

凭借Basler PGI图像优化功能包实现更好的成像质量

要在使用数字相机时达到极高的成像质量，各个相机组件和功能必须实现完美协作。

我们最新研发的PGI图像优化技术实现了5×5去拜耳化、彩色抗锯齿、改善的锐化和降噪的协调组合。它的成像显著提高了亮度、细节的保真度和图像锐利度，同时减少了噪声。由于PGI图像优化功能包集成到相机的FPGA中，可实现完全实时的兼容性，几乎无延迟，且能释放PC用于图像编辑软件的内存。

目录

1. 作为成像颜色优化基础的拜耳矩阵.....	1
1.1 去拜耳化.....	1
1.2 PGI去拜耳化.....	2
2. 彩色抗锯齿.....	2
2.1 PGI彩色抗锯齿.....	3
3. 图像锐化.....	3
3.1 PGI改善的锐化.....	3
4. 噪声.....	4
4.1 PGI降噪.....	4
5. 适用于黑白相机的PGI图像优化功能包.....	5
6. 计算能力.....	5
6.1 彩色相机的优势.....	5
6.2 彩色和黑白相机的优势.....	6
7. 总结.....	6

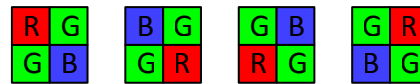


图2: 拜耳矩阵的四种可能颜色: RG、BG、GB和GR

图3显示出拜耳芯片所拍摄的原始图像的细节，其中各自的像素颜色清晰可见：

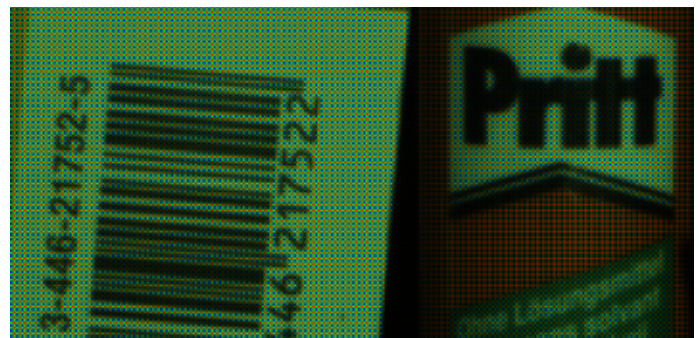


图3: BG拜耳矩阵的原始图像

1. 作为成像颜色优化基础的拜耳矩阵

在图像处理领域中，彩色相机正逐渐取代黑白相机。彩色相机提供彩色图像，与黑白图像相比，其中包含的信息显然要多得多。在彩色图像中，每个像素由多个颜色值组成，例如颜色红(R)、绿(G)和蓝(B)的值。由此，这些图像被称为“RGB彩色”图像。

带有真三色成像芯片的彩色相机是高度复杂和极其昂贵的。配有运用拜耳矩阵或拜耳模式的成像芯片的普通类型彩色相机因价格“平易近人”，成为很好的替代方案。该模式于1975年由柯达公司的员工Bryce E. Bayer发明，其美国专利号为3,971,065。

在拜耳矩阵中，每个像素都处理自己的彩色窗口，类似于棋盘。这些掩膜的50%为绿色，其余各有25%是红色或蓝色（参见图1）。

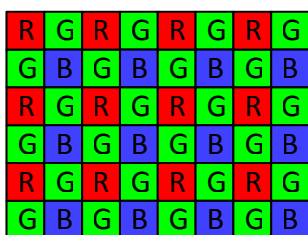


图1: 拜耳矩阵

对于什么颜色必须放置在拜耳矩阵的左上角没有强制规定。出于这个原因，取决于不同的芯片，有四个不同的选项，如图1所示。取决于哪些颜色占据第一行的前两个像素，它们被称为RG、BG、GB或GR（参见图2）。

1.1 去拜耳化

在拜耳芯片上，每个像素只对应一种颜色，而本来的RGB彩色图像需要每个像素有三种颜色，即红、绿和蓝。丢失的颜色是使用一种被称为“插值”的技术插入的。此处的具体插值方法被称为去拜耳化、去马赛克或简称为“彩色滤光片矩阵插值”。

