

大话成像之

数字成像系统 32讲

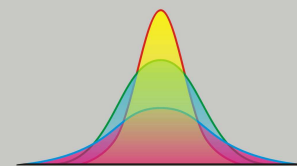
HDR

Eric Zhang

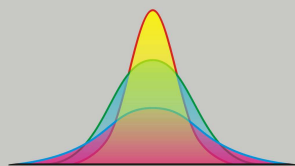
imaging algorithm specialist

staff camera engineer

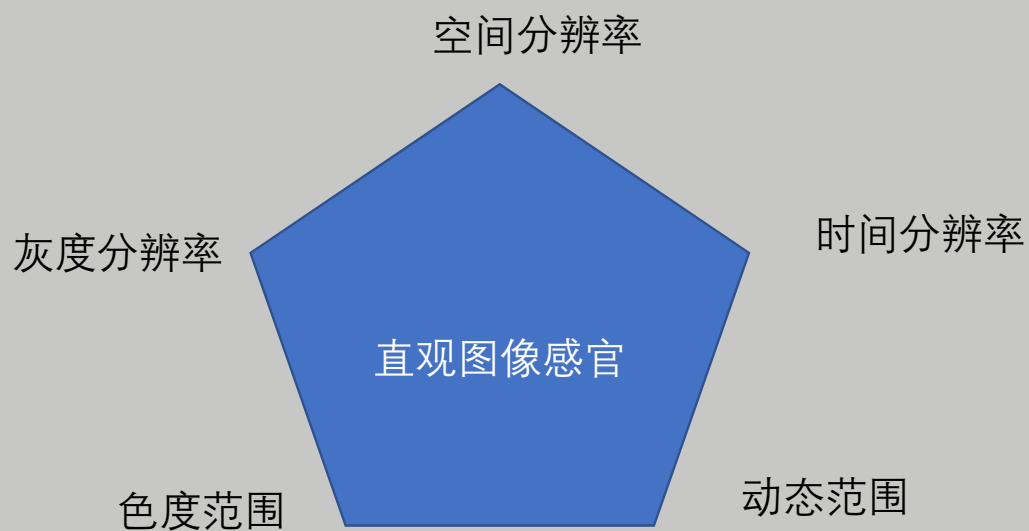
zxzombie@msn.com



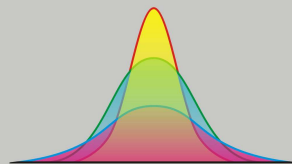
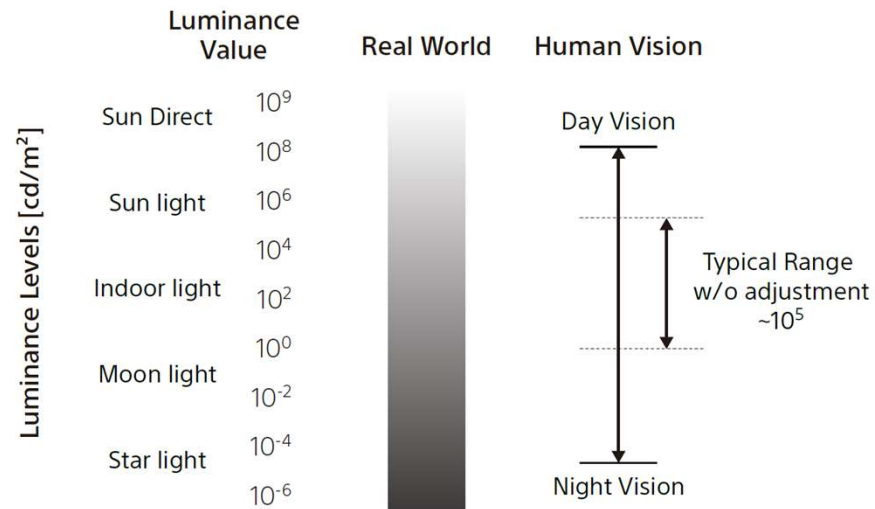
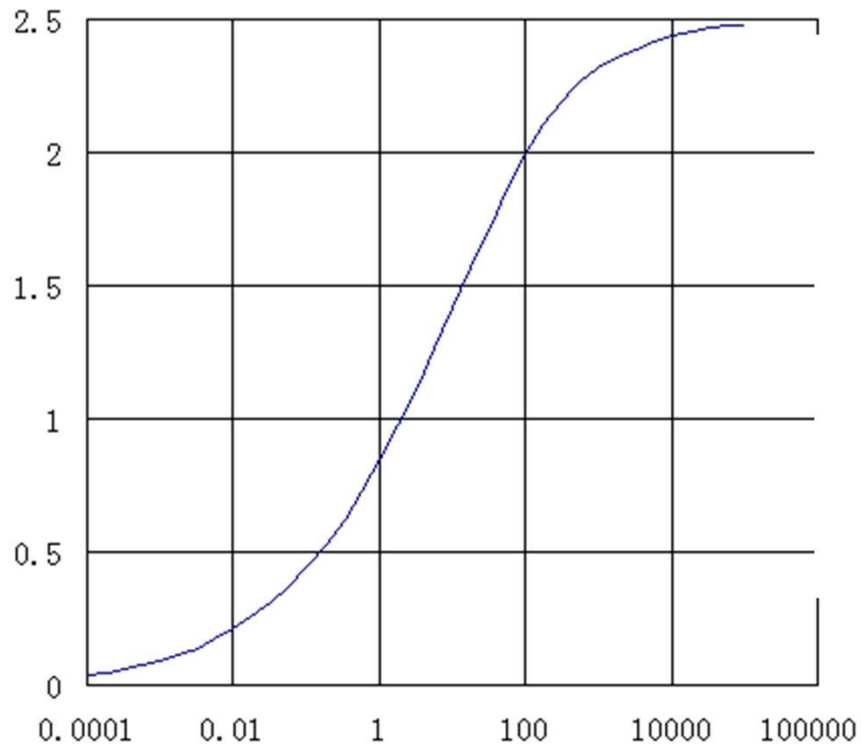
什么是HDR



