

您如何评价成像质量？

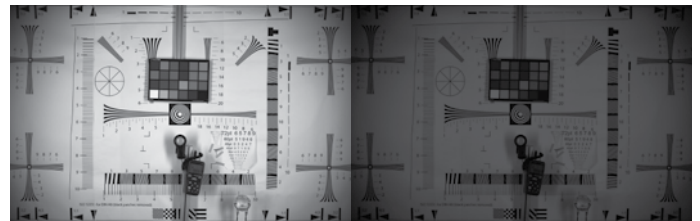
“成像质量”对您来说意味着什么？究竟怎样区分“优质”与“劣质”图像？如何评测工业相机的成像质量，该使用哪一标准对其进行评估？

欢迎回到我们的图像处理入门课程系列！在您的准备过程中，您已经对相机进行了初步预选，现在希望比较相关相机型号的成像质量，即：希望生成锐利、对比度高、细节精确、色彩稳定且特别是噪声低的图片。有几种方法可以准确地比较这些属性。

目录：

1 成像比较：第二眼质量	01
2 利用数字增益改善成像？	01
2.1 图像噪声和信噪比 SNR	02
2.2 光线与噪声	02
3 成像质量评估（以使用 ImageJ 评估为例）	03
4 评估不同相机的成像质量	03
4.1 怎样才能在这两种情况下设立可比条件？	03
4.2 两种方式	04
5 其他因素	04
5.1 光量	04
5.2 感光芯片尺寸、像素数和像素大小	04
5.3 动态	04
5.4 分辨率	04
5.5 对比度和清晰度	04
5.6 颜色误差	05
6 总结和观点	05

1. 成像比较：第二眼质量



您的第一印象是什么？

左侧图像明亮、清晰、对比度高，而右侧图像较暗且有些模糊。其结果看似显而易见：左侧图像质量更好。但是，是不是值得更深入地考察一下？我们需要更精确地分析图像，以找出我们的第一印象是否传递了客观的测试结果。

2. 利用数字增益改善成像？

可以通过使用数字增益改变图像的亮度。第一眼看上去大部分区域都更明亮的图像要比暗淡的图像更加赏心悦目。数字增益是相机的一个功能，指定其中像素的灰度值相乘的因子。例如，可以通过设置数字增益 6 dB（因子 2）使图像所有灰度值的亮度加倍显示。也就是说，您可以随心所欲地加亮每一幅图像。



0 dB - 无数字增益

3 dB - 1.41 倍数字增益

6 dB - 双倍增益

但是，图像的噪声与亮度密不可分。增加亮度的同时，噪声也会同等增加。通过数字增益增加亮度时信噪比（SNR）以及图像的各个属性是无法改变的。

2.1 图像噪声和信噪比 SNR

噪声是如何出现的, 它如何影响图像的质量?

理想的相机感光芯片会将特定量的光转换为数量可精确预测的电信号。不幸的是, 因为每一次信号处理都有信号波动(即噪声)存在, 这些理想的芯片是不存在的。作为我们考虑重点的电子硬件噪声是与光照射量相互独立的。因此, 暗处也有这类噪声, 它们被称为暗噪声(Dark Noise)。暗噪声取决于所安装的芯片和相机电子元件, 也受到元件的温度和其他外部干涉因素的影响。如果一个信号带噪声, 该噪声可通过软件减少, 但这需要进行大量计算, 在高帧速率时几乎是不可可能的。因此, 请尽量从一开始就防止噪声。例如, 您可以:

- 在相机中使用高等级的芯片和电子元件。
- 集中关注相机组装中的电子结构是否优质。
- 保证相机芯片和其他模拟部件不过热。
- 采取预防措施, 防止环境噪声对信号的干扰作用, 例如使用屏蔽线。

