

# Wellsenn XR

## 3D内容制作与生成 产业研究报告

3D Content Production and Generation Research Report



公众号



XR内容交流群

# 并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费



王颖 Wellsenn XR 高级分析师  
电话/微信: 15021482640  
Email: wangying@wellsenn.com



何万城 Wellsenn XR 首席分析师  
电话/微信: 18611823719  
Email: hewancheng@wellsenn.com



维深信息 wellsenn XR 助手  
交流群/微信: 17302629715  
添加请备注: XR内容交流

免责声明:

本报告所采取的数据均来自于合规渠道，研究方法和分析逻辑基于维深信息的专业理解，准确的反应了作者的研究观点。本报告仅在相关法律许可的情况下发布和流转，在任何情况下，本报告中的信息或者表述的观点均不构成对任何人和任何机构的投资建议。本报告的信息来源于公开的资料和数据库，维深信息对该信息的准确性、完整性或者可靠性做尽可能的追求但不做任何保证。本报告所陈列的数据和资料、观点意见和推测预测仅反应报告发布时点维深信息的判断，在不同时期，维深信息可发出与本报告所载的资料、意见及推测不一致的报告。维深信息不保证本报告所含的信息在最新的状态，同时，维深信息对本报告所含信息可在不发出通知的情况下做出修改，读者可自行关注和跟踪维深信息最新更新和修改。

版权声明:

本报告版权归属为维深信息，欢迎研究和引用本报告内容，引用请注明数据来源为“维深信息wellsenn XR”，对未注明来源的引用、盗用、篡改或其他侵犯维深信息著作权的行为，维深信息将保留追求法律责任的权利。

华天慧创

WLO微型眼动追踪和虹膜识别共用模组



伴随今年6月Apple Vision Pro头显设备的发布，眼动追踪和虹膜识别技术成为了未来MR领域热门的需求，华天慧创于2023年10月10日在AR/VR领域首发，推出全球首创WLO微型眼动追踪和虹膜识别共用模组。

华天慧创科技（西安）有限公司是天水华天电子集团新设立的高科技子公司。公司成立于2018年3月，地处西安经济技术开发区。慧创公司总投资23亿元，一期面积：15000m<sup>2</sup>，二期面积：37000m<sup>2</sup>。

公司主要以“晶圆级微纳光学设计&制造”为核心，业务范围主要集中在微纳米光学器件、医用内窥镜、光通讯、AR/VR光波导、模组封装等领域。集光学设计、工艺开发、模组生产为一体，整合光学与半导体产业链。



华天慧创公众号



商务合作微信

# 前言

互联网信息形式的发展经历了文字、图片、视频三个阶段，这些信息形式都属于2D内容，其发展的规律是信息密度、信息承载量越来越大，2D内容进化的下一个方向是3D内容，而VR/AR/MR是3D内容最核心的硬件载体。随着XR行业逐步发展和成熟，3D内容的生产和应用必将更为广泛，产业即将迎来真正的爆发，wellsenn XR预计到2030年XR领域的3D内容制作产业将达到480亿元规模。

2D内容和3D内容之间差异在是否有深度信息，是否能构建三维模型。视觉上，观察3D内容会产生立体视觉，观察2D内容则不会。从2D内容发展到3D内容中间还有一种内容为2.5D内容，其原理“欺骗大脑”产生的立体视觉，让观察者误以为被观察对象为3D内容，这种内容包括3D电影、空间视频、裸眼3D以及全息投影等，其较传统的2D内容会有更优质的视觉体验，随着苹果Vision Pro MR的推出，也将迎来爆发。

3D内容生产目前属于专业化生产阶段，由专业从业人员使用专业工具制作，应用于工业、影视等专业领域，现随着移动端配置提升，部分中、高端机型具备初步实现3D扫描的可能，朝UGC方向发展。

3D建模方式主要有3D扫描建模、3D软件建模、AIGC建模。体积视频拍摄能以三维的方式记录真实的动态，其本质是构建连续的静态3D模型进行播放。

3D扫描建模方式主要有4种：激光三角测量扫描、结构光扫描、飞行时间激光扫描、全局摄影测量。3D软件建模主要有CAD建模、多边形建模、数字雕刻三种类型。AIGC建模以NeRF技术最为知名，少量图片或一段文字输入即可生成3D模型。

苹果3D内容生态局已有初步雏形。苹果3D内容有两种：空间视频、3D模型。空间视频使用iPhone主摄、超广角两枚相机拍摄，借助双眼视差原理提供立体视觉；苹果3D模型主要采用LiDAR和摄影测量技术，以API的形式提供给开发者使用，制作3D建模软件。

目 录

一、3D内容发展概述 -----6

    （一）信息载体发展历程 -----6

    （二）互联网信息形态进化趋势 -----7

二、3D内容形态与分类 -----8

    （一）3D内容形态概述-----8

    （二）2.5D内容形态与分类 -----11

    （三）3D内容形态与分类-----16

三、3D内容生产 -----19

    （一）3D建模 -----19

    （二）3D/体积视频拍摄 -----37

    （三）3D内容创作工具 -----38

    （四）3D内容生产发展趋势 -----42

    （五）全球XR产业3D内容规模-----42

    （六）3D内容生产产业地图 -----44

四、苹果3D内容生态布局分析-----45

    （一）苹果空间视频与3D建模 -----45

    （二）苹果3D内容生态布局 -----48

# 一、3D内容发展概述

## (一) 信息载体发展历程

人类信息传播的主要载体经历了：语言、文字、照片、视频，每种新载体的诞生、各个载体内部的发展，在追求生产效率的同时都在追求如何更为真实、形象地反映真实世界。



图源：Wellsenn XR

语言靠声波传递，声波会随距离的增大而衰减，意味着人类用语言进行交流有距离限制，超出一定距离便无法依靠声波进行交流，此外，声音稍纵即逝，无法保存。

在图画基础上发展而来的文字，打破了这一限制，它能够将语言完整记录下来，信息能够跨越时间和空间得到保存和传播，所以我们能看到甲骨文、扁鹊医学典籍等的出土，佛经才能跨越海洋随众僧传入日本。

照片的出现，从视觉上记录了某一时刻的真实场景，让信息摆脱了人类大脑的中介，避免了语言、文字描述的失真。连续的照片组成了视频，记录了连续的时刻。发展至今，照片、视频已成为真实记录的最主要手段，能最大程度上实现场景的再现。

载体之间，新的载体信息承载量较前者更为丰富。新载体的诞生与每种载体的内部发展都在追求生动形象与临场感。语言讲究绘声绘色，文字讲究信达雅、画作讲究栩栩如生，照片与视频追求更高的分辨率以使呈现效果最大可能接近记录的真实世界。

照片、视频之后，想要追求更真实地还原现实世界，需要呈现照片、视频未记录下的信息。单一照片、视频记录的是某一时刻单个视角下的对象，观看者无法知晓其他角度下的对象信息，因为被记录对象的纵向信息缺乏，属于2D内容。真实世界是三维的，以3D内容的形式才能进行完整的记录，可供各个视角进行观察。

(二) 互联网信息形态进化趋势

通讯技术和XR终端硬件进步，推动互联网进入3D化时代。在PC互联网时代，由于算力、储存、网络传输速率等影响，互联网的信息形式主要是文字和图片，例如门户网站、BBS论坛以及Email等，主要内容以图文方式呈现。

移动互联网时代，手机成为了核心的信息终端，摄像头成为了手机的核心配置之一，通讯技术，特别是4G，大大的提高了传输速率，让图片和视频成为移动时代的主要信息呈现形式。

随着5G时代的来临，深度摄像头逐步成为标准配置，三维建模和成像技术的进步，同时VR/AR将成5G时代的通用计算终端，进一步推动对3D内容的需求，3D全息技术将成为5G时代的核心内容形式，互联网进入3D化时代，成为构建Metaverse沉浸体验的基石。

历代互联网发展特征

|       | PC互联网 | 移动互联网    | 全真互联网Metaverse |
|-------|-------|----------|----------------|
| 信息形式  | 文字、图片 | 视频、文字、图片 | 3D全息、视频、文字、图片  |
| 硬件终端  | 个人电脑  | 手机       | VR/AR          |
| 信息传输  | 光纤宽带  | 3G/4G    | 5G/6G          |
| 数字化场景 | 线上    | 线上到线下    | 物理世界到虚拟世界      |
| 参与度   | 20%   | 70%      | 所有人            |
| 规则    | 中心化   | 中心化      | 去中心化           |
| 流量入口  | 门户网站  | 超强APP    | 超级Metaverse社区  |

图源：Wellsenn XR

## 二、3D内容形态与分类

### （一）3D内容形态概述

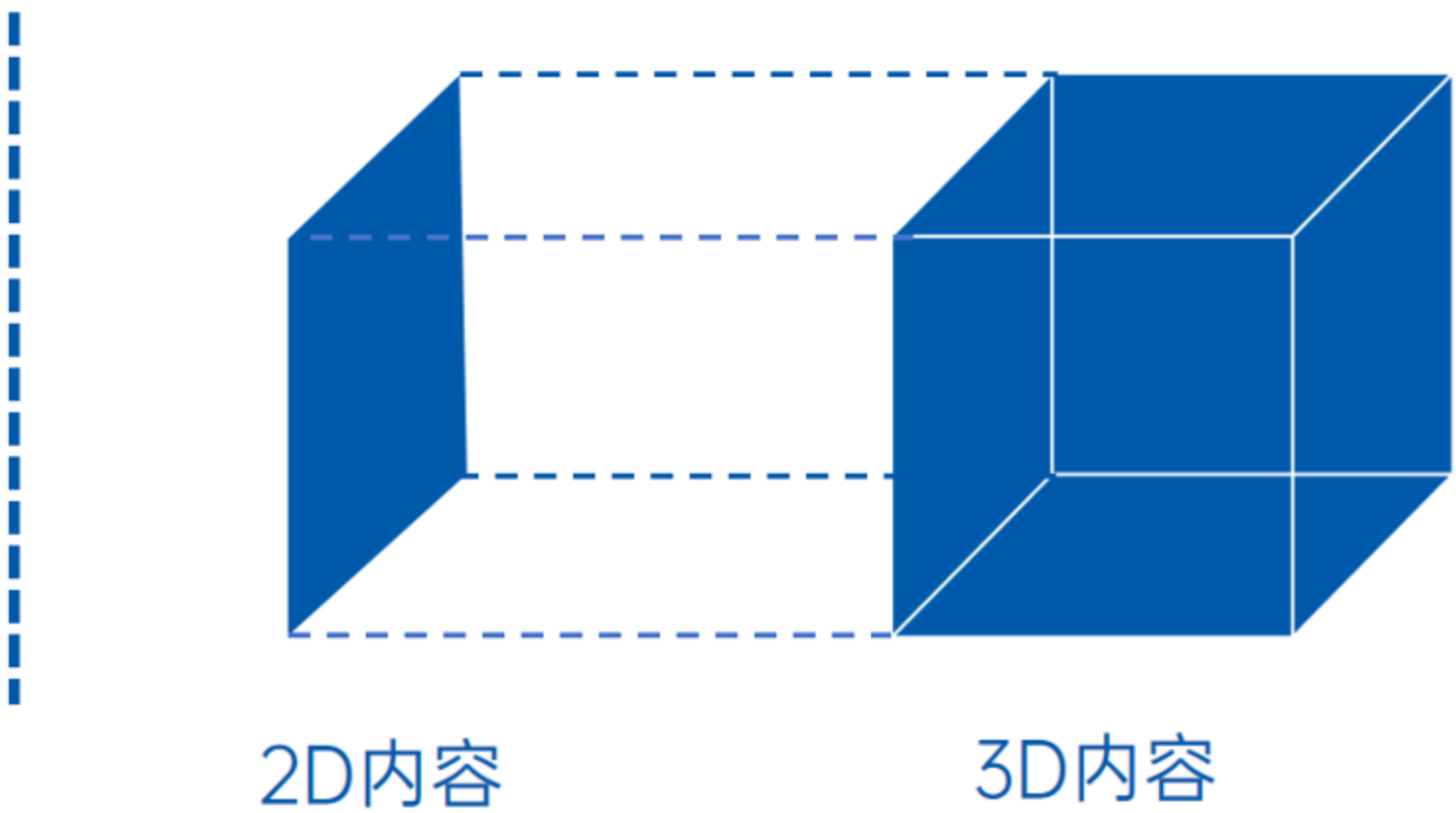
2D内容与3D内容差异在于是否有纵向维度的信息，视觉体验差别在于是否能产生立体视觉。在2D内容向3D内容发展过程中出现了一种中间形态2.5D内容。

2.5D内容拥有部分3D特征，但无纵向的深度信息，无法构建三维对象，本质上仍为二维。2.5D内容主要有两种形式，一种以3D电影为代表，特点在于制造类似3D的立体视觉效果；另一种以全景为代表，特点在于通过拼接、扩大视场角的方式，尽可能以二维形式记录更多三维空间的内容。

多数人都是在2.5D的体验中完成了对3D的认知，将3D和立体视觉划上了等号，但产生了立体视觉不等于被观察对象为3D内容，2.5D内容虽然让人产生了一定立体视觉，但其本质上是对2D内容的呈现。

### 1、2D内容与3D内容差异

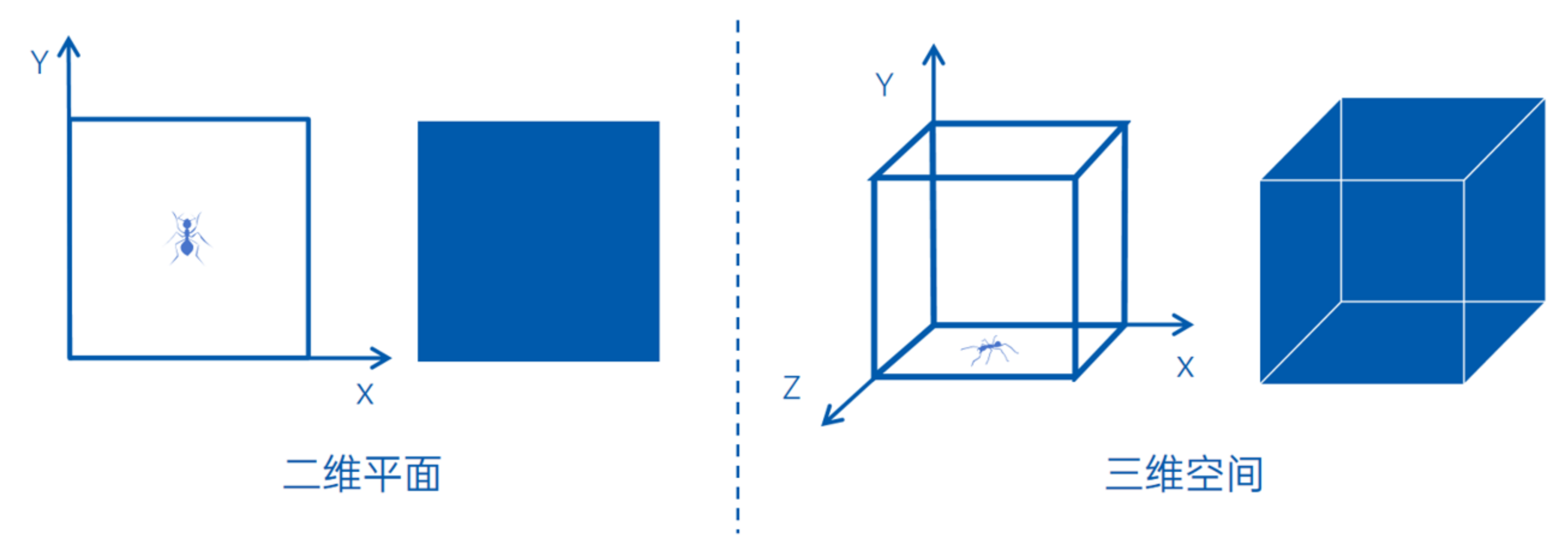
D是维度Dimension缩写，2D内容与3D内容的差异，在于记录信息的维度。2D内容记录二维信息，3D内容记录三维信息，差异在于被记录内容是否有纵向维度的信息。



图源：Wellsenn XR

在二维平面，每个点都可以用两个坐标数值  $(x,y)$ ，也就是二维坐标来确定位置；在三维空间，每个点都可以用三个坐标数值  $(x,y,z)$  也就是三维坐标来确定位置。2D内容与3D内容相比，缺少的正是纵向距离坐标的信息，也就是常说的深度信息。

在几何图形当中，二维的代表是面，三维的代表是立方体，一个立方体有多个面。一只蚂蚁在二维平面，只能沿 $x$ 、 $y$ 轴构成的平面上、下、左、右爬行，但无法穿过这个面往前、后方向爬行，在立方体中却可以，因为立方体多了一个纵向的维度，让六个面组合成了一个空间。



图源：Wellsenn XR

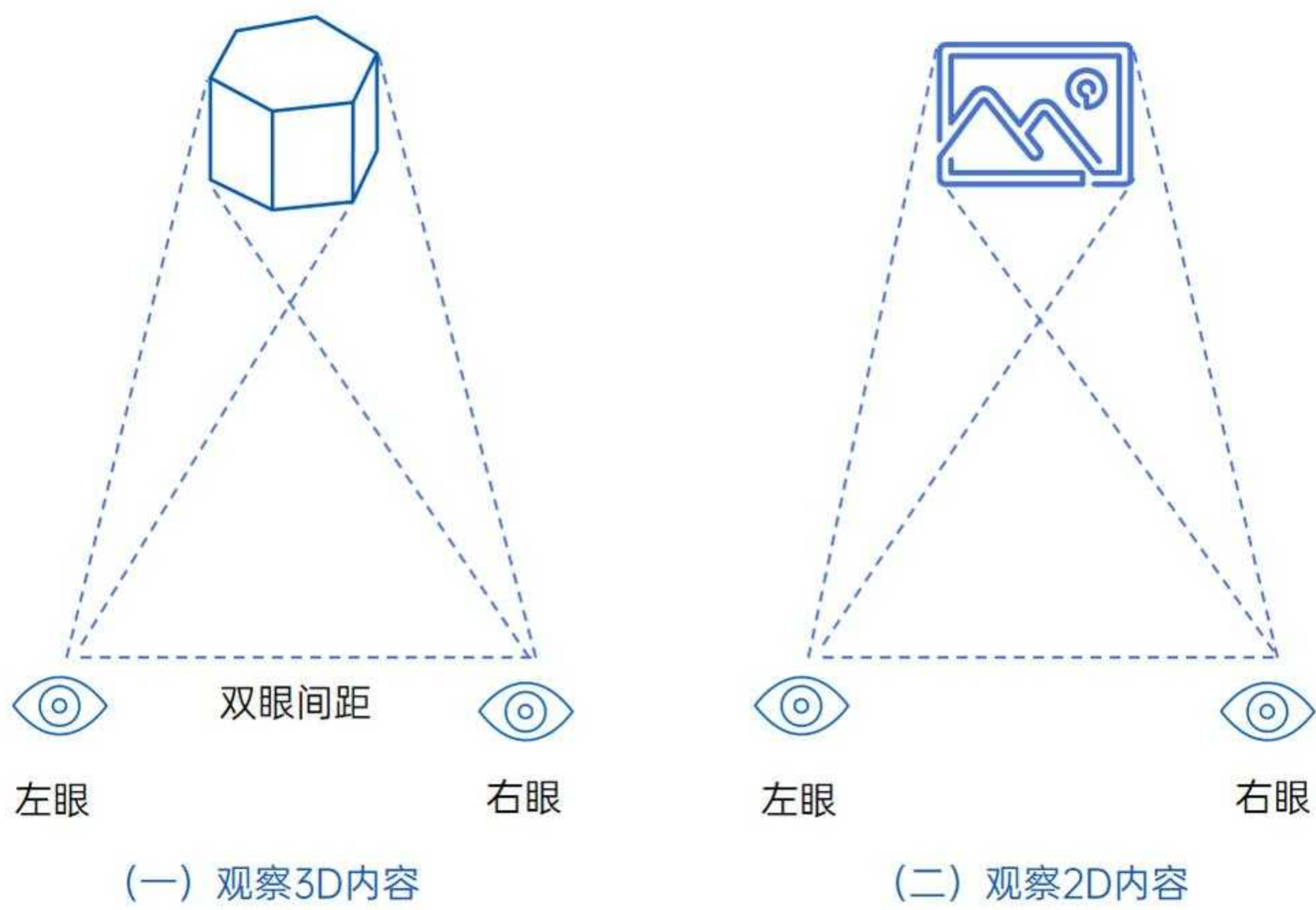
照片是某个视角下，场景中的颜色信息以像素点为单位被记录在一个面上，照片上的所有像素点拥有二维坐标，这些点集合成了照片上的图像。点的密度越大，照片对物体的记录越详细、越真实，也就是我们常说的分辨率的高低。

