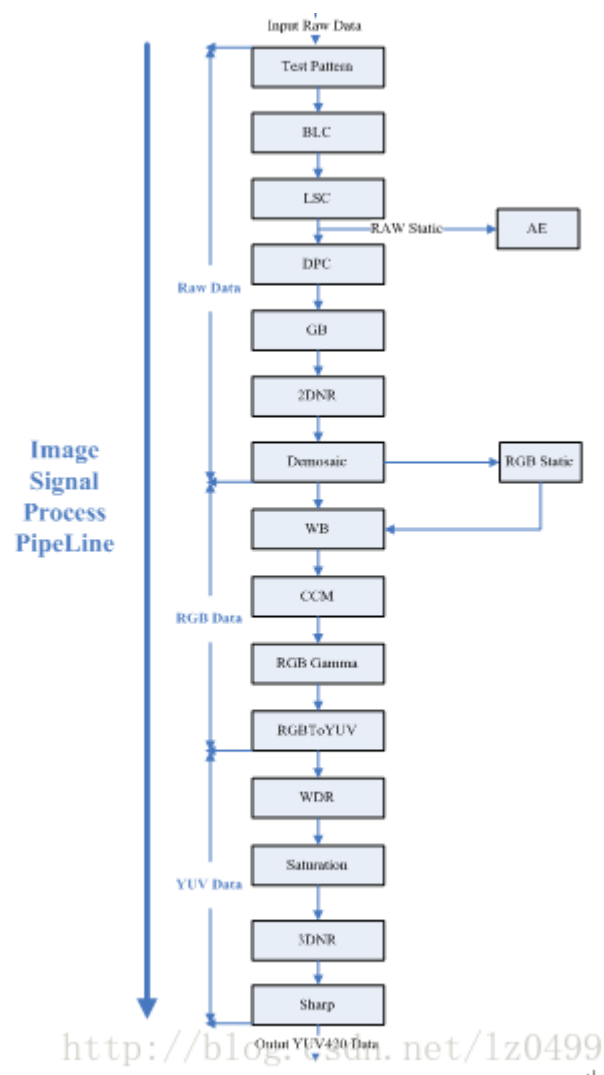


# ISP 基本框架及算法介绍

ISP(Image Signal Processor) , 即图像处理 , 主要作用是对前端图像传感器输出的信号做后期处理 , 主要功能有线性纠正、噪声去除、坏点去除、内插、白平衡、自动曝光控制等 , 依赖于 ISP 才能在不同的光学条件下都能较好的还原现场细节 , ISP 技术在很大程度上决定了摄像机的成像质量。它可以分为独立与集成两种形式。

下图是图像信号处理主要流程 :



## 1.TestPattern-----测试图像

Test Pattern 主要用来做测试用。不需要先在片上 ROM 存储图片数据 , 直接使用生成的测试图像 , 用生成的测试图像进行后续模块的测试验证。以下是常用的两种测试图像。



## 2.BLC(BlackLevel Correction)-----黑电平校正

Black Level 是用来定义图像数据为 0 时对应的信号电平。由于暗电流的影响 , 传感器出来的实际原始数据并不是我们需要的黑平衡 ( 数据不为 0 ) 。 所以 , 为减少暗电流对图像信号的影响 , 可以采用的有效的方法是从已获得的图像信号中减去参考暗电流信号。一般情况下 , 在传感器中 , 实际像素要比有效像素多 , 像素区头几行作为不感光区 ( 实际上 , 这部分区域也做了 RGB 的 color filter ) , 用于自动黑电平校正 , 其平均值作为校正值 , 然后在下面区域的像素都减去此校正值 , 那么就可以将黑电平校正过来了。如下图所示 , 左边是做黑电平校正之前的图像 , 右边是做了黑电平校正之后的图像。



### 3.LSC(Lens Shade Correction)-----镜头阴影校正

由于相机在成像距离较远时，随着视场角慢慢增大，能够通过照相机镜头的斜光束将慢慢减少，从而使得获得的图像中间比较亮，边缘比较暗，这个现象就是光学系统中的渐晕。由于渐晕现象带来的图像亮度不均会影响后续处理的准确性。因此从图像传感器输出的数字信号必须先经过镜头矫正功能块来消除渐晕给图像带来的影响。同时由于对于不同波长的光线透镜的折射率并不相同，因此在图像边缘的地方，其 R、G、B 的值也会出现偏差，导致 CA(chroma aberration)的出现，因此在矫正渐晕的同时也要考虑各个颜色通道的差异性。

