

# 结构光3D视觉原理

图像处理、分析与机器视觉

- n 三维视觉技术分类
- n 结构光三维视觉系统和原理
- n 结构光模式
- n 结构光三维视觉模型

# 三维视觉技术分类

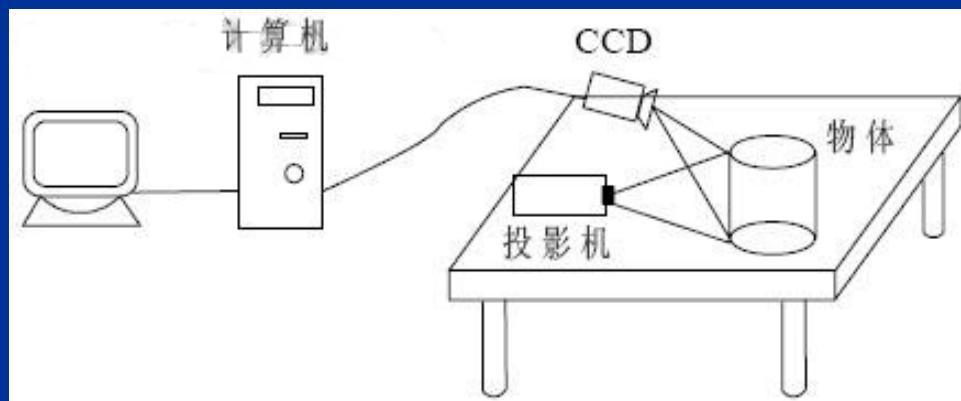
三维视觉技术主要包括双目立体视觉和结构光三维视觉，还有其他的三维视觉技术，如由明暗恢复性状、由纹理恢复形状、激光测距、莫尔阴影与散焦测距；

按照景物的照明条件，三维视觉技术可分为**被动和主动**两大类，前者中景物的照明是由物体周围的光照条件来提供，而后者则使用一个专门的光源装置来提供目标物体周围的照明；

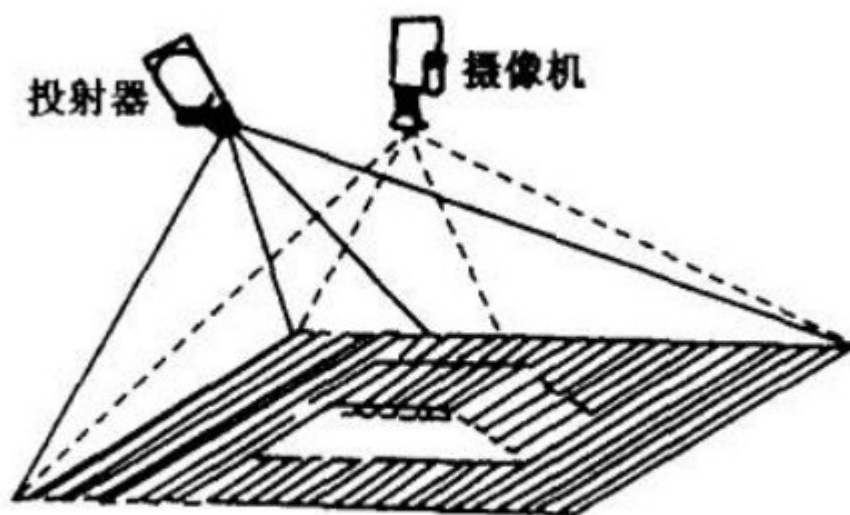
按照这种分类，前面介绍的双目立体视觉是被动方式，而**结构光三维视觉**则是主动方式。

# 结构光三维视觉系统和原理

结构光测量系统主要由结构光投射装置、摄像机、图像采集及处理系统组成。



结构光三维视觉是基于光学三角法测量原理。如图 6.1 所示，光学投射器将一定模式的结构光投射于物体表面，在表面上形成由被测物体表面形状所调制的光条三维图像。该三维图像由处于另一位置的摄像机探测，从而获得光条二维畸变图像。光条的畸变程度取决于光学投射器与摄像机之间的相对位置和物体表面形廓（高度）。直观上，沿光条显示出的位移（或偏移）与物体表面高度成比例，扭结表示了平面的变化，不连续显示了表面的物理间隙。当光学投射器与摄像机之间的相对位置一定时，由畸变的二维光条图像坐标便可重现物体表面三维形廓。由光学投射器、摄像机和计算机系统即构成了结构光三维视觉系统。