如果我们知道每个像素点的三维坐标、颜色、亮度等信息（像素点在三维空间对应体素的概念），将这些点集合在一起组合成三维图像，能从各个角度观察对象。同样，点的密度越大，记录的物体越真实。

2、双眼视差与立体视觉

3D内容与2D内容相较在视觉观察上有一项显著特点——立体视觉，也就是我们说的立体感。日常生活中接触的3D，通常是利用双眼视差“欺骗大脑”产生的立体视觉，而非真的3D。

双眼视差，指人眼在看向某一物体时，由于左、右眼处于水平线不同位置，左、右眼拥有不同的观察视角，物体的反射光线落到左、右眼视网膜成像略有差异，这种差异被称为视差。大脑接收到视差，会将不同的成像信息进行融合，让人产生立体视觉。



图源：Wellsenn XR

观察2D内容，无论从哪个角度观察，左、右眼看到的是相同的图像，无法形成视差，也不会产生立体视觉。

生活中接触的3D多利用双眼视差，通过向左、右眼分别投射同一场景下略有差异的二维图像，大脑误以为来自不同视角，让观察者产生立体感，认为在观察立体的3D对象。

(二) 2.5D内容形态与分类

日常生活中我们接触到的3D多数情况下是利用了双眼视差产生立体视觉的2.5D内容，本质上呈现的是2D图像。2.5D内容主要呈现：

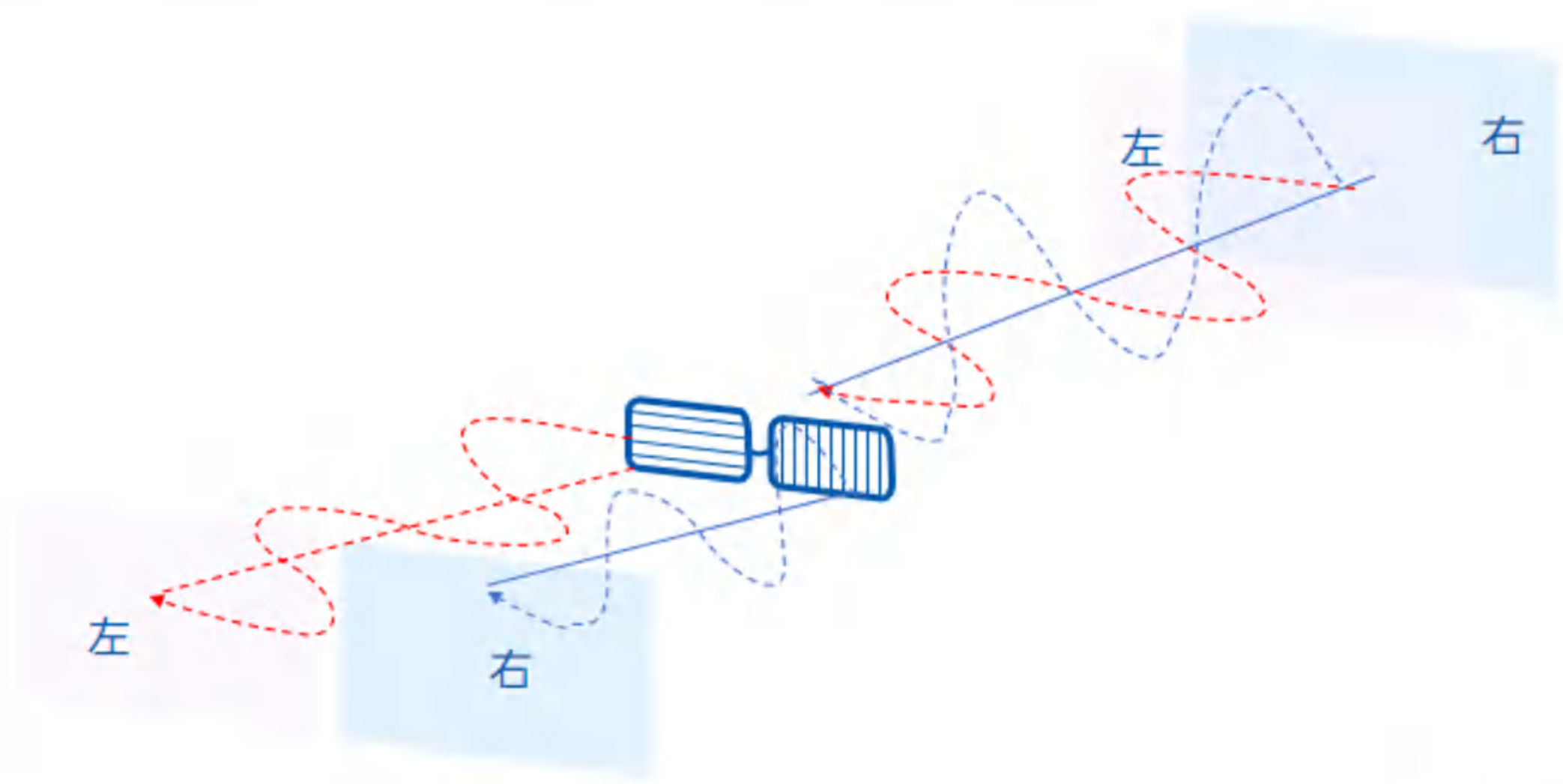
- 呈现3D立体视觉的2D图像，视觉内容不随观看者角度的变化而变化；
- 呈现3D立体视觉的2D图像，视觉内容随观看者角度的变化而变化；
- 通过扩大视场角、拼接的方式，使用2D图像尽可能记录更大范围三维空间的内容；

2.5D内容追求的是视觉上的3D效果即立体视觉，或更接近三维信息量的2D图像，而非真正有深度信息的3D内容。

1、3D电影/电视/游戏

3D电影的立体效果是一种错觉，而不是真实的深度感，是通过左、右眼观看同一场景的不同图像产生视差，让大脑误以为是不同视角的图像进行处理和理解产生的。

3D电影在拍摄时，用双目相机或多个相机同时拍摄同一场景，两个相机分别使用不同方向的偏振滤光片，光线按照偏振方向进行分离（只有与偏振片相同方向的光线才能透过），两个摄像头拍摄同一个场景，捕捉到两张有差异的图像。



图源：Wellsenn XR

在观看3D电影时，会在屏幕上同时显示两张图像，3D眼镜左、右镜片贴有对应不同方向的偏振滤光片，滤掉相应屏幕上另外一个图像的光线，大脑会将左、右眼略有差异的图像视为来自不同角度，从而产生立体感。

除了使用偏振滤光片，其他方式下的3D电影播放，最终都是在同一帧画面向左、右眼呈现不同图像形成双眼视差，让用户产生立体感。

3D电视、游戏多依靠屏幕高频交替播放左、右眼视图实现，观众戴上主动式3D眼镜，眼镜片的液晶层在黑色、透明两种状态下迅速切换，具体切换动作以屏幕上方的红外LED灯发射的红外信号作为指示。播放左眼视图时，遮挡右眼，播放右眼视图时，遮挡左眼，在高速切换下实现立体视觉。

这种方式也被称为主动快门式3D技术，佩戴由液晶屏构成进行主动切换的眼镜称为主动式3D眼镜，相对应的，普通3D眼镜则被称为被动式3D眼镜。这种方式下的立体视觉效果较好，但对屏幕刷新率要求较高，需达120Hz。



图源：网络

2、可交互3D显示器

3D显示器同样通过向左、右眼投射不同图像形成视差，产生立体视觉。观众佩戴3D眼镜进行观察，当观众移动头部时，观察画面会随角度变化而变化。



图源：网络（HP Zvr虚拟现实3D显示器）

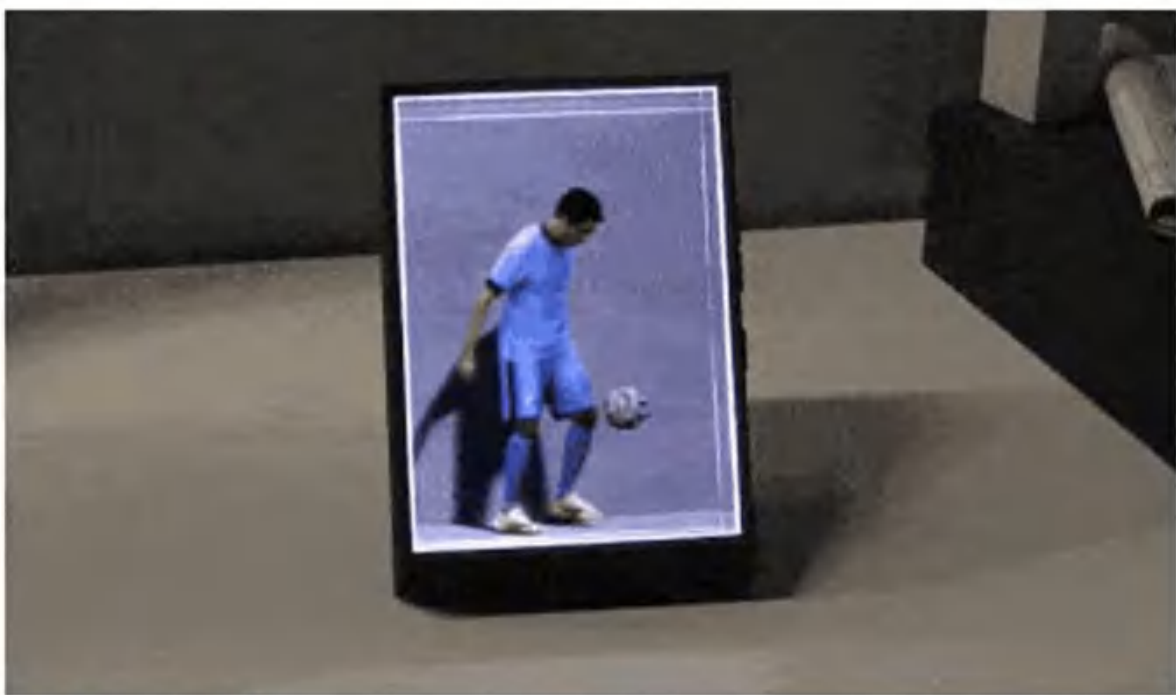
可交互3D显示器立体感相对普通的3D电影更强，被展示物体在屏幕和双眼之间呈现，有明显空间感，可以看到被展示物体的不同侧面，视觉效果更接近真实的3D内容。

实现方式：显示屏内置跟踪功能进行空间定位，传感器会通过手写笔以及3D眼镜上的跟踪标记对观察者定位，再根据观察者的头部移动，实时生成观察者视角下的左、右眼视图，让观察者产生立体感。

3、裸眼3D显示器

裸眼3D不需要用户佩戴3D眼镜即可看到3D效果。相较于3D电影，裸眼3D有更多的角度选择，用户可以站在屏幕前的任何角度观看，不同角度能看到展示对象的不同面。

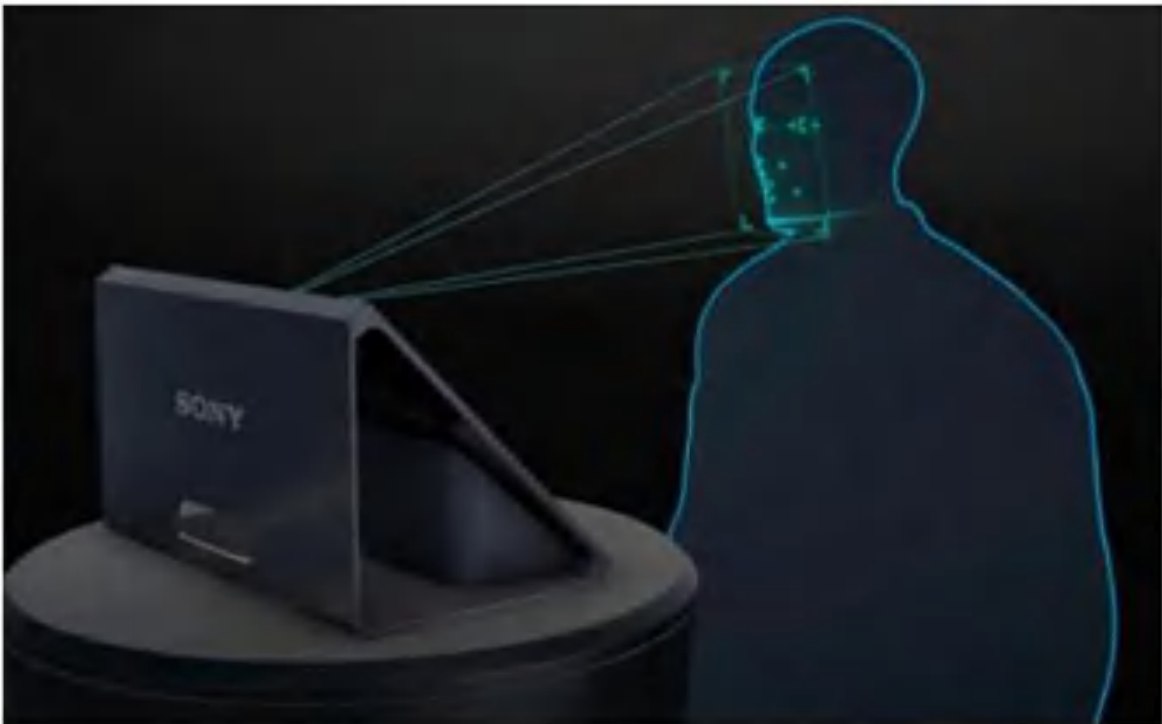
这种方式下的裸眼3D重点在于屏幕，靠的是屏幕向不同方向发射不同二维图像，不同方位下的双眼能看到不同的图像，继而带来立体感，展示的图像仍为二维图像。



图源：网络

光场显示器是其中一种，例如全息相框 Looking Glass Portrait，其光场景显示器能生成45到100个视图并同时投影，以60FPS刷新率显示，裸眼看到立体效果，画面随观察角度变化而变化。所拍摄的图像需由支持捕获深度信息的相机拍摄，如搭载LiDAR的iPhone。

索尼曾推出一款裸眼3D显示器Spatial Reality Display，在传统LCD屏上方通过透镜使光线发生折射产生3D效果，从不同角度观看画面不同。显示器上方配备有一枚相机，进行眼动追踪，根据眼睛观察的方向和距离对画面进行实时渲染，以匹配观察者的视角。



图源：网络

4、演唱会全息投影

演唱会3D全息投影有多种形式，最简单的一种不需要全息技术，利用双眼视差即可完成。演唱会现安装多台投影设备，从多个角度投射图像，让观众站在不同角度，左、右眼都能看不同图像，产生立体感。部分需要佩戴3D眼镜，立体效果更佳。



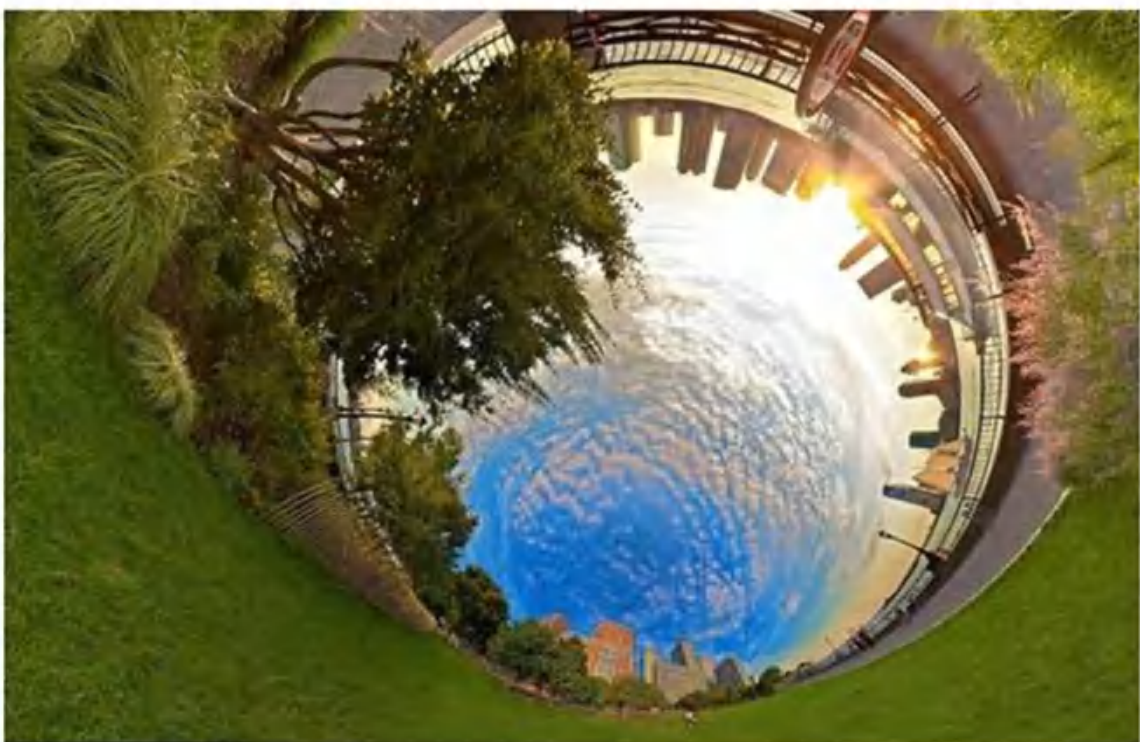
图源：网络

另一种较为常见的方式，是利用激光或LED等光源照射到特殊的透明薄膜，反射到观众眼里，呈现立体效果，这种方式下投影的仍然为经过处理的二维图像而非三维图像。

真正的全息投射的是三维图像，利用了光的衍射和干涉，例如部分展览展示中所使用的空气全息投影，在展示技术与空间上要求更高。

5、全景视频、VR相机

全景是另一种形式的2.5内容，它通过鱼眼镜头、拼接，扩大视角场，以二维图像记录缺乏深度的三维信息。全景视频由二维视频拼接成360度全景视角，在VR中播放时，同样是左、右眼呈现不同的图像，借助双眼视差产生立体视觉和沉浸感。