常用的镜头矫正的具体实现方法是，首先确定图像中间亮度比较均匀的区域，该区域的像素不需要做矫正；以这个区域为中心，计算出各点由于衰减带来的图像变暗的速度，这样就可以计算出相应 R、G、B 通道的补偿因子(即增益)。下图左边图像是未做镜头阴影校正的，右边图像是做了镜头阴影校正的。

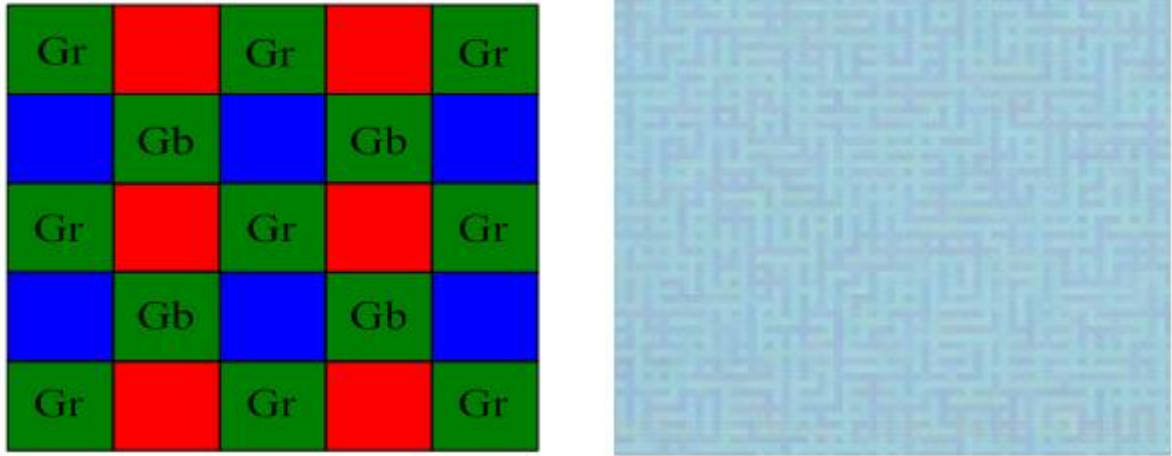


### 4.DPC(Bad Point Correction)-----坏点校正

所谓坏点，是指像素阵列中与周围像素点的变化表现出明显不同的像素，因为图像传感器是成千上万的元件工作在一起，因此出现坏点的概率很大。一般来讲，坏点分为三类：第一类是死点，即一直表现为最暗值的点；第二类是亮点，即一直表现为最亮值的点；第三类是漂移点，就是变化规律与周围像素明显不同的像素点。由于图像传感器中 CFA 的应用，每个像素只能得到一种颜色信息，缺失的两种颜色信息需要从周围像素中得到。如果图像中存在坏点的话，那么坏点会随着颜色插补的过程往外扩散，直到影响整幅图像。因此必须在颜色插补之前进行坏点的消除。

