第 4 章 视觉光源

在机器视觉的实际应用中，大多数应用领域都需要使用灯光照明来提高图像的亮度和对比度，同时光源并不仅仅是为照亮物体而设计的：

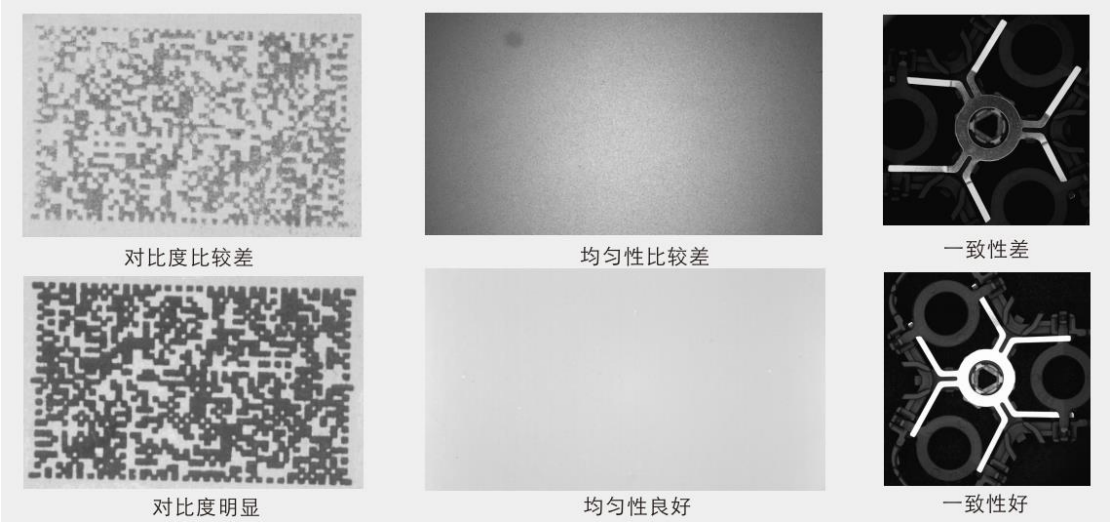
1.照亮目标，提高亮度；

2.形成有利于图像处理的成像效果，降低系统的复杂性和对图像处理算法的要求；

3.克服环境光干扰，保证图像稳定性，提高系统的精度、效率；

在机器视觉系统中，好的光源和照明方案往往会决定整个系统的成败，有效的提高系统的精度、效率或降低系统的误动作，从而降低系统的复杂性和对图像处理算法的要求。大多数机器视觉系统的第一步可能是二值化，它将图像中的被测物体（前景）和背景二值化为 1 和 0，1 代表前景，0 代表背景。好的光照系统会极大地突出物体和背景之间的差异，从而大大简化了图像分割的算法，提高物体边缘与背景之间的陡

峭变化，从而提高了对物体的测量精度和可靠性。设计不当的照明会使整个图像的光照不均匀，从而给二值化带来困难，会产生阴影或者过曝光，从而丢失图像的重要细节，会增加图像传感器转换图像的噪音，从而加大图像处理的难度和降低测量的精度等等。



对机器视觉系统的光源进行精心的设计是非常重要的，但非常遗憾，目前没有一个通用的机器视觉照明系统，足以应对不同的检测要求，因此针对每个特定的案例，都需要设计适应的照明装置，以达到最佳效果，而不合适的照明，则会引起很多问题，机器视觉光源如此重要，却往往被很多人忽视。

目前机器视觉光源主要采用 LED（发光二极管），由于其形状自由度高，使用寿命长、响应速度快、单色性好、颜色多样、综合性价比高等特点在行业内广泛应用：

形状自由度

一个 LED 光源是由许多单个 LED 组合而成的，因而跟其他光源相比，可做成更多的形状，更容易针对用户的情况，设计光源的形状和尺寸。

使用寿命长

为了使图像处理单元得到精确的，重复性好的测量结果，照明系统必须保证相当长的时间内能够提供稳定的图像输入。LED 光源在连续工作 10,000 到 30,000 小时后，