HDR技术是一种改善动态对比度的技术，HDR就是高动态范围技术，提升最亮和最暗画面的对比度。这样用户就可以看到更多的细节。
一张好的照片不仅要在要有大的像素解析力漂亮的颜色构图，而且要也要好的动态范围。

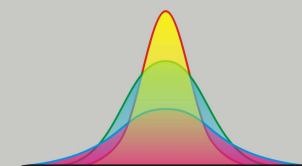
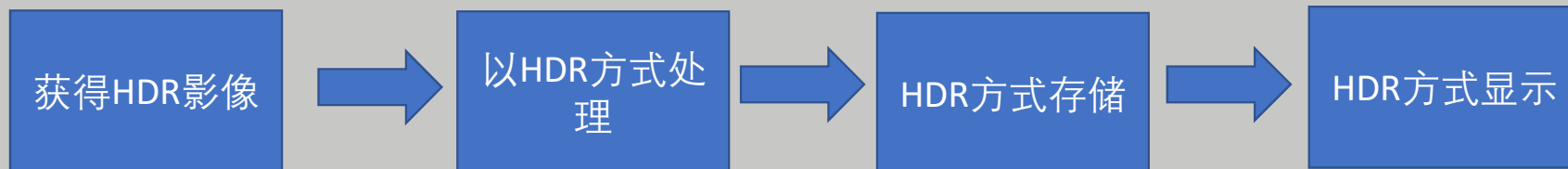


人眼对对比度的敏感



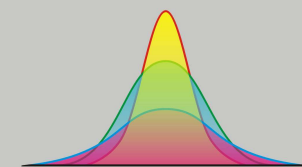
真正的HDR技术

- 普通成像技术记录的只是记录了右图中粉红色的色彩空间的部分，而HDR成像技术则记录的是整个视觉的色彩空间（灰色的部分）。HDR成像与普通成像的区别是：HDR成像系统始终以高精度记录数据，而且与显示设备无关。只有在显示阶段，图像的色彩空间才因为显示的局限被压缩了。而普通成像则在图像采集，处理和存储阶段就已经压缩了色彩空间。而在现在的显示