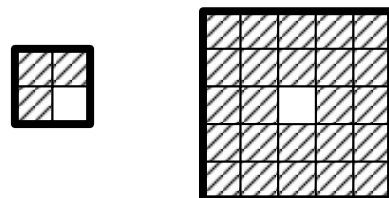


图4: 左边的是2×2, 右边的是5×5

去拜耳化是基于插值的。例如，由于只有25%的像素是红色的，对于其余75%像素的红色值必须进行插值。可以选用各种插值算法，算法的选择对概念方法、具体实施、资源需求和结果会产生巨大影响。

去拜耳化算法的原理是提取相邻像素的颜色值，估算缺失的颜色。针对每个像素所研究的周围像素的个数这一分析维度，被命名为2×2、3×3、4×4、5×5等。图4显示了2×2和5×5。

2×2去拜耳化是基于一种“最邻近插值”的技术（在本白皮书中称为“简单去拜耳化”），以资源密集程度较低著称。它往往会产生严重的颜色误差，这可以在接下来的实际样本图像（图5）中清楚地看到。最常见的表现是橙色和天蓝色的颜色误差，特别是

请注意: 可以在您的浏览器中查看图3、5、6、7、8和10的原始尺寸。请点击相应的图。

在黑白边缘，如数字和字母边缘。在斜线上，橙色和天蓝色不断交替，干扰人眼的判断。图像似乎也明显未聚焦，斜边呈拉链状。



图5: 2×2去拜耳化造成的颜色误差, 可以清楚地条形码中观察到

借助于更好的插值处理可以改善这些结果，其特别的优势是可以从较大的周边区域中提取数据。

1.2 PGI去拜耳化

PGI去拜耳化是有显著改善的去拜耳化新算法，它由Basler开发，使用的是5×5像素半径。

图6使用相同的原始数据通过PGI算法生成RGB图像，与前面的图像相比，可以马上明显看出，每一个方面的成像质量都有所提高：没有颜色缺陷，文字清晰，斜边看上去光滑锐利。



图6: 经过PGI去拜耳化处理的图3的原始图像

该PGI算法的设计宗旨是为人眼提供更好的彩色成像质量。显然，要实现这一目的，需要多个计算步骤。除了去拜耳化，其中还包括：

- 去除颜色缺陷（彩色抗锯齿）
- 改善的锐化
- 降噪

下面逐一详细说明这些计算步骤。

PGI中的5×5去拜耳化的基础是对插值问题及其解决方案深刻的数学理解结合对人眼特性的理解。在这类复杂算法中，通常有一些典型的操作点选项。对它们进行选择的主旨是：生成的结果要特别适合人眼观看。

人的视网膜上有两种类型的视觉细胞：视杆细胞看到黑色和白色，视锥细胞看到彩色。与视锥细胞相比，视杆细胞更普遍、更加密集。这样一来，我们能够以更大的分辨率看到黑白对比。

PGI充分发挥了这一特性，通过以高亮度和逼真细节再现锐利的黑白对比，提供了类似黑白相机的成像质量。这确保了轮廓的高度可见性，并使图像和字母等特别容易读取。

除此之外，观看黑与白的视杆细胞也对绿色特别敏感。PGI根据这一点，在重构黑白对比时特别强调绿色像素，从而生成更自然的成像效果。

归根到底，人眼对颜色噪声和各个带颜色误差的像素极富洞察力。基于这个原因，在PGI开发过程中，非常强调选择颜色噪声极低水平的颜色重建方法。

2. 彩色抗锯齿

不太有效的去拜耳化算法，通常会产生颜色误差的问题，特别是在锐利的边缘。如果使用类似下面这个（图7）原始图像，这些缺陷会特别明显。该图从左至右、从上到下描绘了越来越多、频率越来越高的余弦波。