亮度衰减，但远比其他型式的光源效果好。此外，用控制系统使其间断工作，可抑制发光管发热，寿命也将延长一倍。

响应速度快

LED 发光管响应时间很短，响应时间的真正意义是能按要求保证多个光源之间或一个光源不同区域之间的工作切换，采用专用控制器给 LED 光源供电时，达到最大照度的时间小于 10s，配合带触发的光源控制器，也比较适合作为频闪灯使用。

颜色多样

除了光源的形状以外，得到稳定图像输入的另一方面就是选择光源的颜色。甚至相同形状的光源，由于颜色的不同得到的图像也会有很大的差别。实际上，如何利用光源颜色的技术特性得到最佳对比度的图像效果一直是光源开发的主要方向。

综合性运营成本低

选用低廉而性能没有保证的产品，初次投资的节省很快会被日常的维护、维修费用抵消。其他光源不仅耗电是 LED 光源的 2-10 倍，而且几乎每月就要更换，浪费了维修工程师许多宝贵的时间。而且投入使用的光源越多，在器件更换和人工方面的花费就越大，因此选用寿命长的 LED 光源从长远看是很经济的。

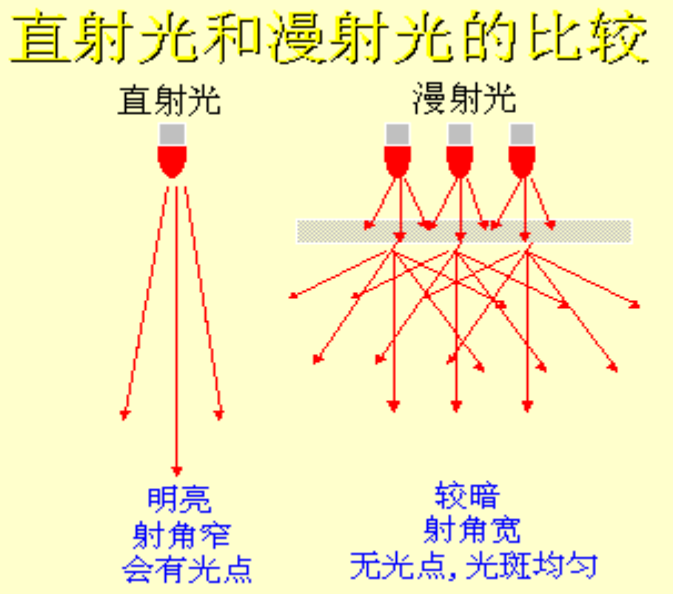
4.1 光源照明技术

不同的机器视觉系统的照明设计总是不一样的，这是因为影响照明方案的因素非常多。例如光的强度、颜色、均匀性、光源的结构、大小、照射方式以及被测物体的光学特性、距离、物体大小、背景特性等等。

