

应用说明： BSW-20 用于超分辨率成像



1 引言

任何成像系统的分辨率最终都受其像素尺寸的限制。一种常用于克服分辨率限制的方法（有时被称为超分辨率）是采用像素位移技术。某些相机型号支持像素位移功能，在连续拍摄的图像之间，图像传感器会逐像素移动。通过融合这些图像，可以生成一张具有亚像素分辨率的图像，这是因为融合后的图像中每个像素都承载着必要的色彩和亮度信息。

Optotune的光束偏移器并非物理移动传感器，而是改变入射到传感器上的光线路径。其原理是通过精确倾斜玻璃窗来横向偏移入射光束，从而实现低噪声成像，并突破像素限制获得超分辨率成像。BSW-20光束偏移器具有20 x 20 mm²的大通光孔径，适用于广泛的成像和投影应用。该设备不仅可用于去拜耳化、避免彩色摄像头的插值处理以及显示器检测，还可应用于光纤耦合、3D打印和计量学等非成像领域。此外，在无法获得更小像素或更大传感器，或其成本过高的应用场景中，BSW-20更能发挥优势。

主要特点：

- 快速切换时间(~1 ms)
- 高度可靠，适合连续运行
- 高角度位置精度（典型值为 ±5%）
- 无轴承设计——不产生颗粒、无磨损、无摩擦
- 支持高达 4.8 μm 的光束偏移

如需更多技术规格，请参阅数据手册。有关设备设置和运行的说明，请参阅用户手册。Optotune 为 BSW-20 提供了一套开发套件，其中包含四通道控制器 ICC-4C-2000（数据手册）。

1.1 工作原理

BSW-20 的工作原理是通过横向偏转入射光束来实现的。这种偏转是通过倾斜一块平面玻璃窗来完成的，入射光束正是穿过该玻璃窗。图 1 展示了倾斜角 θ 与光束位移 Δy 间的关系。其中， t 表示玻璃窗的厚度， n 表示其折射率。

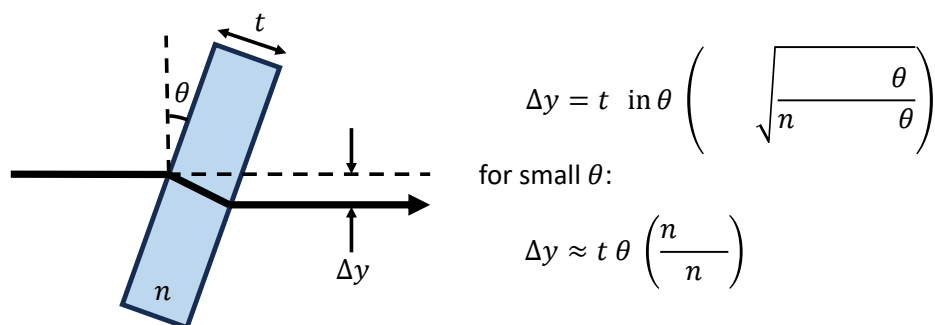


图 1: BSW-20 执行器的原理。将玻璃窗倾斜一个角度 θ ，会导致横向位移 Δy 。
对于小角度， Δy 的表达式可以简化。

1.2 利用光束偏移提高分辨率

BSW-20 能够沿两个轴向倾斜玻璃窗，从而达到四个不同的位置——即所谓的 4 位置 (4P) 光束偏移。其工作原理如图 2 所示。因此，每个像素会被投射到四个位置，从而使分辨率提高四倍（在每个横向方向上分辨率最高可提高一倍）。需注意的是，即使采用光束偏移技术，分辨率最终仍受衍射极限的限制。

驱动图案可以是任意形状，不限于正方形，且可实现位置数量更多或更少的图案。

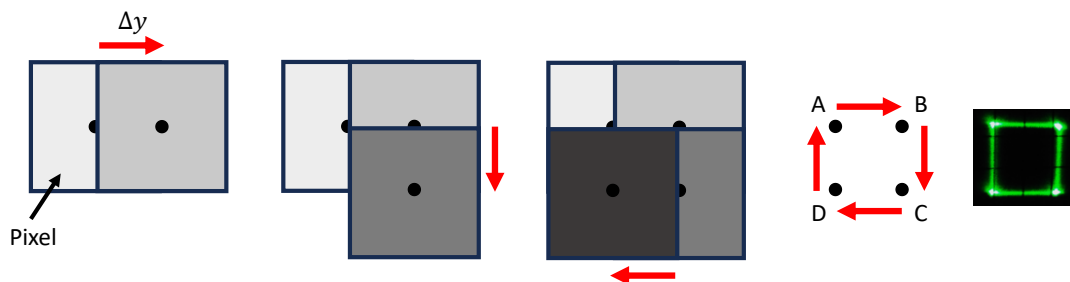


图 2: 4 位置 (4P) 光束偏移。每个像素被投射到 A、B、C 和 D 四个位置，从而使原生分辨率最高可提高四倍。最右侧的图像展示了该技术对反射激光束的影响，其中正方形的四个角分别对应 BSW-20 的四个位置。

