

# 1. 深度估计3D相机方案

目前市面上常有的 3D 相机方案主要有3种：

- 1. **飞行时间(Time of flight,TOF)**，代表公司微软Kinect2，PMD， SoftKinect， 联想 Phab，在手机中一般用于3D建模、AR应用，AR测距(华为TOF镜头)
- 2. **双目视觉(Stereo Camera)**，代表公司 Leap Motion， ZED， 大疆;
- 3. **结构光(Structured-light)**，代表公司有奥比中光，苹果**iPhone X**(Prime Sense)，微软 Kinect1，英特尔RealSense，Mantis Vision 等，在手机（**iPhone，华为**）中3D结构光主要用于人脸解锁、支付、美颜等场景。

相机类型	TOF(飞行时间)	RGB双目(Stereo Camera)	结构光(Structured light)
测距方式	主动式	被动式	主动式
工作原理	根据光的飞行时间(相位差异)直接测量距离	基于视差原理，RGB图像特征点匹配，三角测量法	主动投射已知编码图案，提升特征匹配的效果，三角测量法
分辨率	一般低于640×480，Kinect2是512 x 424	可达2K高分辨率	可达1080×720
帧率	较高，可达上百帧	一般在30fps	一般在30fps

测量精度	测量精度最高可达厘米 Kinect2深度误差在1.5cm左右	近距离可达毫米精度,2m内误差千分之五(5mm)	近距离能够达到高精度：0.01mm-1mm
测量范围	可以测量较远距离，100m以内	受基线限制，一般只能测量较近的距离，距离越远误差越大，一般在2m（基线10mm）以内	测量距离一般为10m以内
抗干扰	受环境影响较小	黑暗或者纹理特征不明显等环境干扰	室外强光下受干扰较大
功耗	功耗较大，需要全面照射	较大，纯算法功耗	一般，需要局部区域投射图案
优点	<ul style="list-style-type: none"><li>检测距离远。在激光能量够的情况下可达几十米。</li><li>受环境光干扰比较小。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>硬件要求低，成本也低。普通 CMOS 相机即可。但比较消耗计算资源</li><li>室内外都适用。只要光线合适，不要太昏暗。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>方案成熟，相机基线可以做的比较小，方便小型化。</li><li>资源消耗较低，单帧 IR 图就可计算出深度图，功耗低。</li><li>主动光源，夜晚也可使用。</li><li>在一定范围内精度高，分辨率高，分辨率可达 1280x1024,帧率可达 60FPS。</li></ul>
缺点	<ul style="list-style-type: none"><li>对设备要求高，特别是时间测量模块。</li><li>资源消耗大。该方案在检测相位偏移时需要多次采样积分，运算量大。</li><li>边缘精度低。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li><b>对环境光照非常敏感</b>。光线变化导致图像偏差大，进而会导致匹配失败或精度低。</li><li><b>不适用单调缺乏纹理的场景</b>。双目视觉根据视觉特征进行图像匹配，没有特征</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>容易受环境光干扰，室外体验差。</li><li>随检测距离增加，精度会变差。</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>限于资源消耗和滤波，帧率和分辨率都没办法做到较高。目前消费类最大也就 VGA。</li></ul>	<p>会导致匹配失败。</p> <ul style="list-style-type: none"><li><b>计算复杂度高。</b>该方法是纯视觉的方法，对算法要求高，计算量较大。</li><li>基线限制了测量范围。测量范围和基线（两个摄像头间距）成正比，导致<b>无法小型化</b>。</li></ul>	
应用场景	无人驾驶车，机器人，Kinect2，在手机中，TOF由于测量距离长，一般用于3D建模、AR应用，AR测距(华为TOF镜头)	基于手机的双目应用较少，商用场景较少	机器人，Kinect1，手机（iPhone，华为）中3D结构光主要用于人脸解锁、支付、美颜等场景

- 从上面三种主流的 3D 相机成像方案来看，各有优劣，但是从实际应用场景来看，在**非无人驾驶领域**，结构光，特别是**散斑结构光**的用途是最广泛。
- 因为从精度，分辨率，还有应用场景的范围来看双目和 TOF 都没有办法做到最大的平衡。
- 而且对于结构光容易受环境光干扰，特别是太阳光影响问题，鉴于此类相机都有红外激光发射模块，非常容易改造为主动双目来弥补该问题。
- 当然这三种方案在发展过程中也有一些互相融合趋势，如主动双目+结构光，取长补短，使 3D 相机能适应更多的场景。
- 也有一些同时使用，如**手机前置基本确认会采用结构光来做 FaceId（人脸认证）**，但是**后置用来做 AR 应用**，结构光和 TOF 都有机会。
- 虽然项目具体使用哪种方案，要结合当前硬件资源，对性能要求等来确定，但从最广泛的使用角度来看，**散斑结构光**无疑是目前最佳的方案。