4.1.1 照射方式

选择不同的光源，控制和调节照射到物体上的入射光的方向是机器视觉系统设计

的最基本的参数，它取决于光源的类型和相对于物体放置的位置，一般来说有二种最基本的方式：直射光和漫射光，所有其它的方式都是从这二种方法中延伸出来的。

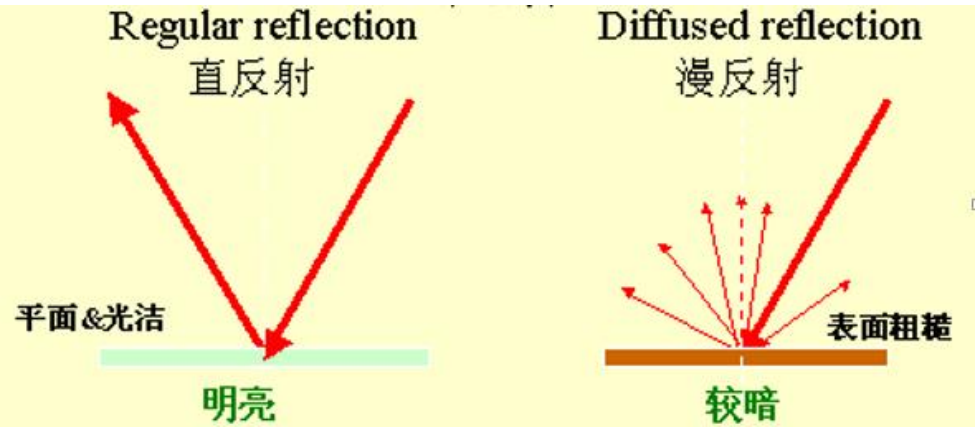


直射光：入射光基本上来自一个方向，射角小，它能投射出物体阴影；

漫射光：入射光来自多个方向，甚至于所有的方向，它不会投射出明显的阴影

4.1.2 反射方式

物体反射光线有两种不同的反射特性：直反射和漫反射

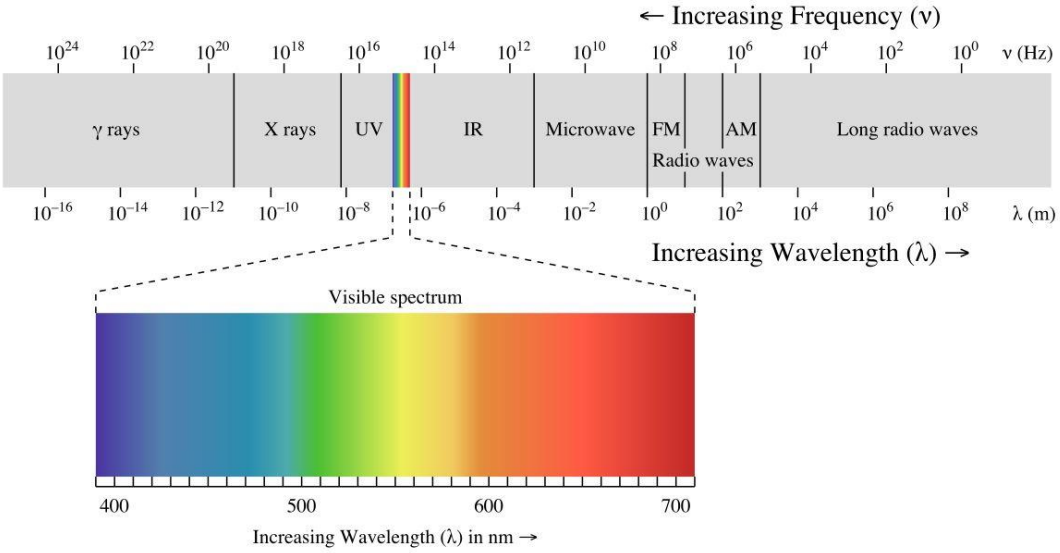


直反射：光线的反射角等于入射角。直反射有时用途很大，有时又可能产生极强的眩光。在大多数情况应避免镜面反射。

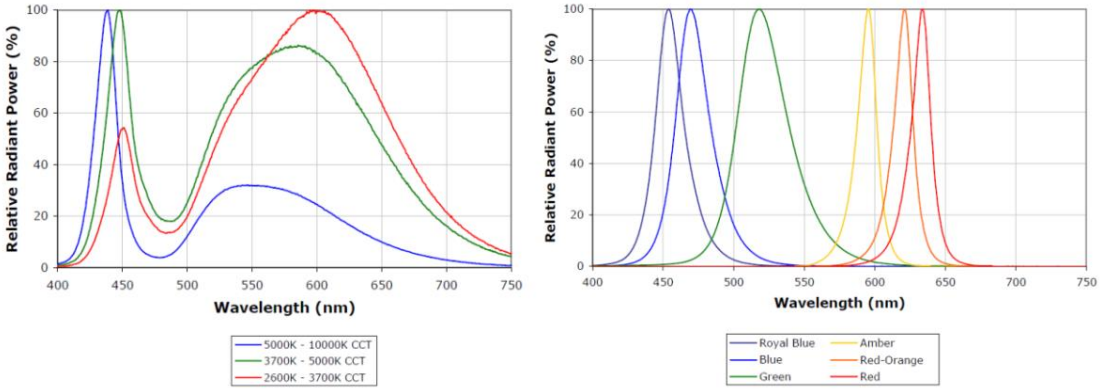
漫反射：照射到物体上的光从各个方向漫散出去。在大多数实际情况下，漫反射在某个角度范围内形成，并取决于入射光的角度。

4.1.3 光谱

光谱中很大的一部分电磁波谱是人眼可见的，在这个波长范围内的电磁辐射被称作可见光，范围在 400nm 至 760nm 之间（有的人可以观测到 380nm-780nm），即从紫色 380nm 到红色 780nm。

