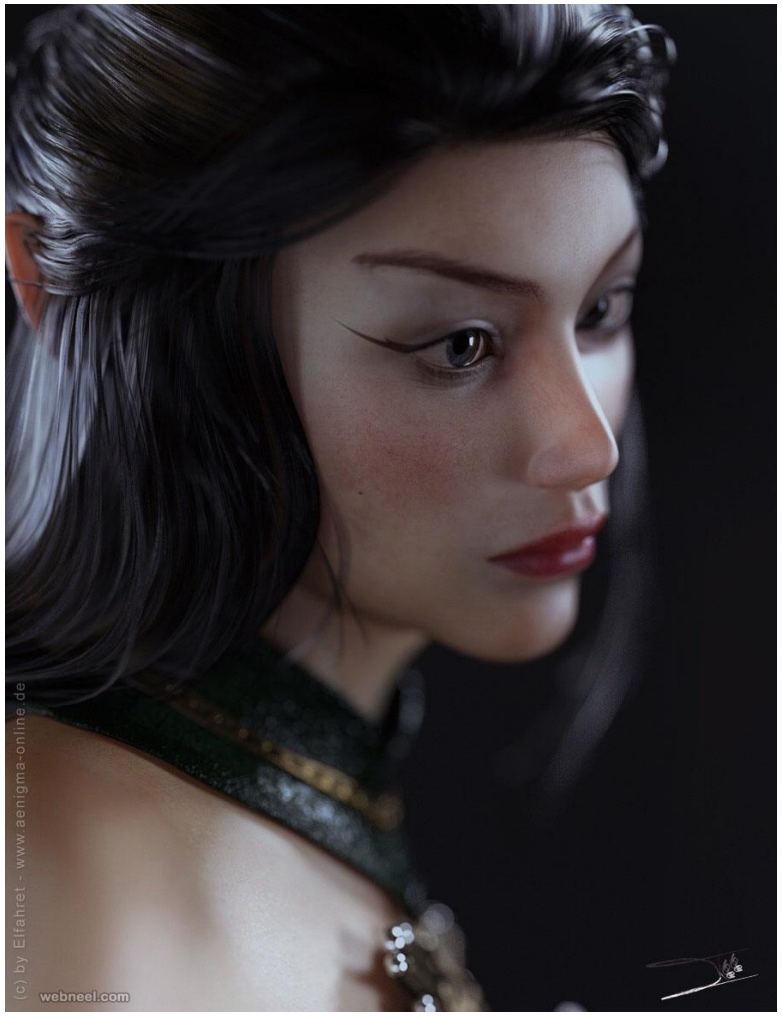


File Edit Render Window Help
Layout Modeling Sculpting UV Editing Texture Paint Shading Animation Rendering Compositing Scripting
Scene
View Layer
Object View Select Add Node Use Nodes Slot 1
View View Image Render Result
Principled BSDF
BSDF
GGX
Christensen-Burley
Base Color
Subsurface: 0.000
Subsurface Radius
Subsurface Color
Metallic: 0.000
Specular: 0.555
Specular Tint: 0.091
Roughness: 0.372
Anisotropic: 0.000
Anisotropic Rotation: 0.000
Sheen: 0.168
Sheen Tint: 0.500
Clearcoat: 0.000
Clearcoat Roughness: 0.186
IOR: 1.450
Transmission: 0.000
Transmission Roughness: 0.000
Emission
Alpha: 1.000
Normal
Clearcoat Normal
Tangent
Material
Material Out
All
Surface
Volume
Displacement
Scene
Render Engine Cycles
Feature Set Supported
Device CPU
Open Shading Language
Sampling
Integrator Path Tracing
Render 3000
Viewport 300
Advanced
Light Paths
Max Bounces
Total 12
Diffuse 2
Glossy 3
Transparency 8
Transmission 12
Volume 1
Clamping
Direct Light 0.00
Indirect Light 10.00
Caustics
Filter Glossy 1.00
Reflective Caustics
Refractive Caustics
Volumes
Hair
Simplify
Motion Blur
Position Center on Frame
Shutter 0.50
Rolling Shutter None
Rolling Shutter Dur.. 0.10
Shutter Curve
Playback Keying View Marker
92
Start: 10 End: 250
0 10 20 30 40 50 60 70 80 92 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250
Select Box Select Pan View Select Box Select
Collection | Cube | Verts:8 | Faces:6 | Tris:12 | Objects:1/3 | Mem: 155.9 MB | v2.80.74

