

第3章 深度信息采集

一般成像获得的是 2-D 图像,其中与摄像机光轴垂直平面上的信息被保留在图像中,但沿摄像机光轴方向的深度信息丢失了。而图像理解常需要获得客观世界的 3-D 信息或更高维的全面信息。

有多种方法可获得(或恢复)深度信息,包括参照人类双目视觉系统来观察世界的立体视觉技术,利用特定设备和装置直接获取距离信息的方法,借助移动聚焦平面逐层获取 3-D 信息的手段等。

根据上述的讨论,本章各节将安排如下。

3.1 节先对一般高维图像的种类和深度成像方式给予概括的介绍和分析。

3.2 节介绍一些双目成像的模式,包括双目横向模式、双目横向会聚模式和双目轴向模式。

3.3 节介绍若干种直接采集深度图像的装置和方法,以及一种深度图和灰度图同时采集的方法。

3.4 节分别讨论利用普通显微镜和共聚焦显微镜进行 3-D 分层成像的技术。

3.1 高维图像和成像方式

客观世界是高维的,相应采集的图像也可以是高维的。相比最基本的 2-D 静止灰度图像 $f(x, y)$,一般的图像应是一个具有 5 个变量的矢量函数 $f(x, y, z, t, \lambda)$,其中 f 代表了图像所反映的客观性质, x, y, z 是空间变量, t 是时间变量, λ 是频谱变量(波长),参见本套书上册 1.1.1 小节。本节先概况介绍一下高维图像的种类及一些相应的图像采集方式。

3.1.1 高维图像种类

随着电子技术和计算机技术的进步,许多图像采集方式和设备得到应用,使得图像从 $f(x, y)$ 不断向 $f(x, y, z, t, \lambda)$ 扩展,下面给出一些典型的示例。

(1) 可将 $f(x, y)$ 看作反映景物表面辐射的图像。如果能将景物沿采集方向分成多片,对每片成像,结合起来就可获得景物完整的 3-D 信息(包括景物内部),也就是采集到了 3-D 图像 $f(x, y, z)$ 。例如 CT 和 MRI 等成像方式都通过移动成像面实现逐层扫描而获得 3-D

图像 $f(x, y, z)$ 。

(2) 可将 $f(x, y)$ 看作在某个给定时刻获取的静止图像。这里将图像采集的过程看作是一个瞬时的过程, 如果沿时间轴连续采集多幅图像可获得一段时间内的完整信息(包括动态信息)。视频(以及其他序列采集的图像)给出的就是另一类 3-D 图像 $f(x, y, t)$ 。

(3) 可将 $f(x, y)$ 看作仅对某个波长的辐射(或者是对某个波段的辐射的平均值)响应而得到的图像。事实上, 利用不同的波长辐射可获得反映场景不同性质(对应景物表面对不同波长 λ 的反射和吸收特性)的图像。利用各种波长辐射在同样的时空采集到的图像集合能全面反映场景的频谱信息, 这其中的每一幅图像都可以是 3-D 图像 $f(x, y, \lambda)$ 或 4-D 图像 $f(x, y, t, \lambda)$ 。典型的例子如多光谱图像, 每幅对应不同的波段, 但都对应同样的时空。

(4) 可将 $f(x, y)$ 看作仅考虑了在给定空间位置的某一个性质而采集的图像。事实上, 空间某一个位置的场景可有多种性质, 或者说图像在点 (x, y) 处也可有多个值, 此时可用矢量 $\mathbf{f}$ 来表示。彩色图像可看作在每一个图像点同时具有红绿蓝 3 个值的图像, $\mathbf{f}(x, y) = [f_r(x, y), f_g(x, y), f_b(x, y)]$ 。另外, 上面提到的利用各种波长辐射在同样的时空得到的图像集合也可看作矢量图像 $\mathbf{f}(x, y) = [f_{\lambda 1}(x, y), f_{\lambda 2}(x, y), \dots]$ 或 $\mathbf{f}(x, y) = [f_{t\lambda 1}(x, y), f_{t\lambda 2}(x, y), \dots, f_{t2\lambda 1}(x, y), f_{t2\lambda 2}(x, y), \dots]$ 。