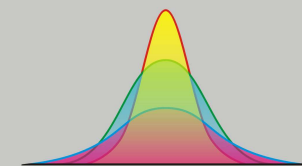
什么是动态范围

- 动态范围 (Dynamic Range)，最早是信号系统的概念，一个信号系统的动态范围被定义成最大不失真电平和噪声电平的差。
- sensor的动态范围就是sensor在一幅图像里能够同时体现高光和阴影部分内容的能力。
- 用公式表达这种能力就是：
- $DR = 20\log_{10} (i_{\max} / i_{\min}); // \text{dB}$
- i_{\max} 是sensor的最大不饱和电流----也可以说是sensor刚刚饱和时候的电流
- i_{\min} 是sensor的底电流 (blacklevel) ；



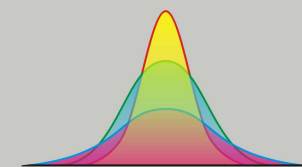
动态范围的数学问题

- 根据前边动态范围公式
- $DR = 20\log_{10} (i_{\max} / i_{\min}); //dB$
- 所以从数学本质上说要提高DR，就是提高 i_{\max} ，减小 i_{\min} ；
- 对于10bit输出的sensor,从数学上来说， $i_{\max} = 1023$ ， $i_{\min} = 1$ ；
- 动态范围 $DR = 60$ ；
- 对于12bit输出的sensor， $DR = 72$ ；
- 所以从数学上来看，提高sensor 输出的bit width就可以提高动态范围，从而解决HDR问题。
- 可是现实上却没有这么简单。
- 提高sensor的bit width导致不仅sensor的成本提高，整个图像处理器的带宽都得相应提高，消耗的内存也都相应提高，这样导致整个系统的成本会大幅提高。所以大家想出许多办法，既能解决HDR问题，又可以不增加太多成本。



现在常见的HDR处理方法

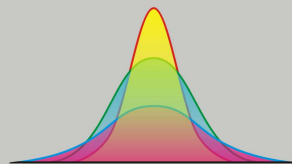
- 目前图像设备中最常见的HDR方法主要分为下面两种
 - Sensor HDR
 - 后处理 HDR



从sensor的角度完整的DR 公式：

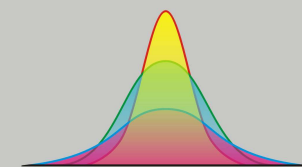
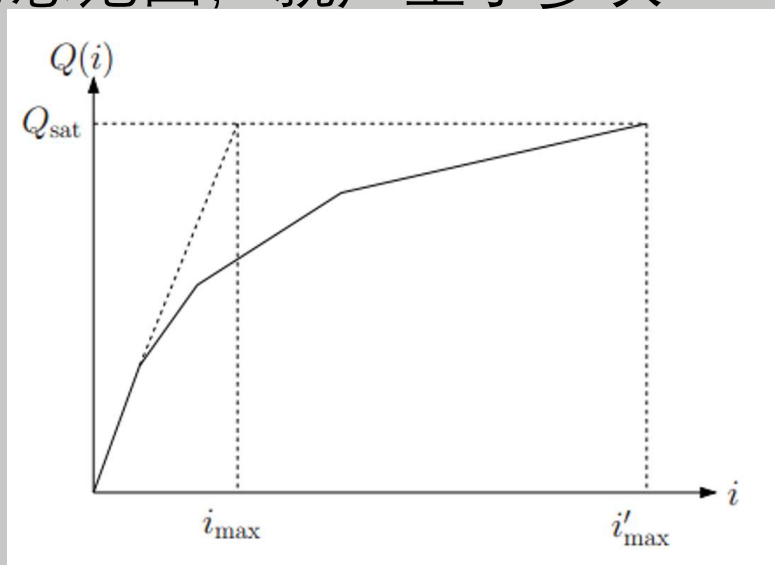
$$DR = 20 \log_{10} \frac{i_{\max}}{i_{\min}} = 20 \log_{10} \frac{\frac{qQ_{\text{sat}}}{t_{\text{int}}} - i_{dc}}{\frac{q}{t_{\text{int}}} \sqrt{\frac{1}{q} i_{dc} t_{\text{int}} + \sigma_r^2}}$$