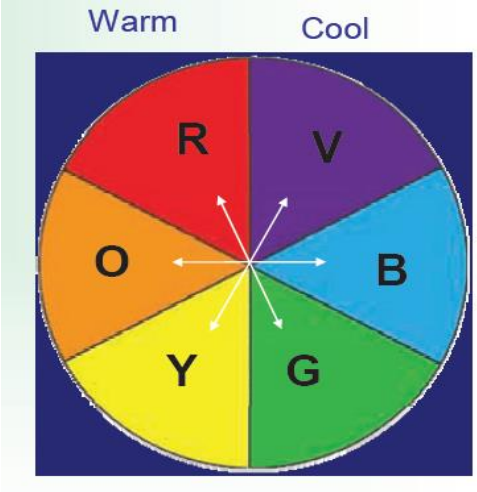


常见 LED 光源光谱如下：



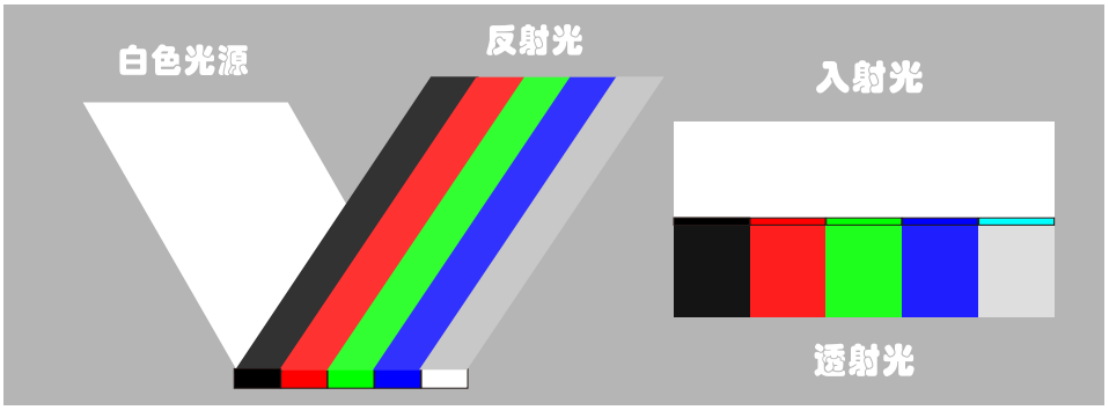
4.1.4 色环

色环就是在可见光光谱中的色彩进行排序，形成红色连接到另一端的紫色，机器视觉中应用的色环通常包括 6 种不同的颜色，分为两大类：暖色和冷色，暖色由红色调构成，冷色来自于蓝色调，比较接近的颜色为相近色，以中心轴对称的颜色为相反色，通常用相反色温的光线照射，图像可以达到最高级别的对比度，相同色温的光线照射，可以有效滤除，因此灵活利用色温特性，可以有效滤除某些干扰的背景，对我们选择光源很有帮助。