### 5.GB ( Green Balance ) -----绿平衡

由于感光器件制造工艺和电路问题，Gr,Gb 数值存在差异,将出现格子迷宫现象可使用均值算法处理 Gr,Gb 通道存在的差异,同时保留高频信息。



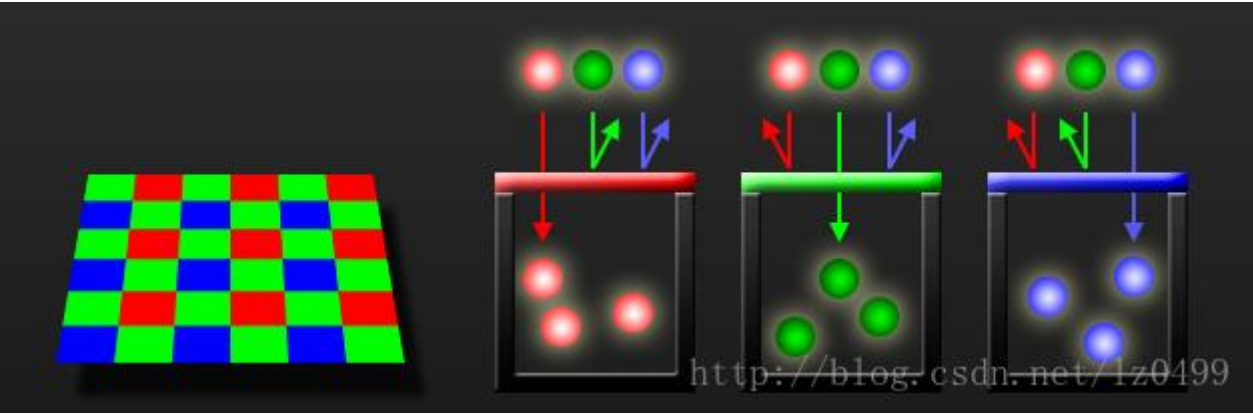
### 6.Denoise-----去除噪声

使用 cmos sensor 获取图像，光照程度和传感器问题是生成图像中大量噪声的主要因素。同时， 当信号经过 ADC 时， 又会引入其他一些噪声。这些噪声会使图像整体变得模糊， 而且丢失很多细节， 所以需要对图像进行去噪处理空间去噪传统的方法有均值滤波、 高斯滤波等。

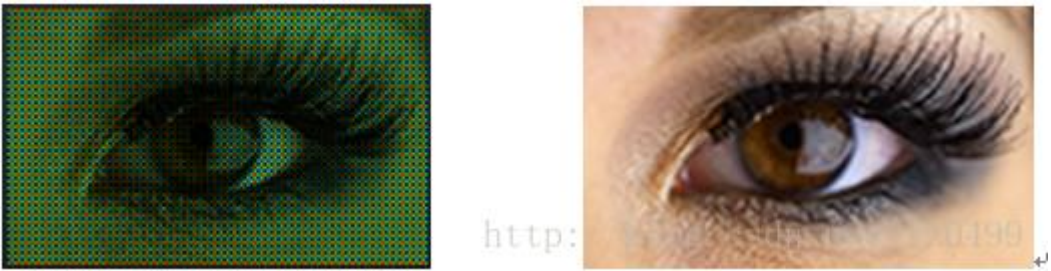
但是， 一般的高斯滤波在进行采样时主要考虑了像素间的空间距离关系， 并没有考虑像素值之间的相似程度， 因此这样得到的模糊结果通常是整张图片一团模糊。 所以， 一般采用非线性去噪算法， 例如双边滤波器， 在采样时不仅考虑像素在空间距离上的关系， 同时加入了像素间的相似程度考虑， 因而可以保持原始图像的大体分块， 进而保持边缘。

## 7.Demosaic-----颜色插值

光线中主要包含三种颜色信息，即 R、G、B。但是由于像素只能感应光的亮度，不能感应光的颜色，同时为了减小硬件和资源的消耗，必须要使用一个滤光层，使得每个像素点只能感应到一种颜色的光。目前主要应用的滤光层是 bayer GRBG 格式。如下图所示：



这样，经过滤色板的作用之后，每个像素点只能感应到一种颜色。必须要找到一种方法来复原该像素点其它两个通道的信息，寻找该点另外两个通道的值的过程就是颜色插补的过程。由于图像是连续变化的，因此一个像素点的 R、G、B 的值应该是与周围的像素点相联系的，因此可以利用其周围像素点的值来获得该点其它两个通道的值。目前最常用的插补算法是利用该像素点周围像素的平均值来计算该点的插补值。如下图所示，左侧是 RAW 域原始图像，右侧是经过插值之后的图像。



## 8.AWB ( Automatic White Balance ) -----自动白平衡

人类视觉系统具有颜色恒常性的特点，因此人类对事物的观察可以不受到光源颜色的影响。但是图像传感器本身并不具有这种颜色恒常性的特点，因此，其不同在不同光线下拍摄到的图像，会受到光源颜色的影响而发生变化。例如在晴朗的天空下拍摄到的图像可能偏蓝，而在烛光下拍摄到的物体颜色会偏红。因此，为了消除光源颜色对于图像传感器成像的影响，自动白平衡功能就是模拟了人类视觉系统的颜色恒常性特点来消除光源颜色对图像的影响的。