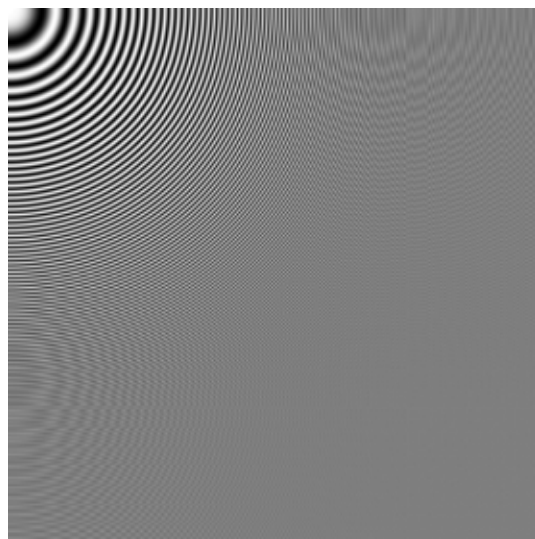


图7: 从左上角到右下角频率越来越高的余弦波原始图像

例如，如果您对这一图像运用2×2简单去拜耳化算法，得到的图像看起来是这样的（图8）：

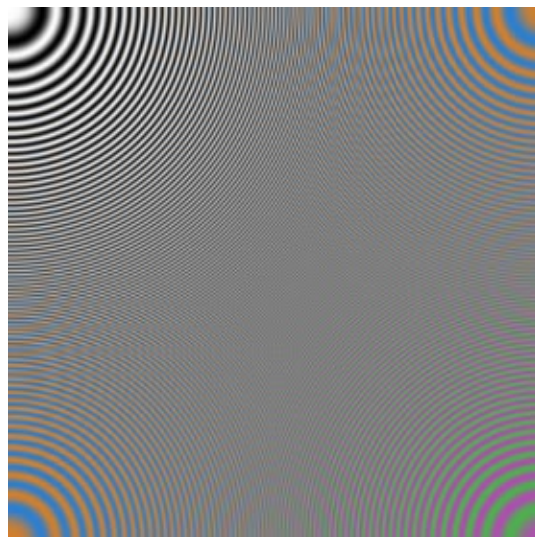


图8: 对图7的原始图像运用2×2简单去拜耳化

正如您所看到的，在角落中发生了颜色缺陷。基于这些角落，原因在图9中得到了很好的解释。

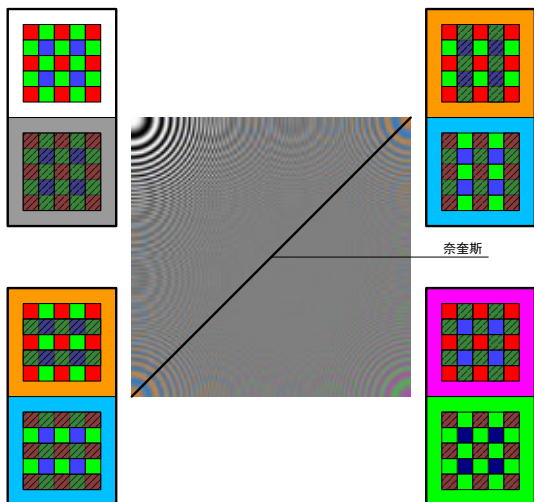


图9: 颜色缺陷在角落中尤其明显

让我们从左上角开始来看看这个图像。正确地重建低空间频率区域的颜色是最简单的，低空间频率区域即图像左上角等区域，其中大部分或亮或暗，且亮度变化只是逐渐发生的。我们没有观察到颜色缺陷。

在图像具有高空间频率的部分，颜色误差要频繁和显著得多。如果黑线与白线之间的距离很小，它们被放置在邻近的像素，就会出现这些情况。高空间频率也发生在一边亮、一边暗的锐利边缘。

如果涉及垂直结构，就可能会出现这一情况，图9的右上方对此进行了印证。在第一种情况下，红色和绿色的列接收的光要多于绿色和蓝色的列。由于这个原因，红色像素被赋予的亮度高于平均水平，而蓝色像素被分配的亮度低于平均水平。红色过多加上蓝色过少会产生橙色颜色误差。如果情况相反，即红色过少，蓝色太多，会产生天蓝色颜色误差。