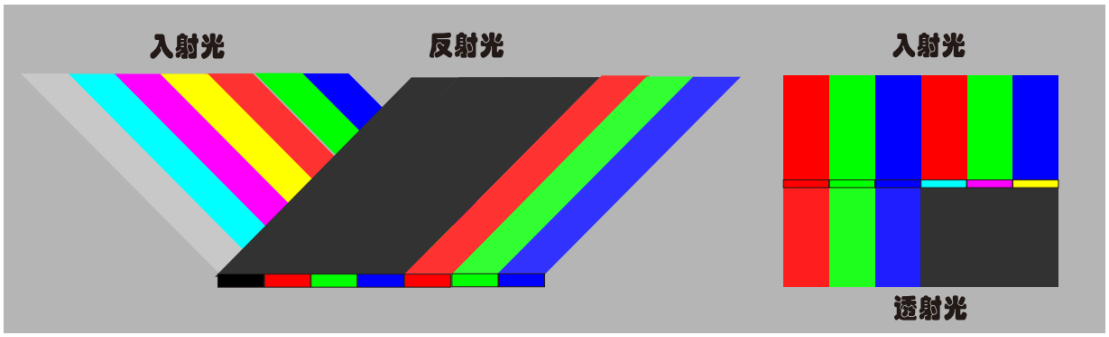
4.1.5 颜色消长

光照射到物体表面，反射光的颜色主要与物体表面的自然色一致；光穿透透明的物体之后，投射光的颜色主要与透明体的颜色一致。



如果入射光的颜色和物体本身的颜色一致或者比较接近，则反射率或者透射率会

比较高，反之如果入射光与物体的自然色是对比色，则反射率或者透射率会比较低。

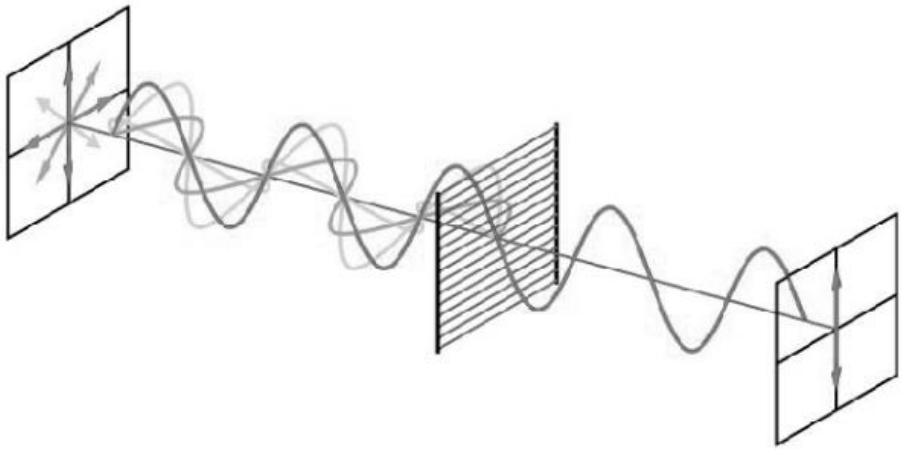


4.1.6 明视场和暗视场

明视场是最常用的照明方案，采用正面直射光照射形成，而暗视场主要由低角度或背光照明形成，对于不同项目检测需求，选择不同类型的照明方式，一般来说暗视场会使背景呈现黑暗，而被检物体则呈现明亮。

4.1.7 偏振性（Polarization）

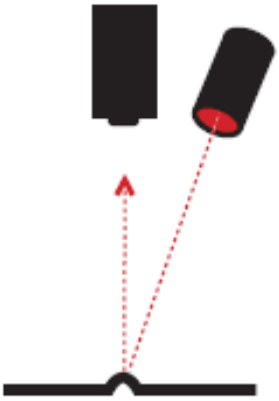
偏振性又称极化光，是光波的一种特性，光在传播时和电磁波一样是震荡的，一般的光波的震荡方向是不定的，而极化光的震荡方向处在一个确定的平面上，例如线性极化光的振荡轴与传播方向垂直。光波的这种定向性，在镜面式的反射光中保留了这种偏振性，而漫散式的反射光则丢失了。这样就可以使用光线的偏振性使镜面眩光掠过摄像机镜头，来消除镜面反射光的影响。



4.2 光源照明方式

4.2.1 直接照明

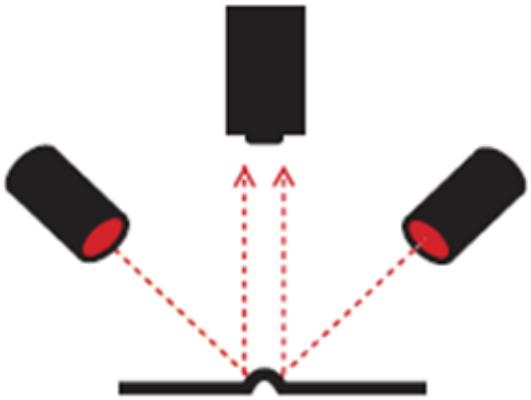
光直接射向物体，得到清楚的影像。当我们需要得到高对比度物体图像的时候，这种类型的光很有效。但是当我们用它照在光亮或反射的材料上时，会引起像镜面的反光。通用照明一般采用环状或点状照明。环形灯是一种常用的通用照明方式，其很容易安装在镜头，可给漫反射表面提供足够的照明。