结构光三维视觉原理

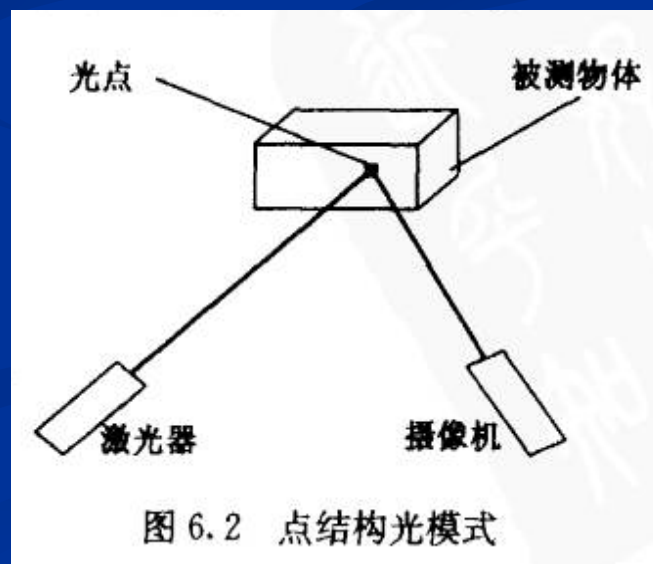
# 结构光模式

根据光学投射器所投射的光束模式的不同，结构光模式又可分为点结构光模式、线结构光模式、多线结构光模式、面结构光模式、相位法等

## 1、点结构光模式

如图所示，激光器发出的光束投射到物体上产生一个光点，光点经摄像机的镜头成像在摄像机的像平面上，形成一个二维点。摄像机的视线和光束在空间中于光点处相交，形成一种简单的三角几何关系。通过一定的标定可以得到这种三角几何约束关系，并由其可以唯一确定光点在某一已知世界坐标系中的空间位置。

需要通过逐点扫描物体进行测量，  
图像摄取和图像处理需要的时间  
随着被测物体的增大而急剧增加



## 2、线结构光模式

线结构光模式是向物体投射一条光束，光条由于物体表面深度的变化以及可能的间隙而受到调制，变现在图像中则是光条发生了畸变和不连续，畸变的程度与深度成正比，不连续则显示出了物体表面的物理间隙。任务就是从畸变的光条图像信息中获取物体表面的三维信息；

实际上，线结构光模式也可以说是点结构模式的扩展。过相机光心的视线束在空间中与激光平面相交产生很多交点，在物体表面处的交点则是光条上众多的光点，因而便形成了点结构光模式中类似的众多的三角几何约束。很明显，与点结构光模式相比较，线结构光模式的测量信息量大大增加，而其实现的复杂性并没有增加，因而得到广泛应用。