图源：网络

在观看全景内容时，用户代入拍摄相机的视角，包裹在180度/360度二维图像/视频当中，旋转头部能看到周围的景象，在被二维图像环绕的场景中也能产生置身于三维世界的临场感。当视场角扩大到一定程度时，全景内容观看时会感受到明显畸变。

VR发展早期，全景是VR最丰富、最主要的内容填充，部分全景相机会直接称作VR相机，后期全景相机针对VR作出优化，有了针对VR拍摄照片、视频的VR相机，本质上仍为全景相机，但在VR播放适用性上要比全景相机更方便。

全景视频的拍摄可以是单个相机拍摄后进行拼接，再进行视角转换处理，也可以使用立体相机拍摄，立体相机有两个或多个摄像头，对同一场景同时进行拍摄后拼接，直接为左、右眼获取不同图像，无需后期做视角转换处理。



图源：网络

全景相机拍摄完成后，还需要使用专门的软件进行拼接、校正，VR相机则可以直接将拍摄的视频、照片上传至VR设备进行观看，无需后期处理。VR通过两枚摄像头共同拍摄记录同一场景，采用“视角重叠”技术将不同视角的图像合成全景图像，可以直接输出。

以VR 180度相机开飞为例，采用双鱼眼镜头拍摄，分别为左、右眼获取图像，拍摄内容也无需拼接，可以一键上传和直播，相比普通全景相机更为方便且适用于VR。



从开飞现有VR内容播放效果看，与普通2D视频相比，观看时会有一定立体感，拍摄场景录入了房间墙壁折角位置，视觉上，播放屏幕与视频背景形成“盒子”，也会产生一定空间感。视频与眼部距离相对较近且固定，视频进行了放大，撑满180度视角。

总结：3D内容的制作与展示相对复杂，多数人是在2.5D内容的接触下完成了对3D的认知，对3D内容的认识停留在视觉上的立体感。2.5D内容本质上是二维信息的记录，无法真正作为3D素材使用，比如3D打印、模型制作等等。但2.5D内容在2D的基础上丰富了我们的视觉体验，带我们朝真正的3D内容体验迈进一步。

| 生活中常见2.5D内容 |                                             |                                                                      |                                        |                                                    |                                                              |                                                 |                                                             |
|-------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 2.5D内容      | 3D电影/电视/游戏                                  |                                                                      | 裸眼3D                                   |                                                    | 部分全息投影                                                       | 全景视频                                            |                                                             |
|             | 3D电影                                        | 3D电视/游戏                                                              | 裸眼3D屏                                  | 交互式3D屏                                             | 投影仪投影                                                        | 全景相机                                            | VR相机                                                        |
| 效果图         |                                             |                                                                      |                                        |                                                    |                                                              |                                                 |                                                             |
| 原理          | 双目视差                                        | 双目视差                                                                 | 双目视差                                   | 双目视差+传感器定位                                         | 双目视差                                                         | 拼接+双目视差                                         | 拼接+双目视差                                                     |
| 呈现效果        | 戴上3D眼镜观看，有一定立体感，不同视角看内容无差别。                 | 戴上主动式3D眼镜观看，立体感较好，不同视角看内容无差别。                                        | 不用佩戴3D眼镜，不同角度观看，不同视角看内容无差别，能看得到物体不同侧面。 | 戴上搭配的眼镜，可以看到展示物在屏幕和人眼之间立体展示，不同角度看到不同侧面，可用搭配的笔进行交互。 | 不用佩戴3D眼镜，观众站在任何角度都可以看到有立体感的展示对象。                             | 用户可以看到整个场景的全部，如果在VR中360度观看，会有一定的立体感，但不能在其中移动。   | 用户可以看到整个场景的全部，如果在VR中360度观看，会有一定的立体感，但不能在其中移动。               |
| 如何实现        | 拍摄时从不同视角拍摄两个图像，或对同场景做出有差别的两张图像，最终分别呈现在左、右眼。 | 屏幕以高刷新率（>120Hz）依次播放左、右视图，主动式3D眼镜的液晶层在亮、透明两种状态下快速切换，播放左眼视图时遮蔽右眼，反之亦然。 | 屏幕向不同方向发射不同的二维图像。                      | 显示屏内置跟踪功能，眼镜两侧安装传感器，屏幕获取头部位置，根据用户视角，实时生成左、右眼视图。    | 多个位置安装投影设备，多角度投射图像，用户在任何角度左、右眼都能看到不同视图；或使用激光等照片到透明薄膜反射至观众眼里。 | 单个或多个相机拍摄后拼接成完整的场景，在VR中播放时可向左、右眼呈现不同图像，从而产生立体感。 | 通过不同视角摄像头共同拍摄记录同一场景，采用“视角重叠”技术将不同视角的图像合成一个全景图像，可直接输出在VR中播放。 |
| 应用场景        | 电影                                          | 电视                                                                   | 展览展示                                   | 展览展示                                               | 演唱会、音乐会                                                      | VR                                              | VR                                                          |

\*生活中常见的2.5D内容通常借助双目视差实现，仅少数如利用光的干涉、衍射，构建了三维图像的全息投影称得上真正的3D。这些2.5D内容主要为用户提供一定程度立体视觉或部分三维信息，整体停留在视觉体验，无深度信息，不能作为3D素材真正投入3D打印等产品中使用。

图源：Wellsenn XR

(三) 3D内容形态与分类

真正的3D内容记录三维信息，能够构建三维模型，可以360度查看。它可以是存在于电脑中的模型，也可以是3D形式下录制的一段视频。3D内容与2.5D内容相比，劣势在于难以三维形式记录和展示动态3D内容，产生有视觉冲击力的立体视觉。

3D内容主要切实投入生产，广泛应用于工业、建筑、3D打印等多领域，在展示上，除去VR/AR鲜少能以三维状态出现在日常生活中，多以3D模型的形式存在于电脑端，或最终化为游戏、动画的一部分以二维图像的形式出现在手机、电脑端。

根据3D内容的制作，将3D内容分为静态、动态两种。

1、静态3D内容

3D模型是最典型、应用最广泛的静态3D内容，制作方式较为成熟，主要有3种方式：3D扫描建模、3D软件建模、AIGC建模。

构建好的静态模型可以直接用于展示，用于多角度查看，可以打印成实物。静态模型也可以作为素材通过后期处理制作成动态内容，最终通常不以三维的形式呈现。

静态3D内容广泛应用于3D打印、游戏、影视、医疗、教育、建筑、电商等产业。在影视、游戏中应用时，后期处理做成动画，起增加真实感的作用，最终会化为一帧帧的二维图像出现在电视、手机等屏幕。

3D内容常见应用领域



图源：网络

2、动态3D内容

动态3D内容分为两种，一种是先构建好静态的3D模型，后期通过软件制作成的动态内容；第二种是直接记录动态的三维影像，以体积视频为主，通过环绕的数枚相机同步录制，本质是一连串静态3D模型的播放。

静态3D模型的制作无时间概念，但体积视频在录制时，需要捕捉每个时刻下目标对象的三维信息。同一时刻，单枚相机只能记录一个角度的信息，体积视频通常采用全方位数个专业相机对目标对象进行环绕，同时采集。

采集的三维信息将构建成一个一个的静态3D模型，最终组成连续时刻的动态三维影像，可任意角度察看。体积视频录制好后，可进行后期完善、编辑，应用于娱乐影视、数字人创作、教育等领域。

2021年Unity推向面向职业体育赛事的直播平台Metacast，提供交互式3D直播内容，用户可以调整为任意角度观看比赛。



谷歌全身人像体积摄影方案  
The Relightable

3、3D内容的三维展示

3D内容与2.5D内容相较在展示上缺乏条件，通常通过二维屏幕进行查看，仅全息投影、VR/AR以及等少数技术手段能以三维的形式展示3D内容，获得与2.5D相似的立体视觉效果。

1) 全息投影

真正的全息投影技术利用光的衍射和干涉制作三维图像，2.5D方式下的全息只是借助双目视差在一定程度上模拟了全息投影的最终效果。以空气全息投影技术为例，先使用分束器将激光光束分为两道光束，其中一道光束经过全息板，另一道光束无需经过。

经过全息板的光束会在空气中发生衍射和干涉，形成三维的全息图像，另一个光束不经过全息板，作为参考光束直接射向空气，用来稳定干涉条纹、增强干涉效果。

这种真正的全息技术在应用时，对稳定的空气流动环境、光源、投影材料的精密调节、调制都有较高要求，较少应用在演唱会等大型开放场景。更为常见的，是在封闭的透明柜当中进行展示。



图源：网络

2) VR/AR

VR/AR头显是目前最为常见，能进行三维展示的设备。借助VR不仅仅能够观看3D内容，而且能够与3D内容产生空间关系，在3D内容当中自由行走、交互，宛如在现实的世界当中；AR则可以将3D内容放置在真实的空间当中，进行观察、交互。

VR/AR需要佩戴头显，佩戴VR头显还会将真实世界隔绝在外，在佩戴与感官上会产生一定负担。



Meta VR头显Quest3



微软MR眼镜HoloLens

图源：网络

除此之外，光场显示等前沿技术也可用于三维图像的展示，如谷歌2021年曝光的光场景显示器Starline，展示亭配备十多个深度传感器和摄像头捕捉三维图像，并实时压缩、传输，显示在光场显示器，视频中对象的人宛如就坐在对面。但该技术实现难度较大，仍处探索期。

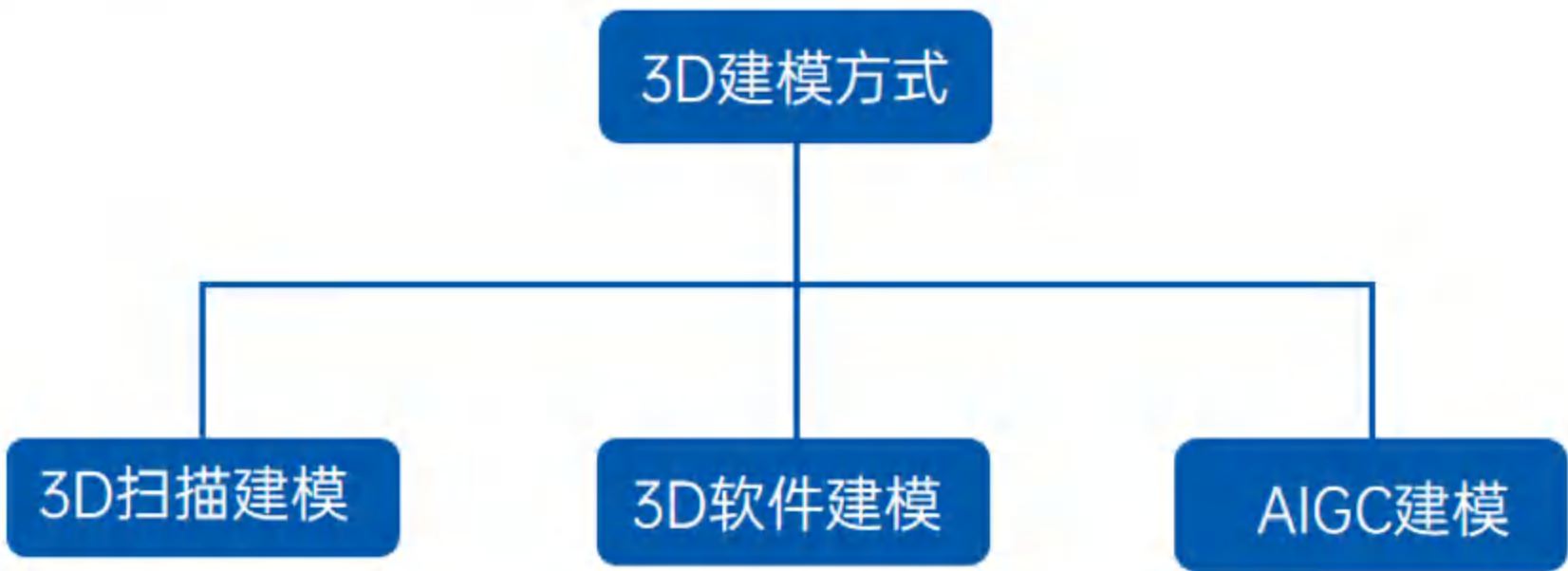
### 三、3D内容制作与生成

近年元宇宙的大热，VR/AR产业的发展，以及人们在视觉上追求更逼真、更高维度的信息呈现效果，都促使3D内容需求愈发紧张。AIGC大模型的接连问世也引发了人们对3D内容生产的关注。

3D内容生产主要有两种方式：3D建模与体积视频的拍摄。3D模型构建好后可根据需求使用多种工具进行加工创作，体积视频本质上是一连串静态3D模型构成的动态3D内容。目前3D内容仍属于专业化生产，以专业从业人员使用专业工具生产为主。

#### （一）3D建模

3D内容生成首要步骤是通过3D建模获得原始3D素材，3D建模主要有三种方式：3D扫描建模、3D软件建模，以及AIGC建模，所有方式下构建的模型都可以使用3D建模软件建模修改、完善。



图源：Wellsenn XR

3D扫描建模依靠扫描仪等硬件设备以真实物体为对象通过扫描获取三维信息；3D软件建模依靠建模软件使用几何元素从零绘制三维模型，可以实物为参考，也可根据想象绘制；AIGC建模通常基于文本、图片等借助AI大模型生成。

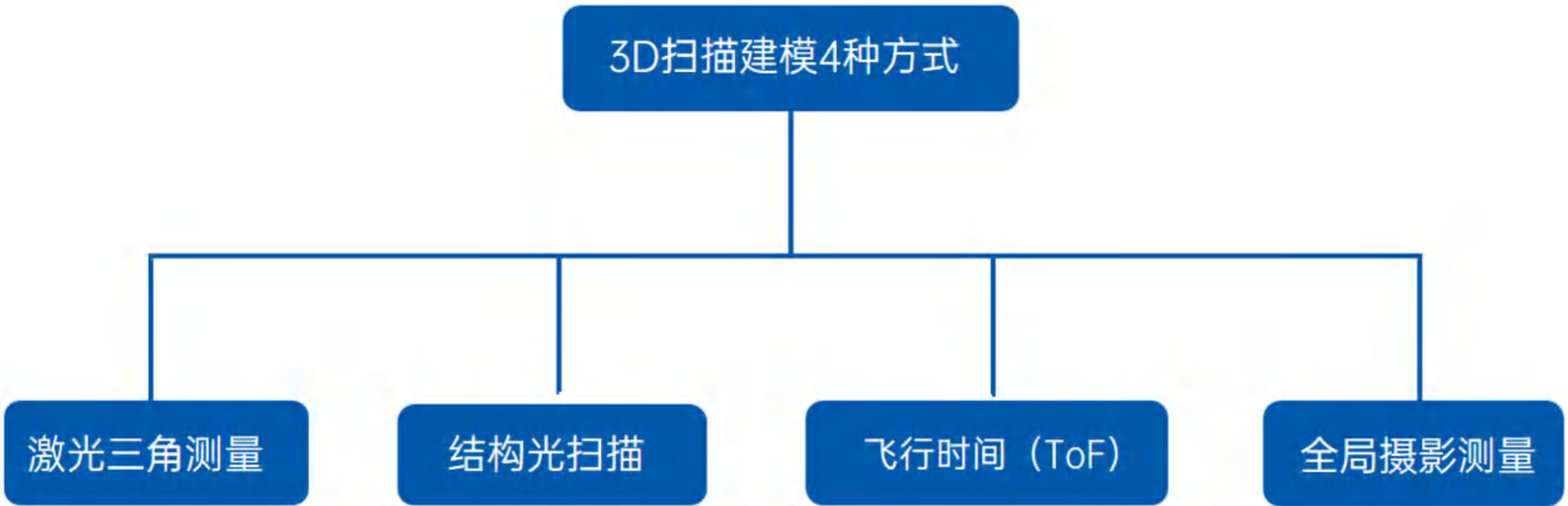
#### 1、3D扫描建模

3D扫描建模以真实物体、环境为目标对象，通过3D扫描仪等设备进行扫描获取目标对象的三维信息，计算机利用这些三维信息进行三维重建，建立与目标对象一致的三维模型。

3D扫描获取的三维信息主要为几何信息（形状、尺寸、表面几何特征等），其次是纹理信息（颜色、光泽度、反射率等）、颜色信息（颜色分布、亮度、饱和度等）。这些三维信息通常以点为单位获取，被称为点云数据。

这些数据当中，最需要获取的是几何信息，几何信息通过计算各个点位到3D扫描仪的距离也就是物体的深度信息来确定。

3D扫描建模主要有4种方式：激光三角测量扫描、结构光扫描、飞行时间（ToF）激光扫描，以及全局摄影测量。



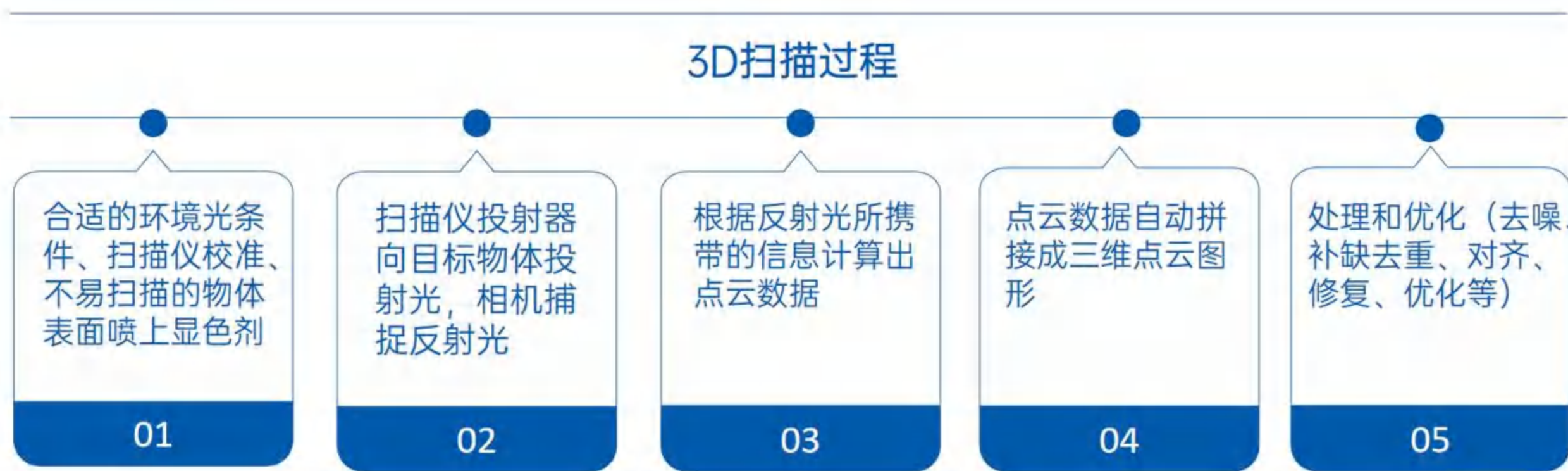
图源：Wellsenn XR

3D扫描仪投射器发射的每一束激光对应目标物体表面一个点位，不同点位的位置、颜色等信息有差异，激光反射后发生变化，计算机根据其返回速度、返射角度、反射程度、颜色等变化，借助三角测量、相位差等计算出目标点位的三维信息。