4.2.2 暗场照明

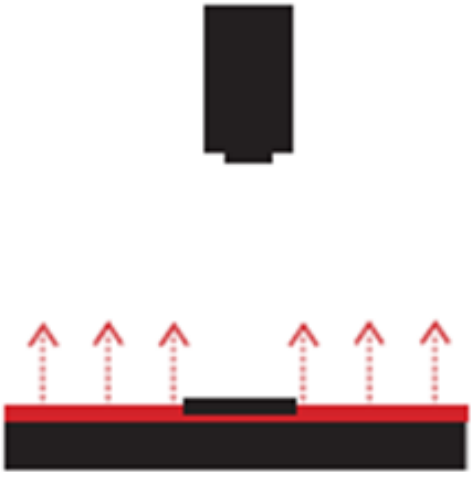
暗场照明是相对于物体表面提供低角度照明。使用相机拍摄镜子使其在其视野内，

如果在视野内能看见光源就认为是亮场照明，相反的在视野中看不到光源就是暗场照明。因此光源是亮场照明还是暗场照明与光源的位置有关。典型的，暗场照明应用于对表面部分有突起的部分的照明或表面纹理变化的照明



4.2.3 背光照明

从物体背面射过来均匀视场的光，通过相机可以看到物面的侧面轮廓。背光照明常用于测量物体的尺寸和定物体的方向。背光照明产生了很强的对比度。应用背光技术时候，物体表面特征可能会丢失。例如，可以应用背光技术测量硬币的直径，但是却无法判断硬币的正反面 。

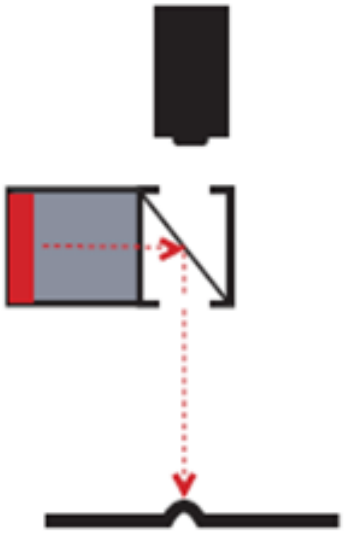


4.2.4 漫射照明

连续漫反射照明应用于物体表面的反射性或者表面有复杂的角度。 连续漫反射照明应用半球形的均匀照明，以减小影子及镜面反射。这种照明方式对于完全组装的电路板照明非常有用。这种光源可以达到 170 立体角范围的均匀照明。

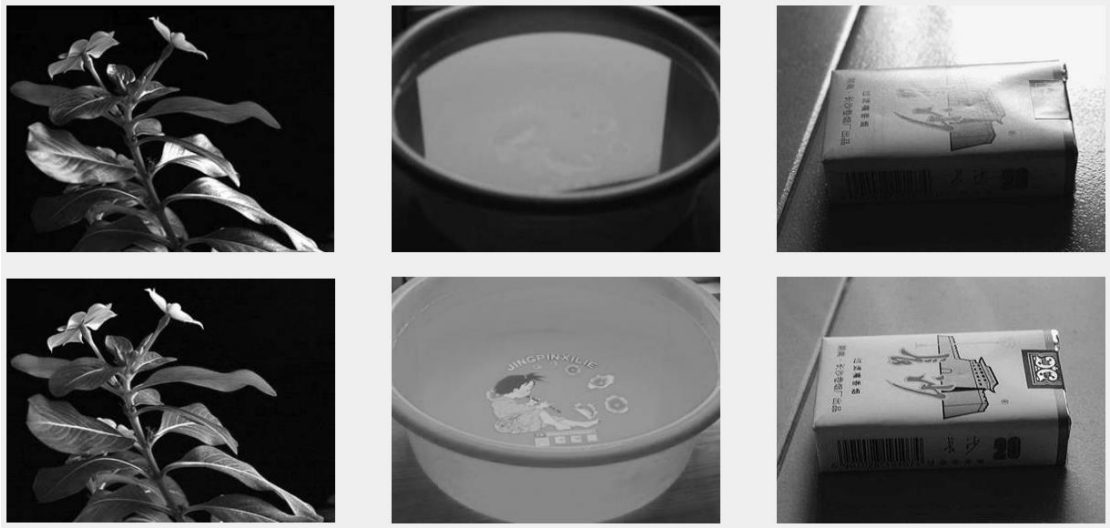
4.2.5 同轴照明

同轴光的形成--通过垂直墙壁出来的发散光，射到一个使光向下的分光镜上，相机从上面通过分光镜看物体。这种类型的光源对检测高反射的物体特别有帮助，还适合受周围环境产生阴影的影响，检测面积不明显的物体。