## 9.CCM ( Color Correction Matrix ) -----颜色校正



颜色校正主要为了校正在滤光板处各颜色块之间的颜色渗透带来的颜色误差。一般颜色校正的过程是首先利用该图像传感器拍摄到的图像与标准图像相比较，以此来计算得到一个校正矩阵。该矩阵就是该图像传感器的颜色校正矩阵。在该图像传感器应用的过程中，及可以利用该矩阵对该图像传感器所拍摄的所有图像来进行校正，以获得最接近于物体真实颜色的图像。

一般情况下，对颜色进行校正的过程，都会伴随有对颜色饱和度的调整。颜色的饱和度是指色彩的纯度，某色彩的纯度越高，则其表现的就越鲜明；纯度越低，表现的则比较黯淡。RGB 三原色的饱和度越高，则可显示的色彩范围就越广泛。



## 10.RGB Gamma-----Gamma 校正

伽马校正的最初起源是 CRT 屏幕的非线性，研究 CRT 电子枪的物理表明，电子枪的输入电压和输出光之间满足  $5.2$  幂函数关系，即荧光屏上显示的亮度正比于输入电压的  $5/2$  次方，这个指数被称为伽马。这种关系源于阴极、光栅和电子束之间的静电相互作用。由于对于输入信号的发光灰度，不是线性函数，而是指数函数，因此必需校正。校正原理如下图 1-9 所示：

但是实际情况是，即便 CRT 显示是线性的，伽马校正依然是必须的，是因为人类视觉系统对于亮度的响应大致是成对数关系的，而不是线性的。人类视觉对低亮度变化的感觉比高亮度变化的感觉来的敏锐，当光强度小于  $1\text{lux}$  时，常人的视觉敏锐度会提高  $100$  倍 [2118]。伽马校正就是为了校正这种亮度的非线性关系引入的一种传输函数。校正过程就是对图像的伽玛曲线进行编辑，检出图像信号中的深色部分和浅色部分，并使两者比例增大，从而提高图像对比度效果，以对图像进行非线性色调编辑。由于视觉环境和显示设备特性的差异，伽马一般取  $2.2 \sim 2.5$  之间的值。当用于校正的伽马值大于  $1$  时，图像较亮的部分被压缩，较暗的部分被扩展；而伽马值小于  $1$  时，情况则刚好相反。

现在常用的伽马校正利用查表法来实现的，即首先根据一个伽马值，将不同亮度范围的理想输出值在查找表中设定好，在处理图像的时候，只需要根据输入的亮度，既可以得到其理想的输出值。在进行伽马校正的同时，可以一定范围的抑制图像较暗部分的噪声值，并提高图像的对比度。还可以实现图像现显示精度的调整，比如从  $10\text{bit}$  精度至  $8\text{bit}$  精度的调整。上图分别是未做 Gamma 校正的，下图是做了 Gamma 校正的。详细原理可以参看之前写的博文《ISP 算法之 Gamma 校正》。





## 11.RGBToYUV

YUV 是一种基本色彩空间，人眼对亮度改变的敏感性远比对色彩变化大很多，因此，对于人眼而言，亮度分量 Y 要比色度分量 U、V 重要得多。另外，YUV 色彩空间分为 YUV444,YUV422，YUV420 等格式，这些格式有些比原始 RGB 图像格式所需内存要小很多，这样亮度分量和色度分量分别存储之后，给视频编码压缩图像带来一定好处。

## 12.WDR ( Wide Dynamic Range ) -----宽动态

动态范围(Dynamic Range)是指摄像机支持的最大输出信号和最小输出信号的比值，或者说图像最亮部分与最暗部分的灰度比值。普通摄像机的动态范围一般在 1:1000(60db)左右，而宽动态(Wide Dynamic Range,WDR)摄像机的动态范围能达到 1:1800-1:5600(65-75db)。

宽动态技术主要用来解决摄像机在宽动态场景中采集的图像出现亮区域过曝而暗区域曝光不够的现象。简而言之，宽动态技术可以使场景中特别亮的区域和特别暗的区域在最终成像中同时看清楚。