这些带有三维数据信息的点的集合也就是点云，所携带的数据就是点云数据，这些数据将用于构建目标物体的三维模型。

点云并非只能通过投射器发射光获得，部分3D扫描仪如全局摄影测量通过相邻照片特征点的提取等方式获得点云信息构建三维模型。

- 激光三角测量扫描、结构光扫描、飞行时间（ToF）激光扫描，通过投射器向目标发射激光（部分不使用激光作为光源），激光遇到目标物体发生反射由摄像头捕获，计算机根据反射激光飞行时间、角度等变化等计算出三维信息，获得点云数据。
- 全局摄影测量使用相机拍摄全部角度照片，对照片进行特征点提取，通过匹配相邻照片特征点计算视差（两个图像对应特征点的水平位移），借此计算三维信息，获得点云数据。



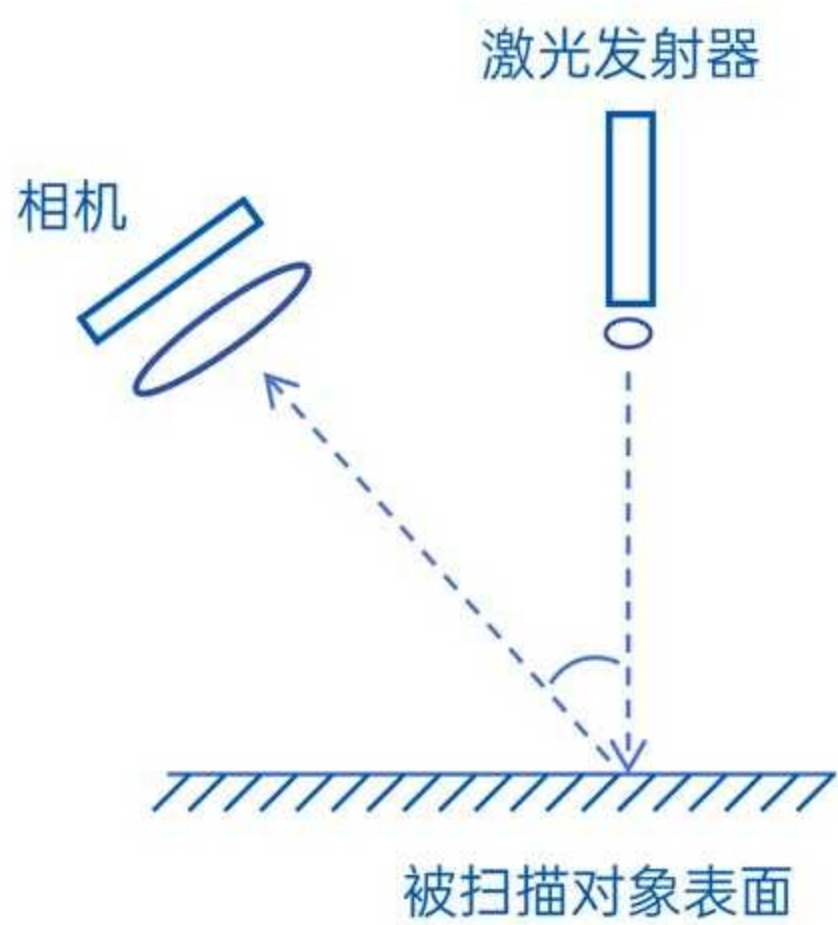
图源：Wellsenn XR

为获取准确的颜色信息，3D扫描仪通常会集成一枚RGB相机配合使用，或者扫描后，另外用相机拍摄高清彩色照片，后期使用软件将扫描模型与彩色照片生成的模型进行对齐。

激光反射或CCD摄像头在扫描时可进行颜色采集，但信息并不准确，例如，激光反射所获得的色彩是激光与环境光共同照射下呈现的颜色，CCD摄像头色彩还原能力较弱，因此彩色3D扫描仪通常会集成RGB相机。

1) 激光三角测量扫描

激光三角测量扫描仪的发射激光的投射器与接收反射光的相机通常呈一定夹角，投射器发出的激光碰到物体反射回来由相机捕获，根据相机偏移角度与激光光源位置，可以推导出与被测物体的距离。



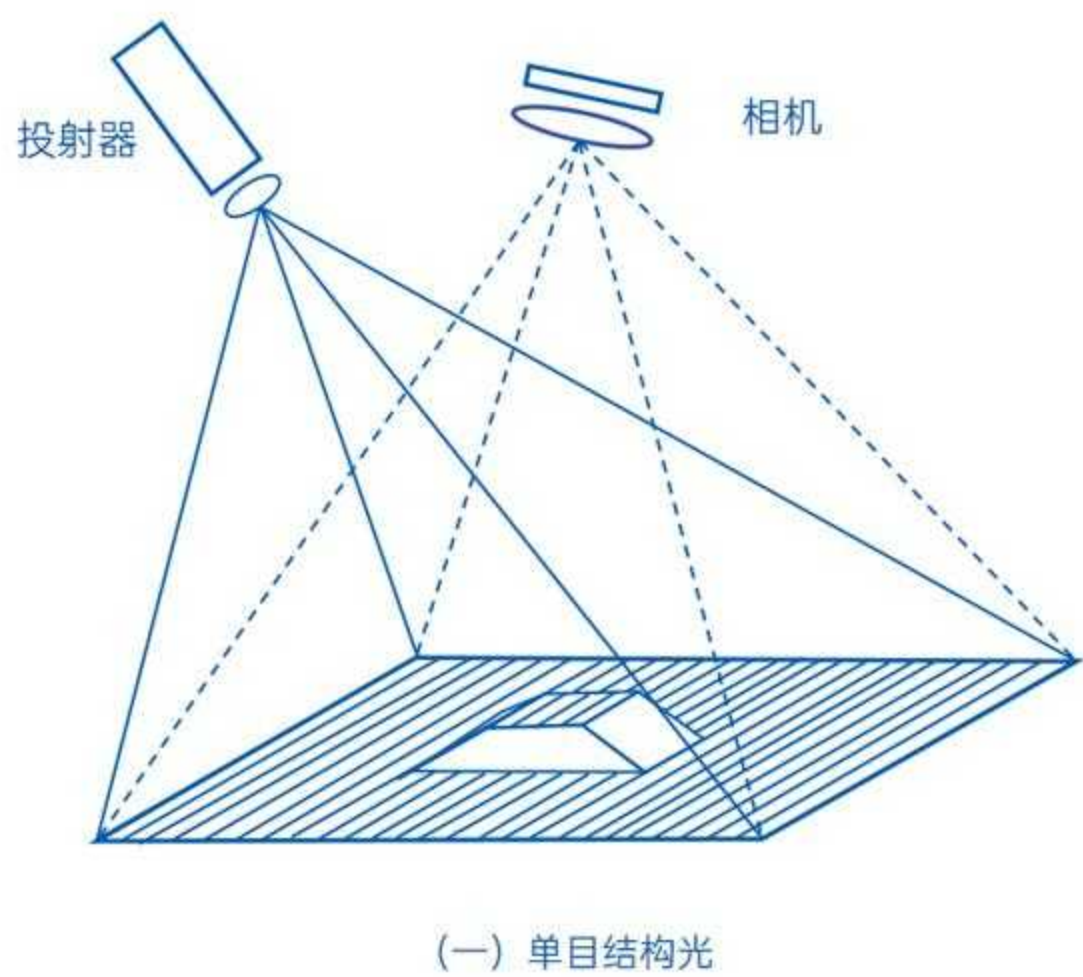
图源：Wellsenn XR

激光三角测量扫描仪结构简单、扫描速度快，精度高，在建筑、制造、航空航天等领域应用较为广泛。

- 优点：精度可达亚毫米级别，暗光环境可工作
- 缺点：测量距离加大精度迅速下降

2) 结构光扫描

结构光扫描，扫描仪投射器向被扫描对象发射具有一定结构特征（光点、光条、光面）的光，光遇到目标对象表面，结构形状和位置会发生变化，摄像头对反射回来的结构光进行采集，通过对结构光的变化计算深度信息。

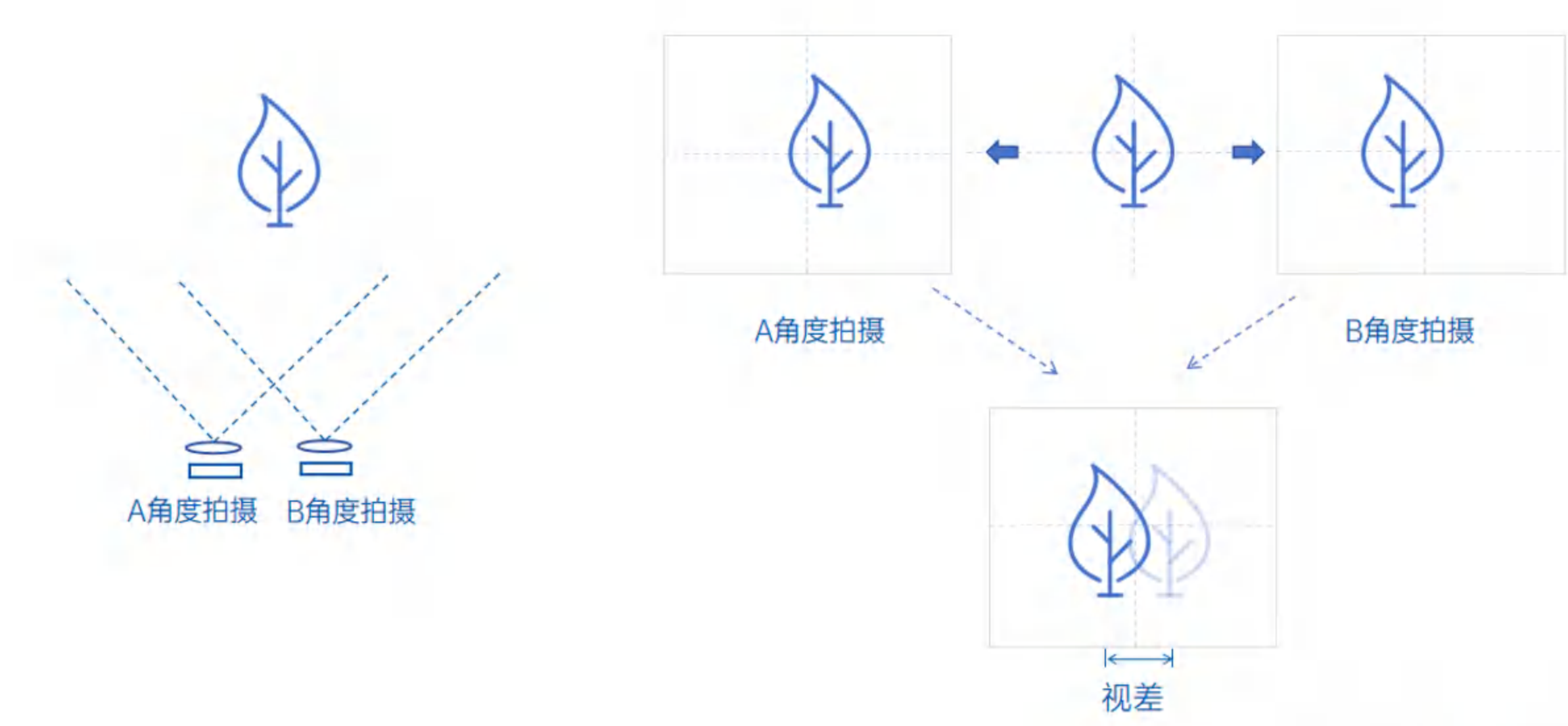


图源：Wellsenn XR

单枚相机搭配投射器测量深度通常采用这种方式获取深度信息，称为单目结构光。使用两枚相机时，结构光搭配双目视觉应用较多，在双目视觉的基础上采用结构光作为光源。

双目视觉利用两枚相机在同一时间对目标物体进行拍摄，得到两张不同视角的图像，通过对两张图像特征点的提取、匹配，结合相机的焦距计算对应特征点的像素坐标差值得到视差，再通过视差计算物体在相机坐标中的深度。

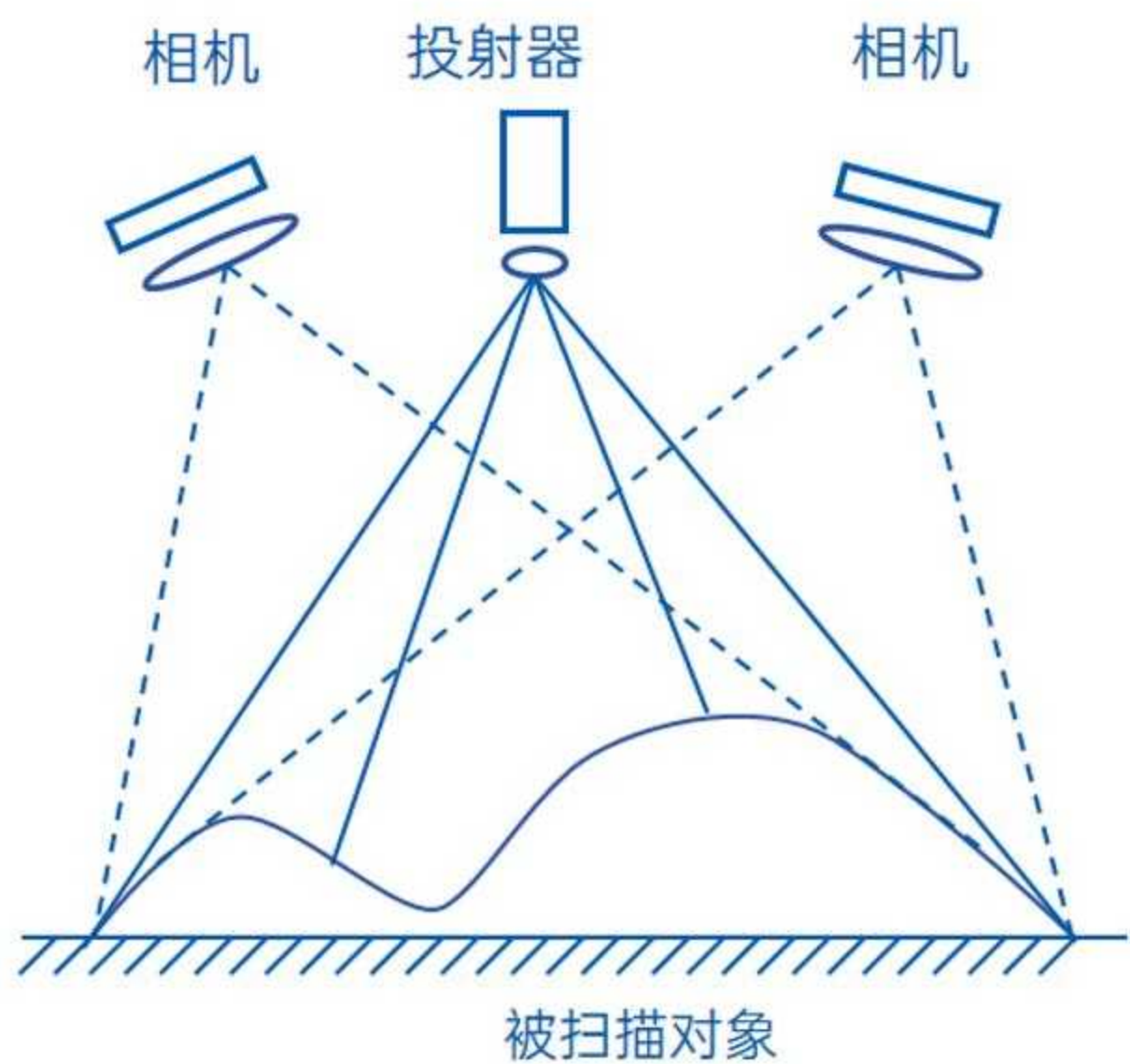
在3D扫描建模方式中，与双目视觉原理相似通过拍摄的方式获取深度信息构建建模的方法称为（全局）摄影测量。



图源：Wellsenn XR

双目视觉对目标物体表面的纹理和表面特征要求较高，易受到环境光影响，特征点匹配还需要大量计算，会导致最终结果的稳定性与准确性不够高。更常见的，是双目搭配结构光，也就是双目结构光。

双目结构光通过投射器向目标物体发射散斑、条纹等结构光，两枚摄像头对目标物体进行拍摄，再对所拍摄的结构光图像进行立体匹配，获取三维信息。



(二) 双目结构光

图源：Wellsenn XR

双目结构光相较于单目结构光测量更准确，精度更高，测量距离范围也更广。除了双目，结构光也可搭载多个相机进行测量，组合成多目。

结构光可以是普通白光，也可以是激光，使用激光可获得更高的精度与更好的表面质量，使用白光，扫描速度更快、成本更低。扫描仪根据需求与定位，会选择不同的发射光。激光与白光也会搭配使用，以补充光源。不同颜色的激光波长不同，扫描距离、精度、对人眼的伤害程度有差异。

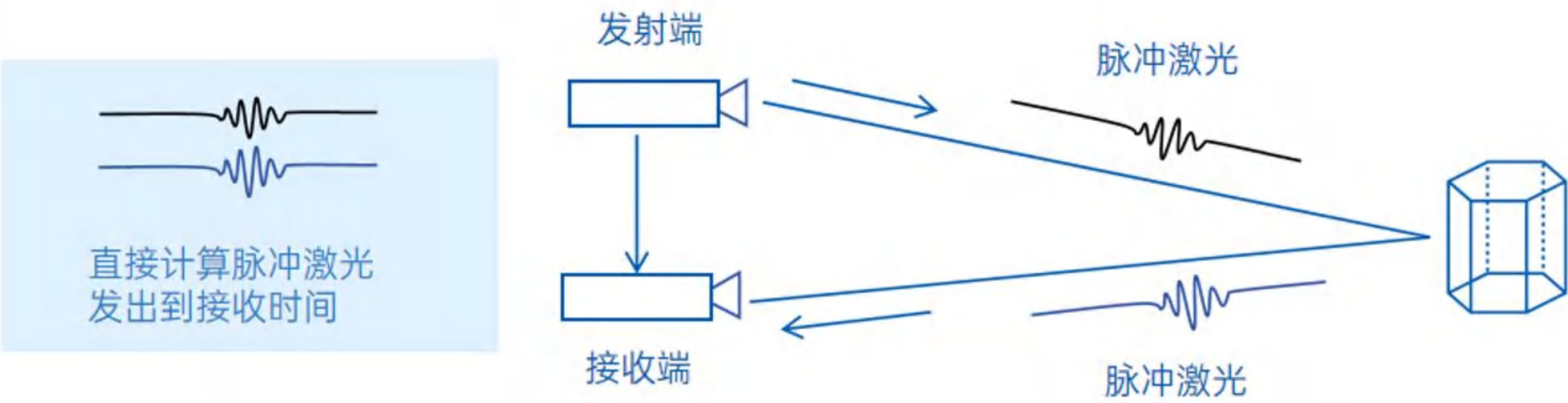
目前手机前置摄像头用于人脸识别的扫描技术通常采用结构光，使用白光作为光源，成本相对于激光更低，且易集成至手机等移动设备中。