对于水平条纹，该情况是旋转90°。在这里，红色和绿色像素行接收的光要多于绿色和蓝色像素行，从而生成橙色。反之，如果绿色和蓝色像素行接收更多的光线，将会出现天蓝色。

在理论上，图9右下角的情况也是可能的，即对角条纹产生品红和绿色变色。当镜头的光学质量不足以以适当的对比度描绘这些非常紧凑的结构时，就会发生这些情况；然而，实践中的发生频率通常较低。

2.1 PGI彩色抗锯齿

PGI针对低于理论极限的所有潜在频率分析和校正了经由这些效应发生的变色。此理论极限产生自数字系统理论，被称为奈奎斯特频率。

图10显示了经PGI处理后的同一图像：直至绿色像素的奈奎斯特频率的变色已经被消除。绿色像素的奈奎斯特频率从右上角到左下角对角运行，可以在图像中明确确定变色的阈值。

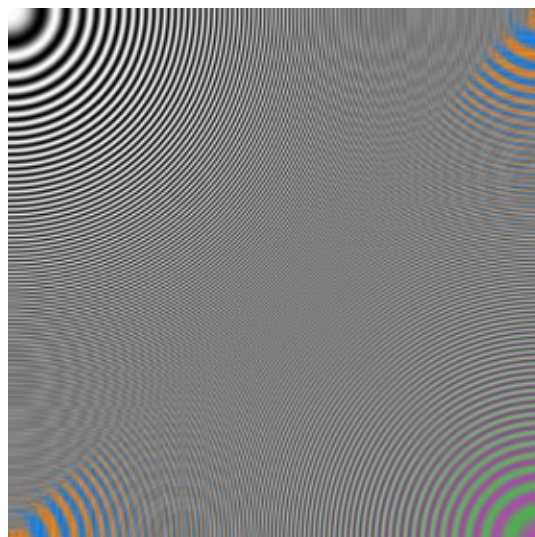


图10: PGI彩色抗锯齿消除了绿色像素的伪色

在实际的图像（图11和12）中也可以清楚地看出这一效果。

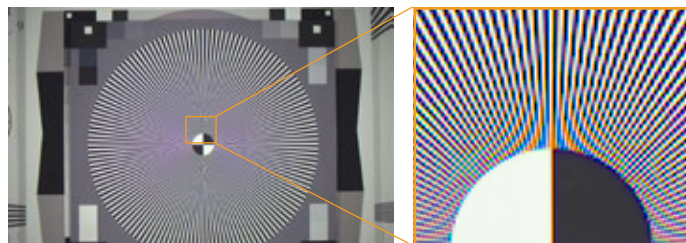


图11: 2×2简单去拜耳化

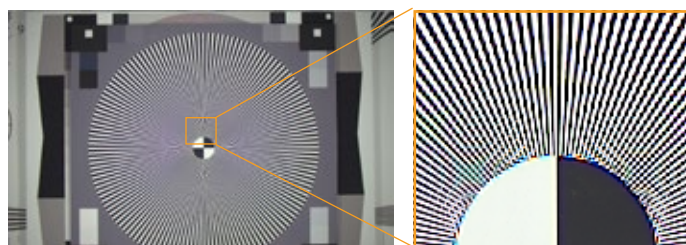


图12: 采用PGI去拜耳化的同一细节

3. 锐化

如上所示，传统去拜耳化算法往往无法以良好的锐化重现细微、锐利的结构。

3.1 PGI锐化增强

作为对比，PGI对黑白结构实现了质量超卓的再现。

在描绘高分辨率结构时，运用拜耳矩阵的彩色相机往往不只会产生上述彩色锯齿效应，还会带来成像锐化方面的问题。纯线性插值算法会受到基本限制，PGI会根据图像结构调整线性插值算法。这会增强图像锐利度，使之效果类似黑白相机。

这样，PGI便总能实现强大的图像锐利度。当遇到特别有挑战性的任务时，还可使用一个可调节的锐化因子。它允许在一定区域内对成像进行重新锐化，例如，可用来补偿次级光学配件的影响。通过所有这一切，图像锐利度始终面向人眼的感知特性。