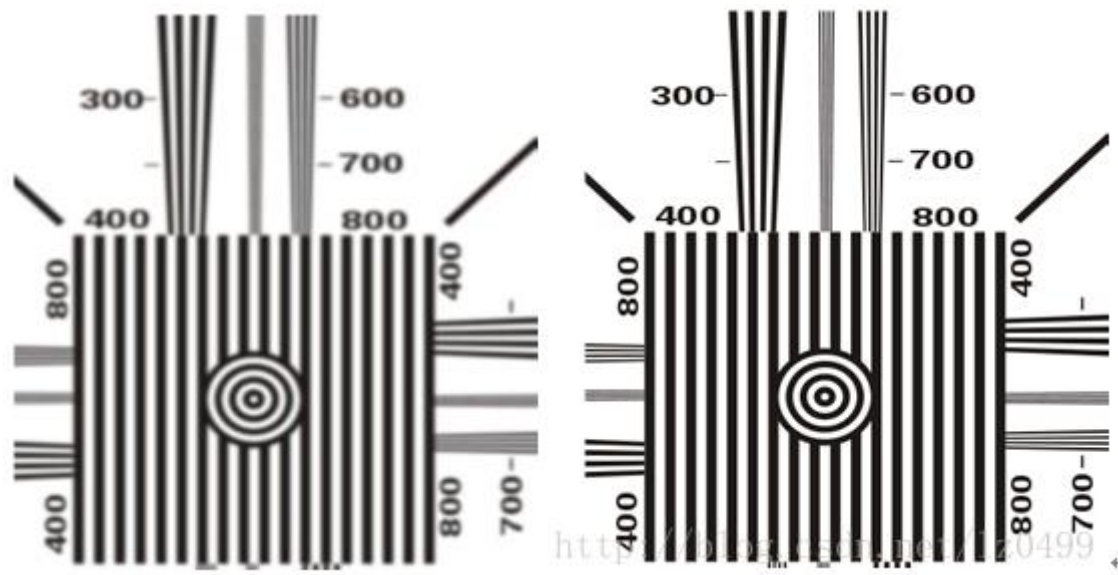


## 13.3DNR

请参看之前写的博文《视频图像中 3DNR 原理及算法介绍》

## 14.Sharp-----锐化

CMOS 输入的图像将引入各种噪声，有随机噪声、量化噪声、固定模式噪声等。ISP 降噪处理过程中，势必将在降噪的同时，把一些图像细节给消除了，导致图像不够清晰。为了消除降噪过程中对图像细节的损失，需要对图像进行锐化处理，还原图像的相关细节。如下图所示，左图是未锐化的原始图像，右图是经过锐化之后的图像。