- 优点：精度可达亚毫米级别，扫描效率高，能自动生成三维模型，技术成熟
- 缺点：受环境光影响较大，精度会随距离增加减弱

3) 飞行时间激光扫描

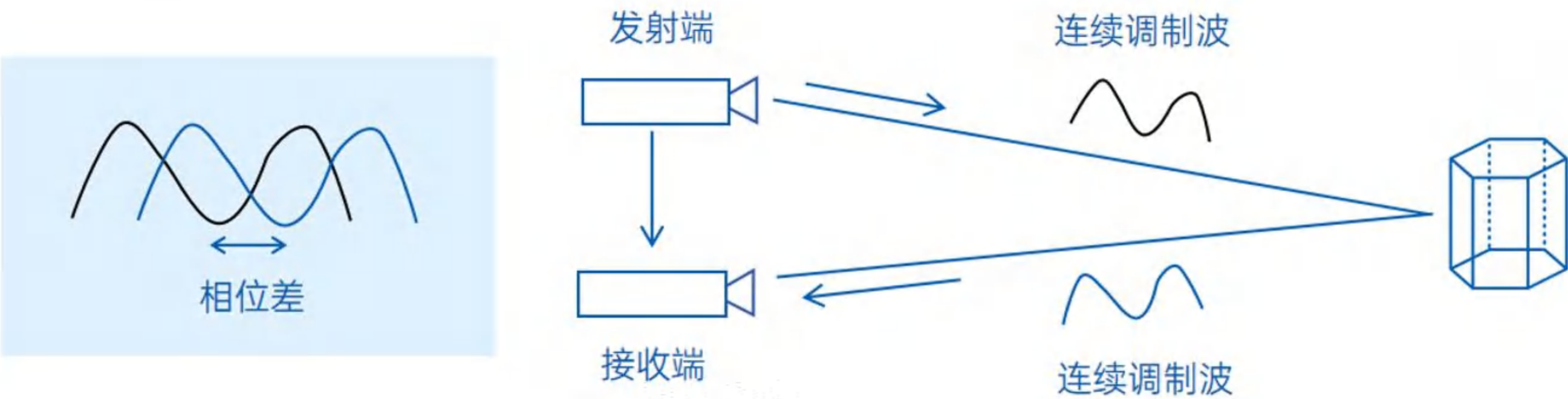
ToF全称Time of Flight，即飞行时间，指根据激光的飞行时间计算深度信息。根据时间计算方式的差异，ToF分为两种：dToF、iToF。

- dToF即Direct ToF，直接飞行时间法，投射器发射脉冲激光，通过直接计算激光发射到接收器接收反射激光所用时间计算深度信息；



图源：Wellsenn XR

- iToF即Indirect ToF，间接飞行时间法，投射器发射调制后的光波（如正弦光波），通过计算发射的光波与反射回来的光波间的相位差来间接计算时间。iToF也有少量使用脉冲激光，此时计算的是脉冲信号的相位差。



图源：Wellsenn XR

dToF测距精度高，功耗小，响应速度快，测量距离远，抗环境光干扰强，但集成难度大，成本高，成像分辨率较低；iToF测距精度高，但精度会随着距离的增加而同步减弱，图片分辨率较高，技术成熟，容易集成，功耗大。

飞行时间（ToF）扫描建模

| ToF  | 直接飞行时间（dToF）                                                                                                                                                                       | 间接飞行时间（iToF）                                                                                                                                                               |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 激光光波 | 脉冲                                                                                                                                                                                 | 特定频率调制波（如正弦波）                                                                                                                                                              |
| 特点   | <ul style="list-style-type: none"><li>• 测量距离远，精度高，测量误差不会随着距离增大</li><li>• 成像分辨率较低（通常小于320*240）</li><li>• 直接测量，响应速度快</li><li>• 抗环境光干扰强</li><li>• 集成难度高，成本更高</li><li>• 功耗更低</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• 精度高，测量误差会随着距离增大而增大</li><li>• 图像分辨率较高（大多能达到640*480）</li><li>• 集成简单、技术成熟</li><li>• 响应速度慢</li><li>• 抗环境光干扰一般</li><li>• 功耗更大</li></ul> |
| 应用   | 功耗低、体积小，适合工业机器人等需要快速进行测距、壁障检测，抗环境光干扰表现好，户外场景测距精度更高，不会随距离降低精度，更适合AR。                                                                                                                | 图像分辨率高，适合物体识别等需要重现更多细节的场景，成本低，短距离测距精度高，多用于测距距离较短的场景，如手机前置摄像头用于人脸识别。                                                                                                        |

图源：Wellsenn XR

目前移动端前置摄像头多采用iToF进行人脸识别、AR滤镜，后置摄像头基本同样采用iToF进行深度信息的获取，仅苹果开始搭载激光雷达LiDAR，采用了dToF的方式。部分移动端在硬件不具备条件的情况下，则会在算法层面采用背景虚化等方式模拟深度信息。

苹果从iPhone12开始为所有移动端Pro机型搭载LiDAR，采用LiDAR+索尼dToF模組的搭配。搭载之后，iPhone Pro系列产品可进行3D测距、3D扫描建模等，AR游戏/应用虚实融合效果也会更加稳定、真实。

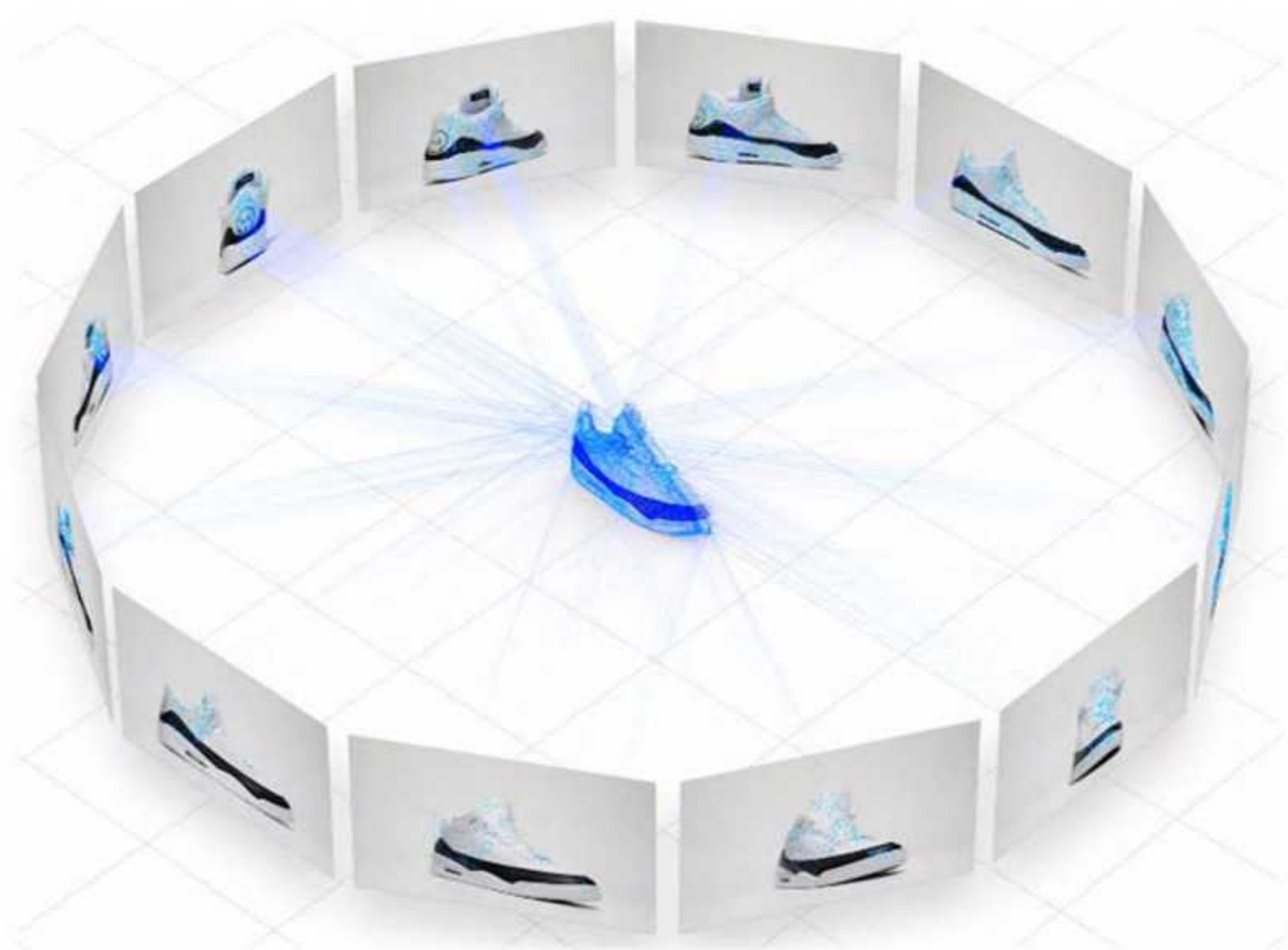


图源：网络

- 优点：精度达到亚毫米级别，抗环境光干扰性较好，体积小，暗光表现好
- 缺点：分辨率相对更低，成本较高

4) 全局摄影测量

全局摄影测量也简称摄影测量，通常采用高精度的相机拍摄被测物体所有角度的二维照片，再对拍摄的相邻照片特征点的提取与匹配，计算出图像的视差，再采用三角测量技术计算三维坐标。与双目视觉获取深度信息方式相同。



图源：网络

全局摄影测量既可以是单枚相机，也可以是多枚相机。拍摄时，相邻照片之间重合部分需达60%以上，才能获得较好效果，拍摄量较大。

全局摄影测量的优点在于能以特别高质量的纹理再现物体，但对被扫描物体的表面有较高要求，纹理清晰丰富的物体能得到较好结果，纹理缺乏的物体则会出现难以识别的问题。

- 优点：扫描结果细节纹理质量高，适合大型物体扫描
- 缺点：受环境光影响大，耗时，设备成本高

全局摄影测量经常会与其他3D扫描方式相结合，以减少误差，增加准确性。3D扫描仪为使扫描数据更为准确，会人工在被扫描物体表面贴上标记点，在扫描过程中，标记点会在边识别边添加时产生误差并不断累计。

引入全局摄影测量后可先获取物体表面所有标记点，3D扫描仪扫描时将获得的标记点与全局摄影测量的标记点进行匹配，用来作为被测物体的全局定位信息，获取扫描仪与被扫描物体的空间位置关系，最后通过识别结构光变化获得物体轮廓的三维数据。

全局摄影测量与其他3D扫描方式集成在同一个设备时，相机可以是分开单独使用，也可以复用，比如两枚相机配合投射器进行三维扫描，其中一枚复用于全局摄影测量。

除去专业扫描仪，苹果2023年更新的3D建模API Object Capture物体捕捉，采用的正是复合形式：LiDAR+全局摄影测量技术，LiDAR能提高精确度，全局摄影测量能较好还原纹理细节。

## 总结

3D扫描建模方式目前以双目结构光较为常见，为获得更好的扫描效果，扬长避短，部分扫描仪会综合使用不同的扫描方式，以提高扫描精度，如以结构光扫描为主的扫描仪增加全局摄像测量系统对扫描仪、扫描物体进行精确定位与校准等。

在应用领域，3D扫描建模通常为工业端用户使用，用于各类模型的制作、设计，供专业使用。现在，随着移动设备摄像硬件、软件性能得到提升，中、高端机型具备深度信息的获取能力，可以进行简单的3D扫描建模。

移动端深度信息主要获取方式为ToF，结合RGB相机获取彩色图像与ToF获取的深度信息相融合，结合算法进行优化，部分移动端会在算法层面采用背景虚化等方式模拟深度信息。

3D扫描建模

| 类型     | 激光三角测量扫描                                                              | 结构光扫描                                                                          |                                                                             | 飞行时间（ToF）激光扫描                                                       |                                                                                                | 全局摄影测量扫描                                                  |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|        |                                                                       | 单目结构光                                                                          | 双目结构光                                                                       | dToF（直接飞行时间）                                                        | iToF（间接飞行时间）                                                                                   |                                                           |
| 深度信息获取 | 投射器发射激光，激光遇到目标对象反射回来，在相机感光元件成相，不同物体表面的点落不同位置成像，再结合相机参数焦距等，利用三角公式推导距离。 | 单枚相机，投射器发射具有一定结构特征（光点、光条、光面）的光，光投射在物体表面结构发生扭曲，传感器接受反射回来的结构光，通过计算结构的变化计算目标深度信息。 | 两枚相机，在双目视觉的基础上采用结构光作为光源，两枚相机同一时间拍摄图像，通过对两张图像特征点的提取、匹配，结构相机参数计算视差，进一步计算深度信息。 | dToF：Direct-ToF，直接飞行时间，向目标连续发射激光脉冲，通过计算激光碰到目标表面反射回来所用时间，确定目标对象深度信息。 | iToF：Indirect ToF，间接飞行时间法，投射器发射调制后的光波（如正弦波），通过计算发射的光波与反射回来的光波间的相位差来间接计算时间。（少数使用脉冲激光，测量脉冲信息相位差） | 从多个角度拍摄目标对象，通过照片的特征点提取、匹配，结合三角测量确定目标对象距离深度信息，将照片融合成为三维模型。 |
| 优点     | 精度高，暗光环境可工作                                                           | 精度高                                                                            | 精度高                                                                         | 精度高，搞环境光干扰强                                                         | 精度高、集成简单、技术成熟                                                                                  | 纹理质量高                                                     |
| 缺点     | 精度随距离增大迅速下降                                                           | 易受环境光影响                                                                        | 易受环境光影响                                                                     | 分辨率低，集成难                                                            | 功耗大、误差随距离增大                                                                                    | 受环境光影响大、耗时                                                |
| 常用场景   | 工业扫描                                                                  | 制造业、医疗                                                                         | 手机前置摄像头人脸识别                                                                 | 手机后置摄像头                                                             | 物体识别、手机前/后置摄像头                                                                                 | 大型物体扫描                                                    |

图源：Wellsenn XR

2、3D软件建模

3D软件建模需要用户借助计算机软件，使用点、线、面等基础几何元素从零开始构建三维模型。由3D扫描仪器获得的三维模型也可导入3D建模软件进行进一步的完善与设计。

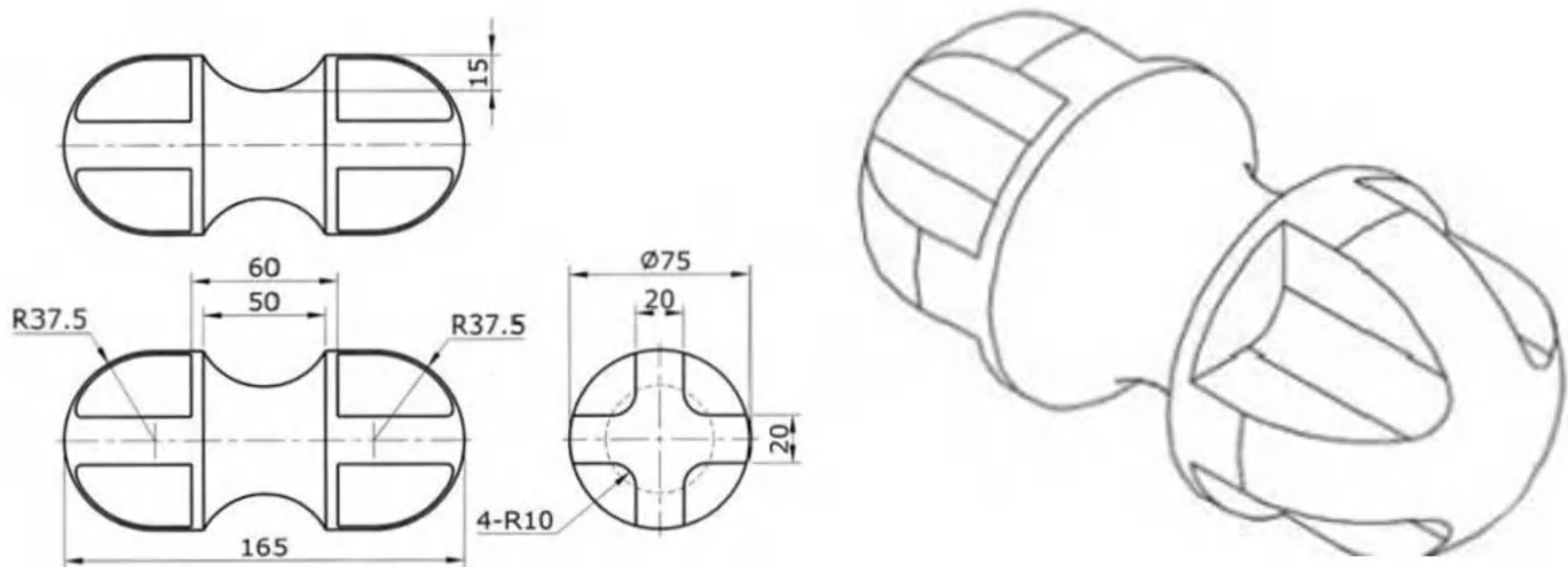
根据构建特点的不同，3D软件建模主要划分为三类：CAD建模、多边形建模、数字雕刻建模。

1) CAD建模

CAD全称Computer-Aided Design，指使用计算机辅助进行三维建模，是基于几何图形的建模方式，通过绘制线条、曲面、实体等元素来构建，是工程师、设计师使用最多的3D建模方式，我们日常接触的多数现代产品均使用这种方式建模。

