

- 1. 综述
 - 1.1. 常用深度相机分类
- 2. 结构光
 - 2.1. 编码分类
 - 2.2. 优点
 - 2.3. 缺点
- 3. TOF
 - 3.1. 优点
 - 3.2. 缺点
- 4. 双目
 - 4.1. 优点
 - 4.2. 缺点
- 5. 对比
 - 5.1. 分辨率
 - 5.2. 功耗
- 6. 总结

1. 综述

non-contact / reflection-based methods		
optical		non-optical
active	passive	<ul style="list-style-type: none">• Radar• Sonar• ...
<ul style="list-style-type: none">• Structured Light• Time of Flight• ...	<ul style="list-style-type: none">• Stereo Vision• Structure from Motion• Shape from Shading• Shape from Silhouette• ...	

1.1. 常用深度相机分类

目前市面上常有的深度相机方案有以下三种。

(1)结构光(Structured-light)，代表公司有奥比中光，苹果(Prime Sense)，微软 Kinect-1，英特尔 RealSense, Mantis Vision 等。

(2)双目视觉(Stereo)，代表公司 Leap Motion， ZED， 大疆；

(3)光飞行时间法(TOF)，代表公司微软 Kinect-2，PMD，SoftKinect，联想 Phab。

相机类型	TOF	RGB双目	结构光
测距方式	主动式	被动式	主动式
工作原理	根据光的飞行时间直接测量	RGB图像特征点匹配，三角测量间接计算	主动投射已知编码图案，提升特征匹配效果
测量精度	最高可达厘米级精度	近距离可达毫米级精度	近距离内能够达到高精度0.01mm-1mm
测量范围	可以测量较远距离，一般为100m以内	由于基线限制，一般只能测量较近的距离，距离越远，测距越不准确。一般为2m(基线10mm)以内	测量距离一般为10m以内
影响因素	不受光照变化和物体纹理影响，受多重反射影响	受光照变化和物体纹理影响很大，夜晚无法使用	不受光照变化和物体纹理影响，受反光影响
户外工作	功率小的话影响较大	无影响	有影响，和编码图案设计有关

2. 结构光

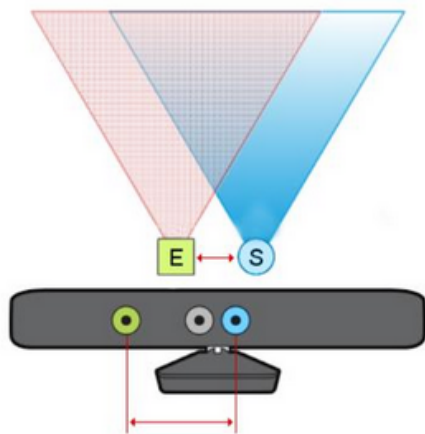
结构光，英文叫做 Structured light，其原理是基本原理是，通过近红外激光器，将具有一定结构特征的光线投射到被拍摄物体上，再由专门的红外摄像头进行采集。

这种具备一定结构的光线，会因被摄物体的不同深度区域，而采集不同的图像相位信息，然后通过运算单元将这种结构的变化换算成深度信息，以此来获得三维结构。

简单来说就是，通过光学手段获取被拍摄物体的三维结构，再将获取到的信息进行更深入的应用。通常采用特定波长的不可见的红外激光作为光源，它发射出来的光经过一定的编码投影在物体上，通过一定算法来计算返回的编码图案的畸变来得到物体的位置和深度信息

2.1. 编码分类

1. 条纹结构光，代表传感器 enshape，
2. 编码结构光，代表传感器 Mantis Vision, Realsense(F200)
3. 散斑结构光，代表传感器 apple(primesense), 奥比中光。示意图:



结构光深度相机原理示意图（注意E端发射的带图案的光源）

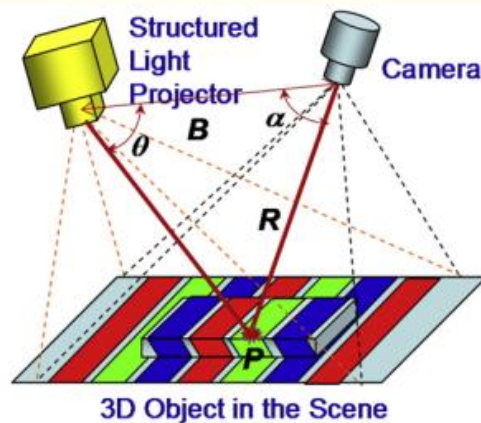


Illustration of structured light.