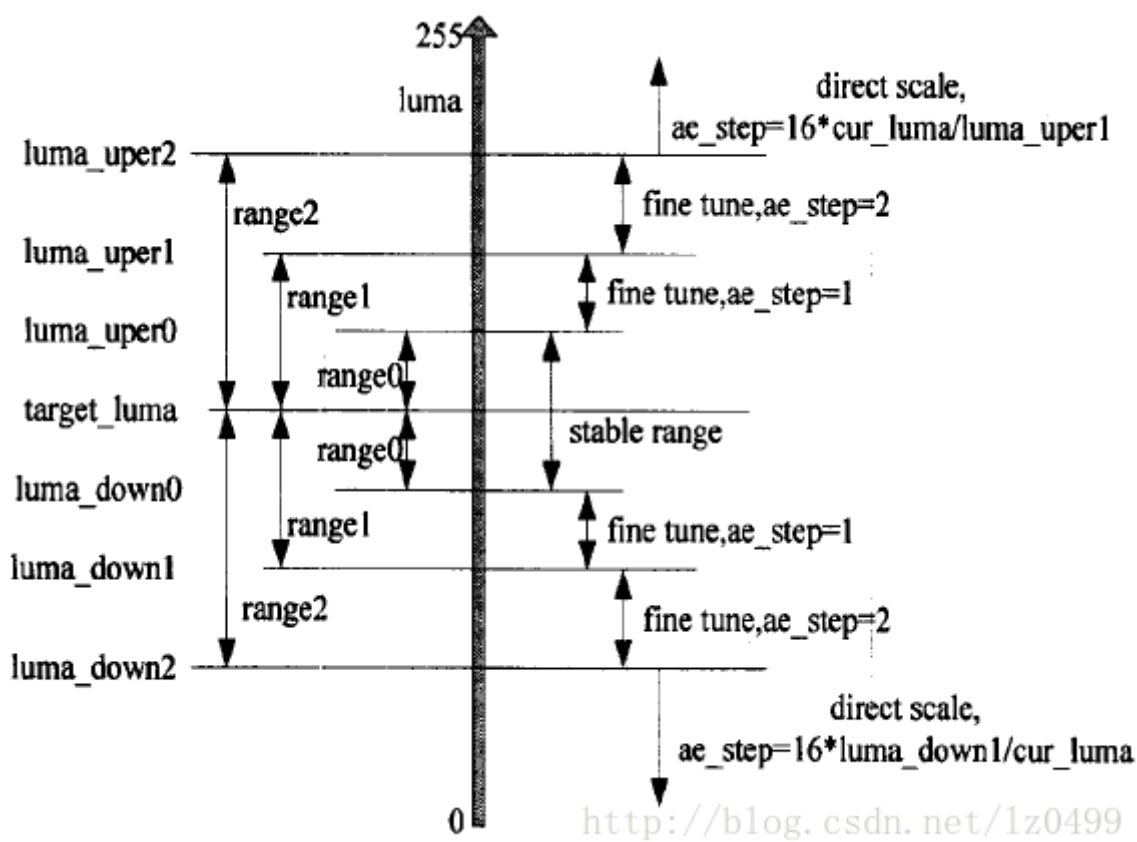


15.AE ( Automatic Exposure ) ----自动曝光

不同场景下，光照的强度有着很大的差别。人眼有着自适应的能力因此可以很快的调整，使自己可以感应到合适的亮度。而图像传感器不具有这种自适应能力，因此必须使用自动曝光功能来确保拍摄的照片获得准确的曝光从而具有合适的亮度。

自动曝光的实现一般包括三个步骤：光强测量、场景分析和曝光补偿。光强测量的过程是利用图像的曝光信息来获得当前光照信息的过程。按照统计方式的不同，分为全局统计，中央权重统计或者加权平均统计方式等。全局统计方式是指将图像全部像素都统计进来，中央权重统计是指只统计图像中间部分，这主要是因为通常情况下图像的主体部分都位于图像的中间部分；加权平均的统计方式是指将图像分为不同的部分，每一部分赋予不同的权重，比如中间部分赋予最大权重，相应的边缘部分则赋予较小的权重，这样统计得到的结果会更加准确。场景分析是指为了获得当前光照的特殊情况而进行的处理，比如有没有背光照射或者正面强光等场景下。对这些信息的分析，可以提升图像传感器的易用性，并且能大幅度提高图像的质量，这是自动曝光中最为关键的技术。目前常用的场景分析的技术主要有模糊逻辑和人工神经网络算法。这些算法比起固定分区测光算法具有更高的可靠性，主要是在模糊规则制定或者神经网络的训练过程中已经考虑了各种不同光照条件。在完成了光强测量和场景分析之后，就要控制相应的参数使得曝光调节生效。主要是通过设定曝光时间和曝光增益来实现的。通过光强测量时得到的当前图像的照度和增益值与目标亮度值的比较来获得应该设置的曝光时间和增益调整量。在实际情况下，相机通常还会采用镜头的光圈/快门系统来增加感光的范围。

在进行曝光和增益调整的过程中，一般都是变步长来调整的，这样可以提高调整的速度和精度。一般来讲，增益和曝光的步长设定如下图所示：

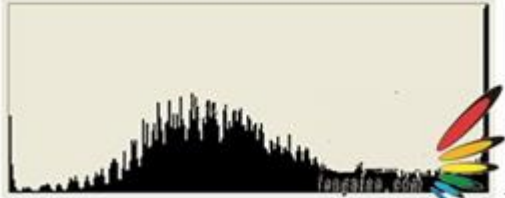




从上图中可以看出，在当前曝光量与目标量差别在 range0 以内的时候，说明当前曝光已经满足要求，不需要进行调整；差别在 range1 的范围内时，则说明当前曝光与要求的光照有差别，但差别不大，只需要用较小的步长来进行调节即可；当差别在 range2 的时候，则表明差别较大，需要用较大步长来进行调节。在实现过程中还需要注意算法的收敛性。



弱曝



过曝



曝光合适