(5) 可将 $f(x, y)$ 看作是将 3-D 场景向 2-D 平面进行投影而采集到的图像。在这个过程中, 丢失了深度(或距离)信息(有信息损失)。如果能结合对同一个场景在不同视点采集到的多个图像(采用双目或多目的方法, 见下)就可获得该场景的完整信息(包括深度信息)。图像性质为深度的图像称为**深度图/图像** $z = f(x, y)$ 。由深度图像可进一步获得 3-D 图像 $f(x, y, z)$ 。

上面所述各种对图像 $f(x, y)$ 的扩展方法也可结合起来, 这样就可得到各种高维的 $f(x, y, z, t, \lambda)$ 。

3.1.2 本征图像和非本征图像

图像是对客观场景的一种描述形式, 根据其所描述场景的性质可分为**本征图像**和非本征图像两大类[Ballard 1982]。图像是由观察者或采集器获取的场景的像。场景和场景中的景物具有一些与观察者和采集器本身性质无关的自身客观存在的特性, 例如, 场景中, 各景物的表面反射率、透明度、表面指向、运动速度, 以及各景物间的相对距离和在空间的方位等。这些特性称为(场景的)**本征特性**, 表示这些本征特性物理量的图像称为本征图像。本征图像的种类很多, 每个本征图像仅表示场景的一种本征特性, 不掺杂其他特性的影响。如果能求得本征图像, 对正确解释图像所代表的景物非常有用。例如深度图像就是一种最常用的本征图像, 其中每个像素值代表该像素所表示景物点与摄像机的距离(深度, 也称景物的高程), 这些像素值实际上直接反映了景物可见表面的形状(本征性质)。又如本套书上册 13.2 节中介绍了对图像的运动矢量场表达方法。如果将那些运动矢量的值直接转化为幅度值, 得到的就是表示景物运动速度的本征图像。

非本征图像所表示的物理量不仅与场景有关,而且与观察者/采集器的性质或图像采集的条件或周围环境等有关。非本征图像的一个典型代表就是常见的强度图(亮度图或照度图),一般表示为灰度图像。强度图是反映观察处接受辐射强度的图,其强度值常是辐射源的强度、辐射方式方位、景物表面的反射性质、采集器的位置性能等多个因素综合的结果(进一步讨论见第 7 章)。

例 3.1.1 深度图像与灰度图像的区别

考虑图 3.1.1 中物体上的一个剖面,对该剖面采集得到的深度和灰度图像相比有如下两个特点:

(1) 深度图像中对应物体上同一外平面的像素值按一定的变化率变化(该平面相对于图像平面倾斜),这个值随物体形状和朝向变化,但与外部光照条件无关;灰度图像中对应的像素值既取决于表面的照度(既与物体形状和朝向有关,还与外部光照条件有关),也取决于表面的反射系数。

(2) 深度图像中的边界线有两种:一种是物体和背景间的(距离)阶跃边缘;另一种是物体内部各区域相交处的屋脊状边缘(对应极值,深度还是连续的);灰度图像中则两处均为阶跃边缘。

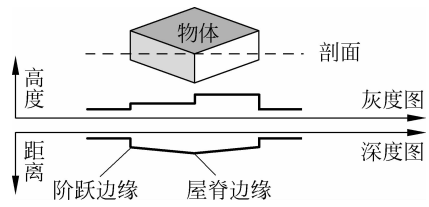


图 3.1.1 深度图像与灰度图像的区别



解决许多图像理解问题需要用非本征图像去恢复本征特性,即获得本征图像,从而可以进一步解释场景。为从非本征图像恢复场景的本征结构,常需要用到各种图像(预)处理手段。例如在灰度图像的成像过程中,许多有关场景的物理信息混合集成在像素灰度中,所以成像过程可看作一个退化变换。但这些有关场景的物理信息混在灰度图像中后并没有完全丢失,利用各种预处理技术(如滤波、边缘检测、距离变换等)可借助图像中的冗余信息消除成像过程中的退化(也就是对成像物理过程的变换求“逆”),从而把图像变换成反映场景空间性质的本征图像。