4.2.6 偏振片应用

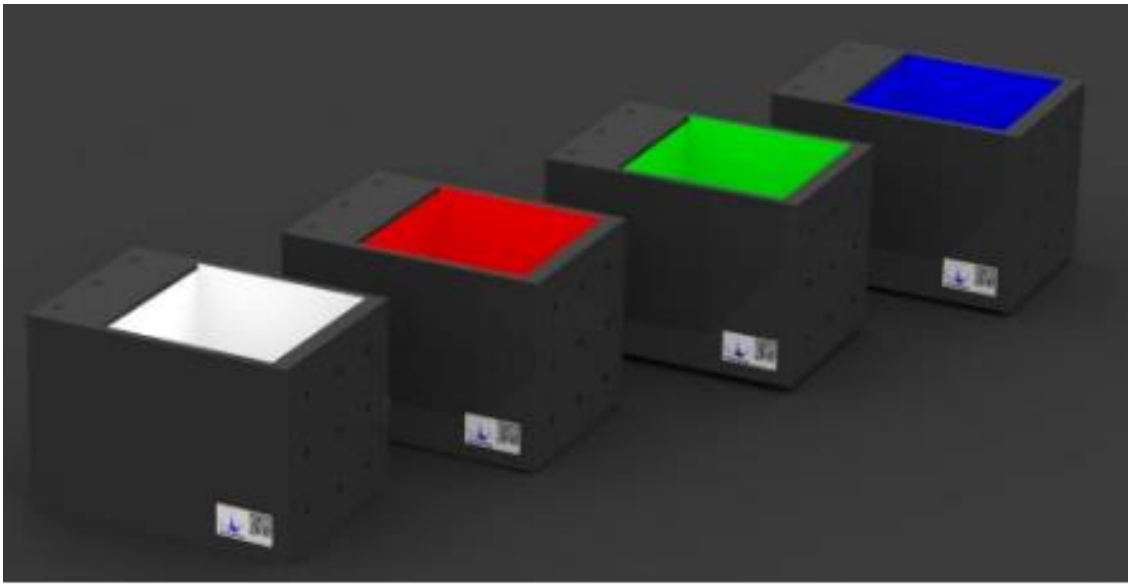
只允许振动方向平行于其允许方向的光能通过，垂直分量被截止。



4.3 视觉光源分类

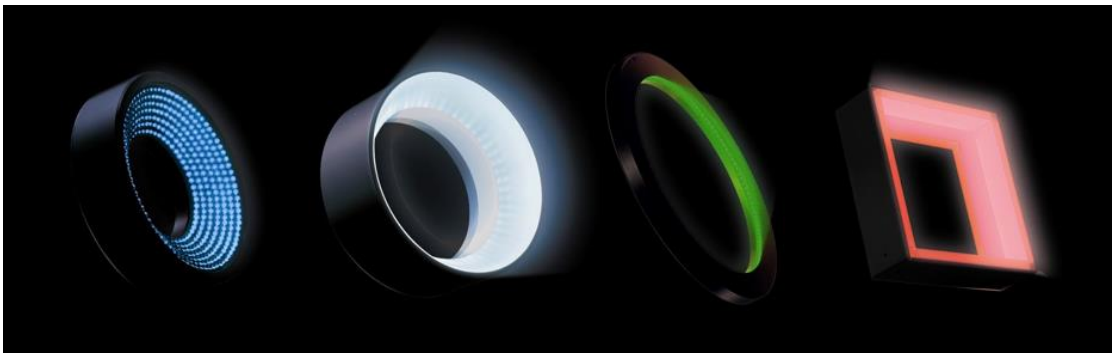
4.3.1 以颜色分类

常用光源颜色集中在可见光范围，主要有白光（复合光）、红色、蓝色、绿色，另外红外光也比较普及，而紫外光由于各种原因，应用较少；



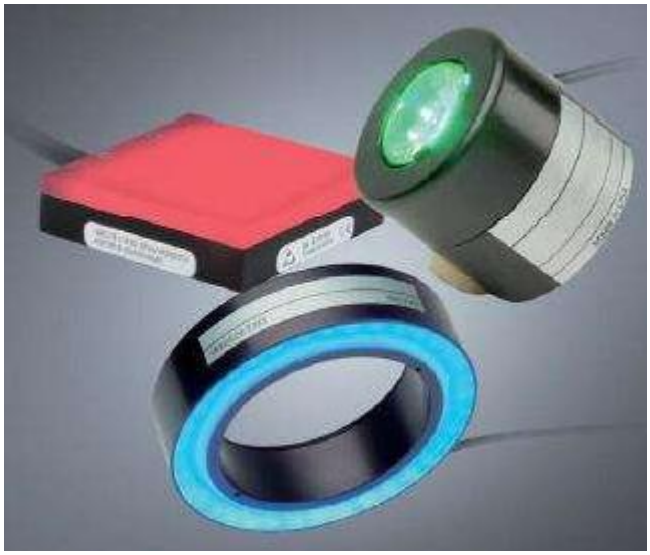
4.3.2 以外形分类

各厂家会根据不同光源外形特性进行分类，也是目前的主流分类，比如环形光源、环形低角度光源、条形光源、圆顶光源（碗光源/穹顶光源）、面光源等；



4.3.3 以工作原理/特性分类

不同的应用方式或者原理进行分类，主要有无影光源、同轴光源、点光源、线光源、背光源、组合光源以及结构光源等



4.4 视觉照明方案

利用各种不同性能和结构的光源，以及物体和背景对光的反射和传送特性就可以设计出不同的照明方案。照明方案分正向和背向照明二大类，每一类又有很多的变化。

4.4.1 正向照明

镜面：光线直接从物体的表面反射而进入摄像机镜头。物体的镜面反射不一致的各个区域，可用这一照明方式将它们区分出来。物体表面每倾斜一度，都会使镜面反射光移动二度。这种照明技术对于物体的姿态是非常敏感的。

离轴照明：光源在镜头轴线的侧面，镜面反射有可能到不了镜头，从而避开了镜面反射而引起特亮光的干扰，而漫反射光部分则可能进入镜头。最典型的例子是光滑的金属表面模印上表面粗糙的文字。文字因漫反射光进入镜头而亮，而金属表面背景因镜面反射光而达不到镜头，形成黑背景。