- Q_{sat} : Well Capacity i_{dc} : 底电流, t_{int} : 曝光时间, σ : 噪声。



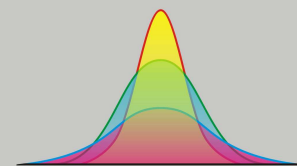
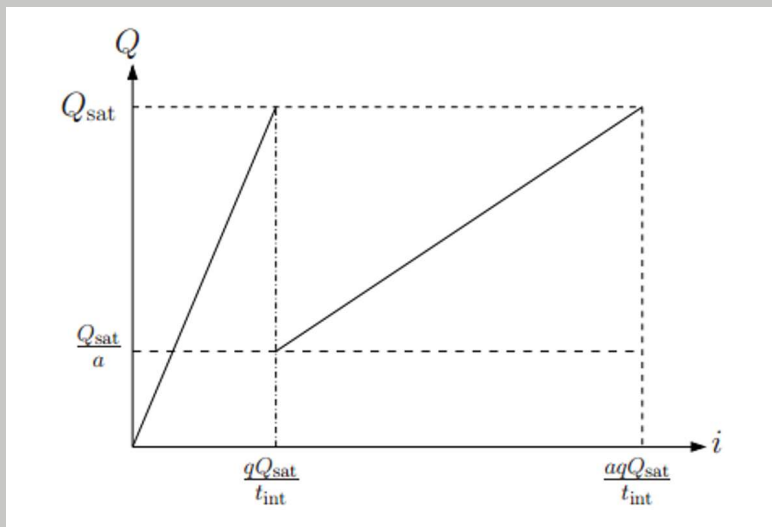
提升Sensor的感光能力

- 提高 Q_{sat} : Well capacity 。就是提高感光井的能力，这就涉及到sensor的构造，简单说，sensor的每个像素就像一口井，光子射到井里产生光电转换效应，井的容量如果比较大，容纳的电荷就比较多，这样 i_{max} 的值就更大。普通的sensor well只reset一次，但是为了提高动态范围，就产生了多次reset的方法。

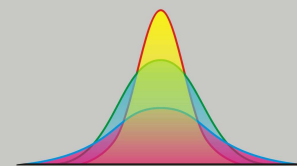
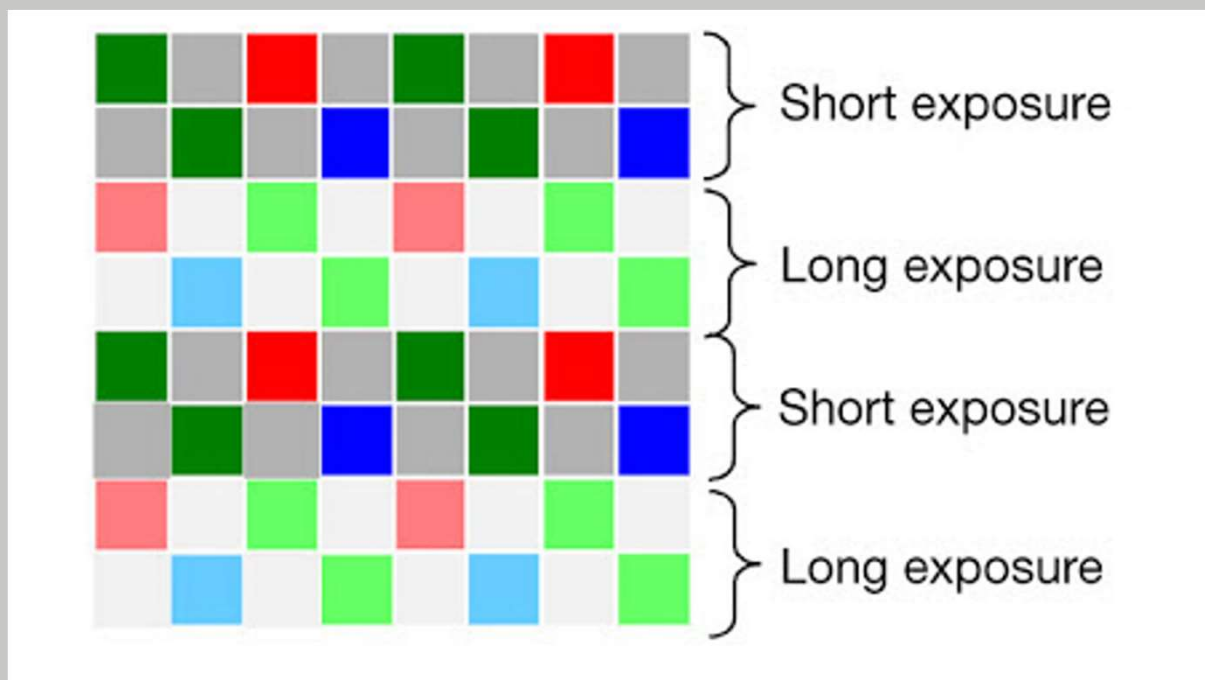