应当指出的是，成像锐化与噪声密切相关，并且该线性重新锐化将从根本上导致噪声的增加。因为人在观看时，会感觉到：相对于有色噪声，灰度噪声的负面影响明显要少得多；因此，PGI的锐化处理只会适度增加灰度噪声，但对彩色噪声没有影响。

在锐化因子的中间位置，重锐化功能将关闭。图13和14提供了供比较的图片：

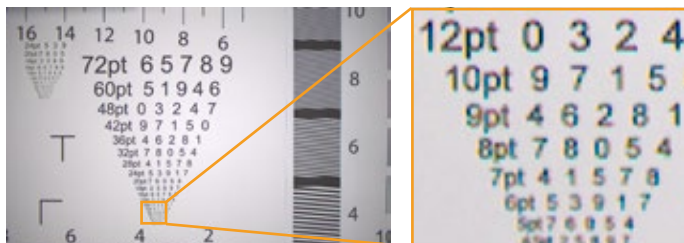


图13: 基于无锐化的标准程序, 欠缺成像清晰度

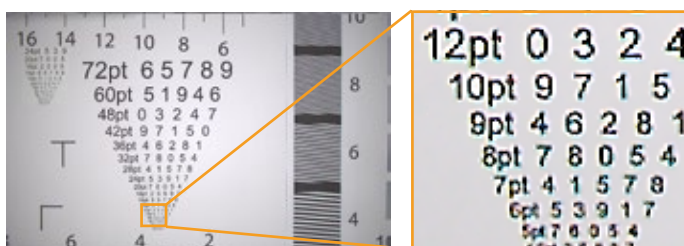


图14: 使用PGI的锐化

良好的图像锐利度对许多应用非常重要甚至极端重要；在彩色相机必须正确地识别数字或字母的应用中，更是如此。无论是由人还是机器进行图像分析，良好的易读性对于图像分析都具有极大帮助。PGI特别有益于需要精确检测颜色和文字的情况。

例如，交通监控需要有能正确记录车辆的颜色及其牌照。对零售商而言，一定要做到正确地检测被扫描商品的颜色，且正确读取其条形码。

如果图像清晰易读，最终可实现在较低的分辨率（即用较少的像素）处理图像处理任务。从光源设置和相机到计算能力，这样即可选用价格“平易近人”的设备；并且因相机能在同一个周期内记录更多的图像，可加快周期。

4. 噪声

噪声在任何图像中都不可避免。因光由许多光子组成，这产生了大多数的噪声。光子是量子力学粒子，对其行为的决定方式有一定的随机性。这意味着，即使亮度恒定，一个单独的像素所得到的光子也有多有少。所得噪声有时间特性，被称为光子散粒噪声。

噪声的另一个来源是成像感光芯片及其电子电路。成像芯片的噪声在弱光和短曝光以及使用了强模拟放大的情况下最为明显。这两种类型的噪声在成像芯片中相结合，共同产生原始图像的时域噪声。

除此之外，本地噪声是噪声的第二个重要来源。它产生的原因主要是不同像素之间的光灵敏度略有不同。即使是细微的差别也可在图像中表现出来。这种效应被称为光响应非均匀性

(Photo Response Non Uniformity, PRNU)。

特别是在弱光或曝光时间非常短的情况下以及使用了强模拟放大的情况下，可以观察到绝对暗区像素之间亮度的差别。此效应被称为固定模式噪声或暗信号非均匀性 (Dark Signal Non Uniformity, DSNU)，其影响力取决于具体芯片。对于高质量的芯片，这通常不是主要问题。

黑白和彩色相机均可发生上述噪声效应。

在原始图像和成品彩色图像之间通常要经过多层计算。基于误差传播定律，这些计算步骤中的每一步都可能增强或减弱噪声。应当指出，实际来说，在许多情况下，噪声是被放大，而不是减小。数学运算序列的影响力在这方面别具重要性：两个计算步骤之间的噪声可以呈指数增加。在特别糟糕的情况下，这最终会强力放大噪声的整体影响。

