

机器视觉相机介绍

成像芯片和相机是图像和机器视觉系统中最重要器件，目前主要的成像器件有 CCD 和 CMOS 两种。在科研领域，了解芯片的成像原理和主要参数对于产品的选型时非常重要的。同样，相同的芯片经过不同的设计制造出的相机性能也可能有所差别。

一、芯片的主要参数

在机器视觉中主要采用的两类光电传感芯片分别为 CCD 芯片和 CMOS 芯片，CCD 是 Charge Coupled Device(电荷耦合器件)的缩写，CMOS 是 Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Transistor(互补金属氧化物半导体)的缩写。无论是 CCD 还是 CMOS，他们的作用都是通过光电效应将光信号转换成电信号（电压/电流），进行存储以获得图像。

1. 像元尺寸

像元尺寸指芯片像元阵列上每个像元的实际物理尺寸，通常的尺寸包括 14um, 10um, 9um, 7um, 6.45um, 3.75um 等。像元尺寸从某种程度上反映了芯片的对光的响应能力，像元尺寸越大，能够接收到的光子数量越多，在同样的光照条件和曝光时间内产生的电荷数量越多。对于弱光成像而言，像元尺寸是芯片灵敏度的一种表征。

2. 灵敏度

灵敏度是芯片的重要参数之一，它具有两种物理意义。一种指光器件的光电转换能力，与响应率的意义相同。即芯片的灵敏度指在一定光谱范围内，单位曝光量的输出信号电压（电流），单位可以为纳安/勒克斯 nA/Lux、伏/瓦 (V/W)、伏/勒克斯 (V/Lux)、伏/流明 (V/lm)。另一种是指器件所能传感的对地辐射功率（或照度），与探测率的意义相同。单位可用瓦 (W) 或勒克斯 (Lux) 表示。

3. 坏点数

由于受到制造工艺的限制，对于有几百万像素点的传感器而言，所有的像元都是好的情况几乎不太可能，坏点数是指芯片中坏点（不能有效成像的像元或相应不一致性大于参数允许范围的像元）的数量，坏点数是衡量芯片质量的重要参数。

4. 光谱响应

光谱响应是指芯片对于不同光波长光线的响应能力，通常用光谱响应曲线给出。

二、相机的分类

1. 按照芯片结构分类：CCD 相机 & CMOS 相机

采用 CCD 成像芯片的相机是 CCD 相机，采用 CMOS 芯片的是 CMOS 相机。CCD 相机与 CMOS 相机主要差异在于将光转换为电信号的方式。对于 CCD 传感器，光照射到像元上，像元产生电荷，电荷通过少量的输出电极传输并转化为电流、缓冲、信号输出。对于 CMOS 传感器，每个像元自己完成电荷到电压的转换，同时产生数字信号。在相机的选择中，不能大概地说 CCD 相机好还是 CMOS 相机更好，具体选择过程要根据应用的具体需求和所选择相机的参数指标。

2. 按照传感器结构分：面阵相机 & 线阵相机

有两种主要的传感器架构：面扫描和线扫描，响应的相机称为面阵相机和线阵相机。面阵相机通常用于，在一幅图像采集期间相机与被成像目标之间没有相对运动的场合，如监控显示、直接对目标成像等，图像采集用一个事件触发（或条件的组合）。线扫描相机用于在一幅图像采集期间相机与被成像目标之间有相对运动的场合，通常是连续运动目标成像或需要对大视场高精度成像。线扫描相机的主要应用于弯曲表面或平滑表面、连续产品进行成像，比如 Web Inspection 应用：如印刷检测、纺织品检测、LCD 面板、PCB、纸张、玻璃、钢板等。