## 2. 深度估计技术说明

### (1) 双目相机（双目立体视觉法）

包括一套经过校准的相机（至少两个），已经为其估算了一个通用的3D参考系统。深度图是基于立体三角测量的。即使有多个研究让我们在这方面取得了相当大的进步，但是多目相机估计的深度仍然是不可靠的，特别是在强度/色彩均匀的场景中；

RGB双目相机因为非常**依赖纯图像特征匹配**，所以在光照较暗或者过度曝光的情况下效果都非常差，另外如果**被测场景本身缺乏纹理**，也很难进行**特征提取和匹配**。

产品：

### 1. 视迅动作捕捉\_全球领先的动作捕捉技术公司

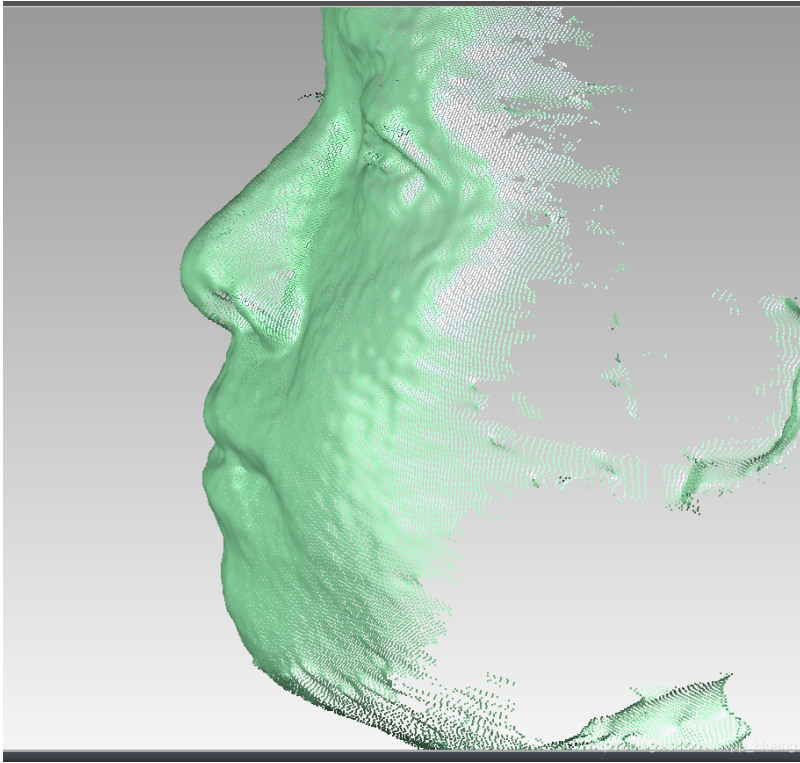
## (2) 结构光3D

扫描仪将红外结构光图案投射到现场。当将图案投影到三维形状的表面时，观察到的图案几何扭曲[79]。通过比较预期的投影模式（如果场景中没有物体）和变形的观察模式，可以恢复表面形状的精确几何重建。可以将各种图案投射到场景上，例如光条纹或任意的条纹。深度估计可能是不可靠的，特别是在反射或透明表面的情况下。**Kinect传感器（版本1）属于这种类型的相机。**

- 苹果公司：SMI 眼球追踪技术； PRIMEsense 3D结构光技术包括器件和实现方案；FACESHIFT 面部捕捉技术，先行垄断了3D人脸核心技术。
- OPPO FINDX：3D结构光采用奥比中光，体验和算法采用 FACE++ 旷视。成为安卓阵营首个3D结构光技术接近苹果XS的终端。
- 华为 MATE20 PRO：自主研发，误识别率不高于百万分之一,军用级别安全可靠，更配合多维度用户使用场景，3D建模等。

相关参考：

- [【深度相机系列四】深度相机原理揭秘--结构光（iPhone X 齐刘海原理）\\_计算机视觉life-CSDN博客\\_结构光相机原理](#)
- [华为，苹果，OPPO：揭开3D结构光的神秘面纱 - 知乎](#)
- [奥比中光：奥比中光 | 3D传感 - 3D人脸识别 - 3D感知 - 人工智能视觉](#)
- [红外投影结构光人脸三维重建：红外投影结构光人脸三维重建\\_clipp\\_Huang的博客-CSDN博客\\_红外结构光](#)