4.1 PGI降噪

PGI转换了对这些运算的配置，将执行方式改为彼此并行，而不是串行。这避免了噪声放大倍数的不断加剧。各个计算步骤设计都给予保持低噪声等级重要优先权。由此，这些PGI算法总能生成令人愉悦的低噪声图像。

除此之外，PGI设有可配置参数的有源噪声滤波选项。由于工业应用的噪声滤波是专门针对快速的单个图像序列设计的，它完全着眼于单个图像，避免了评估连续图像内容时的相互影响。可用输入数据的范围会严重影响噪声滤波质量。噪声滤波的周边数据规模越大，潜在结果越好——虽然计算成本也会迅速上升。

因此，作为合理的妥协，PGI选择了 5×5 噪声滤波。它对滤除Basler相机中使用的高质量成像芯片的噪声特别有效，因为这些芯片从设计上已经实现了低到中等的噪声等级。同时，它保证了计算的高效以及价格的高度平实。

图15显示了去拜耳化对噪声的影响。在这个过程中，(a)中均匀的灰色区域是基于高斯噪声。(b)显示使用简单去拜耳化生成的图像。图像一方面显得未聚焦，另一方面可以清楚地检测到对人的视线扰乱最严重的彩色噪声类型。(c)和(d)显示这些RGB颜色矢量在RGB彩色光谱中的相关分布。散点图的拉伸特别令人关注，因为这代表了对所得图像中噪声强度的直观量度。由此可以看出，RGB颜色矢量明显被拉伸，这与(b)中的图像效果吻合。

图15(e)显示使用PGI的结果。尽管细节锐化明显更好，但还是可以看出非常明显的噪声。与(b)相比，可以看出，颜色噪声明显减少，这显著减少了对人眼的刺激。不过，这里也可清晰地分辨出一定程度的非颜色噪声。在(f)和(g)所示RGB颜色矢量的分布中也可以看出这一点。这里可以看出，与上面所示相比，噪声散点图的分布明显较窄。(f)中尤为明显，其中散点图的横向扩张已经显著减少。

图15(h)显示了如何通过使用PGI噪声抑制进一步减少噪声。图像中只会看到一小部分噪声。(i)和(j)中显示出RGB颜色矢量分布的拉伸程度也显著降低。将(i)与(f)进行比较，可以看出，现在噪声散射板的垂直扩张缩小程度尤其显著。