多曝光合成

- 本质上这种方法就是用短曝光获取高光处的图像，用长曝光获取阴暗处的图像。有的厂家用前后两帧长短曝光图像，或者前后三针长、中、短曝光图像进行融合
-
- If (Intensity > a) intensity = short_exposure_frame;
- If (Intensity < b) intensity = long_exposure_frame;
- If (b < Intensity < a) intensity = long_exposure_frame x p + short_exposure_frame x q;

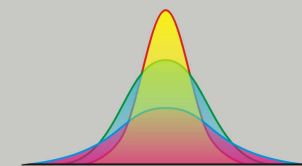


单帧空间域多曝光



其它

- logarithmic sensor
- 实际是一种数学方法，把图像从线性域压缩到log域，从而压缩了动态范围，在数字通信里也用类似的技术使用不同的函数进行压缩，在isp端用反函数再恢复到线性，再做信号处理。缺点一方面是信号不是线性的，另一方面会增加FPN，同时由于压缩精度要求对硬件设计要求高。
-
- 局部适应 local adaption
- 这是种仿人眼的设计，人眼会针对局部的图像特点进行自适应，既能够增加局部的对比度，同时保留大动态范围。这种算法比较复杂，有很多论文单独讨论。目前在sensor 端还没有使用这种技术，在ISP和后处理这种方法已经得到了非常好的应用



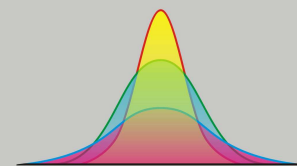
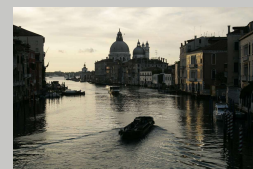
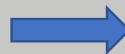
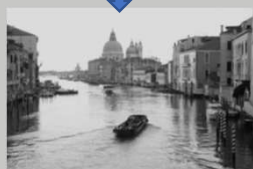
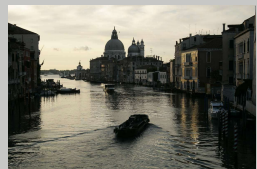
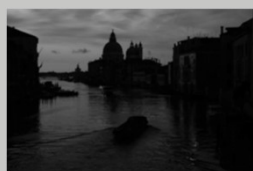
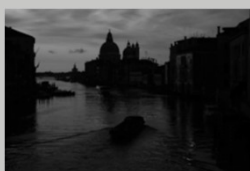
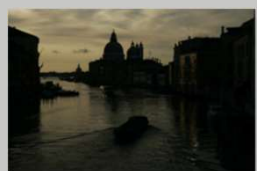
多重曝光的HDR流程

提取灰度图像

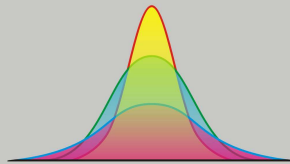
图像配准

灰度融合

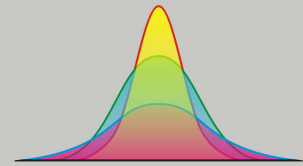
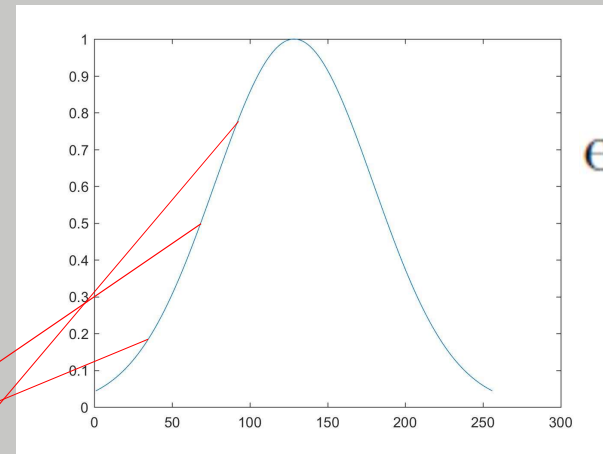
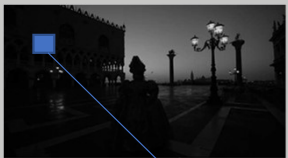
图像色彩恢复