光本身的噪声是产生噪声的第二大因素。由于统计波动, 特定时间内撞击某种表面的光子数量随光子数的平方根而变化。这种差异被称为光噪声或光子散粒噪声。使用芯片的量子效率, 这种噪声可以被转换为由芯片产生的电子噪声。此处振荡的电子数(即该芯片的信号)也取决于电子数(Number Electrons)的平方根 $\sqrt{n_{e-}}$ 。

信噪比 (SNR) 测量信号与噪声之间的关系。信噪比表示为比率(例如 20:1)或分贝 (dB)。

如上所述, 相机的数字增益影响灰度值信号, 但是它也会以相同的比例影响图像噪声。因此, 信噪比完全不受其影响。

总结:

噪声和图像的亮度都不是图像质量的表现标准。唯一的决定性属性是两个因子相互之间的比率, 即信噪比。使用数字增益不会对信噪比 SNR 有任何改变。

2.2 光线与噪声

光线的数量与图像噪声有着密切的关系。如果存在大量的光, 像素能够处理的最大光子数就很重要, 即可以保存大量电子(高饱和容量)。然而, 如果光线非常弱, 则像素应该能够收集尽可能多的光子, 即有大的像素表面, 并有效地将光子转换成电子(高量子效率)。可用光越少, 暗噪声低就越重要。

$$\text{SNR}_{(\text{Inki, Dark Noise})} = \frac{\text{Signal}}{\text{Noise}} = \frac{\text{Number Electrons}}{\text{Dark Noise DN} + \sqrt{\text{Number Electrons}}} = \frac{n_{e-}}{\text{DN} + \sqrt{n_{e-}}}$$

案例 1: 有大量光线时的拍摄(饱和容量和暗噪声的效应):

$$\text{SNR} = \frac{n_{e-}}{\text{DN} + \sqrt{n_{e-}}} = \frac{30,000}{5 + \sqrt{30,000}} = 168.3$$

$$\text{SNR} = \frac{n_{e-}}{\text{DN} + \sqrt{n_{e-}}} = \frac{30,000}{10 + \sqrt{30,000}} = 163.8$$

$$\text{SNR} = \frac{n_{e-}}{\text{DN} + \sqrt{n_{e-}}} = \frac{15,000}{10 + \sqrt{15,000}} = 113.2$$

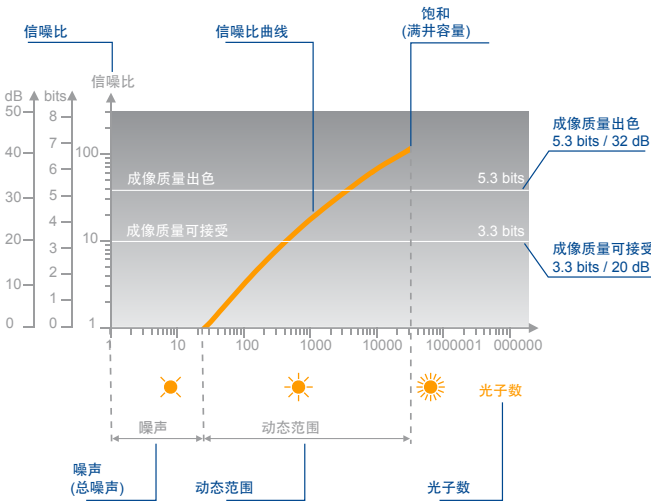
在光线充足的拍摄条件下, 暗噪声只起次要作用。像在这个例子中, 即使暗噪声翻了一倍, 但信噪比 SNR 只降低了不到 3%。然而, 如果存储的电子数减半(例如在饱和容量较低的情况下), 则信噪比下降了 31%!