在彩色成像中，图像通常通过拜耳彩色滤光片阵列生成。在此类阵列中，每个像素经过滤波处理，仅记录三种颜色中的一种。经过去拜耳化（或称去马赛克）处理后，即可获得全彩色图像，该过程会对每个像素进行红、绿、蓝三色值的插值。最简单的方法是取每个像素最近邻像

素值的平均值。这种方法在颜色渐变平滑或颜色恒定的区域效果良好，但在边缘区域、小尺度细节以及颜色突变的区域，会导致生成的图像中出现伪影。

光束偏移是一种直接解决此问题并避免彩色图像中出现伪影的方法。图3展示了如何通过使用BSW-20进行三次光束偏移，使每个像素最终都包含完整的色彩信息。通过这种方式，可以处理四张连续图像中的信息来重建数字图像，且不会产生与插值相关的伪影。

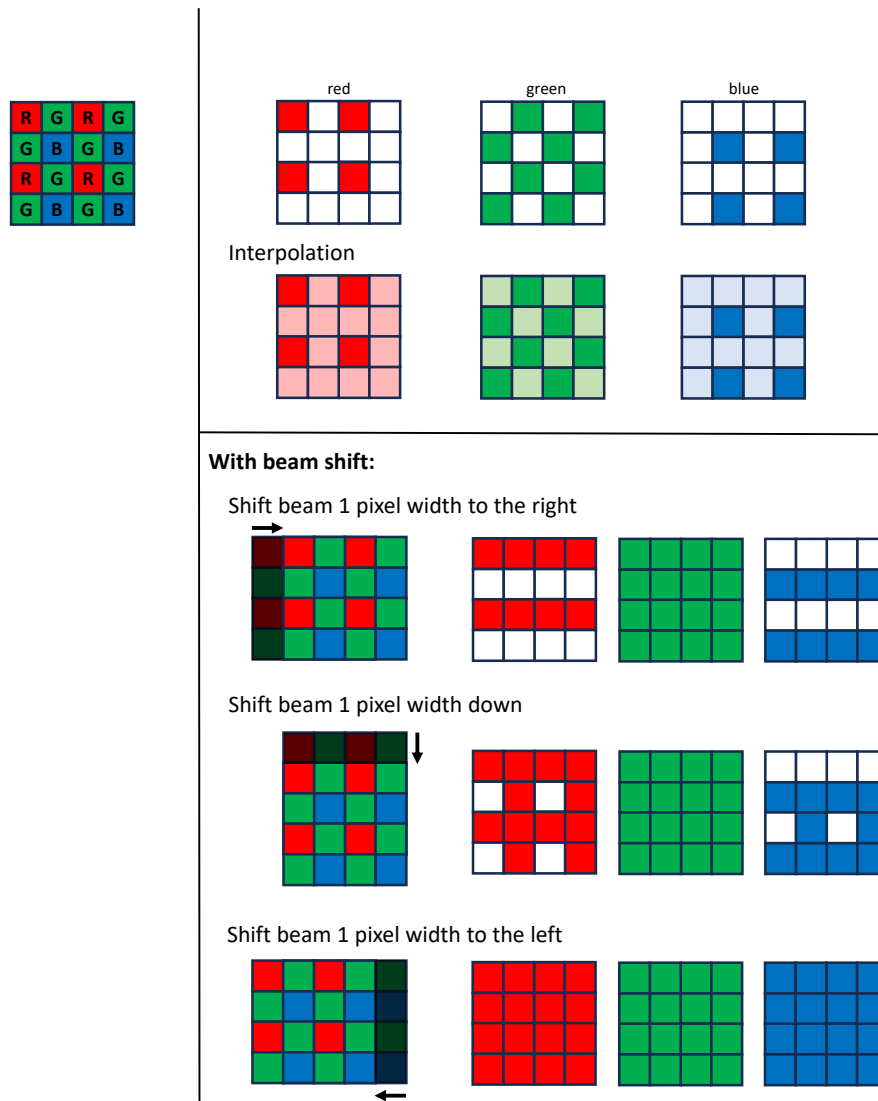


图3: 彩色成像。在无光束偏移的情况下(上图), 最终图像依赖于各颜色通道的插值。在有光束偏移的情况下(下图), 每个像素都包含完整的颜色数据, 因此无需依赖插值即可获得最终图像。