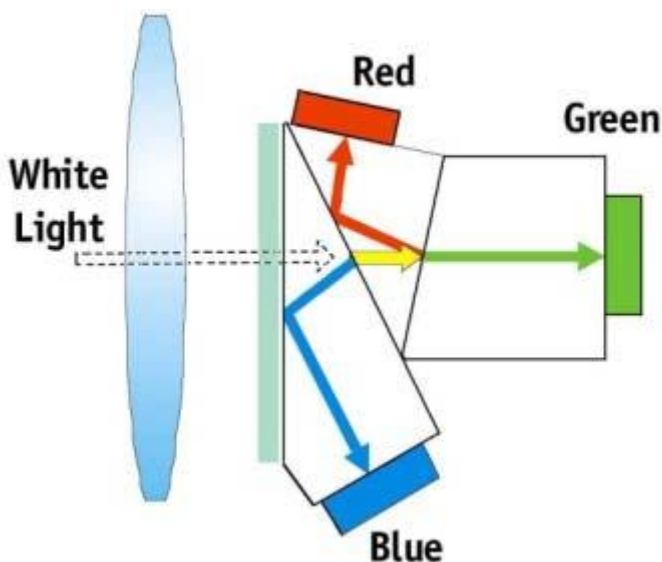
3. 机视频信号输出模式的不同分为模拟相机和数字相机

模拟相机输出模拟视频信号，可以通过相应的模拟显示器直接显示图像，也可以通过采集卡进行模拟转换后，形成数字视频信号采集与存储；数字相机在相机内部完成模拟转换，直接输出数字视频信号。随着数字技术的不断发展，模拟相机越来越多的被数字相机所替代，模拟相机所占市场份额正越来越小。数字相机具有通用性好、控制简单、可增加更多图像处理功能，以及后续 Firmware 升级等的优势。数字相

机还可以进一步细分，其输出接口又包括：LVDS 接口、Camera Link 接口、Firewire(IEEE 1394)、USB 接口和 GigE 接口。模拟相机分为逐行扫描和隔行扫描两种，隔行扫描相机又包含 EIA/NTSC/CCIR/PAL 等标准制式。

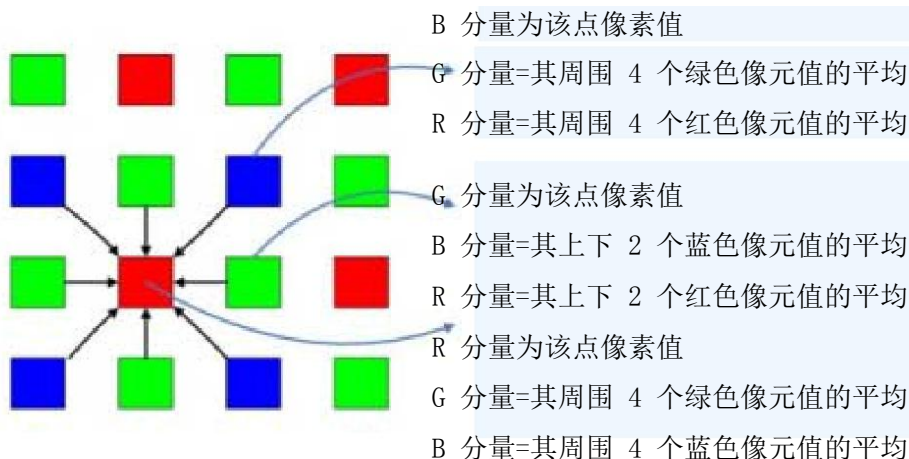
4. 彩色相机&黑白相机

黑白相机直接将光强信号转换成图像灰度值，生成的是灰度图像；彩色相机能获得景物中红、蓝、绿三个分量的光信号，输出彩色图像。彩色相机能够提供比黑白相机更多的图像信息。彩色相机的实现方法主要有两种，棱镜分光法和 Bayer 滤波法。棱镜分光彩色相机，利用光学透镜将入射光学的 R、G、B 分量分离，在三片传感器上分别将三种颜色的光信号转换成电信号（如下图所示），最后对输出的数字信号进行合成，得到彩色图像。



棱镜分光彩色相机

Bayer 滤波彩色相机，是在传感器像元表面按照 Bayer 马赛克规律增加 RGB 三色滤光片，如下图所示，输出信号时，像素 RGB 分量值是由其对应像元和其附近仙缘共同获得的。