CAD建模又称为参数化建模，在这种建模方式中，几何形状通常由各种基本几何元素组成，例如点、线、面、体等，这些元素之间通过参数和关系进行连接。

通过对这些参数和关系的调整，即可实现对同几何形状的修改和优化，不需要手动绘制或修改，可以提高建模效率和准确性，减少重复工作。



图源：网络

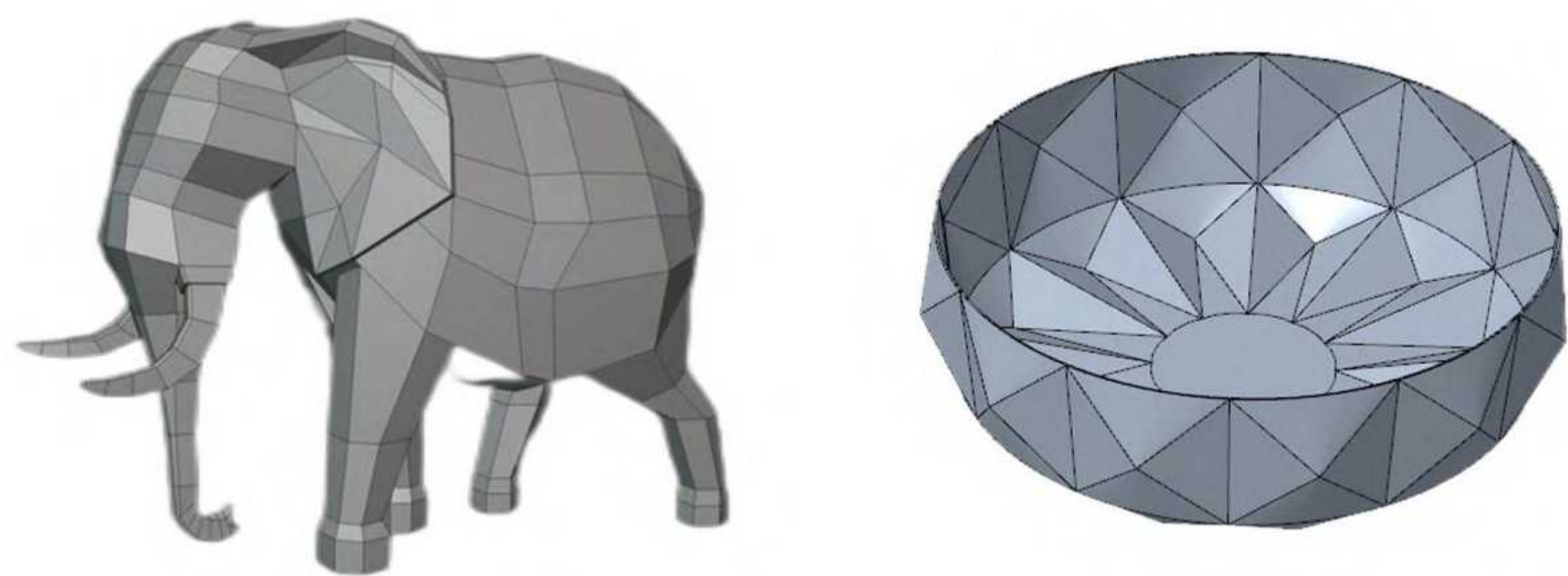
这种建模方式需要精确控制模型的形状与尺寸，设计、创建的3D物体具有真实对象的所有物体参数：材质、重量、尺寸、光学参数等，广泛应用于工程设计、建筑设计、工业设计、游戏设计等领域。

特点：可以进行2D、3D设计与绘图，适用于各个设计领域；可以进行复杂的几何形状建模，例如曲面、实体等；可以进行参数化设计，自动化功能能够批量处理如修改、复制等重复性工作；精确度高；支持多种文件格式标准，便于与其他CAD软件、非CAD软件转换。常用软件有：AutoCAD、SolidWorks、CATIA。

2) 多边形建模

多边形建模主要使用三角形、四边形、五边形.....曲线多边形等常见多边形构建三维模型。与CAD建模不同，多边形建模并非基于真实测量的物理参数。

动画与视频游戏工作室利用多边形建模进行设计，包括电影、游戏角色，以及各种各样的3D资产，例如武器、装甲、车辆，甚至是整个虚拟世界等，都由多边形建模而成。多边形建模简单易学，适合初学者。



图源：网络

特点：能够快速创建简单的几何形状，快速进行修改、编辑，自由度、灵活性好，可实现各种复杂的造型与动画效果，支持各种纹理贴图 and 渲染技术，以便在游戏或数字艺术中呈现高质量效果。常用软件有：Blender、3ds Max、Maya。

3) 数字雕刻

数字雕刻将3D模型表面的点、线、面元素逐一雕刻、细化、调整，让模型呈现高度逼真的细节和纹理。

通过类似画笔的雕刻工具，用户可以通过推、拉、扭曲几何形状的各个部分，操纵多边形网络，也可以额外添加几何结构，整个过程与真实生活中使用粘土材料进行雕刻非常相似。



图源：网络

相比多边形建模，数字雕刻时需要更加细致，过程也更加耗时，主要应用于制作高质量游戏角色、动作电影等。数字雕刻也用于完善其他形式完成的3D模型。常用软件如：ZBrush、Mudbox、Sculptris。

在实现应用中，通常需结合多种建模方式来完成复杂的建模任务，部分3D建模软件更为通用，会同时提供多种建模方式以及加工完善的功能。

综合来看，CAD建模适用于需要进行复杂几何形状建模的场景，多边形建模适用于需要快速创建简几何形状的场景，数字雕刻适用于模型的细节完善。CAD建模和多边形建模通常用于制作工程图、建筑模型等，而数字雕刻则通常用于数字艺术品、游戏角色、建筑模型等领域。

| 3D软件建模 |                                                                                                                                     |                                                                                                                    |                                                                                                           |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 方式     | CAD建模（参数化建模）                                                                                                                        | 多边形建模                                                                                                              | 数字雕刻                                                                                                      |
| 图示     |                                                  |                               |                      |
| 区别     | 通过绘制线条、曲面、实体等元素基于真实物理参数构建，元素之间通过参数和关系进行连接，调整参数和关系即可对几何形状进行修改。                                                                       | 主要使用三边形、四边形等多种常见多边形构建，无需基于真实测量的物理参数，概念性更强。                                                                         | 对3D模型表面的点、线、面元素逐一雕刻、细化、调整，可对几何形状各个部分进行调整，与真实雕刻相似。                                                         |
| 特点     | <ul style="list-style-type: none"><li>• 精确度高</li><li>• 可进行2D、3D设计、绘图，适用性广</li><li>• 能批量进行修改、复制等重复性工作</li><li>• 支持多种文件格式标准</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• 简单易学，合适初学者</li><li>• 快速进行修改、编辑，自由度高、灵活性好</li><li>• 支持各种纹理贴图和渲染技术</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• 将模型调整出高度逼真的细节和纹理</li><li>• CAD建模与多边形建模通常为静态，数字雕刻可实现动态效果</li></ul> |
| 应用     | 广泛应用于工程设计、建筑设计、工业设计、游戏设计等领域                                                                                                         | 主要用于游戏角色、动漫角色、数字艺术等领域。                                                                                             | 通常用于制作高质量数字艺术品、游戏角色、建筑模型等。                                                                                |
| 常用软件   | AutoCAD、SolidWorks、CATIA                                                                                                            | Blender、3ds Max、Maya                                                                                               | ZBrush、Mudbox、Sculptris                                                                                   |

图源：Wellsenn XR

3、AIGC建模

AIGC全称Artificial Intelligence Generated Content，指基于人工智能技术生成文本、图片、音频、视频、3D模型等内容，AIGC的生成过程主要利用各种类型的神经网络模型完成，例如OpenAI推出的ChatGPT。



图源：Wellsenn XR

AIGC建模则是指利用人工智能技术构建3D模型。AIGC建模主要有以下方式：

- 直接利用3D数据进行训练，生成大模型；
- 利用2D图片生成3D模型；
- 先通过文本描述利用AI生成2D图片，再利用2D图片生成3D模型。

1) 基于现有3D模型数据进行训练

基于现有3D模型数据进行AIGC建模，需要先使用现有3D模型学习三维形状和纹理等构建大模型，再利用大模型进行3D模型的生成。

基本步骤为：从现有3D模型获取点云数据；再从经过处理的点云数据中学习3D模型的结构和特征，设计出合适的神经网络模型；再使用3D数据对该神经网络模型进行训练，对模型的参数、结构进行调整；最后使用训练好的模型根据给定的3D数据生成3D模型。



图源：Wellsenn XR

这种方式下的模型训练需要大量现成的3D数据和计算资源，目前3D内容数据缺乏，丰富度远不及图片等二维内容，因此较难实现数据的多样性。直接利用3D数据进行训练，生成3D模型的案例：PointNet（斯坦福大学2017年提出）、PCN（惠普）、3D-EPN（微软亚洲研究院）。

2) 文字/图片生成3D模型

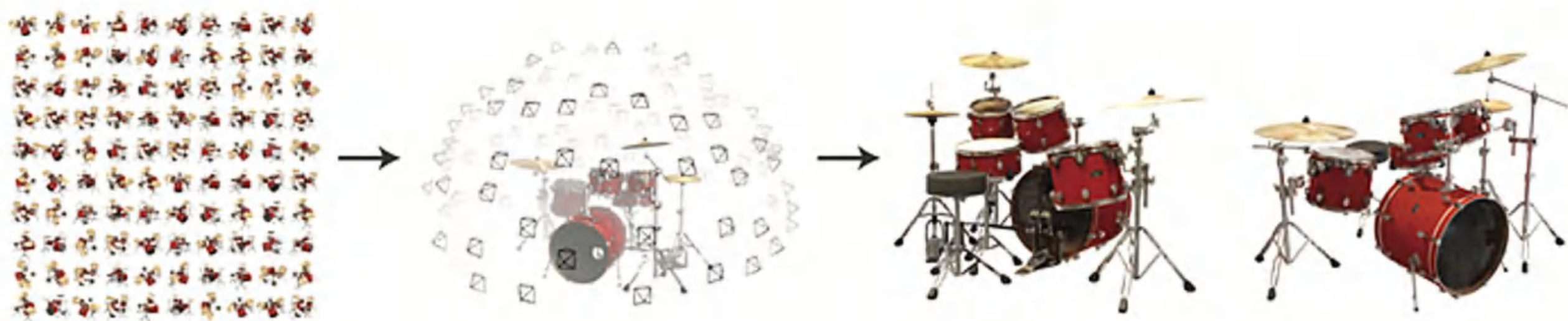
基于2D图片生成3D模型是更受关注的AIGC 3D模型生成方式。2D图片又可以通过文本描述由AI生成，因此文本生成3D模型本质上也是图片生成3D模型，很多模型支持文本直接生成3D模型。

在传统建模方式当中，全局摄影测量构建3D模型的方式便是2D图片生成3D模型，通过拍摄大量照片，依据照片间特征点的视差计算三维信息，进行三维重建。

全局摄影测量生成3D模型对拍摄密度有要求，需要依靠相邻图片间重合的特征点获取视差，相邻图片间的重复覆盖面积需达60%甚至70%以上，需要拍摄大量图片。

AIGC生成3D内容，仅凭少数几张甚至单张图片即可转换为3D模型，既缺乏足够多的图片通过特征点匹配的方式计算视差，也缺乏图片进行空白信息的补全。AIGC图片生成3D模型，采用了不同的方式。

AIGC生成3D内容，目前最知名的是NeRF技术，全称Neural Radiance Field 神经辐射场，2020年由来自美国加州大学伯克利分校、圣地亚哥分校与谷歌的研究者提出，它能够通过几张静态的2D图像，生成所有视角下的2D图像，构建高质量3D模型。

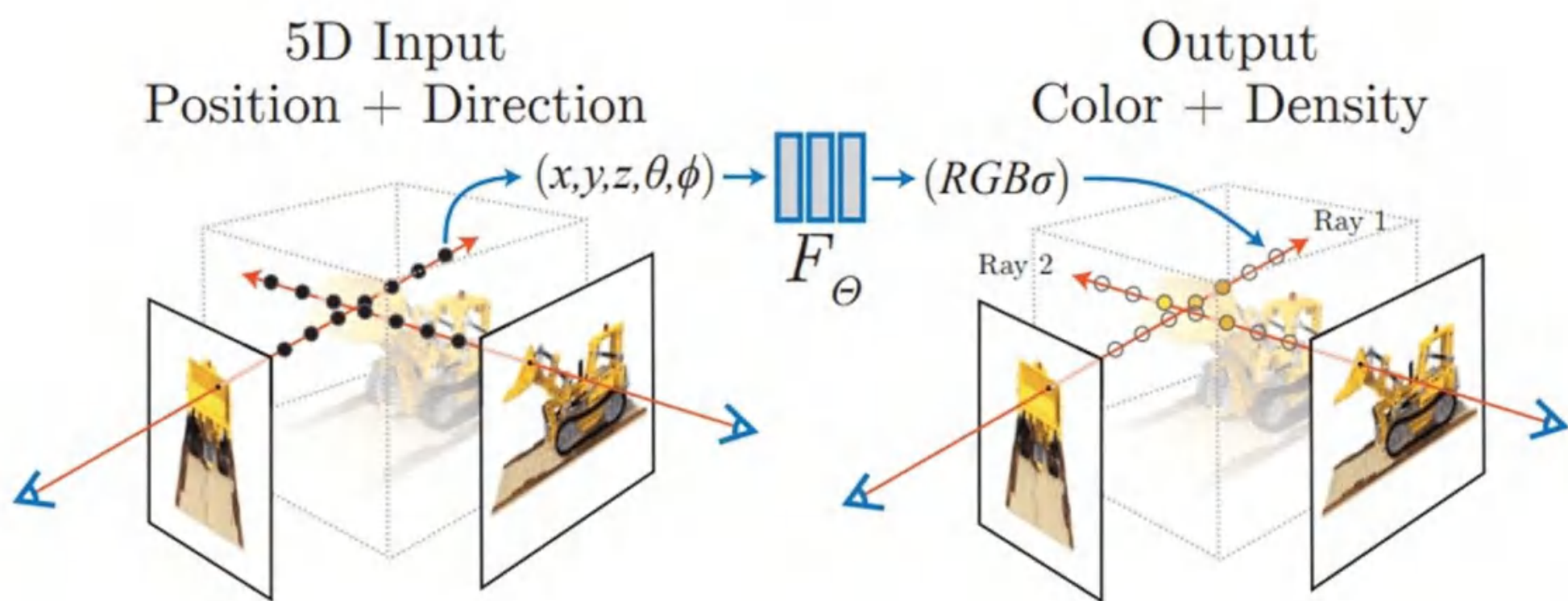


图源：NeRF论文

3D扫描建模先获取了代表三维信息的点云数据，再根据点云数据构建三维模型。NeRF更为复杂，在无法直接获取三维信息的情况下，需要依靠2D图像推断其在三维空间的位置，将数据从低维空间映射到更高维的空间。

每张2D图像的拍摄都是在一定观测角度下进行的，图像中不同的点位在不同观测角度下颜色呈现不同。NeRF在3D坐标  $(x, y, z)$  基础上引入了观测方向  $(\theta, \phi)$ ，即5D坐标  $(x, y, z, \theta, \phi)$ 。

每个点的坐标都与该点的颜色等信息一一对应，2D图像每个像素点的坐标与该点的颜色相对应，3D对象每个3D点的坐标  $(x, y, z)$  和观测方向  $(\theta, \phi)$  与该角度下观察的该点颜色和体密度（该点在光照下的明暗程度）相对应。



图源：NeRF论文

NeRF从输入的多个视角的图像和相机拍摄的位姿（包括相机位置和方向）提取出图像中每个点的空间位置和视角特征，映射到三维空间，输出这些点的颜色和密度值构成3D场景。

所得到3D场景点的密度不够，会对每个体素的颜色和密度进行插值补全，即通过已知相邻体素的颜色和密度值推断目标体素的颜色和密度值，直至得到整个3D场景的颜色和密度值。

AIGC使用NeRF类似技术生成3D内容的大模型及厂商举例：

- 谷歌——DreamFields、DreamFusion

DreamFields，3D建模工具，使用了类似NeRF的方法来生成3D模型，可以对模型进行实时渲染。

DreamFusion：文本生成高质量2D图像（基于2D扩散模型），再由2D图像生成3D模型（基于NeRF），最后采用一种新的采样技术SDS优化3D模型的细节和纹理，精度更高。

DreamFields使用GAN进行训练，DreamFusion使用基于Imagen扩散模型的损失函数来进行损失计算。

- OpenAI——Point-E

Point E是将2D的图片信息转化为3D空间中的点云，再通过算法优化生成3D模型。能够快速生成高质量3D模型，同时支持多视角渲染和交互式编辑，且提供丰富的API和示例代码，方便开发者二次开发、应用。

- 英伟达——Magic 3D

Magic 3D通过输入一张图片或者一段生成3D模型外观和形状的描述，提取图像或技术的关键特征。生成器将经过编码的特征向量作为输入，输出3D点云，之后借助使用了类似NeRF方法的优化器进行优化，最后输出3D模型。

AIGC文字/图片生成3D模型需要大量的资料进行训练、优化、迭代，从近几年的发展速度来看，构建一个模型的时间已大大缩短，但目前仍多处于研究阶段，多数未正式发布投入使用。

3D扫描建模、3D软件建模、AIGC建模三种不同方式下制作的3D模型，最终都可以使用3D建模软件进行进一步的完善和设计。

(二) 3D/体积视频拍摄

体积视频拍摄是对真实对象动态的录制。视频是一组连续播放的二维图像，体积视频则是连续获取三维数据，构建一组连续的静态3D模型，最终组成一段三维影像的过程。

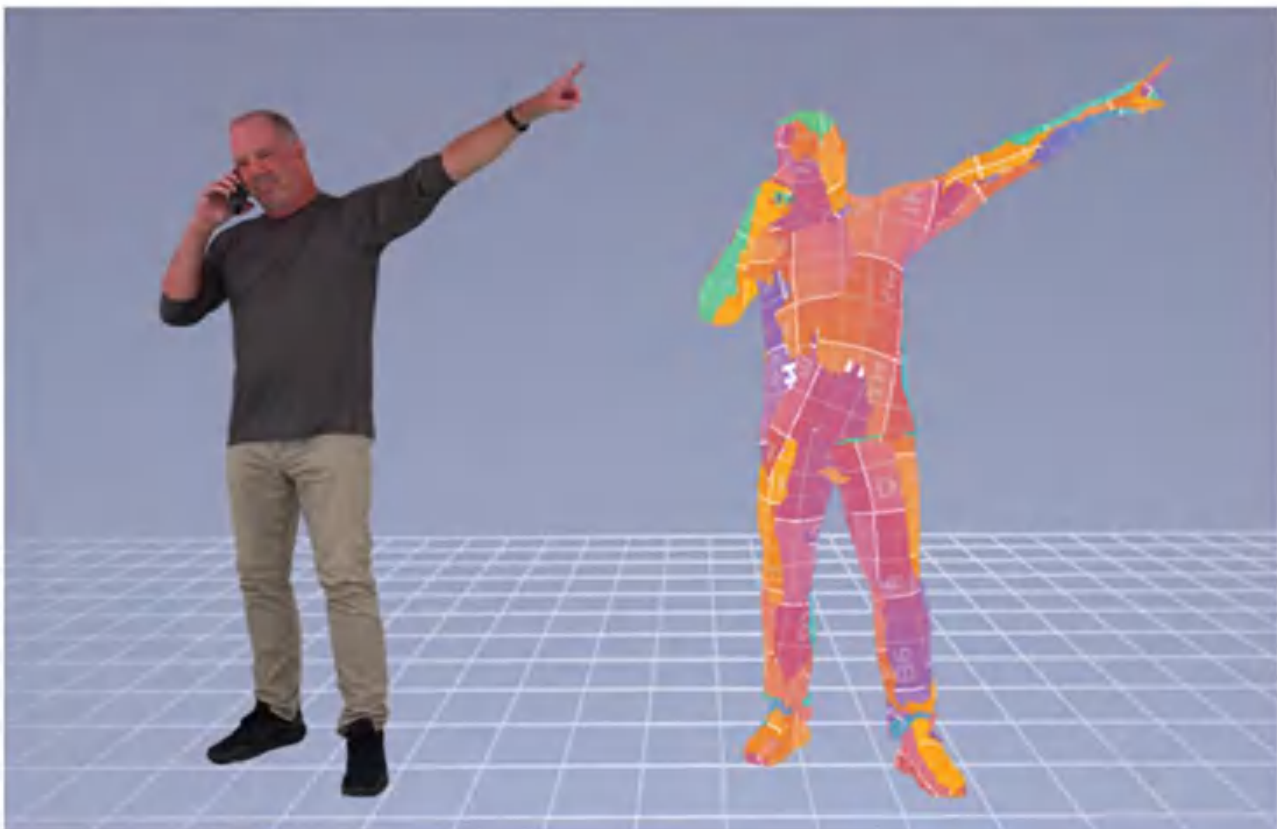
体积视频的拍摄成本较高，有一定技术门槛。同一时刻，一枚相机只能拍摄一个角度下的场景，几十枚相机将拍摄对象360度围绕起来进行拍摄，才能得到同一时刻下所有角度的信息。体积视频通常采用由数枚专业相机组成的相机系统对目标对象进行环绕拍摄。