很明显，与点结构光模式相比较，线结构光模式的测量信息量大大增加，复杂性没有增加因而得到广泛应用

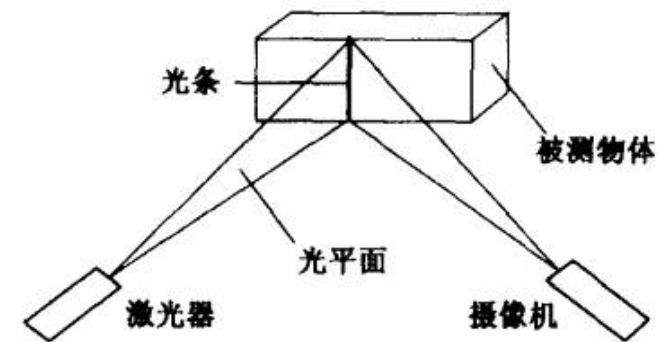


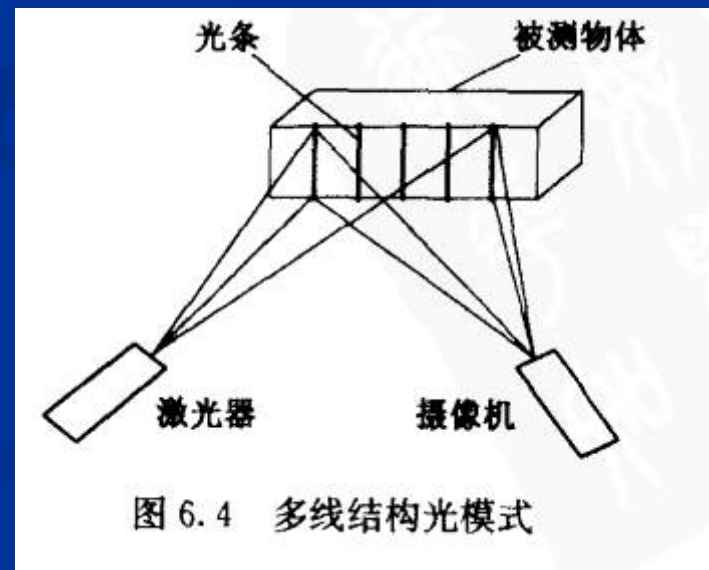
图 6.3 线结构光模式



### 3、多线结构光模式

多线结构光模式是光带模式的扩展。如图，由光学投射器向物体表面投射了多条光条，其目的的一方面是为了在一幅图像中可以处理多条光条，提高图像的处理效率，另一方面是为了实现物体表面的多光条覆盖从而增加测量的信息量，以获得物体表面更大范围的深度信息。也就是所谓的“光栅结构模式”，多光条可以采用投影仪投影产生一光栅图样，也可以利用激光扫描器来实现。

较之光带模式，多线结构光模式的效率和范围增加，但同时引入了标定复杂性的增加和光条识别问题



#### 4、面结构光模式

当采用面结构光时，将二维的结构光图案投射到物体表面上，这样不需要进行扫描就可以实现三维轮廓测量，测量速度很快，光面结构光中最常用的方法是投影光栅条纹到物体表面。

当投影的结构光图案比较复杂时，为了确定物体表面点与其图像像素点之间的对应关系，需要对投射的图案进行编码，因而这类方法又称为编码结构光测量法。图案编码分为空域编码和时域编码。空域编码方法只需要一次投射就可获得物体深度图，适合于动态测量，但是目前分辨率和处理速度还无法满足实时三维测量要求，而且对译码要求很高。时域编码需要将多个不同的投射编码图案组合起来解码，这样比较容易实现解码。主要的编码方法有二进制编码、二维网格图案编码、随机图案编码、彩色编码、灰度编码、邻域编码、相位编码以及混合编码

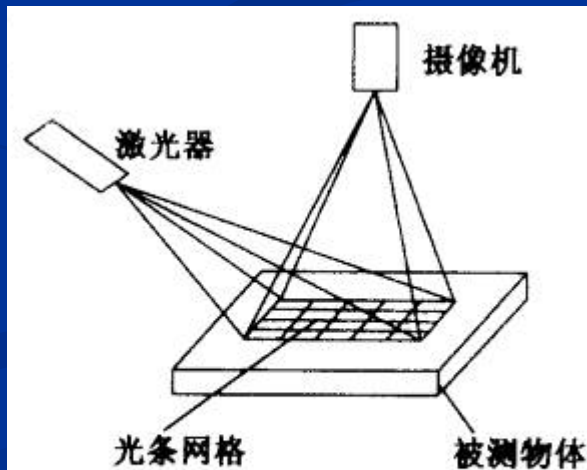
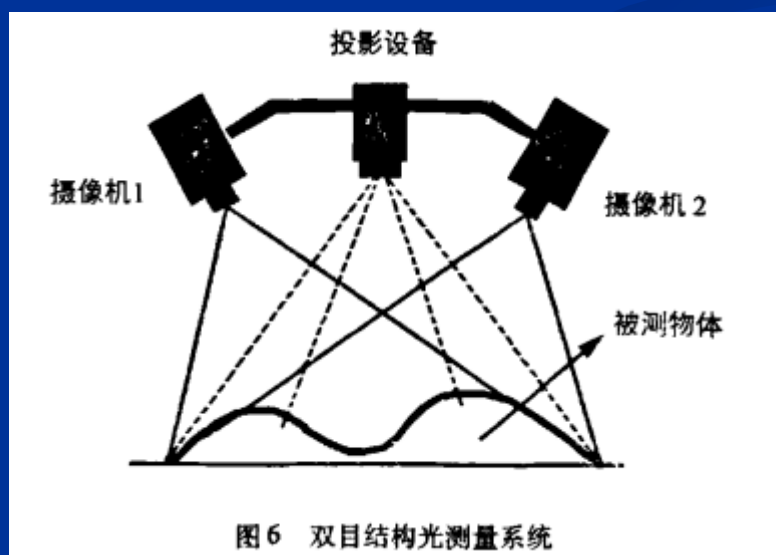