Daz 3D

Daz 3D, is a 3D content and software company specializing in providing rigged 3D human models.

Daz 3D



Vray

- VRay是由chaosgroup和asgvis公司出品的一款高质量渲染软件。VRay是目前业界最受欢迎的渲染引擎。基于V-Ray 内核开发的有VRay for 3ds max、Maya、Sketchup、Rhino等诸多版本，为不同领域的优秀3D建模软件提供了高质量的图片和动画渲染。

Adobe Substance (Painter, Designer, 3D Sampler, 3D Stager)

- 这是一款材质绘制软件神器。

什么是计算机动画?

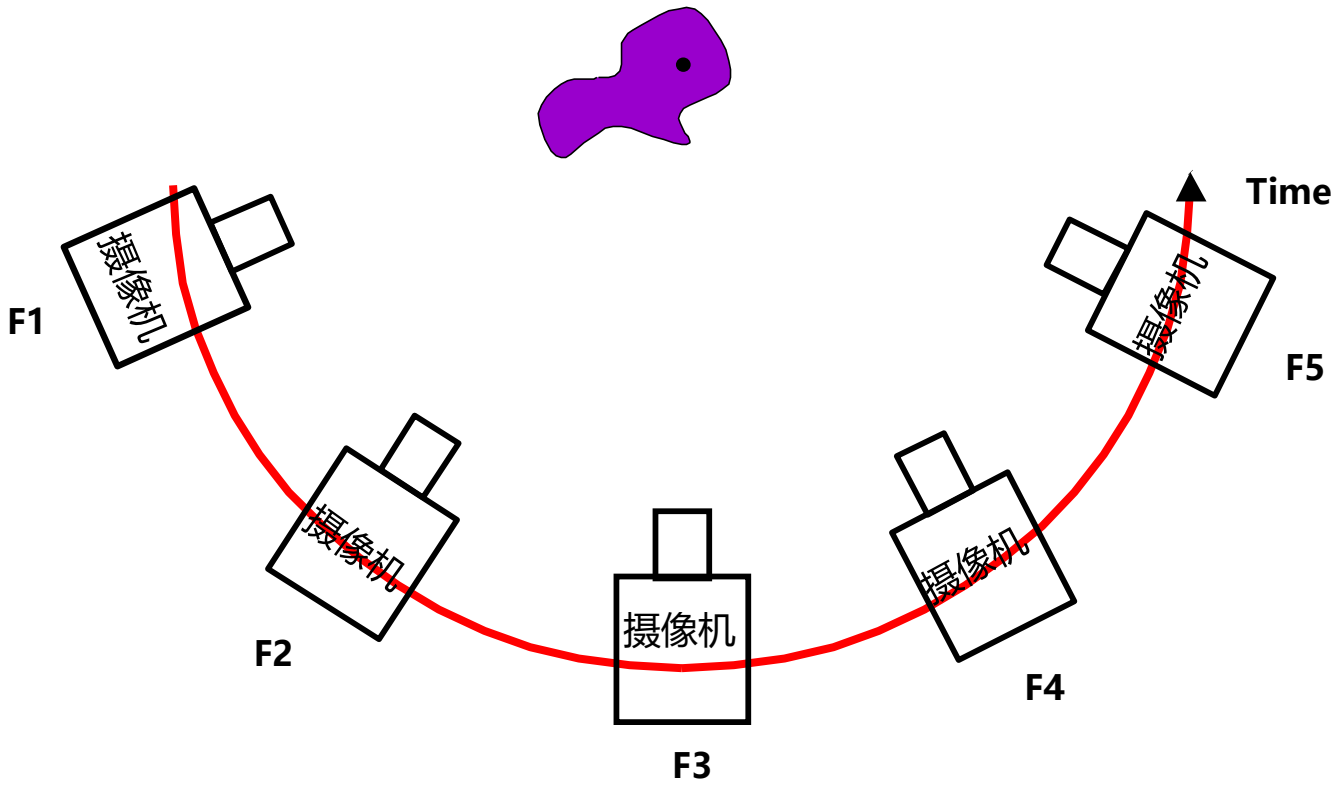
- 计算机动画是指用绘制程序生成一系列的景物画面，其中当前帧画面是对前一帧画面的部分修改。
- 动画是运动中的艺术，正如动画大师John Halas所讲的，**运动是动画的要素。**
- 计算机动画中的运动包括：
  - 景物位置、方向、大小和形状的变化
  - 虚拟摄像机的运动
  - 景物表面纹理、色彩的变化
  - …