2 应用示例：超分辨率成像

2.1 实验装置

为了直观展示BSW-20带来的分辨率提升，可采用图4所示的实验装置。BSW-20 通过 Optotune 的 ICC-4C-2000 控制器进行控制；包含 BSW-20、ICC-4C-2000、适配板及必要线缆的开发套件可应要求提供。

为防止杂散光影响测量，采用定制的 3D 打印支架将 BSW-20 固定在相机与物镜之间。如需获取该解决方案的详细CAD图纸（见图5和图6），请提出申请。所用物镜为焦距35毫米的镜头（Kowa LM35HC-OPT, C卡口，31.5 x 61.5毫米，推荐像素尺寸5.0 μm ）。采用背照式1951年USAF分辨率测试标靶来展示分辨率的变化。

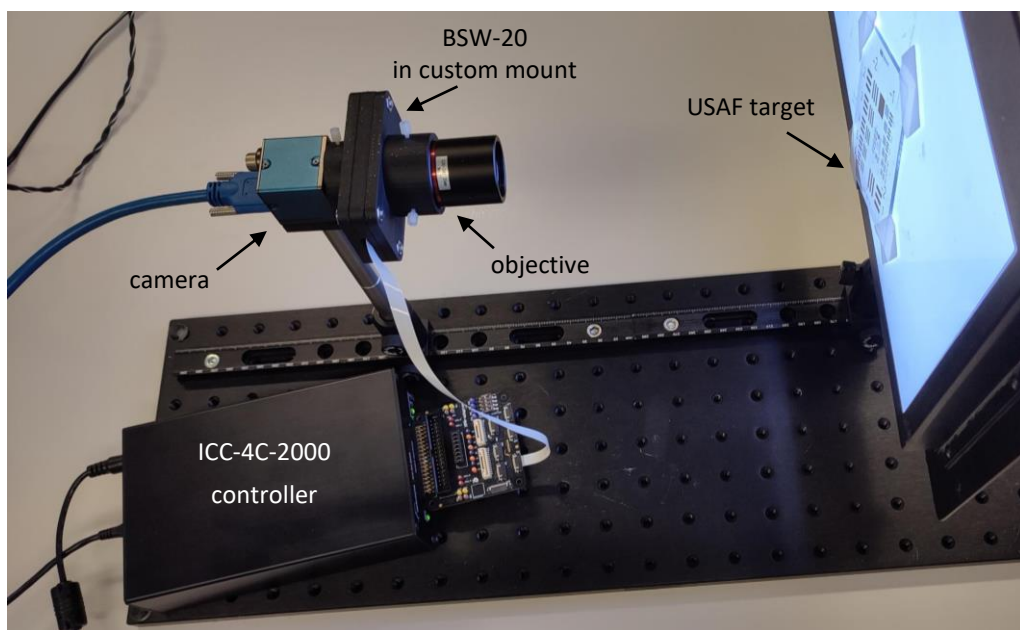


图4：将BSW-20放置在相机与物镜之间的组装示意图。使用USAF测试图来直观展示分辨率的变化。

图5展示了使用定制卡口将相机、BSW-20和物镜组装在一起的整体结构。图6展示了这三个3D打印部件。如需设计文件，请联系索取。

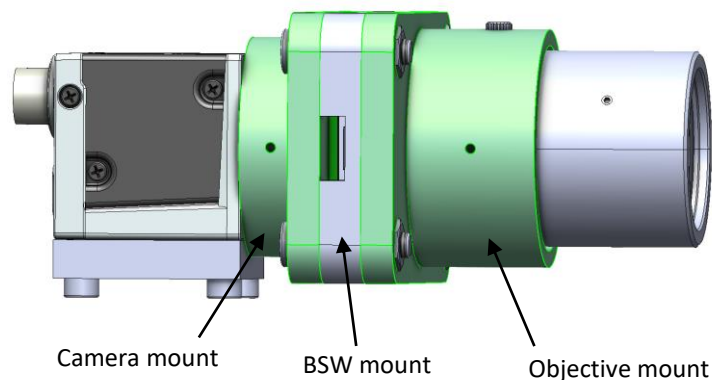
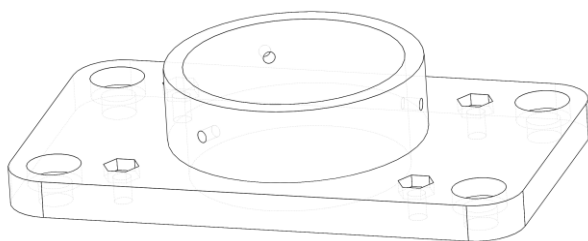
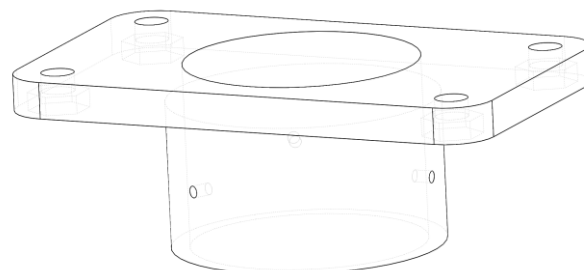