案例 2: 光线极少时的拍摄(暗噪声的效应):

$$\text{SNR} = \frac{n_{e-}}{\text{DN} + \sqrt{n_{e-}}} = \frac{50}{5 + \sqrt{50}} = 4.1$$

$$\text{SNR} = \frac{n_{e-}}{\text{DN} + \sqrt{n_{e-}}} = \frac{50}{10 + \sqrt{50}} = 2.9$$

如果拍照的时候只有很少的光, 则暗噪声会扮演重要角色。如在本例中, 在暗噪声加倍的情况下, 信噪比恶化了 30% 左右! 然而, 在低光照条件下, 由于产生的电子数远低于饱和容量, 饱和容量不起作用。



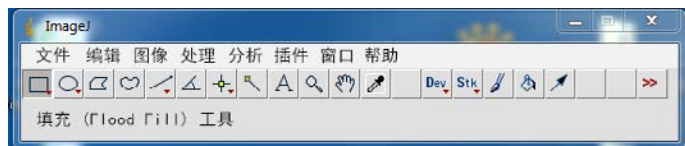
Y 轴以分贝、比特和绝对值显示信噪比 SNR。实际信号对应于代表所吸收光子数的 X 轴的值。饱和容量给出了单个像素在完全饱和前可以吸收的电子数量。

总结:

当有大量的光时, 像素的饱和容量高很重要, 暗噪声只扮演次要角色。然而, 在低光照条件下, 饱和容量不重要, 而暗噪声的影响力提高。

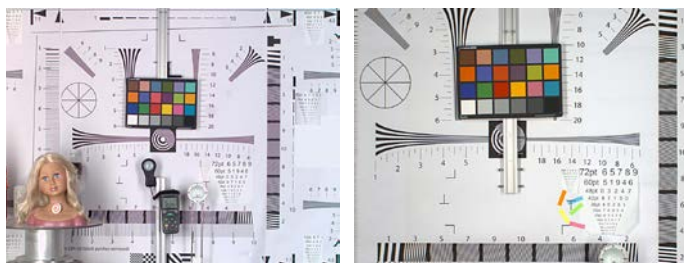
3. 成像质量评估 (以使用 ImageJ 评估为例)

在机器视觉中如何评估成像质量? 您可以使用 ImageJ 等图像分析工具。这个工具是可用来显示、编辑和分析图像的免费程序。例如, 它可以调整对比度、改变图像的亮度和以直方图形式显示像素的灰度值。



ImageJ 工具栏

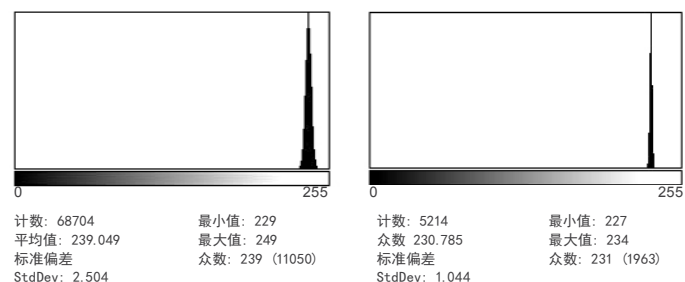
要评估两台相机或不同芯片的成像质量, 首先必须在相同的条件下拍摄图像。这些图像被载入 ImageJ。



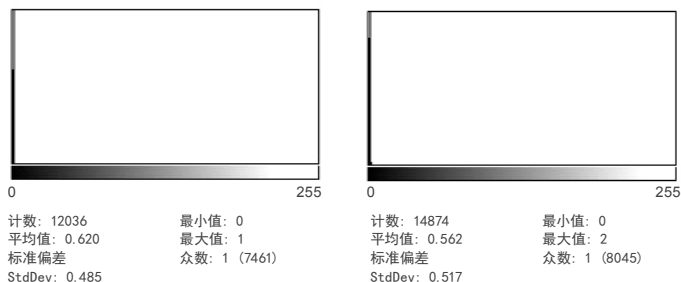
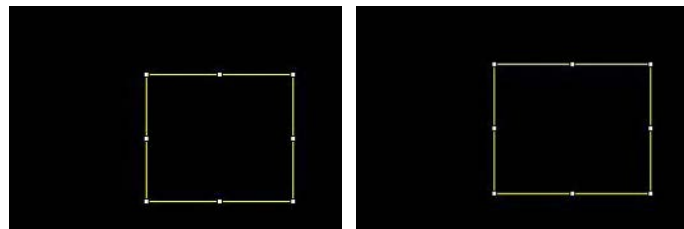
然后找出图像中尽可能均匀的区域, 使用 ImageJ 放置一个矩形选择框。