图 6.5 网格结构光模式

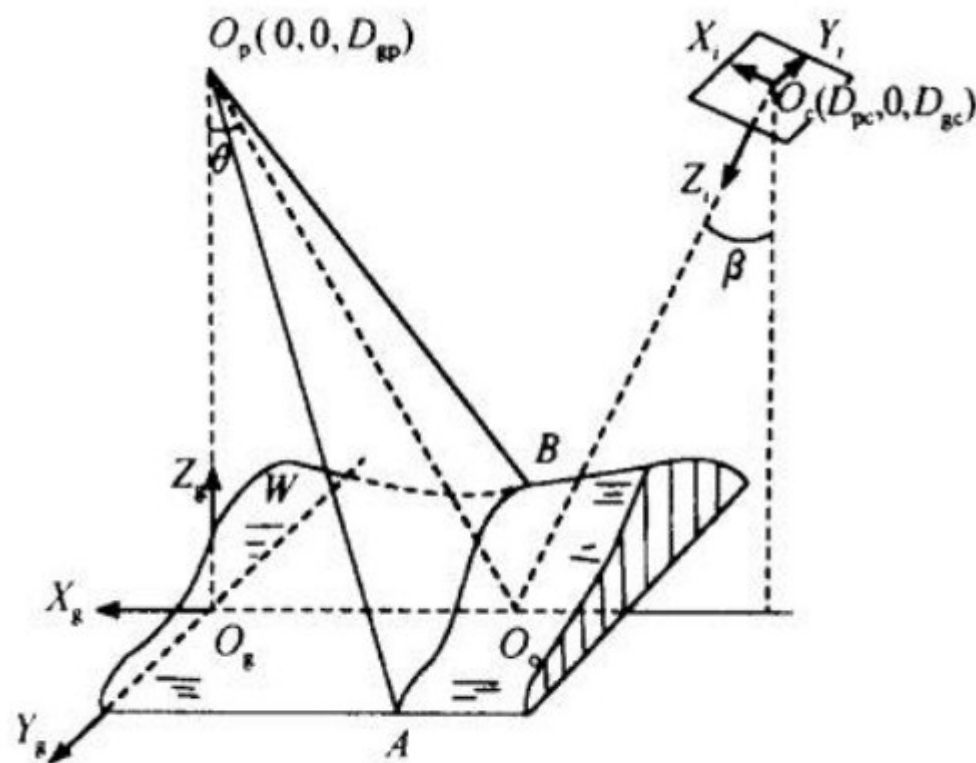
## 5、相位法

近年来基于相位的光栅投影三维轮廓测量技术有了很大的发展，将光栅图案投射到被测物表面，受物体高度的调制，光栅条纹发生形变，这种变形条纹可解释为相位和振幅均被调制的空间载波信号。采集变形条纹并且对其进行解调可以得到包含高度信息的相位变化，最后根据三角法原理计算出高度，这类方法又称为**相位法**。基于相位测量的三维轮廓测量技术的理论依据也是光学三角法，但与光学三角法的轮廓术有所不同，它不直接去寻找和判断由于物体高度变动后的像点，而是通过相位测量间接地实现，由于相位信息的参与，使得这类方法与单纯光学三角法有很大区别。