三、 相机的主要参数

1. 分辨率

分辨率是相机最基本的参数，由相机所采用的芯片分辨率决定，是芯片靶面排列的像元数量。通常面阵相机的分辨率用水平和垂直分辨率两个数字表示，如：1920 (H) x 1080 (V)，前面的数字表示每行的像元数量，即共有 1920 个像元，后面的数字表示像元的行数，即 1080 行。现在相机的分辨率通常表示多少 K，如 1K (1024)，2K (2048)，3K (4096) 等。在采集图像时，相机的分辨率对图像质量有很大的影响。在对同样大的视场（景物范围）成像时，分辨率越高，对细节的展示越明显。

2. 速度（帧频/行频）

相机的帧频/行频表示相机采集图像的频率，通常面阵相机用帧频表示，单位 fps（Frame Per second），如 30fps, 表示相机再 1 秒钟内最多能采集 30 帧图像；线阵相机通常用行频便是单位 KHz, 如 12KHz 表示相机再 1 秒钟内最多能采集 12000 行图像数据。速度是相机的重要参数，在实际应用中很多时候需要对运动物体 成像。相机的速度需要满足一定要求，才能清晰准确的对物体成像。相机的帧频和行频首先受到芯片的帧频 和行频的影响，芯片的设计最高速度则主要是由芯片所能承受的最高时钟决定。

3. 噪声相机的噪声

是指成像过程中不希望被采集到的，实际成像目标外的信号。根据欧洲相机测试标准 EMVA1288 中，定义的相机中的噪声从总体上可分为两类：一类是由有效信号带来的符合泊松分布的统计涨落噪声，也叫散粒噪声（shot noise），这种噪声对任何相机都是相同的，不可避免，尤其确定的计算公式。（就是：噪声的平方=信号的均值）。第二类是相机自身固有的与信号无关的噪声，它是由图像传感器读出电路、相机信号处理与放大电路等带来的噪声，每台相机的固有噪声都不一样。另外，对数字相机来说，对视频信号进行模拟转换时会产生量化噪声，量化位数越高，噪声越低。

4. 信噪比

相机的信噪比定义为图像中信号与噪声的比值（有效信号平均灰度值与噪声均方根的比值），代表了图像的质量，图像信噪比越高，图像质量越好。

5. 动态范围

相机的动态范围表明相机探测光信号的范围，动态范围可用两种方法来界定，一种是光学动态范围，指饱和时最大光强与等价于噪声输出的光强的比值，由芯片的特性决定。另一种是电子动态范围，他指饱和电压和噪声电压之间的比值。对于固定相机其动态范围是一个定值，不随外界条件变化而变化。在线性响应去，相机的动态范围定义为饱和曝光量与噪声等效曝光量的比值：

$$\text{动态范围} = \frac{\text{光敏元的满阱容量}}{\text{等效噪声信号}}$$

动态范围可用倍数、dB 或 Bit 等方式来表示。动态范围大，则相机对不同的光照强度有更强的适应能力。

6. 像元深度

数字相机输出的数字信号，即像元灰度值，具有特殊的比特位数，称为像元深度。对于黑白相机这个值的方位通常是 8-16bit。像元深度定义了灰度由暗道亮的灰阶数。例如，对于 8bit 的相机 0 代表全暗而 255 代表全亮。介于 0 和 25 之间的数字代表一定的亮度指标。10bit 数据就有 1024 个灰阶而 12bit 有 4096 个阶。每一个应用我们都要仔细考虑是否需要非常细腻的灰度等级。从 8bit 上升到 10bit 或者 12bit 的确可以增强测量的精度，但是也同时降低了系统的速度，并且提高了系统集成的难度（线缆增加，尺寸变大），因此我们也要慎重选择。

7. 光谱响应

光谱响应是指相机对于不同波长光线的响应能力，通常指其所采用芯片的光谱响应。通常用光谱曲线表示，横轴表示不同波长，纵轴表示量子效率。按照响应光谱不同也把相机分为可见光相机（400nm—1000nm，峰值在 500nm—600nm 之间），红外相机（响应波长在 700nm 以上），紫外相机（可以响应到 200nm—400nm 的短波），我们需要根据接收被测物发光波长的不同来选择不同的光谱响应的相机。