计算机动画研究什么?

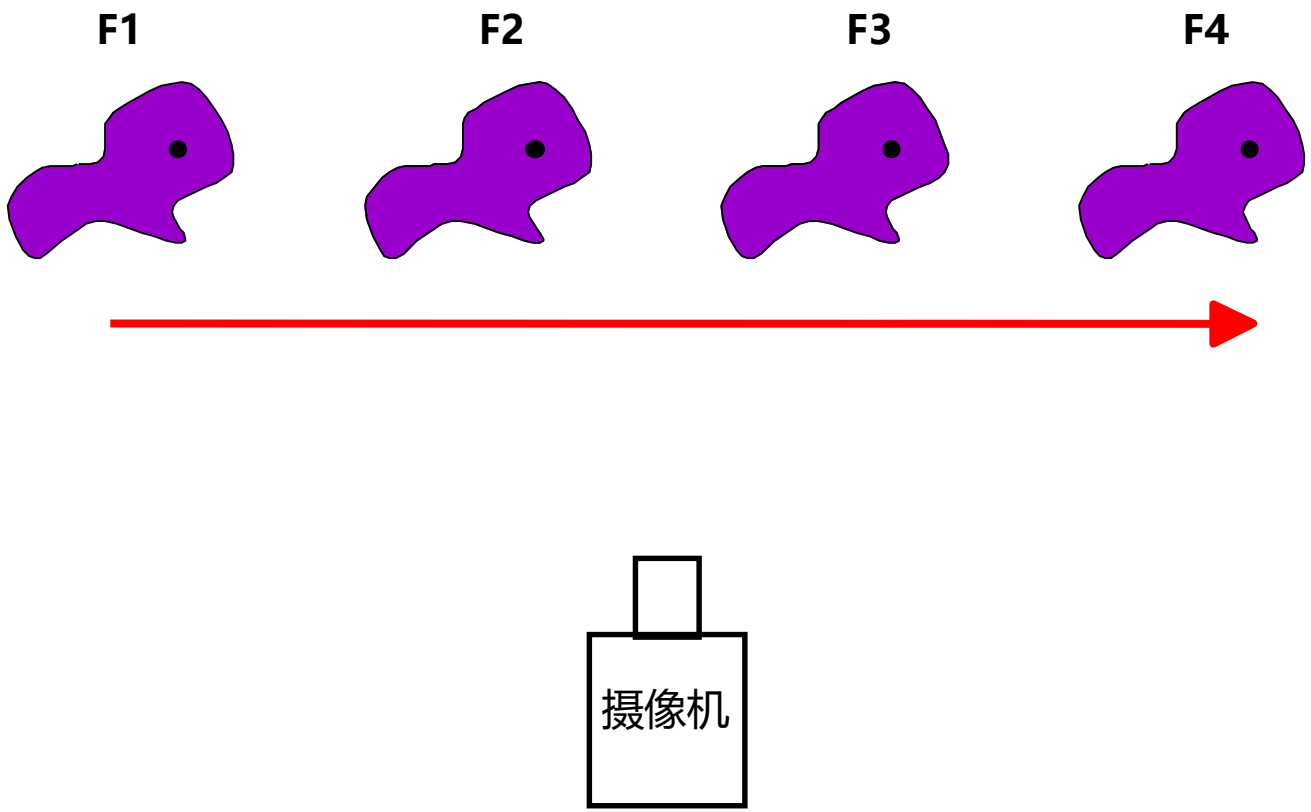
John Halas：运动是动画的要素

- 运动的表示、捕捉、合成、仿真、模拟、编辑、控制、…
- **运动方程的建模**
  - 物理方程、数学方程、……
- **运动方程的求解**
  - 怎么更快、更稳定、更精确、……

例1：物体静止，摄像机在运动



例2：摄像机静止，物体运动

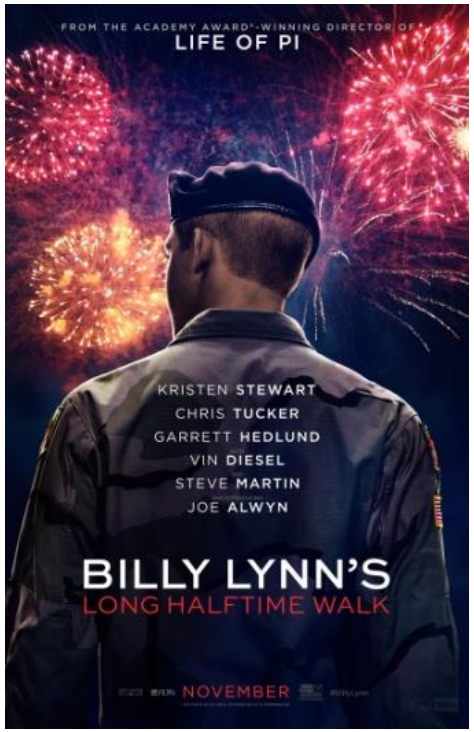


帧(Frame)

- 动画利用了人的视觉残留特性。连续画面的基本单位为单幅静态画面，在图形学和动画中称为一帧(**Frame**)。

帧率(Frames Per Second, fps)

- Film 24 fps
- Imax 48 fps
- NTSC TV 30 fps (interlaced)
- PAL TV 25 fps (interlaced)
- HDTV 60 fps
- Computer ~60 fps
- VR头盔显示器 90HZ
- 李安新片《中场休息》 120fps?



场和制式

- 场（Field）是指图像中隔行扫描的某一半扫描线，分奇场（Odd Field）和偶场（Even Field）。

- 奇偶二场交替显示有效提高了画面变化的连续性，减少了闪烁现象。

- 电视有多种制式，如PAL制、NTSC等。我国和大部分欧亚地区使用PAL制，该制式的播放速度为25帧/秒(50场/秒)；美国和日本使用NTSC制，该制式的播放速度为30帧/秒（60场/秒）。

不同制式的画面分辨率

制式	分辨率
NTSC	645×486
PAL	768×576
Accom NTSC	720×486
Accom PAL	720×576
Abekas NTSC	645×486
Abekas PAL	720×576
HTC Vive Pro 2.0(单眼1440*1600)	2880*1600
1250/50 HDTV	1920×1152
4K超高清电视	3840×2160(4K×2K)
IMAX	4096×2160

动画播放速度

- 使用不同的拍摄或播放速度可以产生特殊的效果。例如:
  - 对快速拍摄的画面采用正常的速度进行播放可以产生慢动作的效果;
  - 对慢速拍摄的画面采用正常的速度进行播放可以产生快动作的效果;