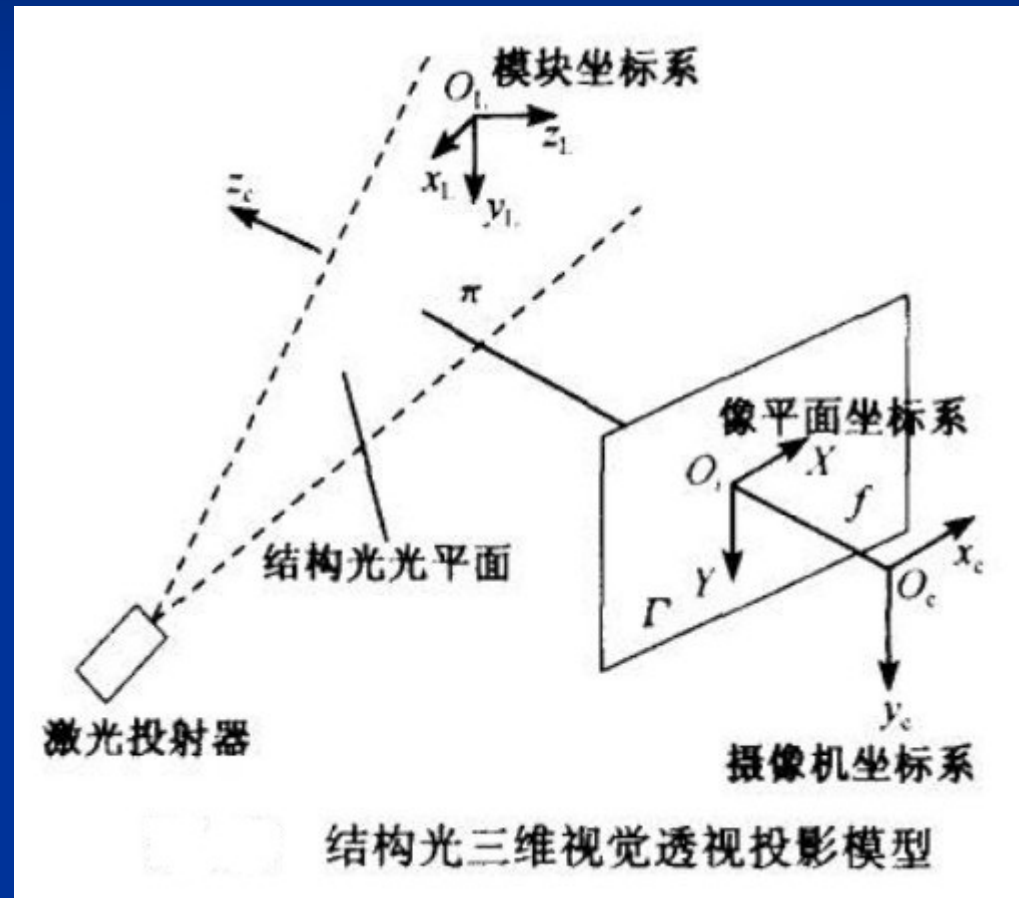
# 结构光三维视觉模型

## 1、解析几何模型（公式过多，省略）



# 结构光三维视觉解析几何模型

## 2、透视投影模型



摄像机坐标系与模块坐标系的空间位置关系可用下式表示：

$$\rho \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \cdot r_1 & f \cdot r_2 & f \cdot r_3 & f \cdot T_x \\ f \cdot r_4 & f \cdot r_5 & f \cdot r_6 & f \cdot T_y \\ r_7 & r_8 & r_9 & T_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中， $(r_1, r_4, r_7)$ 、 $(r_2, r_5, r_8)$  和  $(r_3, r_6, r_9)$  分别表示坐标系  $O_L-x_L y_L z_L$  的  $x_L$  轴， $y_L$  轴和  $z_L$  轴的方向向量。

但上式不能够由摄像机二维像点坐标  $(X,Y)$  得到唯一对应的三维物点坐标  $(x_L, y_L, z_L)$ ，还需要增加一个方程的约束才能消除这种多义性，为此，设结构光平面在模块坐标系（注：其建立是任意的）下的方程为：

$$\begin{cases} \rho \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fr_1 & fr_2 & fr_3 & fT_x \\ fr_4 & fr_5 & fr_6 & fT_y \\ r_7 & r_8 & r_9 & T_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \\ 1 \end{bmatrix} \\ ax_L + by_L + cz_L + d = 0 \end{cases}$$