然后通过组合键 Ctrl+H 生成图像部分的直方图。



选择图像区域时, 确保此矩形的平均灰度值 (在 ImageJ 中称为 “mean”) 接近饱和 (>200), 并且同时没有像素饱和 (最大值 <255)。



因此, 用于计算我们的信噪比 SNR 的是信号的平均值。还必须自这一平均值减去没有信号 (即镜头较暗) 的部分, 以弥补可能的偏移的影响。此值通常应该很接近零, 适当的时候也可以被忽略。矩形中的噪声对应于标准偏差 StdDev。

在这种情况下, 左侧图像所得的信噪比 SNR 是:

$$SNR = \frac{\text{mean}_{\text{bright}} - \text{mean}_{\text{dark}}}{\text{StdDev}_{\text{dark}}} = \frac{239.0 - 0.62}{2.504} = 95.2$$

右侧图像:

$$SNR = \frac{\text{mean}_{\text{bright}} - \text{mean}_{\text{dark}}}{\text{StdDev}_{\text{bright}}} = \frac{230.8 - 0.56}{1.044} = 220.5$$

即, 右侧图像的信噪比 SNR 是左侧的 2 倍以上。

这个例子表明, 可以使用简单的工具评估成像质量。然而, 必须确保图像是在可比条件下产生的。在下面的章节中将更详细地讨论这一主题。

4. 评估不同相机的成像质量

说明了用于图像评估的标准之后, 下一节介绍这些图像的最佳生成方式。

4.1 怎样才能在这两种情况下设立可比条件?

如果两个相机的感光芯片大小相同, 则可以设立非常相似的条件。两个相机的下列条件必须是相同的:

- 所考虑的目标对象
- 照明
- 相机与对象之间的距离
- 曝光时间
- 图像截面
- 镜头
- 镜头的 f 值

然而, 如果两个相机的芯片尺寸不同, 则对象和相机之间的距离、镜头或图像截面必须改变。

4.2 两种方式

至于要改变什么、保留什么，取决于您想比较什么。这里有两种可能：

1. 两个相机或芯片应在相同的条件下，尽可能客观地进行比较。或者：

2. 两个相机应按照稍后在系统中的操作条件进行比较。

如第 1 条所述，如果是两个相机彼此比较，则因为若距离变大或变小或仅测试特定图像截面，对象的光源不会改变，那么距离或图像截面可以有一定的灵活性。取决于观测距离，图像中的细节可以加大或减小显示，但是这不会改变决定性的信噪比 SNR。

如果我们采用第二种方式，希望在实际条件下（也就是说在与应用相同的条件下）加以比较，则距离和大部分图像截面是固定的。因此，对镜头的改变是必要的。最后，我们已不再仅比较相机（或芯片），而是比较相机加镜头的整个系统。

理想情况下，为了进行比较，请使用您希望稍后实际使用的镜头。

5. 其他因素

5.1 光量

如果我们所比较的相机采用相同的芯片技术和尺寸，可通过确保使用同一光源，非常容易地比较光量，即快门打开的那一刹那击中芯片表面并被转换成电子（即转换成光信号）的光子数。这样考虑到拍摄时光线的情况下您就可以确保图像是可比较的，并且设立将在后面的应用中占主导地位的光线条件。