噪声滤波器的工作原理是将亮度值的微小偏差解释为噪声，将较大的偏差解释为实际的图像内容。对区分这两者的阈值可以进行参数化。

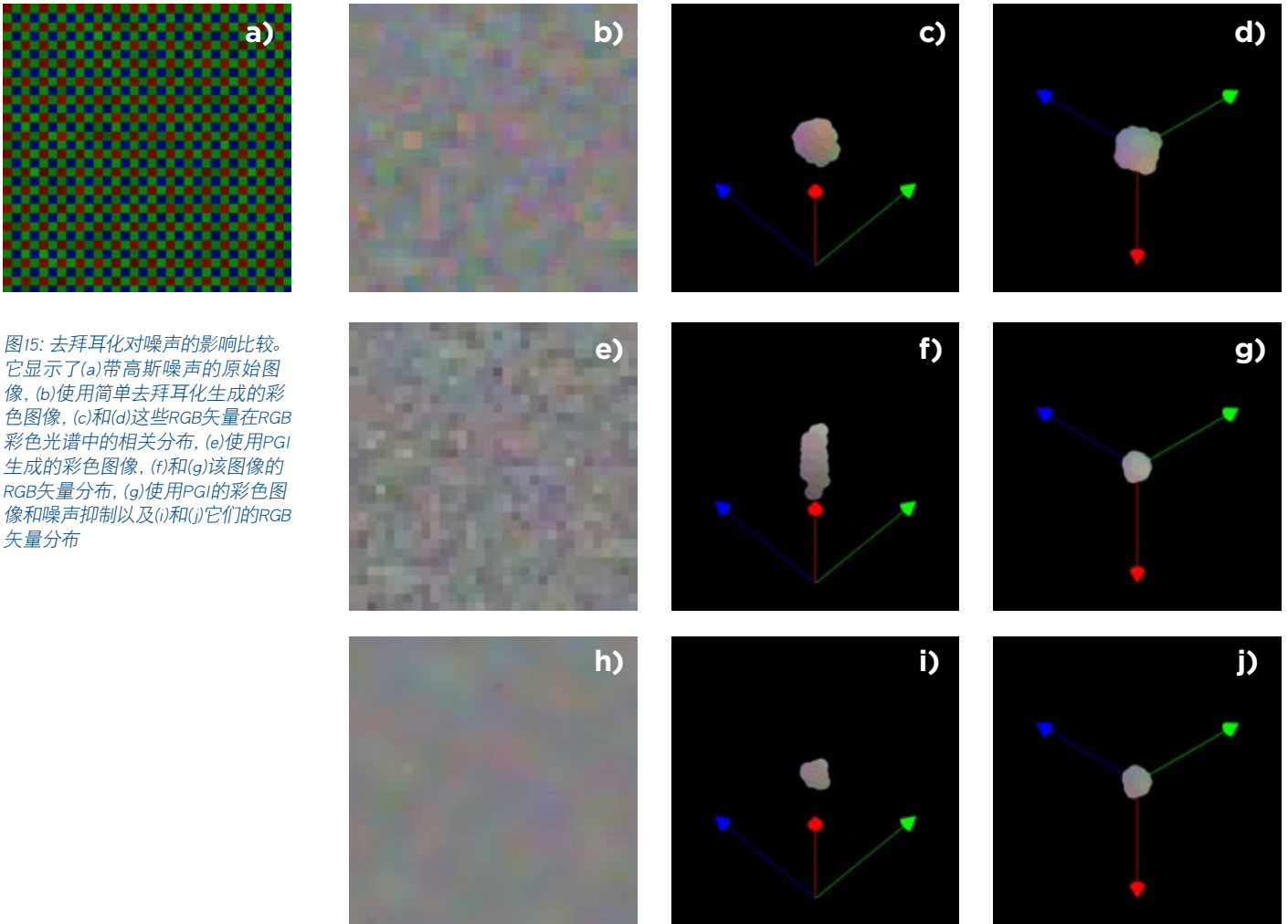


图15: 去拜耳化对噪声的影响比较。它显示了(a)带高斯噪声的原始图像, (b)使用简单去拜耳化生成的彩色图像, (c)和(d)这些RGB矢量在RGB彩色光谱中的相关分布, (e)使用PGI生成的彩色图像, (f)和(g)该图像的RGB矢量分布, (g)使用PGI的彩色图像和噪声抑制以及(i)和(j)它们的RGB矢量分布

一定要了解：将该阈值设置得过高可能不仅仅会消除噪声；在某些情况下，还会滤除图像中有可能消失在噪声中的精细结构。为此，需要进行大量的摸索才能正确设置这些阈值。不过，一定要确保解释图像所需的关键纹理不受影响。

噪声滤波器配置处于中间位置，表示已停用。如果激活噪声滤波，通常启动轻微的锐化最好。

5. 适用于黑白相机的PGI图像优化功能包

PGI图像优化功能包技术对黑白相机也很有助益。虽然黑白相机的确不具备拜耳模式，即没有5x5去拜耳化或去伪彩功能。然而，即便在灰度图像中，其他的功能如图像锐化和降噪功能依然有出色的表现，能显著提升可见成像质量。

因此，Basler也提供适用于黑白相机的PGI图像优化功能包。在出厂设置中，用于图像锐化和降噪功能的每个控制器均配置为均衡，让PGI图像优化功能包能够传输位真的原始图像。仅当客户对参数进行相应的更改时，PGI图像优化功能包才会在图像中发挥作用，让经改善的方面变得显而易见。