图像配准的作用



最简单的图片融合过程



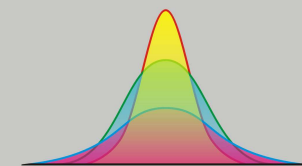
$$\exp\left(-\frac{(i-0.5)^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$\sigma = 0.2$$

$$\text{Pixel_result} = (\text{Pixel1} * W1 + \text{Pixel2} * W2 + \text{Pixel3} * W3) / (W1 + W2 + W3)$$



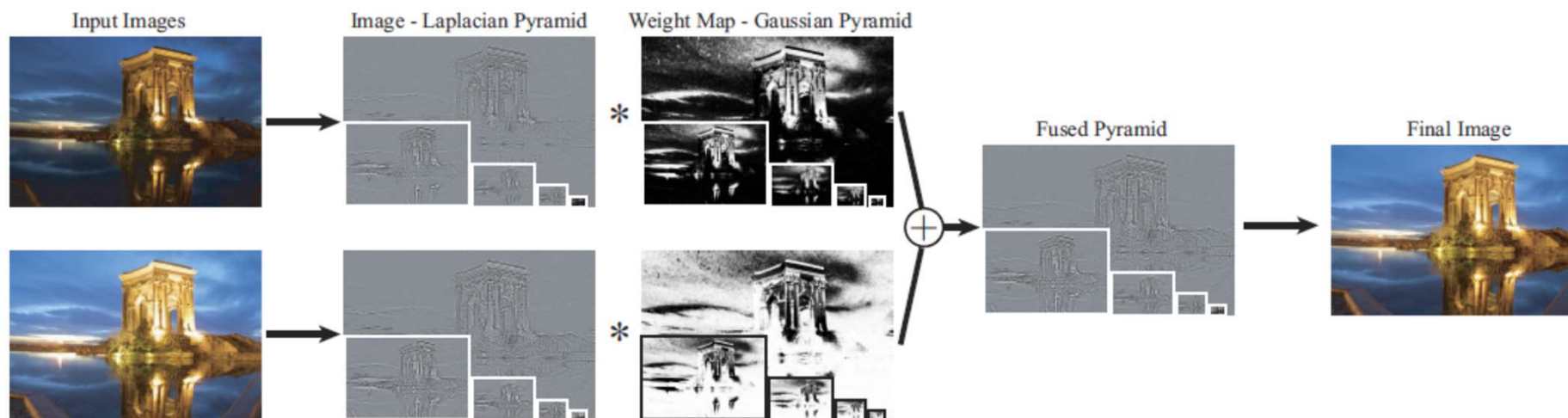
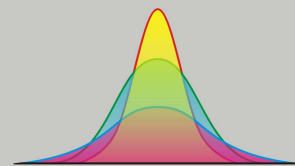
HDR合成过程中常见的问题