从图像采集的角度说,要获得本征图像有两种方法:一种是先采集含有本征信息的非本征图像,再通过图像技术恢复本征特性;另一种是直接采集本征图像。以获得深度图像为例,可以采集含有立体信息的灰度图像再从中获取深度信息(见 3.2 节),也可以用特定的设备直接采集深度图像(见 3.3 节和 3.4 节)。对前一种方法,要考虑采用一些特定的图像采集方式(成像方式)和使用一些图像技术;而对后一种方法,要使用一些特定的图像采集设备(成像装置)。

3.1.3 深度成像方式

许多图像理解问题可借助深度图像来解决。深度成像的方式很多,主要由光源、采集器和景物三者的相互位置和运动情况所决定。最基本的成像方式是单目成像,即用一个采集器在一个固定位置对场景取一幅像。虽然如 2.2.1 小节中讨论的那样,此时有关景物的深度信息没有直接反映在图像中,但这些信息还隐含在所成像的几何畸变、明暗度(阴影)、纹理、表面轮廓等因素之中(第 7 章和第 8 章将介绍如何从这样的图像中恢复深度信息)。如果用两个采集器各在一个位置对同一场景取像(也可用一个采集器在两个位置先后对同一场景取像或用一个采集器并借助光学成像系统获得两个像)就是双目成像(见 3.2 节和第 5 章)。此时两幅像间所产生(类似人眼)的视差可用来帮助求取采集器与景物的距离。如果用多于两个采集器在不同位置对同一场景取像(也可用一个采集器在多个位置先后对同一场景取像)就是多目成像(见第 6 章)。单目、双目或多目方法除可以获得静止图像外也可以通过连续拍摄获得序列图像。单目成像与双目成像相比采集简单,但从中获取深度信息要复杂。反之,双目成像提高了采集复杂度,但可降低获取深度信息的复杂性。

以上讨论中,认为几种成像方式里光源都是固定的。如果将采集器相对景物固定而将光源绕景物移动,就是光移成像(也称立体光度成像)。由于同一景物表面在不同光照情况下亮度不同,所以由光移像可求得物体的表面朝向(但不能得到绝对的深度信息,具体可见 7.2 节)。如果保持光源固定而让采集器运动来跟踪场景或让采集器和景物同时运动,就构成主动视觉成像(参照人类视觉的主动性,即人会根据观察的需要移动身体或头部以改变视角并有选择地对部分景物特别关注),其中后一种又称为主动视觉自运动成像。另外,如果用可控的光源照射景物,通过采集到的投影模式来解释景物的表面形状就是结构光成像方式(见 3.3.2 小节)。在这种方式中可以将光源和采集器固定而将景物转动,也可以将景物固定而将光源和采集器一起绕景物转动。

以上几种方式中一些关于光源、采集器和景物的特点概括在表 3.1.1 中。

表 3.1.1 常用成像方式的特点

成 像 方 式	光 源	采 集 器	景 物
单目成像	固定	固定	固定
双目(立体)成像	固定	两个位置	固定
多目(立体)成像	固定	多个位置	固定
视频/序列成像	固定/运动	固定/运动	运动/固定
光移(光度立体)成像	移动	固定	固定
主动视觉成像	固定	运动	固定
主动视觉(自运动)成像	固定	运动	运动
结构光成像	固定/转动	固定/转动	转动/固定

3.2 双目成像模式

双目成像可获得同一场景的两幅视点不同的图像(类似人眼),**双目成像模型**可看作由两个单目成像模型组合而成。实际成像时,既可用两个单目系统同时采集来实现,也可用一个单目系统先后在两个位姿分别采集来实现(这时一般设被摄物和光源没有移动变化)。

根据两个摄像机位姿的不同,双目成像可有多种模式,下面介绍几种典型的情况。

3.2.1 双目横向模式

图 3.2.1 给出**双目横向模式**成像的一个示意图。两个镜头的焦距均为 λ ,其中心间的连线称为系统的基线 B 。两个摄像机坐标系统的各对应轴完全平行(X 轴重合),两个像平面均与世界坐标系统的 XY 平面平行。一个 3-D 空间点 W 的 Z 坐标对两个摄像机坐标系都是一样的。