相机系统通常由RGB相机和高精度工业相机组成，以同时获取颜色和深度信息，获得的信息会通过算法实时建立模型，再通过Unity插件等途径制作成有连续动作的3D视频。用户在观看视频时可以将画面调整至任何角度观看。



图源：网络（普罗米修斯体积视频录制棚）

在应用上，体积视频多应用于娱乐影视、教育等方向，如：



图源：arturus

- 2009年导演詹姆斯·弗罗斯特与媒体艺术家亚伦·科布林合作，3D捕捉汤姆·约克表演的《纸牌屋》的点云制作体积视频；
- 2021年，乐录影带导演理查德·李为唱歌手埃米纳姆单曲《Rap God》录制了体积视频；

未来或应用至日常生活中，代替照片、视频对我们的生活进行记录。

(三) 3D内容创作工具

3D内容创作工具指能帮助用户运用3D素材进行创作，完成拥有明确主题和目标效果（如广告、电影、游戏等）内容的工具。3D内容创作工具主要有三类：专业3D设计软件、开发引擎、3D内容编辑器。

3D模型的主要应用场景，对应了3D内容不同需求下的呈现形式。主要应用方向为：游戏开发、电影和电视制作、建筑和室内设计、工业设计和制造、医学和生物科技。



图源：Wellsenn XR

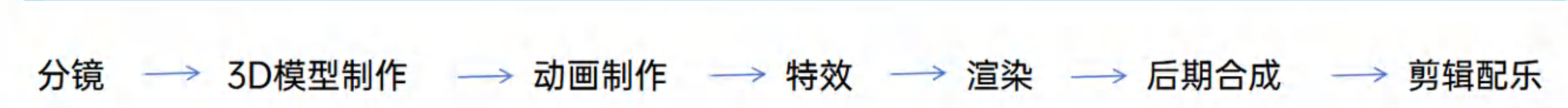
这些3D内容可以划分为两类，一类静态的3D模型即可满足需求，用于3D展示、3D打印，讲究还原现实对象，以工业设计和制造、医学和生物科技、建筑和室内设计为代表。

另一类3D模型只是基础素材的一部分，完整的内容设计与整体的呈现效果才是最终目的，如游戏（包含VR/AR）、电影（包含VR/AR）等，有明显的内容创作属性，同时需要专业的3D内容创作工具如专业软件、引擎、编辑器等完成。3D内容创作工具主要应用于第二种3D内容的制作。

1、专业3D设计软件

3D模型构建好后，需要使用软件等工具对3D模型进行贴图，渲染，模拟现实世界的物理效果，制作动画、交互等，使其更符合真实世界的运行规则以及设计者脑海中的效果。这个过程也是3D内容创作过程，通常由多款软件分工合作完成。这种方式下的内容以电影、动画为代表。

3D动画制作过程



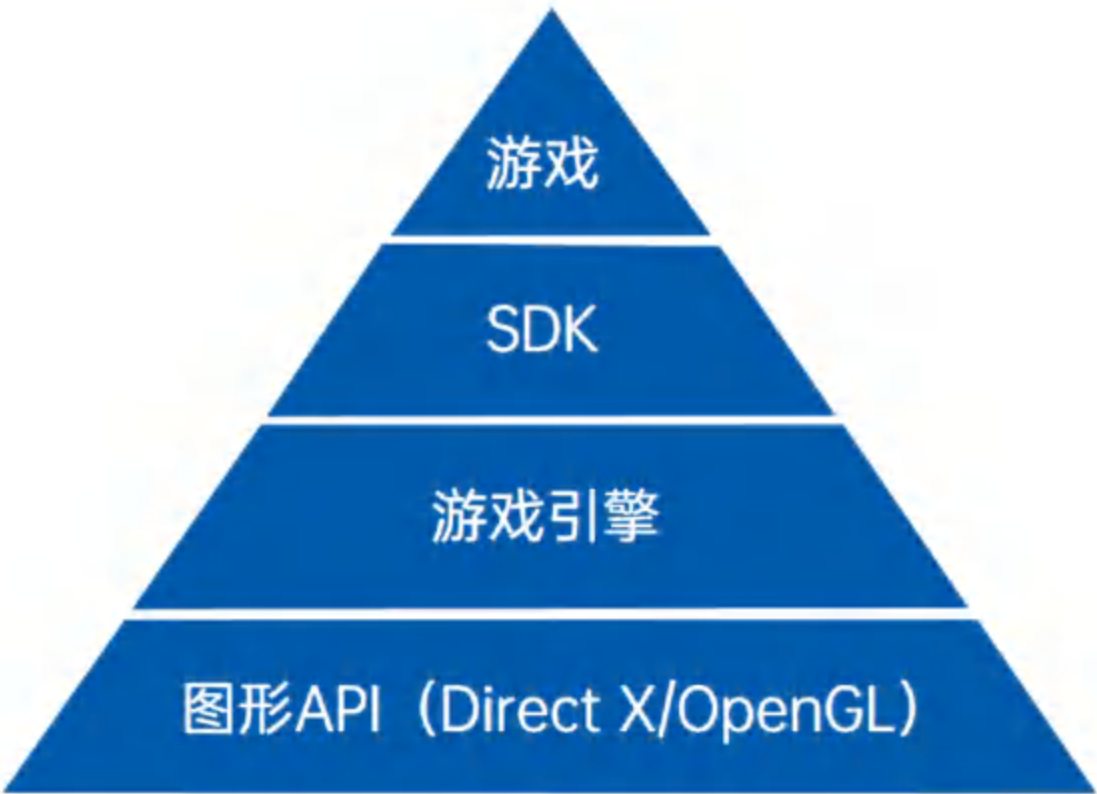
图源：Wellsenn XR

3D建模软件通常既提供建模功能，也提供进一步的设计、制作功能。在内容制作过程中，通常以多款3D制作软件各显所长综合完成为主，制作过程是一系列工具的协同、组合使用。

2、开发引擎

开发引擎是用于开发各类软件应用的软件工具，以游戏引擎最为常见，可以理解为一个封装了丰富功能的功能库，它通过接口将这些功能提供给开发者，并提供一整套的制作工具供开发者使用，方便开发者进行游戏/影视等内容的开发。

游戏引擎的产生：上世纪90年代，开发者发现游戏与游戏间，除了内容上的不同，在许多控制与关卡设计上与已有游戏基本相同，开发者便将游戏当中这些相同的模块分享出来，封装成一个个可以重复使用的程序模块通过功能接口提供给开发者，形成了游戏引擎。



图源：Wellsenn XR

引擎的不同功能模块，能让一堆静态、孤立的3D内容等素材，重建为一个在视觉、运行规则上与现实世界接近的模拟版现实世界。

包括通过渲染让场景中有光照、阴影，让不同物体呈现不相应的质感；通过动画系统让角色动起来；通过物理引擎模拟真实的物理效果，比如重力、摩擦力、弹力；通过音频系统在合适的时候出现音效；通过脚本系统让剧情一环扣一环向后发展.....



图源：Wellsenn XR

为方便开发者使用这些功能，游戏引擎会提供更为具体的操作编辑器，提供可视化界面，方便开发者直观地创建、编辑和管理游戏中的各种资源，如场景、模型、纹理贴图、动画等。

开发引擎会内置简单的3D建模功能，同时也提供较为简单的立方体、球体等现成的几何模型供开发者使用，开发者可以从零构建3D形象、动画。更多时候，开发所使用的模型由外部3D建模手段创建好，再进行导入直接使用，用来制作完整的3D内容，如游戏、3D电影。

| 游戏引擎功能模块与编辑器 |                           |       |                                  |
|--------------|---------------------------|-------|----------------------------------|
| 游戏引擎功能       |                           | 编辑器   |                                  |
| 游戏引擎功能       | 具体功能                      | 编辑器   | 具体功能                             |
| 图形渲染引擎       | 处理游戏场景的渲染，如光照、阴影、材质、特效等   | 场景编辑器 | 创建、编辑和管理场景中的地形、建筑、植被等元素          |
| 物理引擎         | 模拟物理效果，如重力、摩擦力、弹力等        | 模型编辑器 | 创建、编辑和管理游戏中的3D模型，如导入、导出、编辑、组合等   |
| 动画系统         | 制作动画效果，如角色动画、特效动画等        | 纹理编辑器 | 创建、编辑和管理游戏中的纹理贴图，包括导入、导出、编辑、裁剪等  |
| 输入系统         | 处理游戏中的输入，如键盘、鼠标、手柄等       | 动画编辑器 | 创建、编辑和管理游戏中的动画效果，包括骨骼动画、形状关键帧动画等 |
| 音频系统         | 处理游戏中的音频效果，如音乐、音效等        | 粒子编辑器 | 创建、编辑和管理游戏中的粒子效果，包括火、水、云等        |
| 网络系统         | 实现多人游戏和在线游戏功能，如网络同步、数据传输等 | 物理编辑器 | 创建、编辑和管理游戏中的物理效果，包括碰撞检测、重力、摩擦力等  |
| 人工智能         | 控制游戏角色行为、调整游戏难度、生成游戏剧情等   | 脚本编辑器 | 编写游戏逻辑和脚本，包括C#、JavaScript等       |
| UI系统         | 用来实现游戏菜单、场景UI、提示和消息、技能展示等 | 资源管理器 | 管理游戏中的各种资源，包括导入、导出、重命名、删除等       |
| .....        | .....                     | ..... | .....                            |

图源：Wellsenn XR

### 3、3D内容编辑器

#### 1) 可视化3D内容编辑器

可视化3D内容编辑器，通常无需代码基础，提供可视化界面，用户直接使用编辑器功能对3D内容编辑、设计，完成最终效果。

在功能上实现上，是引擎的简化版，包括提供现成的3D模型，可进行渲染，制作简单的动画等，通常模板性较强，会针对某些专业领域，如医疗、教育等，提供模板化的素材和编辑功能。

低代码/零代码3D内容编辑器的好处在于方便、低门槛、开发成本低；缺点在于与开发引擎相比，创作有局限性，只能用于相对简单、非精细化的内容制作，风格固定，模板性强，可供自由发挥的空间有限。在内容制作方向，以培训、教育、医疗、文旅、营销展示等为主。

#### 2) AIGC 3D内容编辑器

AIGC大模型需要大量的计算资源与时间来进行训练，微软、英伟达、Meta等众多大型公司的AIGC大模型并未正式发布，仍处于继续完善阶段。

目前一些网站通过使用较小的模型进行训练，或者将已经在模型中训练过的模型（即预训练模型）进行应用，已开始提供通过文本/2D图片生成3D内容的AIGC功能。这类AIGC功能相对有限，用于生成较基础的3D内容，应用于后期3D内容的编辑、创作。

AIGC 3D编辑器通常为可视化3D内容编辑器新增功能，部分编辑器除了提供无代码3D内容编辑器，还集成了AIGC功能，根据用户需求将2D图片转3D内容，或者通过输入文本生成3D内容。

（四）3D内容生产发展趋势

3D内容主要应用于专业领域，如影视、工业、医疗等，以专业人员使用专业工具生产为主，呈现向普通用户生产过渡的发展趋势。

从文字、图片等二维内容的发展过程来看3D内容生产，3D内容会随着应用市场的扩大，生产工具便捷性的提升，经历PGC（专业生产内容）——UGC（用户生产内容）——AIGC（AI生产内容）发展过程。



制图：Wellsenn XR

目前文字内容的生产已经逐步过渡到AIGC阶段，在AIGC的帮助下完成部分工作，图片内容的生产朝AIGC方向发展，3D内容生产目前处于PGC向UGC阶段过渡。

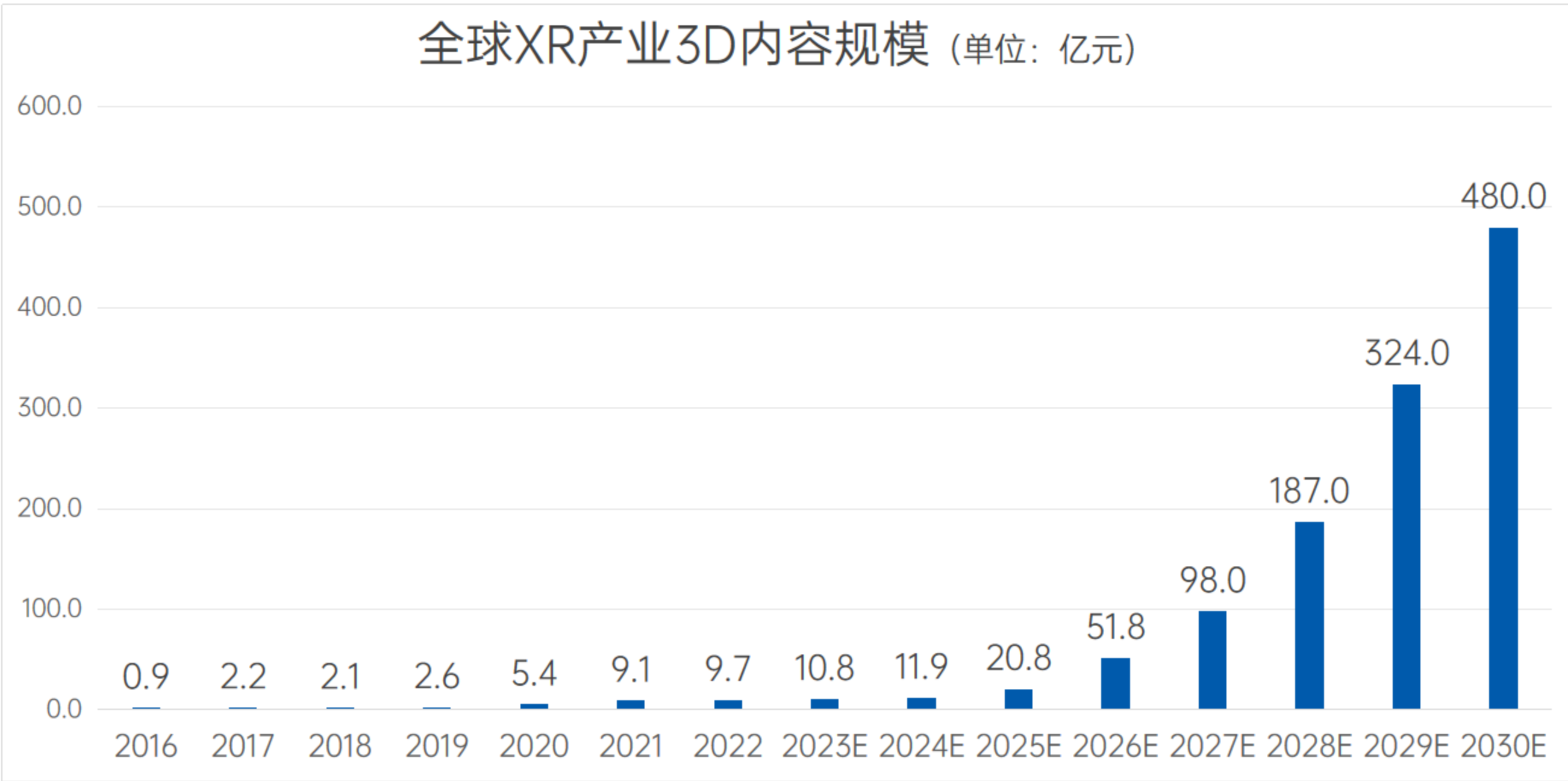
3D内容生产流程已较为成熟，高质量的3D内容由专业从业人员，使用专业工具完成，整体耗时较长，门槛较高。UGC阶段的来临倚仗便携的生产工具，当手机能像记录照片一样较好地记录三维信息，3D建模软件朝无代码化更进一步发展，UGC将会迎来蓬勃发展。

当前手机中、高端机型已初步具备获取三维信息的软、硬件条件，无代码3D内容编辑器数量逐渐增多，创作工具日益丰富，部分提供AI技术将图片转换为3D模型的服务。3D内容的生产正由PGC向UGC阶段过渡。

另一个值得重视的点在于3D内容的展示工具，除了VR/AR头显，3D内容当前主要使用二维屏幕进行查看，缺乏以三维形式进行日常便利展示的工具，无法带来真正的3D视觉体验。

(五) 全球XR产业3D内容规模

根据Wellsenn XR市场调研数据和相关统计数据，当前全球XR产业3D内容规模接近11亿元人民币，一年后XR产业3D内容的生产、应用会迎来快速发展期，2030年XR产业3D内容规模预计达480亿元人民币。



数据来源: Wellsenn XR

随着VR/AR产业的发展，元宇宙等概念爆火，越来越多的人对3D内容的认知与期待加强。今年6月苹果亮相MR产品Vision Pro，成为VR/AR硬件领域新的领头羊，这一举动很大程度上提振了产业信心，同时助力产业出圈，让更多人对VR/AR有了新的认识，对3D内容的需求将随之扩大。

移动端3D扫描硬件条件逐渐增强，中、高端手机开始支持简易的3D扫描功能，尤其是将LiDAR与摄影测量技术相结合的苹果移动端，已能快速扫描制作出相对高质量的3D模型，且能应用于VR/AR内容的制作。这将促进3D内容的生产与应用将朝UGC阶段发展，让XR产业3D内容规模进一步扩大。