「动画中的“恐怖谷效应”（Uncanny Valley）」

恐怖谷理论(Uncanny Valley)是一个关于人类对机器人和非人类物体感觉的假设，于1969年提出，说明了当机器人与人类相似程度超过一定程度的时候，人类对他们的反应便会突然变得极其反感，即哪怕机器人与人类有一点点的差别都会显得非常显眼刺目，从而整个机器人有非常僵硬恐怖的感觉，有如面对行尸走肉。其中，“恐怖谷”一词由Ernst Jentsch于1906年的论文《恐怖谷心理学》中提出，而他的观点在弗洛伊德1919年的论文《恐怖谷》中被阐述，因而成为著名理论。

Arnold渲染器与Maya集成

「动画中的“恐怖谷效应” (Uncanny Valley)」

《阿丽塔：战斗天使》，2019年2月上映

全片特效渲染动用了30,000台电脑，总耗时4.32亿小时

阿丽塔眼睛的CG模型，有多达900万个多边形，远超《魔戒》中咕噜姆的5万个

「动画中的“恐怖谷效应” (Uncanny Valley)」

「“恐怖谷效应”正在被消除」——虚拟黄仁勋

「AIGC视频」OpenAI首个视频生成模型Sora“比想象中来得更快”

OpenAI发展脉络：文本（ChatGPT）→图像（DALL-E）→**视频?**

- **2024年2月16日**，OpenAI宣布推出全新的生成式人工智能模型“**Sora**”。
- 通过文本指令，Sora可以直接输出长达**60秒的视频**，并且包含**高度细致的背景、复杂的多角度镜头，以及富有情感的多个角色**。
- OpenAI亦表示，Sora是能够**理解和模拟现实世界**的模型的基础，这一能力将是实现AGI（通用人工智能）的重要**里程碑**。

「AIGC视频」OpenAI首个视频生成模型Sora“比想象中来得更快”

Sora到底是什么?