1. 视差和深度

由图 3.2.1 可见,同一个 3-D 空间点分别对应两个像平面坐标点,它们之间的位置差称为**视差**。下面借助图 3.2.2 讨论双目横向模式中视差与深度(物距)之间的关系,这里给出两镜头连线所在平面(XZ 平面)的示意图。其中,世界坐标系统与第一个摄像机坐标系重合而与第二个摄像机坐标系仅在 X 轴方向上有一个平移 B 。

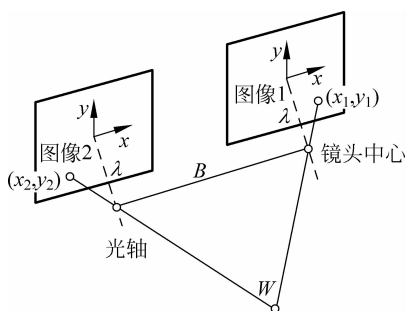


图 3.2.1 双目横向模式成像示意图

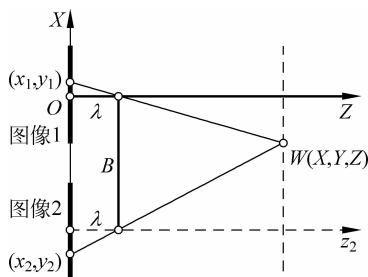


图 3.2.2 平行双目成像中的视差

考虑 3-D 空间点 W 坐标 X 与在第一个像平面上投影点坐标 x_1 间的几何关系可得

$$\frac{|X|}{Z - \lambda} = \frac{x_1}{\lambda} \quad (3.2.1)$$

再考虑 3-D 空间点 W 坐标 X 与在第二个像平面上投影点坐标 x_2 间的几何关系可得

$$\frac{B - |X|}{Z - \lambda} = \frac{|x_2| - B}{\lambda} \quad (3.2.2)$$

两式联立,消去 X ,得到视差

$$d = x_1 + |x_2| - B = \frac{\lambda B}{Z - \lambda} \quad (3.2.3)$$

从中解出 Z 为

$$Z = \lambda \left(1 + \frac{B}{d} \right) \quad (3.2.4)$$

上式把物体与像平面的距离 Z (即 3-D 信息中的深度) 与视差 d 直接联系起来。反过来也表明视差的大小与深度有关, 即视差中包含了 3-D 物体的空间信息。根据式 (3.2.4), 在已知基线和焦距时, 确定视差 d 后计算 W 点的 Z 坐标是很简单的。另外, Z 坐标确定后, W 点的世界坐标 X 和 Y 可用 (x_1, y_1) 或 (x_2, y_2) 参照式 (3.2.1) 和式 (3.2.2) 算得。

现在再看一下测距精度。由式 (3.2.4) 可知, 深度信息与视差相联系, 而视差又与成像坐标有关。设 x_1 产生了偏差 e , 即 $x_{1e} = x_1 + e$, 则有 $d_{1e} = x_1 + e + |x_2| - B = d + e$, 这样距离偏差为

$$\Delta Z = Z - Z_{1e} = \lambda \left(1 + \frac{B}{d} \right) - \lambda \left(1 + \frac{B}{d_{1e}} \right) = \frac{\lambda B e}{d(d + e)} \quad (3.2.5)$$

将式 (3.2.3) 代入上式得到

$$\Delta Z = \frac{e(Z - \lambda)^2}{\lambda B + e(Z - \lambda)} \approx \frac{eZ^2}{\lambda B - eZ} \quad (3.2.6)$$

最后一步是考虑一般情况下 $Z \gg \lambda$ 时的简化。由式 (3.2.6) 可见, 测距精度与摄像机焦距、摄像机间的基线长度和物距都有关系。焦距越长, 基线越长, 精度就越高; 物距越大, 精度就越低。

2. 角度扫描成像

在上述双目横向模式成像中, 为确定 3-D 空间点的信息需要该点在两个摄像机的公共视场内。如果让两个摄像机 (绕 X 轴) 旋转就可增加公共视场并采集全景图像。这可称为用**角度扫描摄像机**进行**立体镜成像**, 即**双目角度扫描模式**, 其中成像点的坐标是由摄像机的**方位角**和**仰角**所确定的。在图 3.2.3 中, θ_1 和 θ_2 分别给出方位角 (对应绕 Y 轴的扫视运动), 仰角 ϕ 是 XZ 平面与两光心与 W 所确定平面间的夹角。

