

通过明场模式克服散粒噪声限制

Ametek 材料分析部 Vision Research 公司的 Kyle D. Gilroy 和 Toni Lucatoro

2019 年 1 月 8 日

摘要。散粒噪声是数字成像系统中固有的许多形式的噪声之一，这些噪声会妨碍图像中图形的清晰度。散粒噪声与信号强度的平方根相关，使我们难以解析图像亮区中细微差异细节的亮度级（或灰度值）。

本白皮书介绍了一种新发布的方法，也就是明场（BF）模式，这是一种全新的 Phantom 摄像机模式，专门设计用于减少散粒噪声的影响，并通过更好地解析每个图像亮区域中的亮度级来提高图像质量。我们通过分析 DSC XYLA 图中的图像噪声定量地证明了这一点。

引言。高速成像的目的远不止实现超高的帧速率，在运动分析中，优化图像质量也至关重要。

“图像质量”一词很难解释，因为其参数众多并且难以定义。不同的人会给出不同的答案。例如，如果您问数据科学家，他们可能会告诉您它纯粹与空间和时间分辨率有关，并意味着较高的精度。如果您再问一位艺术家，他可能会根据他的个人风格和艺术目标来解释图像质量。

在本报告中，我们通过以下参数定义了图像质量，这些参数包括但不限于位深（该参数定义了每个像素可达到的最大亮度级数量）、最大程度减小图像缺陷（颜色插值、像素化、运动模糊等）和时间噪声（随时间变化的像素值强度的统计随机变化）。在本白皮书中，我们将重点介绍散粒噪声，以及在使用某些高速摄像机时如何采用新的 BF 模式以减轻噪声。

噪声。在数字成像系统中，可能会在数据采集和/或数据传输期间产生噪声。^{1,2}在这些系统中发现的不同类型的噪声（例如，热噪声、固定图形噪声等）¹中，散粒噪声的起源可能是最难理解的。这是因为散粒噪声源自电子的量子性质³，它可以使用泊松分布进行建模，其中散粒噪声是信号强度（N）的平方根，即 $N^{1/2}$ 。通过简单地绘制散粒噪声与信号强度（N）的关系图，见图 1，您可以看到，随着信号强度的增加，散粒噪声相对于暗噪声，将迅速成为噪声的主要形式。

我们的重点是介绍散粒噪声以及如何采用新发布的明场模式来减小噪声。

通过明场模式克服散粒噪声限制

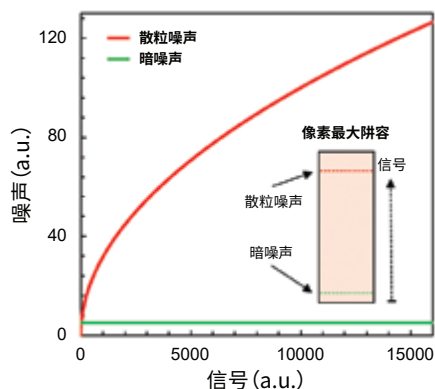


图1: 像素最大阱容图显示了暗散粒噪声为主要噪声的位置。散粒噪声与信号的平方根相关, 因此在最大阱容快满时为主要噪声, 而在仅填充了一小部分阱时较小。

因此, 只需将信号 N 除以散粒噪声 \sqrt{N} 即可得到信噪比 (SNR) N / \sqrt{N} , 也就是 \sqrt{N} 。因此, SNR 与 \sqrt{N} 相关, 信号越强, SNR 越高 (或更好)。尽管 SNR 随信号强度而增加, 但必须认识到一个关键事实, 即**解析那些越来越亮的像素的亮度级会变得越来越困难**。这是因为“散粒”噪声太强烈, 跨越了许多相邻的亮度级。为了理解这个概念, 我们来执行和分析一些简单的计算。

假想实验。对于 12 位图像, 可以解析的理论最小增量为 $1/2^{12}$ 或 2.4×10^{-4} , 就电子而言 (如果像素的最大阱容 (FWC) 为 10k 个电子), 则为约 $10k/2^{12}$ 或 2.4 个电子。换