5.2 感光芯片尺寸、像素数和像素大小

芯片好比是心脏，因此是相机中最昂贵的组件。不过，它的大小当然不仅是价格问题，而且也决定了可以处理的光量。

现代工业相机提供了可供选择的不同格式：



芯片尺寸是成像质量的一个重要因素。简单来说，成像质量越高，芯片越大。然而，事实上，不仅芯片尺寸至关重要，而且像素数也很重要，因此像素大小是一个限制因素。

像素数的单位是百万像素（MP），它表明芯片表面上有多少像素。MP 数较高，分辨率越高。百万像素数越大，得到的图像越好——这个常被引述的准则只在有限范围内是正确的。如果芯片表面上的像素过多，将产生更高的噪声，这反过来会对成像质量有负面影响。

像素大小决定了一个像素可收集多少光。5 μm 像素（也就是说，边长为 5 μm 的正方形像素）的表面是 2.5 μm 像素的四倍。它收集的光线也是四倍，显然在弱光线条件下更优越。

如今，大小在 3.5 μm 和 6 μm 之间的像素提供了以前 10 μm 像素所能提供的输出：在感光度和高分辨率之间实现了良好平衡。像素大小从 2.2 μm 到不到 1.4 μm 的芯片具有高分辨率且价格实惠。它们能提供高分辨率，但因为面积小，所以感光度低。

顺便说一下，这也适用于消费市场中的数字相机。单反相机（SLR）与袖珍相机的比较：单反因为配备了较大的芯片，可以吸收更多的光，所以能在低光照条件下提供明显更好的质量；而当有阳光等足够的光线时，袖珍相机也还是不错的；用在室内有限的光照条件下时，它们会迅速启动闪光灯，以捕捉充足的光线。

5.3 动态

相机的动态范围描述了可在一张图像中的噪声之上识别的最强和最弱信号之间的比率。它确定了图像中可能的灰度值的数量，从而直接影响成像质量。

重要的是相机在可变光线条件下的动态范围。如果动态范围大，则可辨别有明暗区域的图像场景的细节。例如，交通系统中的相机应用通常会遇到这种情况。这里使用的照片会与其他材料一道成为交通违章的证据。经常在这些照片中描绘车辆的牌照以及驾驶员。根据所使用的光源，牌照会得到很清晰地表现，而围绕驾驶员的区域显示较暗。在有这个亮度差的情况下，要使所有相关细节仍清晰可辨，相机应有尽可能大的动态范围。在这方面，如果图像明暗区域中的细节都能很方便、清楚地识别，人们会说成像质量良好。

5.4 分辨率

相机数据表中的规格“4 百万像素”实际上是指芯片表面的像素数。然而，实际的分辨率取决于相机、镜头和到目标的距离这三者的结合。因此，像素数（4 百万像素）仅作为参考，表示在镜头最适用于芯片以及目标具有最佳几何形状的情况下，相机可以得到什么样的分辨率。我们白皮书系列的第 1 部分“图像处理系统概述”详细说明了分辨率方面应注意的事项，以便能以自己的相机系统尽可能获得最佳的拍摄成像质量。

5.5 对比度和清晰度

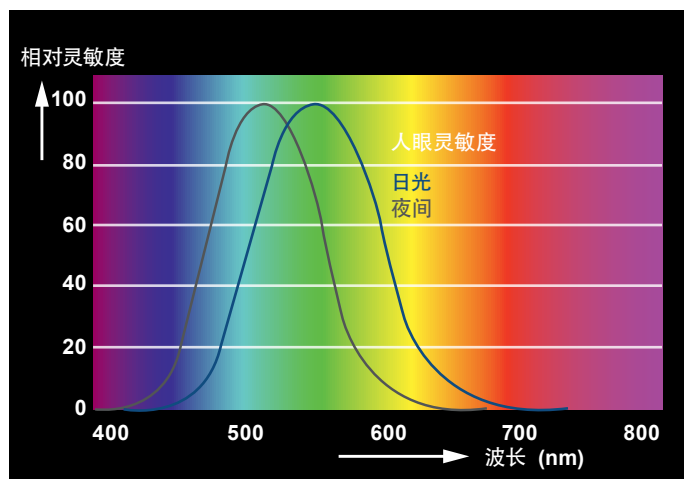
对比度是图像明暗区域之间光学上可感知的差异。如果图像能显示非常明亮的区域以及非常暗的区域，则图像的对比度范围高。