一般可借助镜头的方位角来表示物像的空间距离。利用如图 3.2.3 的坐标系, 有

$$\tan \theta_1 = \frac{|X|}{Z} \quad (3.2.7)$$

$$\tan \theta_2 = \frac{B - |X|}{Z} \quad (3.2.8)$$

联立消去 X , 得 W 点的 Z 坐标为

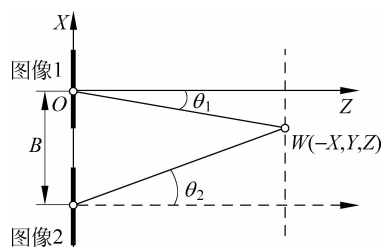


图 3.2.3 角度扫描摄像机进行立体镜成像

$$Z = \frac{B}{\tan\theta_1 + \tan\theta_2} \quad (3.2.9)$$

式(3.2.9)实际上将物体和像平面之间的距离 Z (即 3-D 信息中的深度)与两个方位角的正切直接联系起来。对比式(3.2.9)和式(3.2.4),这里视差和焦距的影响都隐含在方位角中。根据空间点 W 的 Z 坐标,还可分别得到其 X 和 Y 坐标为

$$X = Z \tan\theta_1 \quad (3.2.10)$$

$$Y = Z \tan\phi \quad (3.2.11)$$

3.2.2 双目会聚横向模式

为了获得更大的视场重合,可以将两个摄像机并排放置但让两光轴会聚。这种**双目会聚横向模式**可看作是双目横向模式的推广(此时双目间的聚散度不为零)。

1. 视差和深度

仅考虑如图 3.2.4 所示的情况,它是将图 3.2.2 中的两个单目系统绕各自中心相向旋转得到的。图 3.2.4 给出两镜头连线所在的平面(XZ 平面)。两镜头中心间的距离(即基线)是 B 。两光轴在 XZ 平面相交于 $(0,0,Z)$ 点,交角为 2θ 。现在来看如果已知像平面坐标点 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) , 如何求取 3-D 空间点 W 的坐标 (X, Y, Z) 。

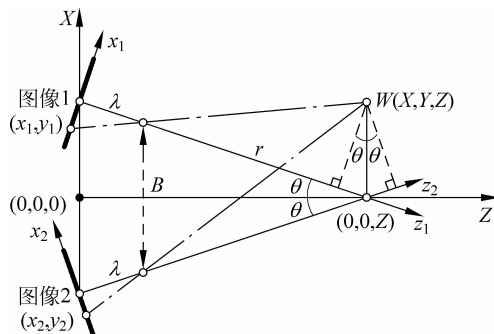


图 3.2.4 会聚双目成像中的视差

首先由两世界坐标轴及摄像机光轴围成的三角形可知:

$$Z = \frac{B}{2} \frac{\cos\theta}{\sin\theta} + \lambda \cos\theta \quad (3.2.12)$$

现从 W 点分别向两摄像机光轴作垂线,因为这两垂线与 X 轴的夹角都是 θ ,所以根据相似三角形的关系可得

$$\frac{|x_1|}{\lambda} = \frac{X \cos\theta}{r - X \sin\theta} \quad (3.2.13)$$

$$\frac{|x_2|}{\lambda} = \frac{X \cos\theta}{r + X \sin\theta} \quad (3.2.14)$$

其中 r 为从(任一)镜头中心到两光轴会聚点的距离。将式(3.2.13)和式(3.2.14)联立并消去 r 和 X 得到(参照图 3.2.4)

$$\lambda \cos \theta = \frac{2 |x_1| \cdot |x_2| \sin \theta}{|x_1| - |x_2|} = \frac{2 |x_1| \cdot |x_2| \sin \theta}{d} \quad (3.2.15)$$

将式(3.2.15)代入式(3.2.12)可得

$$Z = \frac{B \cos \theta}{2 \sin \theta} + \frac{2 |x_1| \cdot |x_2| \sin \theta}{d} \quad (3.2.16)$$