句话说, 从一个亮度级到另一个亮度级只需约 2.4 个电子。因此, 当像素最亮时 (即 FWC $\sim 10k$ 个电子), 散粒噪声为 100 个电子, 这对应于多达 41 个亮度级的变化! 如果图像中有一个由高灰度值 (即 4000 范围内) 组成的**明亮物体**, 并且这些灰度值之间存在细微差别, 则几乎不可能将它们从强烈的散粒噪声引起的信号随机变化中解析出来。

相反, 如果 FWC 为 50k 个电子, 理论上从一个亮度级到另一个亮度级需要 12.2 个电子 (将 50k 个电子除以 2^{12})。如果此像素为最亮, 则散粒噪声将等于 $\sqrt{50k}$ 或 224 个电子。因此, 通过将散粒噪声除以每个亮度级的电子数 (即 224 个电子 / 12.2 个电子), 您会发现该噪声跨越 18 个亮度级, 这比使用 10k FWC 的情况少一半。换句话说, 拥有更大的 FWC 将能够更好地解析图像中明亮要素之间的亮度级。

但不能忽略的是, 更深的 FWC 将牺牲光灵敏度。因此, BF 模式对于明亮或半透明物体在强光背景下移动的高速应用特别有用, 请参见图 4。它显示了使用明场显微镜捕捉的红细胞流经通道的图像。

拥有更大的 FWC 将能够
更好地解析图像上明
亮要素之间的亮度级。

通过明场模式克服散粒噪声限制

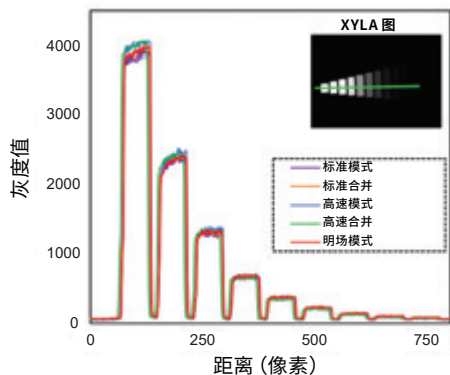


图2: 灰度图, 该图通过在 XYLA 动态范围测试图上画一条线并绘制每种 Phantom 摄像机模式下每个像素的灰度值曲线生成。

Vision Research 开发了一种 4 Mpx 传感器, 使用户能够更改成像模式, 优化摄像机在应用中的性能。

Phantom 摄像机和明场模式。虽然 CMOS 传感器技术取得了许多进步, 实现了更高的分辨率、帧速率、灵敏度、动态范围和更低的读出噪声, 但我们还不能同时优化所有这些参数, 因为优化一个参数通常会牺牲其他的参数。Vision Research 针对这个问题开发了 4 Mpx 传感器, 使最终用户可以更改成像模式, 优化摄像机在应用中的性能。目前, 该传感器已应用在 Phantom v2640 和 v1840 摄像机型号中, 可提供以下模式:

- **标准模式:** 包含相关双采样 (CDS), 可提供最低的读出噪声 (7.2 个电子) 和相对较高的动态范围 (64 dB)。
- **标准合并模式:** 以降低整体分辨率和略微增加读出噪声为代价, 提高了灵敏度和帧速率 (11.9 个电子)。
- **高速 (HS) 模式:** 不包含 CDS, 可在全分辨率下提供更高的帧速率, 读出噪声更高 (18.8 个电子), 曝光时间低至 142 ns。
- **高速合并模式:** 可提供更高的灵敏度、最高的整体帧速率, 曝光时间低至 142 ns, 但会降低最大分辨率和增加读出噪声 (29.7 个电子)。
- **明场模式:** 增加了 4Mpx 传感器的 FWC 以减轻散粒噪声的负面影响, 但是, 图像的整体感光度较低。