在彩色相机的参数设置方面也采用相同的规则。

6. 计算能力

除了上述方面，PGI在所有方面的设计也都非常精益，资源需求低。所有计算操作都并行进行，且作为FPGA Field Programmable Gate Array，现场可编程门阵列的组成部分实现了5x5周围像素计算的最佳协调，因此只要求使用特别低水平的FPGA内存，且格外减少了计算操作。要能够在相机内执行这些复杂的计算，而不引入增加成本的举措（如加大FPGA或增加其它计算单元等），这是唯一途径。

6.1 彩色相机的优势

去拜耳化既可以在相机内部也可以在相机外部进行。由计算机、图像采集卡或图形卡执行的外部去拜耳化显然有需要明显较少带宽来传输彩色图像优点。理论上，这似乎可留出更多的可用带宽，以便每秒传输更多的图像。

然而，当高质量去拜耳化涉及大量由PC进行的计算时，该PC的计算负载的显著增长，即使在使用优化代码的情况下也是如此。

因为PC只能以很低的fps处理输入图像，高传输带宽的优势被否定，整个过程失去了实际意义。如果使用了图像编辑软件（通常都会这样），高质量去拜耳化还将进一步减慢PC的速度。综合来看，这个情况不会令人满意。

6.2 彩色和黑白相机的优势

常用的降噪和锐化功能也具备类似的情况。在相机中进行计算能显著降低电脑端的计算功率和占用资源，以投入实质的应用中。

出于这一原因，直接在相机的FPGA中执行PGI算法是有道理的。相机FPGA中的PGI是完全实时兼容的，它在图像处理链中定位准确，并能与其实现完美配合。因此大大降低了延迟期，让已连接的PC能专注于图像处理应用。

作者



Jörg Kunze博士

前期开发组长

rer.nat.Jörg Kunze博士1998年加入Basler。他是负责新技术的前期开发组长。他的专业领域包括成像芯片、相机硬件、噪声、颜色保真度、成像质量和计算成像。他为图像信号处理开发了许多新算法，其中有一些涉及彩色滤光片阵列插值。他的名下有众多发明和专利。

联系方式

Jörg Kunze博士 - 前期开发组长

电话: +49 4102 463 206

传真: +49 4102 463 46206

电子邮件: joerg.kunze@baslerweb.com

Basler AG

An der Strusbek 60-62

22926 Ahrensburg

Germany

Basler AG

Basler在计算机视觉技术领域拥有30年的丰富行业经验，是一家全球领先的数字相机和配件制造商。公司总部位于德国阿伦斯堡，并在欧洲、亚洲和美国设有多个子公司和销售办事处，现有员工约500人。Basler通过打造高品质的专业产品，竭力为工业、医疗、交通等市场提供一流的服务。公司产品线包括外壳尺寸紧凑的线阵和面阵相机、适合嵌入式解决方案的板级型号相机模块以及3D相机。Basler产品线还提供易用的pylon软件开发套件以及众多配件，其中大量的配件是专为Basler量身定制，能与我们的相机产品完美匹配。

7. 总结

总体上可以说，PGI使Basler相机已经优异的成像质量更上一层楼。它的目的是优化人眼的体验，提供效果显著的去拜耳化，大幅减少颜色误差，提供出色的图像细节和低噪声等级，同时还允许选择对图像进行后期锐化和噪声滤波。



Sören Böge

产品经理

Sören Böge自2015年开始担任Basler的产品经理。他在工作中负责配有Sony Pregius系列的IMX芯片以及配有ON Semiconductor PYTHON芯片的新Basler ace CMOS相机型号。

取得工业工程学位之后，他在汽车行业工作了很多年，担任项目总监和测量系统产品经理。

联系方式

Sören Böge - 产品经理

电话: +49 4102 463 693

传真: +49 4102 463 46693

电子邮件: soeren.boege@baslerweb.com



©Basler AG, 02/2018

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

德国总部

电话: +49 4102 463 500

传真: +49 4102 463 599

sales.europe@baslerweb.com

www.baslerweb.com

Basler Asia Pte Ltd.

新加坡

电话: +65 6367 1355

传真: +65 6367 1255

sales.asia@baslerweb.com

Basler上海代表处

中国

电话: +86 21 6230 2160

传真: +86 21 5106 2592

sales.asia@baslerweb.com

BASLER
the power of sight