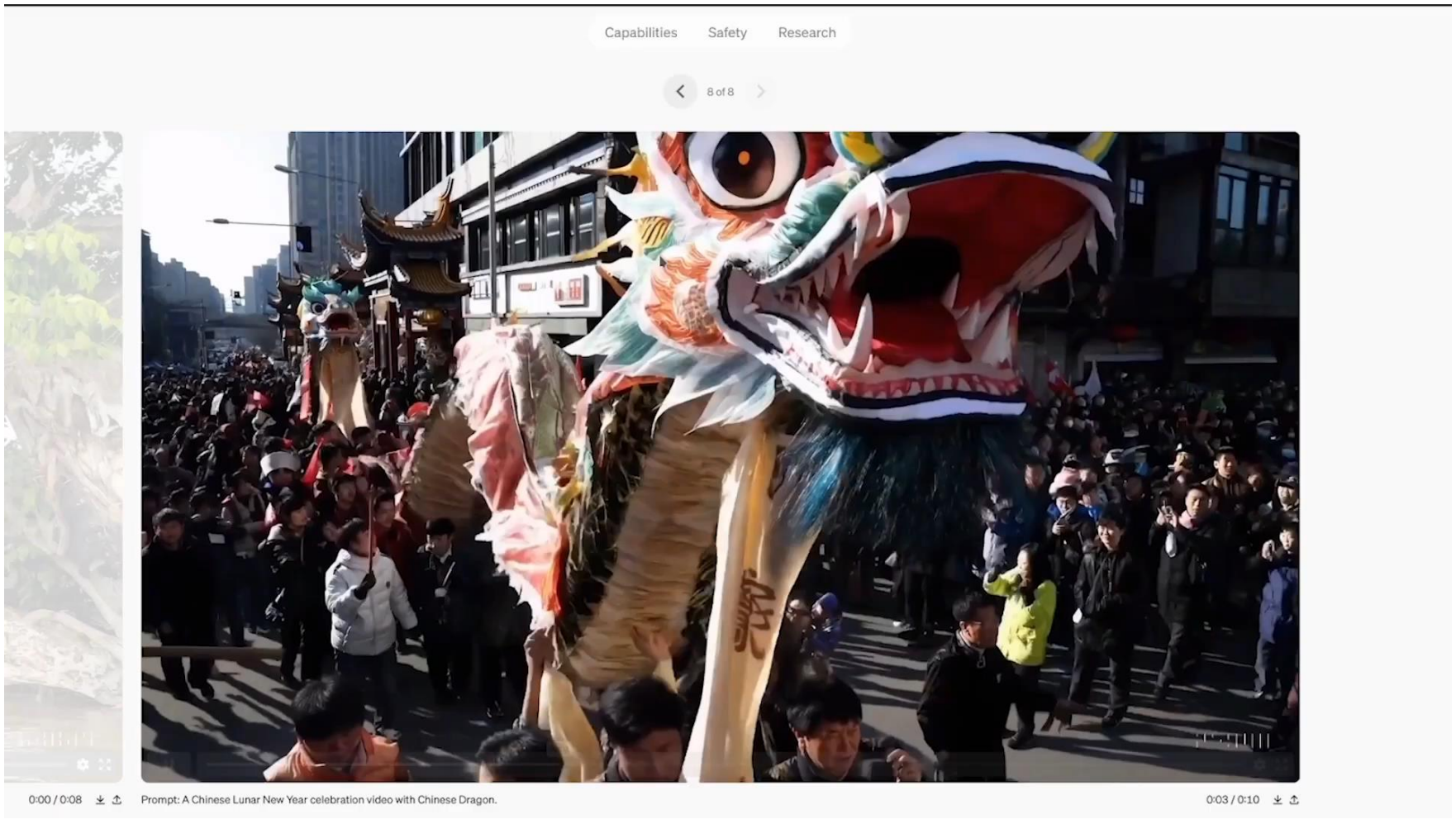
- Sora是一种视频生成模型
- 根据OpenAI介绍，Sora可以根据用户输入的提示词、文本指令或者静态图像，生成长达一分钟的视频。最核心的是，Sora可以实现多角度镜头的自然切换，而且故事的逻辑性和连贯性极佳
- 会给电影行业、广告业、短视频业等领域构成深刻性的影响

「AIGC视频」OpenAI首个视频生成模型Sora“比想象中来得更快”

身着黑皮衣、红裙子的女子在霓虹街头行走，地面有积水的倒影

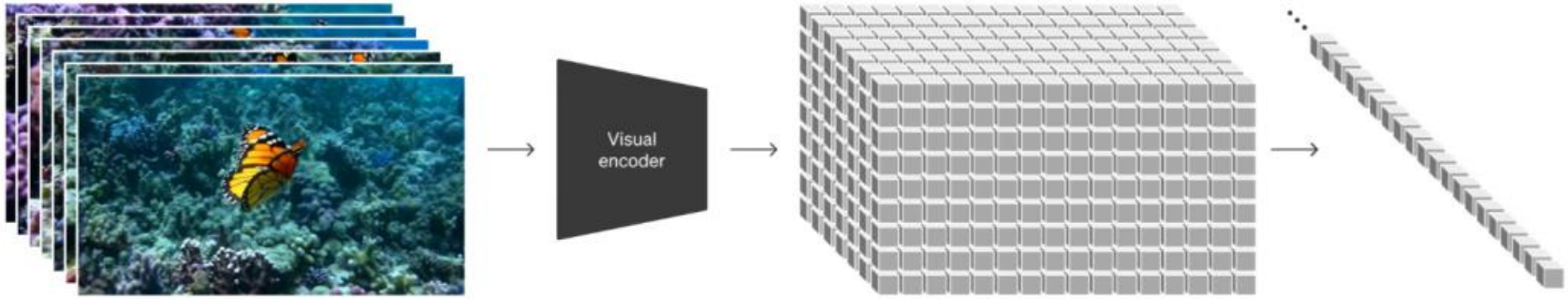
Sora 2月20日最新视频鲜花老虎飞升
和《功夫熊猫》乌龟大师飞升对比

「AIGC视频」OpenAI首个视频生成模型Sora“比想象中来得更快”