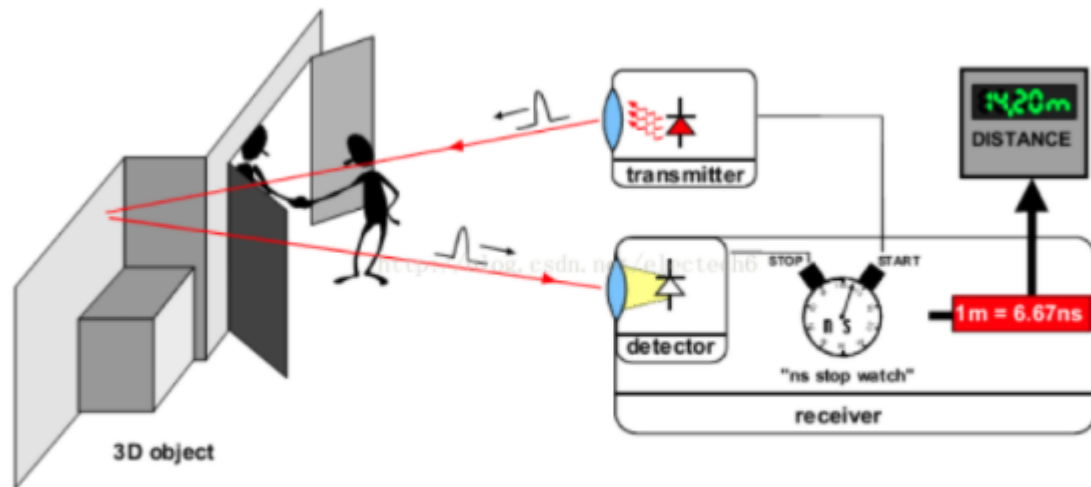
### (3) 飞行时间 (ToF)

顾名思义是测量光飞行时间来取得距离，具体而言就是通过给目标连续发射激光脉冲，然后用传感器接收从反射光线，通过探测光脉冲的飞行往返时间来得到确切的目标物距离。

因为光速激光，通过直接测光飞行时间实际不可行，一般通过检测通过一定手段调制后的光波的相位偏移来实现。

TOF 法根据调制方法的不同，一般可以分为两种：脉冲调制 (Pulsed Modulation) 和连续波调制 (Continuous Wave Modulation)。

脉冲调制需要非常高精度时钟进行测量，且需要发出高频高强度激光，目前大多采用检测相位偏移办法来实现 TOF 功能。



飞行时间法深度测量基本原理示意图

基本原理：

1. 深度相机（二）——飞行时间（TOF）\_马大哈先生的博客-CSDN博客\_飞行时间
2. 【深度相机系列二】深度相机原理揭秘--飞行时间（TOF）\_计算机视觉life-CSDN博客\_深度相机原理
3. TOF、RGB双目、结构光优劣分析: 深度相机（一）——分类：TOF、RGB双目、结构光优劣分析\_马大哈先生的博客-CSDN博客\_tof相机与双目相机的优劣

相关产品：

1. SHARP2Y0A02 红外测距对管测试
2. Arduino红外传感器-Sharp GP2Y0A02YK 红外测距传感器 (20~150cm)
3. Acconeer-红外测距传感器： 7米量程，精度1毫米，汽车中使用较多

产品图片						
产品型号		TOFSense	TOFSense-UART	TOFSense P	TOFSense P-UART	TOFSense PS
产品尺寸:mm		35.6*13*8				
产品重量:g		2.7				
测量距离:m	长距模式	0.015~5.00		0.03~8.00		
	中距模式	0.015~3.60		0.03~6.50		
	短距模式	0.015~2.10		0.03~1.00		
视场角:°		15~27				
供电电压:v		[3.7 , 5.2]				
波长:nm		940				
功耗:w		0.29				
刷新频率:Hz		10		30		
输出方式		CAN+UART+I/O	UART+I/O	CAN+UART+I/O	UART+I/O	CAN+UART
是否支持级联		支持				
精度	长距模式	±1.5cm		[0.029m~0.1m]±1.4cm [0.1m~2.5m]±2% [2.5m~8.0m]±4%		
	中距模式	±1.0cm		[0.029m~0.1m]±1.4cm [0.1m~2.5m]±2% [2.5m~6.5m]±4%		
	短距模式	±1.0cm		[0.029m~0.1m]±0.7cm [0.1m~1.0m]±2%		
工作温度:℃		[-20 , 85]				
防水等级		IP20		IP65		

https://blog.csdn.net/guyuealian