半漫射照明：光线来自比较宽角度的各方向，例如环形光。这种照明方式能获得比较好质量的图像，并具有较好的均匀性，可以有比较大范围的视场。

漫散照明：光线来自所有方向，用于不同的物体特征有不同的漫反射特性、使镜面反射最少，以及使因表面方向变化而引起的影响差异很大的反射最小。

黑场：光线来自与镜头视线方向成 90°的方向，所有镜面反射和所有来自平面的漫反射都会掠过镜头不能进入摄像机。而无规律的表面，例如划痕，会产生强烈的闪烁，而被摄像机转换成图像。

4.4.2 背光照明

漫射式：是背光照明中最通用的方式，它具有一块大的透明或半透明的平板，在平板的背后是光源。设计简单，最易获得均匀光源。

凝聚式：使用镜头将光线集中于一个方向，适用于背光照明时建立定向光特性。

黑场：光线从与镜头视线成 90°的方向射入，例如从透明物体的边缘进入，检测物体中的裂痕、气泡等，光线在透明物中传输时不会进入镜头，当碰到某种小物体后，

因折射有一部分光反射进入镜头。

以上所叙的照明技术只是原则性地概括，它们可以灵活地变化和组合来适应需求，照明技术的变化是非常多的，例如使用线、网格、圆等光照形式的结构光来检测三维物体；使用光的偏振特性来消除镜面反射，突出表面的细节；使用光学滤色片来加强特征区，而滤除背景和其它不感兴趣区域，从而简化了图像的二值化和分割算法等。

当然照明设计往往除了涉及三个主要方面：光源的种类和特性、目标及其背景的光反射特性、光源的结构，还应了解清楚系统要检测什么、物体的特性、工作环境如何等，最佳光源和照明方式的选择需要理论知识，但实践经验以及反复的大量试验也很重要。