Prompt: A Chinese Lunar New Year celebration video with Chinese Dragon

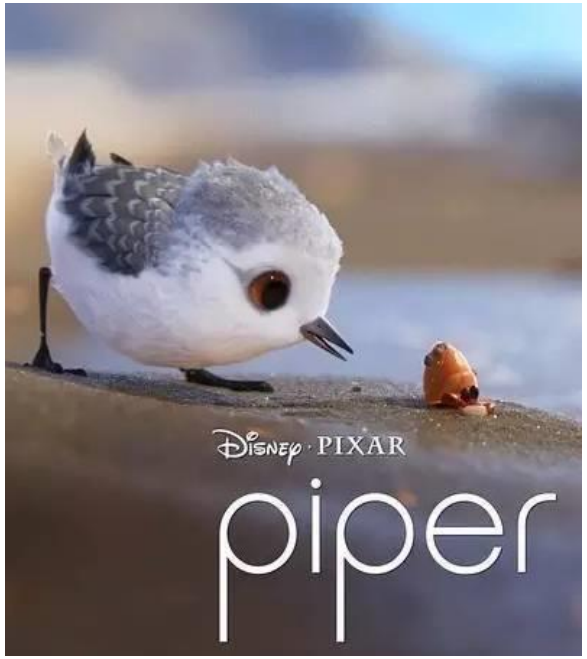
「AIGC视频」SORA原理



Sora 将视频编码映射到隐空间，再切割成时空补丁，被称为**时空词元**（**time-space token**）

Sora的训练集为**短视频集**，每个样本是一个短视频，同类的短视频构成一个数据流形。Sora将其**编码到隐空间进行降维**，然后在隐空间中将隐特征向量切割成补丁，加上时间顺序，构成**时空词元（time-space token）**。这里时空的概念是比较关键的，每个词元（Token）在短视频的帧序列号（时间），在当前帧的行列序号（空间）都被记录在**时空词元**里。

「皮克斯最新动画短片《Piper》」



《Piper》讲述一只小矶鹬在长辈的激励下，独自面对心中对海水的恐惧，尝试觅食的故事

参考书

1. Rick Parent, Computer Animation: Algorithms and Techniques, The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics, Second edition, 2007.（First edition, 2001)
2. 鲍虎军，金小刚，彭群生，《计算机动画的算法基础》，浙江大学出版社（九五重点图书），2000年12月。
3. Isaac V. Kerlow, The Art of 3D Computer Animation and Effects, Wiley Publishing, 2009
4. John Lasseter, “Principles Of Traditional Animation Applied To 3D Computer Animation,” Computer Graphics, 1987, 21(4): 35-44.

要求了解：图形学基本知识

其它参考资料

- **References (major conferences /journals)**
  - SIGGRAPH、 SIGGRAPH Asia
  - Symposium on Computer Animation (SCA)
  - International Conference on Computer Animation and Social Agents (CASA)
  - ACM Transactions on Graphics
  - IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics
  - IEEE Computer Graphics and Applications
  - Computer Animation and Virtual Worlds
  - Computer Graphics Forum
  - …

成绩计算方法

1. 大程作业(50%)：编写一个计算机动画的程序。交**源程序+运行程序+实验报告**。实验报告参考样例见下载 。2024年11月10日前发邮件jin@cad.zju.edu.cn (需收到确认邮件)
2. 随堂作业(20%);
3. 闭卷考试(30%);

考试时间：2024年11月（待定）

微信二维码

The End