上式与式(3.2.4)一样也把物体和像平面的距离 Z 与视差 d 直接联系起来。另外,由图 3.2.4 可以得到

$$r = \frac{B}{2 \sin \theta} \quad (3.2.17)$$

代入式(3.2.13)或式(3.2.14)可得到点 W 的 X 坐标

$$|X| = \frac{B}{2 \sin \theta} \frac{|x_1|}{\lambda \cos \theta + |x_1| \sin \theta} = \frac{B}{2 \sin \theta} \frac{|x_2|}{\lambda \cos \theta - |x_2| \sin \theta} \quad (3.2.18)$$

2. 图像矫正

双目会聚的情况也可转换为双目平行情况。**图像矫正**就是将由光轴会聚的摄像机获得的图像进行几何变换以得到用光轴平行的摄像机获得的图像的过程[Goshtasby 2005]。考虑图 3.2.5 中矫正前后的图像,从目标点 W 来的光线在矫正前后分别与左图像交于 (x, y) 和 (X, Y) 。矫正前图像上的各个点都可连到镜头中心并扩展到与矫正后的图像相交,所以对矫正前图像上的各个点,可以确定其在矫正后图像上的对应点。矫正前后点的坐标由投影变换相联系(a_1 到 a_8 为投影变换矩阵的系数):

$$x = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3}{a_4 X + a_5 Y + 1} \quad (3.2.19)$$

$$y = \frac{a_6 X + a_7 Y + a_8}{a_4 X + a_5 Y + 1} \quad (3.2.20)$$

上两式中的 8 个系数可借助矫正前后图像上 4 组对应点来确定(参见本套书上册 6.2.1 小节)。这里可考虑借助水平极线(由基线和场景中一点构成的平面与成像平面的交线,见 5.2.2 小节)进行,为此需要在矫正前的图像中选择两条极线并将它们映射到矫正后图像中的两条水平线,如图 3.2.6 所示。对应关系为

$$X_1 = x_1 \quad X_2 = x_2 \quad X_3 = x_3 \quad X_4 = x_4 \quad (3.2.21)$$

$$Y_1 = Y_2 = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad Y_3 = Y_4 = \frac{y_3 + y_4}{2} \quad (3.2.22)$$

上述对应关系能保持图像矫正前后的宽度,但在垂直方向上(为了将非水平的极线映射为水平的极线)会产生尺度变化。为获得矫正的图像,对矫正后图像上的每个点 (X, Y) 需要用式(3.2.19)和式(3.2.20)在矫正前图像上找到对应的点 (x, y) 。而且,要把点 (x, y) 处的灰度赋给点 (X, Y) 。

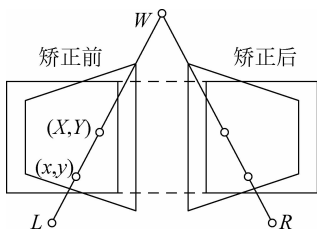


图 3.2.5 利用投影变换矫正用光轴会聚的两个摄像机获得的图像

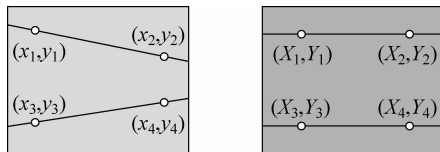


图 3.2.6 矫正前后图像示意

上述过程对右图像也要重复进行。为了保证在矫正后的左图像和右图像上的对应极线代表相同的扫描线,需要将矫正前图像上的对应极线映射到矫正后图像上的同一条扫描线上,所以在矫正左图像和右图像时都要使用式(3.2.22)中的 Y 坐标。

3.2.3 双目轴向模式

使用双目横向模式或双目会聚横向模式时,都需要根据三角形法来计算,所以基线不能太短,否则会影响深度计算的精度。但当基线较长时,视场不重合带来的问题会较严重。此时可考虑采用**双目轴向模式**,也称**双目纵向模式**,即将两个摄像机沿光轴线依次排列。这种情况也可看作将摄像机沿光轴方向运动,在比第 1 幅图像更接近被摄物处采集第 2 幅图像,如图 3.2.7 所示。图 3.2.7 中仅画出了 XZ 平面, Y 轴由纸内向外,获取第 1 幅图像和第 2 幅图像的两个摄像机坐标系统的原点只在 Z 方向相差 B , B 也是两个摄像机光心间的距离(基线)。