8. 光学接口

光学接口是指相机与镜头之间的借口，常用的镜头的借口有 C 口，CS 口，F 口。下表提供了关于镜头 安装及后焦距的信息。其中 M42 镜头适配器源于高端摄像标准。另一方面，相机的 Z 轴均依据所提供的适配器而进行了优化，一般情况下不要轻易拆卸镜头适配器。

接口类型	后截距	接口
C 口	17.526mm	螺口
CS 口	12.5mm	螺口
F 口	46.5mm	卡口

在选择镜头是，镜头尺寸要大于等于相机芯片尺寸。一般情况下，图像传感器和镜头在出厂前已经进行了校准。CCD 相机的图像传感器首先与镜头适配器的 Z 轴进行了校准，其次是 X 轴、Y 轴和 M42 旋转镜头适配器。在校准过程中，首先，通过 Z 轴校准环合镜头座调整到适当位置，从而对 Z 轴进行校准。当完成 Z 轴校准后，Z 轴环北锁定，并去除镜头座。如需重新校准，请与生产厂商联系。未经授权而拆卸 CCD 相机的外壳，可能会影响图像传感器发生偏移，从而影响其性能。

四、CCD 相机与 CMOS 相机比较

1. 成像过程

CCD 与 CMOS 图像传感器光电转换的原理相同，他们最主要的差别在于信号的读出过程不同；由于 CCD 仅有一个（或少数几个）输出节点统一读出，其信号输出的一致性非常好；而 CMOS 芯片中，每个像素都有各自的信号放大器，各自进行电荷-电压的转换，其信号输出的一致性较差。但是 CCD 为了读出整幅图像信号，要求输出放大器的信号带宽较宽，而在 CMOS 芯片中，每个像元中的放大器的带宽要求较低，大大降低了芯片的功耗，这就是 CMOS 芯片功耗比 CCD 要低的主要原因。尽管降低了功耗，但是数以百万的放大器的不一致性却带来了更高的固定噪声，这又是 CMOS 相对 CCD 的固有劣势。

2. 集成性

从制造工艺的角度看，CCD 中电路和器件是集成在半导体单晶材料商，工艺较复杂，世界上只有少数几家厂商能够生产 CCD 晶元，如 DALSA、SONY、松下等。CCD 仅能输出模拟电信号，需要后续的地址译码器、模拟转换器、图像信号处理器处理，并且还需要提供三组不同电压的电源同步时钟控制电路，

集成度非常低。而 CMOS 是集成在被称作金属氧化物的版单体材料上，这种工艺与生产数以万计的计算机芯片和存储设备等半导体集成电路的工艺相同，因此声场 CMOS 的成本相对 CCD 低很多。同时 CMOS 芯片能将图像信号放大器、信号读取电路、A/D 转换电路、图像信号处理器及控制器等集成到一块芯片上，只需一块芯片就可以实现相机的所有基本功能，集成度很高，芯片级相机概念就是从这产生的。

随着 CMOS 成像技术的不断发展，有越来越多的公司可以提供高品质的 CMOS 成像芯片，包括：Micron、CMOSIS、Cypress 等。

3. 速度

CCD 采用逐个光敏输出，只能按照规定的程序输出，速度较慢。CMOS 有多个电荷-电压转换器和行列开关控制，读出速度快很多，目前大部分 500fps 以上的高速相机都是 CMOS 相机。此外 CMOS 的地址选通开关可以随机采样，实现子窗口输出，在仅输出子窗口图像时可以获得更高的速度。

4. 噪声

CCD 技术发展较早，比较成熟，采用 PN 结或二氧化硅 (SiO₂) 隔离层隔离噪声，成像质量相对 CMOS 光电传感器有一定优势。由于 CMOS 图像传感器集成度高，各元件、电路之间距离很近，干扰比较严重，噪声对图像质量影响很大。近年，随着 CMOS 电路消噪技术的不断发展，为生产高密度优质的 CMOS 图像传感器提供了良好的条件。