对比度是芯片处理的已解析细节的数量。从暗到亮的过渡越清晰可辨，图像的对比度和清晰度越高。

5.6 颜色误差

成像质量的另一个标准是颜色的显示质量。这方面相机成像与原始图像之间可能会出现差异。例如，如果图像的绿色分量丢失，就会变成紫色。原始图像和相机成像之间的这个色差就是颜色误差的量度。必须注意的是，人眼的颜色吸收显然不同于机器视觉芯片。在绿色区间，人眼显然比相机芯片更灵敏。



从纯物理的角度看，颜色印象是由波长为 380 nm 与 780 nm 之间的电磁波形成的。而人的颜色感知是由大脑和人眼形成的，因此总是主观的。

为使相机的颜色显示适应眼睛的感知并逼真地描述这些颜色，相机必须进行颜色校正。所需的颜色校正取决于现有的光线。Basler 利用软件工具根据此光线精确地校准相机。有关这一 Basler 颜色校准工具的其他相关信息，[Basler 客户服务团队](#)可以回答您的问题。

我们的白皮书“[Basler 相机的颜色校准](#)”详细说明了颜色、颜色空间、颜色系统以及颜色误差校正。

6. 总结和观点

我们已经研究了成像质量评估所运用的基本原理。当然，图像处理中还有其他不同工具和措施进一步优化拍摄质量。我们很快会推出系列“初学者图像处理”的一个部分，详细说明为相机系统选择适当的镜头有哪些重要意义，以及如何使用不同的相机功能。敬请关注！

作者



Christoph Czeranowsky 博士

高级系统开发人员
系统技术架构师

Christoph Czeranowsky 是技术部的一名高级系统开发人员。他负责数字相机产品线的技术质量，并作为监督数个国际高级客户的技术联络人。自 2013 年起，他一直担任 Basler 相机成像质量架构师。



Michael Schwär

高级产品经理、专家

Michael Schwär 是一名高级产品经理和海关项目专家，并以这个角色负责监督数个国际大客户。他于 1996 年开始工作，担任专注于软件开发的项目工程师，随后多年担任机器视觉领域的项目经理。他在 2007 年时转换部门，担任营销部的项目经理一职，负责管理数个相机产品线。

联系方式

Christoph Czeranowsky 博士 - 高级系统开发人员

电话 +49 4102 463 535
传真 +49 4102 463 46535
电子邮件 christoph.czeranowsky@baslerweb.com

Basler AG
An der Strusbek 60-62
22926 Ahrensburg
德国

联系方式

Michael Schwär - 高级产品经理、专家

电话 +49 4102 463 324
传真 +49 4102 463 46324
电子邮件 michael.schwaer@baslerweb.com

Basler AG
An der Strusbek 60-62
22926 Ahrensburg
德国

关于 Basler

Basler 是面向工业自动化、医疗和生命科学以及交通系统应用的全球领先的数字相机制造商。其产品完全符合工业设计要求，且具有易于集成、尺寸紧凑、成像质量卓越、性价比出众等特点。Basler 成立于 1988 年，在视觉技术领域拥有超过 25 年的经验。公司员工总数超过 400 人，总部位于德国阿伦斯堡，并在美国、新加坡、中国、中国台湾、日本和韩国均设有子公司和办事处。

有关免责声明和隐私权声明的详细信息，请访问 www.baslerweb.com/disclaimer-cn

©Basler AG, 02/2015

Basler AG

德国总部

电话: +49 4102 463 500
传真: +49 4102 463 599
sales.europe@baslerweb.com
www.baslerweb.com

美国

电话: +1 610 280 0171
传真: +1 610 280 7608
sales.usa@baslerweb.com

亚洲

电话: +65 6367 1355
传真: +65 6367 1255
sales.asia@baslerweb.com

BASLER
the power of sight