2.2. 优点

1. 方案成熟，相机基线可以做的比较小，方便小型化。
2. 资源消耗较低，单帧 IR 图就可计算出深度图，功耗低。
3. 主动光源，夜晚也可使用。
4. 在一定范围内精度高，分辨率高，分辨率可达 1280x1024, 帧率可达 60FPS。

2.3. 缺点

1. 室外环境基本不能使用。这是因为在室外容易受到强自然光影响，导致投射的编码光被淹没。增加投射光源的功率可以一定程度上缓解该问题，但是效果并不能让人满意。
2. 测量距离较近。物体距离相机越远，物体上的投影图案越大，精度也越差（想象一下手电筒照射远处的情景），相对应的测量精度也越差。所以基于结构光的深度相机测量精度随着距离的增大而大幅降低。因而，往往在近距离场景中应用较多。

3. TOF

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。两种测量方式：

1. 脉冲调制（Pulsed Modulation）
2. 连续波调制（Continuous Wave Modulation）。

因为 TOF 并非基于特征匹配，这样在测试距离变远时，精度也不会下降很快，目前无人驾驶以及一些高端的消费类 Lidar 基本都是采用该方法来实现。

3.1. 优点

1. 检测距离远。在激光能量够的情况下可达几十米。

2. 受环境光干扰比较小。

3.2. 缺点

1. 对设备要求高，特别是时间测量模块。
2. 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。
3. 边缘精度低。
4. 限于资源消耗和滤波，帧率和分辨率都没办法做到较高。

4. 双目

双目立体视觉(Binocular Stereo Vision)是机器视觉的一种重要形式，他是基于视差原理并利用成像设备 从不同的位置获取被测物体的两幅图像，通过计算图像对应点间的位置偏差，来获取物体三维几何信息的方法。

4.1. 优点

1. 硬件要求低，成本也低。普通 CMOS 相机即可。
2. 室内外都适用。只要光线合适，不要太昏暗。

4.2. 缺点

1. 对环境光照非常敏感。光线变化导致图像偏差大，进而会导致匹配失败或精度低
2. 不适用单调缺乏纹理的场景。双目视觉根据视觉特征进行图像匹配，没有特征会导致匹配失败。
3. 计算复杂度高。该方法是纯视觉的方法，对算法要求高，计算量较大。
4. 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，导致无法小型化。

5. 对比

5.1. 分辨率

1. TOF方案深度图分辨率很难提高，一般都达不到VGA（640x480）分辨率。比如Kinect2的TOF方案深度图分辨率只有512x424。而Google和联想合作的PHAB2手机的后置TOF深度相机分辨率只有224x171。TOF方案受物理器件的限制，分辨率很难做到接近VGA的，即使做到，也会和功耗呈指数倍增长。
2. 结构光的分辨率在较近使用范围内，结构光方案的分辨率会大大高于TOF方案。比如目前结构光方案的深度图最高可以做到1080p左右的分辨率了

5.2. 功耗

TOF是激光全面照射，而结构光是只照射其中局部区域，比如PrimeSense的伪随机散斑图案，只覆盖了不到十分之一的空间。另外，TOF发射的是高频调制脉冲，而结构光投射图案并不需要高频调制，所以结构光的功耗要比TOF低很多。还是以伪随机散斑结构光为例，结构光方案功耗只有TOF的十分之一不到吧

三种主流方案对比			
方案	双目	结构光	TOF
基础原理	双目匹配，三角测量	激光散斑编码	反射时差
分辨率	中高	中	低
精度	中	中高	中
帧率	低	中	高
抗光照（原理角度）	高	低	中
硬件成本	低	中	高
算法开发难度	高	中	低
内外参标定	需要	需要	

6. 总结

1. 结构光技术功耗更小，技术更成熟，更适合静态场景。
2. TOF方案在远距离下噪声较低，同时拥有更高的FPS，因此更适合动态场景。
3. 结构光技术主要应用于解锁以及安全支付等方面，其应用距离受限。而TOF技术主要用于智能机后置摄影，并在AR、VR等领域（包括3D拍照、体感游戏等）有一定的作用。

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