定量分析。为了比较 Phantom v2640 上各种模式 (标准、标准合并、HS、HS 合并和 BF 模式) 的散粒噪声, 我们曝光了 DSC XYLA 图的一个帧, 使其最亮区域的强度刚好低于饱和度, 请参见图 2, 其为五条不同曲线的叠加图。通过将单个帧导入 ImageJ 软件, 在正方形上画一条线, 并使用“曲线图”功能, 可以生成灰度线图。从叠加图中可以看出, 每种模式的曲线大致相似, 但仔细观察可以发现, 随着峰高的增加, 每个平坦峰上的噪声也会增加。

例如, 通过绘制 BF 模式和标准模式下最亮区域的灰度值曲线, 我们可以直接比较噪声的强度, 请参见图 3。显然, BF 模式比标准模式具有更少的噪声, 从而能够更好地解析明亮区域的亮度级。

从“假想实验”部分可以得出, 增加 FWC 可以更好地解析明亮区域的亮度级, 因为在 BF 模式下, 散粒噪声虽然在电子方面要比标准模式高, 但跨越的亮度级却相对较少。

通过明场模式克服散粒噪声限制

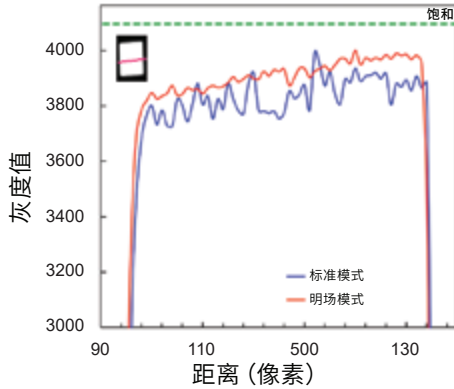


图3: 亮场模式(红线)和标准模式(蓝线)中的灰度值图,灰度值通过对同一明亮的正方形进行成像得出。经分析,标准模式比明场模式的噪声更大。

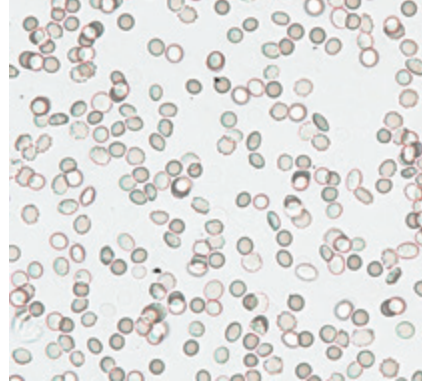


图4: 流式细胞术实验的明场显微镜示例

结论。 综上所述,新发布的 BF 模式可改善那些需要解析亮度级以进行测量和运动分析的强背光应用的图像质量。这对于从明场显微镜术(参见图 4)到大型室外环境(涉及分析明亮物体在明亮天空下的运动)等应用可能很有用。

致谢

本文由 Vision Research 的 Jason Chen 和 Kevin Gann 审阅和编辑。

图片来源:标题图片和图 4 由纽卡斯尔大学医学院的 Andrew Filby 博士和 Alex Laude 博士提供

参考文献

1. H. Tian, B. Fowler, A. El Gamal, CMOS 光电二极管有源像素传感器中的时间噪声分析, *IEEE 固态电路学报*, **2001**, 36, 92-101。
2. M. D. Sontakke, M. S. Kulkarni, 图像中的不同类型的噪声和降噪技术。 *国际工程与科学先进技术杂志*, **2015**, 3, 2348-7550。
3. A. K. Boyat, B. K. Joshi, 综述论文:数字图像处理、信号 & 图像处理中的噪声模型: *国际期刊(SIPIJ)* **2015**, 6, 63-75。

VISION
RESEARCH

AMETEK[®]
MATERIALS ANALYSIS DIVISION



关于VISION RESEARCH

Vision Research 设计并制造用于各种专业行业和应用数字高速摄像机。Vision Research 是 AMETEK 公司材料分析部的一个业务部门。

AMETEK Vision Research 的某些 Phantom 摄像机持有出口许可。欲了解更多信息,请访问:
www.phantomcameras.cn/export



官方微信