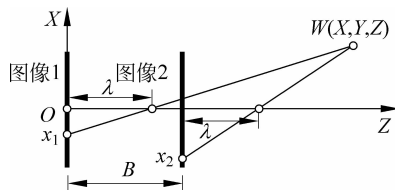


图 3.2.7 双目轴向模式成像

根据图 3.2.7 中的几何关系,有

$$\frac{X}{Z - \lambda} = \frac{|x_1|}{\lambda} \quad (3.2.23)$$

$$\frac{X}{Z - \lambda - B} = \frac{|x_2|}{\lambda} \quad (3.2.24)$$

联立式(3.2.23)和式(3.2.24)可得到(仅考虑 X , 对 Y 类似)

$$X = \frac{B}{\lambda} \frac{|x_1| \cdot |x_2|}{|x_2| - |x_1|} = \frac{B}{\lambda} \frac{|x_1| \cdot |x_2|}{d} \quad (3.2.25)$$

$$Z = \lambda + \frac{B |x_2|}{|x_2| - |x_1|} = \lambda + \frac{B |x_2|}{d} \quad (3.2.26)$$

双目轴向模式与双目横向模式相比,两个摄像机的公共视场也就是前一个摄像机(图 3.2.7 中获取第 2 幅图像的那个摄像机)的视场,所以公共视场的边界很容易确定,且可基本排除由于遮挡造成的 3-D 空间点仅被一个摄像机看到的问题。不过,由于此时双目基本

上用同一个角度去观察景物,加长基线对深度计算精度的好处不能完全体现。另外,视差以及深度计算的精度均与 3-D 空间点距摄像机光轴的距离(如在式(3.2.26)中,深度 Z 与 $|x_2|$,即 3-D 空间点的投影与光轴的距离)有关,这是与双目横向模式不同的。

3.3 深度图像直接采集

从深度图像可方便地得到景物的几何形状和空间关系。借助一些特殊的设备可直接采集深度图像,常用的方法有飞行时间法(飞点测距法)、结构光法、莫尔(Moiré)条纹法、全息干涉测量法、几何光学聚焦法、激光雷达法(包括扫描成像和非扫描成像)、Fresnel 衍射技术等。几种常用深度图像采集方法可能达到的测距精度和最大工作距离可见表 3.3.1。

表 3.3.1 几种深度图像采集方法的比较

方法	飞行时间法	结构光法	莫尔条纹法	全息干涉法
特性				
可能达到的测距精度	0.1mm	1μm	1μm	0.1μm
最大工作距离	100km	100m	10m	100μm

3.3.1 飞行时间法

采用雷达测距的原理,通过测量光波从光源发出经被测物反射后回到传感器所需的时间就可获得距离信息。一般光源和传感器安置在相同的位置,这样传播时间 t 与被测距离 d 的关系为

$$d = \frac{1}{2}ct \tag{3.3.1}$$

其中 c 为光速($3 \times 10^8 \text{m/s}$)。

基于飞行时间的深度图获取方法是一种典型的利用测量光波传播时间来得到距离信息的方法。因为一般使用点源,所以也称飞点法。要获得 2-D 图像,需要将光束 2-D 扫描或使被测物体进行 2-D 运动。这种方法测距的关键是精确地测量时间,因为光速是 $3 \times 10^8 \text{m/s}$,所以如果要求空间距离分辨率为 0.001m(即能够区分开空间相距 0.001m 的两个点或两条线),则时间分辨率要达到 $66 \times 10^{-13} \text{s}$ 。

1. 脉冲时间间隔测量法

这种方法采用脉冲间隔来测量时间,具体是通过测量脉冲波的时间差来实现,其基本原理框图见图 3.3.1。脉冲激光源发出的特定频率激光经光学透镜和光束扫描系统射向前方,接触物体后反射,反射光被另一光学透镜接收,并经光电转换后进入时差测量模块。该模块同时接收脉冲激光源直接发来的激光,并测量发射脉冲和接收脉冲的时间差。根据时间差,利用式(3.3.1)就可算得被测距离。这里要注意激光的起始脉冲和回波脉冲在工作距离范围内不能有重叠。