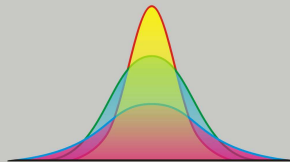
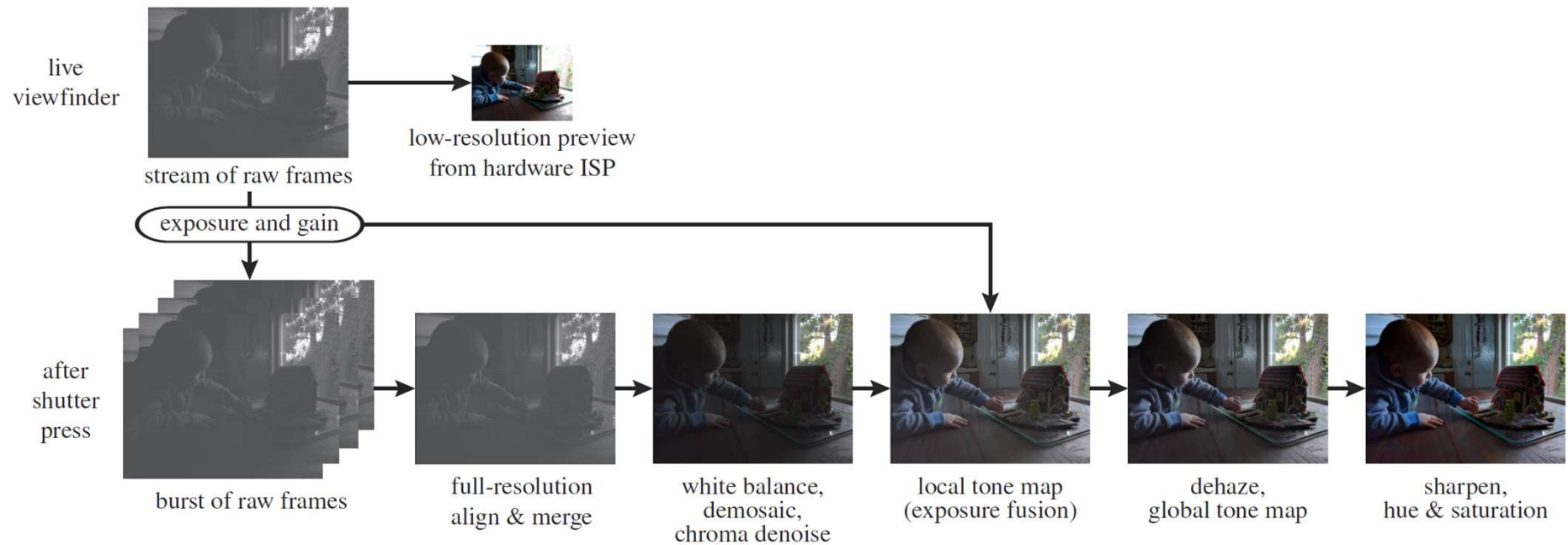
- 鬼影
- 曝光时间的选择
- 颜色效果不自然



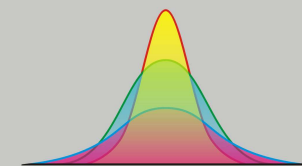
多分辨率融合



Google 的HDR plus技术

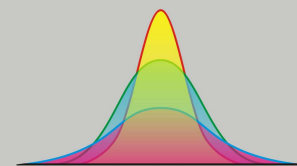


双Camera 对HDR的提升



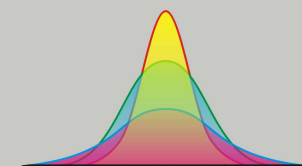
HDR的展望

- HDR是个很早的技术，在数码摄影还没普及时就已经存在了，不过到现在还没全面达到从图像获取处理到显示都能到达HDR的标准消费产业链。HDR图像的提出到现在也有十多年了，2000年就有很多消费级别的HDR视频的学术论文了。现在原生HDR影响的显示非常受限于硬件环境，包括图像获取，显示技术和带宽问题。所以现在阶段HDR主要目标都是在解决HDR在LDR设备上的显示问题。但是相信最终原生HDR会是整个行业的发展方向。



THANKS

本课程由 Eric Zhang提供



大话成像之 数字成像系统 32 讲

内容目录

1. 数字成像系统介绍
2. CMOS image sensor基础
3. 光学基础
4. 颜色科学基础
5. ISP 信号处理基础
6. 3A概述
7. 黑电平与线性化
8. Green Imbalance
9. 坏点消除
10. Vignetting与Color shading
11. SNR 与Raw Denoise
12. Dynamic Range与Tone Mapping
13. MTF与Demosaic
14. 色彩空间与色彩重建
15. Color Correction Matrix与3D LUT
16. Gamma与对比度增强
17. Sharpening
18. Color Space Conversion
19. 空域去噪
20. 时域去噪
21. Color Aberrance Correction and Depurple
22. ISP 的统计信息
23. 自动曝光
24. 自动白平衡
25. 自动对焦
26. 闪光灯
27. HDR
28. Exif 和DNG
29. Encoder
30. 图像防抖
31. 图像质量评价工具与方法
32. 画质调优