3D内容生产产业地图



## 四、苹果3D内容生态布局分析

苹果3D内容生态围绕AR的发展而发展，以既有移动端生态为中心，采取先软件，后硬件的策略。先通过提供开发者工具包的方式培养移动端AR开发者，再加强硬件性能，最后推出MR头显。

3D内容是VR/AR重要内容素材，苹果从基础的3D模型制作，到快速浏览、编辑、开发，再到输出为完整的VR/AR内容已初步形成闭环。

### （一）苹果空间视频与3D建模

苹果3D内容分为两种类型：3D视频、3D模型。苹果的3D视频在发布会中称为Spatial Video 空间视频，观察有立体感。苹果3D模型的制作主要使用了LiDAR与摄影测量技术，主要以API的形式提供给开发者，用户借助移动端软件即可生成3D模型。

#### 1、苹果空间视频

苹果空间视频在苹果开发者文档中称为Stereoscopic Video 立体视频，主要借助双眼视差原理提供立体视觉。立体视频播放的每一帧画面都有一对压缩的左、右图像，两张图像略有差异，分别呈现在左、右眼形成视差，让观察者产生立体视觉，与3D电影效果类似。

苹果空间视频由主摄和超广角两枚相机拍摄。简单的立体视觉效果，两枚相机同时拍摄分别呈现在左、右眼产生视差即可达到立体效果。空间视频在Vision Pro的6DoF空间进行播放的屏幕同时做了虚化处理，增强立体感。



图源：苹果发布会

2、苹果3D建模

苹果3D模型的制作主要使用LiDAR和摄影测量技术，以API的形式提供给应用开发者使用，制作3D建模软件。目前提供的3种主要建模方式：

- 第一种，借助摄影测量技术，将2D图像/视频转换为高质量3D模型，可供使用的API为Object Capture；
- 第二种，借助LiDAR通过直接飞行时间技术获取点云信息，快速扫描构建房间3D模型，可供使用的API为RoomPlan；
- 第三种，摄影测量技术与LiDAR相结合，能对更多物体进行扫描构建高质量的3D模型，可供使用的API为Object Capture；

摄影测量技术对物体表面纹理要求较高，缺乏纹理的物体难获取特征点，导致模型不完整，LiDAR识别精度高，但分辨率低，成像效果差，将两种技术结合取长补短能获得更佳效果的3D模型。

1) 2021年Object Capture API：2D图片/视频导入转换为3D模型

2021年，苹果推出Object Capture API并将其集成至macOS Monterey系统，仅支持Mac。Object Capture采用了摄影测量技术，用户导入目标对象的多角度视频或多张照片，即可转换为高质量的3D模型。提供的相邻照片重复面积需达70%以上，以期获得较好效果。构建好的3D模型以USD/USDZ格式输出。



图源：苹果视频

2) 2022年Room Plan API：快速扫描构建房间3D模型

2022年WWDC苹果推出基于ARKit的API“Room Plan”，用来快速创建房间的3D平面图。它通过移动端搭载的摄像头和雷达激光LiDAR获取房间的三维信息，借助Reality Kit进行渲染，最终构建被扫描房间的3D模型。构建好的3D模型以USD/USDZ格式输出。



3) 2023年Object Capture API：3D拍摄建模

2023年，苹果对Object Capture API进行更新，在摄影测量的基础上增加了LiDAR获取点云数据。使用更新后的Object Capture构建3D建模软件，用户可以直接使用移动端对目标对象进行扫描，即时生成高质量3D模型。

Object Capture API早前未引入LiDAR作为辅助，只能获取表面纹理信息丰富的物体，面对纹理较少、平滑的物体扫描出的3D模型不完整，引入LiDAR后可对这部分信息进行补充，能够对更大范围的物体进行3D扫描建模。



图源：苹果开发者网站

扫描时，RGB相机进行拍摄，连续自动获取纹理清晰、有特征的图像，同时LiDAR获取点云数据，最终将两者的点云数据融合生成3D模型。

拍摄时，根据扫描进度，左下角会显示最高扫描图片数量（200张）和当前已扫描照片数量。扫描完成后，会依次生成点云、网格，进行纹理映射、优化，最终完成3D模型。为保证扫描完整，会要求扫描三次。

(二) 苹果3D内容生态布局

苹果3D内容生态布局围绕着AR发展，以帮助开发者开发移动端AR应用/游戏的AR开发工具包ARKit作为开端，整体策略上，以服务既有移动端生态为基础，先软件，后硬件。

1、苹果3D内容软件生态布局

1) 联合制定3D文件格式：USDZ

苹果于2018年联合皮克斯推出3D文件格式USDZ，用于iOS平台快速展示和分享3D内容，iOS内置的应用如Safari、Messages、Mail、News、Notes都可以查看3D或AR USDZ文件格式的虚拟内容。

这些应用之所以能够对3D或AR内容进行查看，在于内置了AR Quick Look，苹果2018年推出的内置于全系统的AR查看器，用于在iOS平台查看3D模型。内置AR Quick Look后，用户可通过Safari浏览器在网页上直接进行AR商品的预览。



图源：Wellsenn XR

USD（Universal Scene Description，通用场景描述）是皮克斯为了动画制作的方便，免去制作流程中不同设计软件协同工作时繁琐的3D内容格式转换而制定的统一的3D场景格式。USD推出后，不同设计软件可使用统一的USD格式进行3D内容的制作，大大提升了协同工作的效率。



图源：网络

USDZ可以视为USD+Zip的组合，Z即Zip，USDZ是多个USD文件的Zip打包文件，包含多个USD源文件和渲染所需要的纹理、材质、动画等资源。USDZ解决了传统AR内容占据空间大的问题，同时采用无压缩方式打包，不加密，文件可以被直接读取，能够实现快速预览。

USD问世后受到了影视、工业、制作业等多个领域的追捧，大量设计软件支持USD，苹果基于USD推出的USDZ将帮助苹果AR应用的创建获得更多的3D内容素材。

2020年，苹果推出USDZ格式转换工具Reality Converter，可以将常见的3D文件格式（如.obj、.gitf、.usd）转换为USDZ格式进行查看，进一步丰富了苹果AR应用创作3D内容资源。

苹果后期推出的AR创作工具等均基于USDZ格式，制作、利用USDZ格式的3D内容进行AR应用/游戏的创建，在制作时可与第三方支持USDZ格式的设计软件实现协同。



Reality Converter

图源：苹果开发者网站

2) 推出AR开发工具Reality Kit、Reality Composer

苹果2019年推出的AR开发工具：Reality Kit、Reality Composer：

- Reality Kit 是苹果为AR开发量身打造的渲染框架，用于3D内容渲染，动画、视觉效果制作等。此前苹果AR开发者工具ARKit并不能直接提供渲染功能，需要依托苹果渲染框架Scenekit、metal、Spritekit或自定义渲染框架等，均非专业适配AR。
- Reality Composer 是苹果推出的AR开发工具，用于帮助开发者快速、方便地构建AR交互内容。Reality Composer支持USDZ格式，在构建AR交互内容时，既可从外部导入USDZ格式的DCC（创作的数字内容），也可使用内置的3D内容素材。



Reality Kit



Reality Composer

USDZ格式的推行，让Reality Composer可与第三方3D设计软件进行协同，如将Reality Composer制作的内容以USDZ格式进行导入，第三方软件输入进行编辑、制作，再传回Reality Composer。

3) ARKit、RealityKit增加3D建模API

2021年苹果为RealityKit新增3D建模API Object Capture 物体捕捉，开发者基于Object Capture API开发的软件，用户导入多角度视频或多张照片，即可转换为高质量的3D模型。

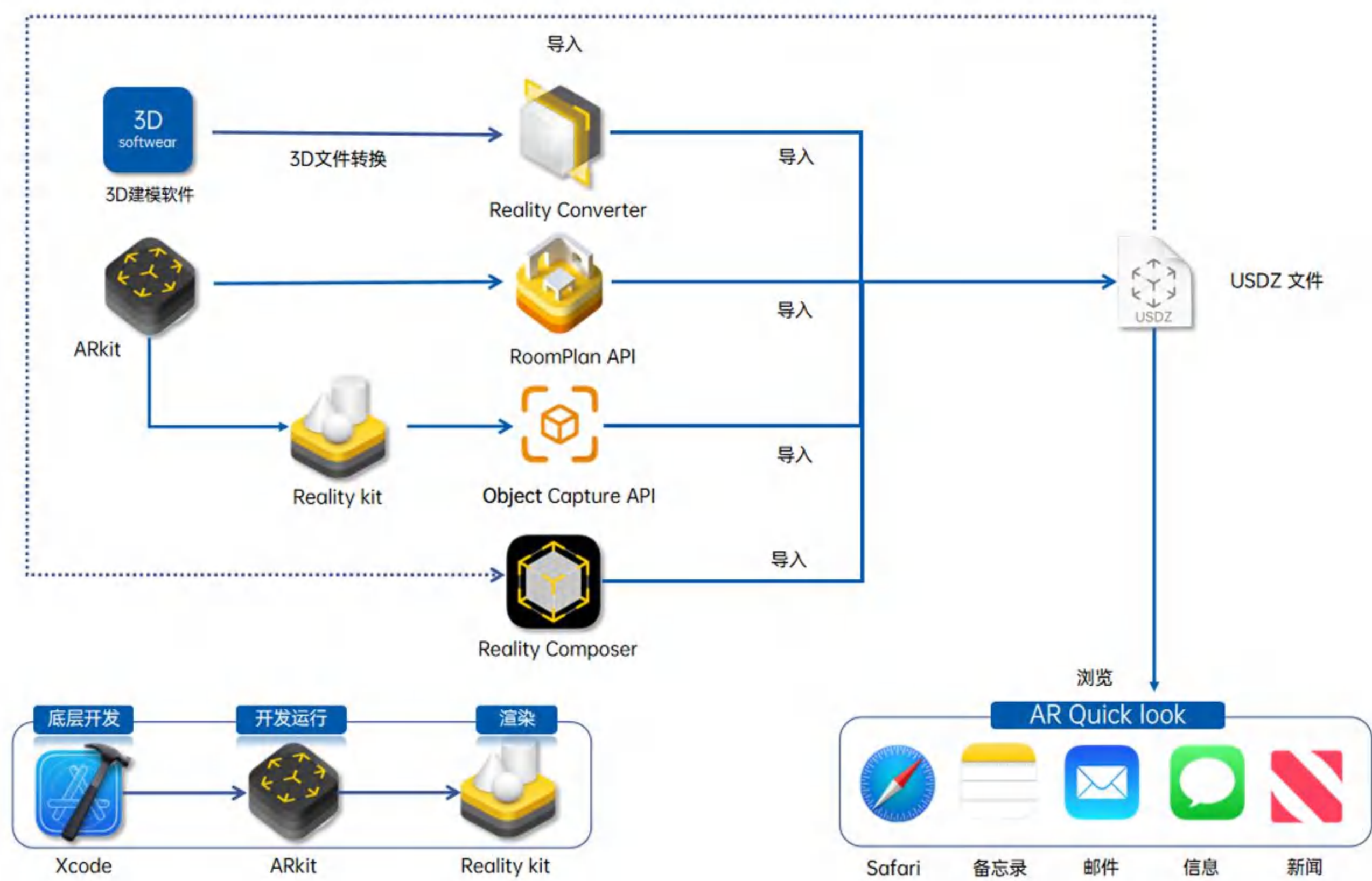
2021年该功能只能应用于Mac，2023年开始应用于移动端，更新后的Object Capture在摄影测量技术的基础上增加了LiDAR作为辅助，大大扩大被扫描物体的范围

移动端用户可以随时对身边物体进行扫描建模。

2022年WWDC苹果推出基于ARKit的API“Room Plan”，用来快速创建房间的3D平面图。Room Plan通过移动端搭载的摄像头和雷达激光LiDAR获取房间的三维信息，借助Reality Kit进行渲染，最终构建被扫描房间的3D模型。

基于RoomPlan、Object Capture制作的3D模型输出格式均为USDZ，可应用于Reality Composer进行AR交互应用的使用。Object Capture的推出让用户拥有了更为便捷的3D内容生产工具，增加了iOS平台AR开发的3D内容资源。

苹果XR软件生态结构



图源：Wellsenn XR

苹果3D内容软件生态的上的布局围绕移动端AR应用/游戏的开发，在推出AR开发工具包后，次年推出USDZ对3D内容格式进行统一，与既有USD格式相接轨，同时方便AR内容的开发与查看，后推出更简便的AR内容开发编辑器与3D内容生成API，促进了3D内容的UGC生产。

2、苹果3D内容硬件生态布局

苹果在3D内容硬件生态布局目前主要动作有两步：第一步，从iPhone 12系列开始，为所有Pro机型（包含iPad）搭载激光雷达LiDAR；第二步，将于2024年推出首款MR头显Vision pro。

1) 苹果移动端Pro机型自2020年开始搭载LiDAR

LiDAR的搭载主要为AR服务，集成LiDAR后，ARKit可以快速获取真实、准确的深度信息进行环境感知，使AR的虚实融合效果更加真实、稳定。

搭载后LiDAR的移动端也成为了3D内容生产工具，包括进行3D扫描建模，提供AR编辑器Reality Composer对3D内容进行使用，制作简单的AR应用等。移动端使用内置AR Quick Look查看器的应用可以快速浏览、分享3D内容。



图源：网络

单纯采用激光雷达扫描建模效果并不太佳。激光雷光扫描精度高但分辨率较低，苹果集成的LiDAR仅3万像素。使用LiDAR进行扫描建模，根据扫描对象表面特征的不同，扫描准确度差异较大。从整体扫描结果来看，模型相对粗糙。

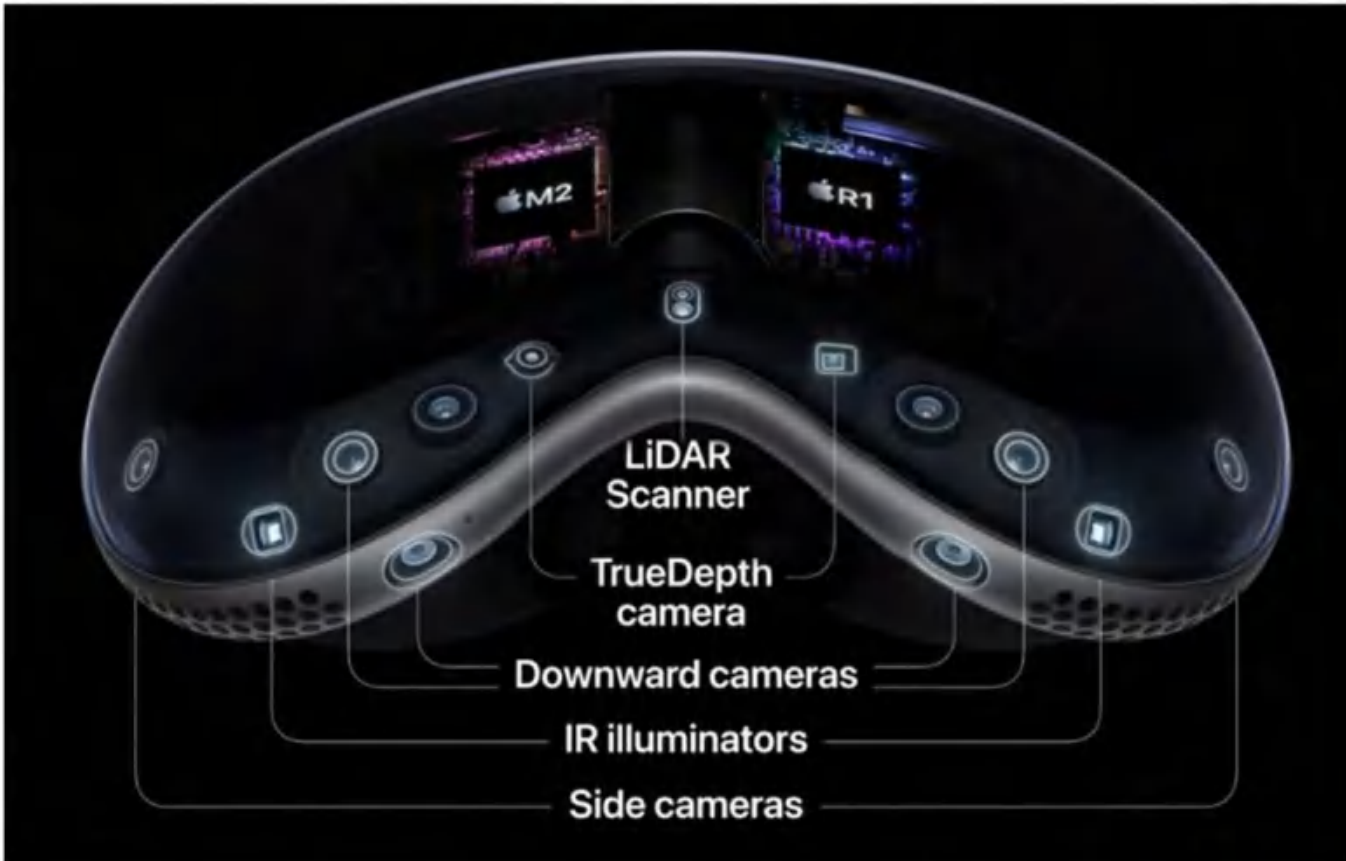
LiDAR与摄影测量技术结合，3D扫描建模能达到较好效果。摄影测量技术+LiDAR获取点云数据，扩大了3D拍摄建模的范围，可以对纹理信息不够丰富的物体进行建模。从建模效果看，也要远好于早期3D扫描软件仅使用LiDAR进行扫描建模的效果。

搭载LiDAR的移动端还可以进行空间视频/照片的拍摄，使用Vision Pro进行浏览。

2) 苹果2024年推出首款MR头显Vision Pro

2023年6月苹果在WWDC宣布2024年正式发布首款MR头显Vision Pro。MR头显让苹果真正拥有能对3D内容进行三维查看的工具，既可以展示静态3D模型，也可以展示进一步加工后的动态3D内容，可以是VR，也可以是AR。

Vision Pro 与 iPhone/iPad Pro系列相同，也是3D内容生产工具，Vision Pro配备12颗摄像头+LiDAR模组，空间感知的硬件性能强，具备3D内容扫描建模的条件，也可进行空间视频/照片的拍摄。



图源：网络

苹果软件生态到硬件生态的布局，开始初步形成3D内容生产的闭环，硬件承担3D模型的初步生产以及最终效果的展示，软件生态实现从3D模型到AR游戏/应用的开发。

苹果软件生态的发展促进了3D内容的扩大，硬件端的发展促进了3D生产向移动端的普及，加速了3D内容生产UGC时代的到来。



公众号



XR内容交流群

维深信息Wellsenn XR是VR/AR/MR产业垂直研究机构，公司专注于对VR/AR/MR产业上游供应链和整机，中游VR/AR/MR软件、下游VR/AR/MR内容以及应用场景的系统性跟踪和研究，以定量分析为主定性分析为辅、通过自上而下和自下而上相结合的研究方法，为VR/AR/MR从业者和投资者提供及时的、客观的、全面的、有前瞻性的数据分析、行业研究和咨询服务。