图5：包含摄像头、BSW-20和物镜的组件CAD模型。

Camera mount



Objective mount



BSW mount

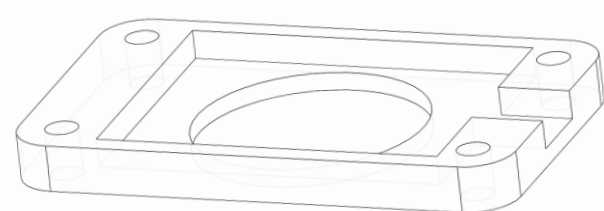


图6：用于将相机、BSW-20和物镜组装在一起的定制部件。如需详细设计文件，请联系索取。

在成像应用中采用 BSW-20 时，一个重要的设计考虑因素是：集成光束偏转器会增加距离传感器最近的透镜的有效后焦距。这种增加是由于 BSW-20 对以一定角度入射的光线施加了光束偏转所致。图7显示，位于镜头后焦距 f 处的传感器需要向后偏移距离 Δf ，以适应BSW-20及其对离轴光线产生的光束偏移。对于配备2 mm厚B270（冕玻璃）窗口的BSW-20，后焦距的增加量为0.7 mm。

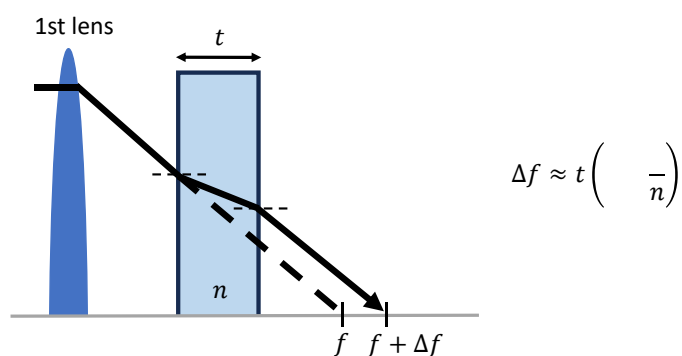


图7：在光路中插入透明窗口时后焦距的增加。后焦距的增加量由玻璃的厚度 t 和折射率 n 决定。

2.2 结果

使用单色相机对USAF目标进行成像，分别在开启和关闭BSW-20的情况下，所得图像如图8所示。在此，使用光束偏转器时，横向分辨率提高了41%，从198lp/mm（USAF第4组第4元素）提升至280lp/mm（USAF第5组第1元素）——远超所用相机208 lp/mm的奈奎斯特极限。

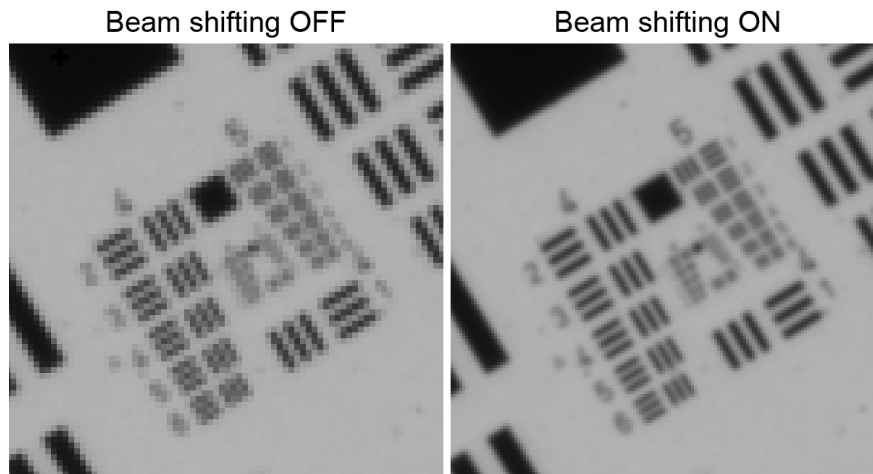


图8：（左）在 BSW-20 关闭状态下，使用单色相机对 USAF 分辨率靶标进行成像。
（右）在 BSW-20 开启状态下，使用单色相机对 USAF 分辨率靶标进行成像。横向分辨率提升了 41%。

另一个示例可通过彩色相机的红色通道进行验证，其结果如图9所示。在该情况下，横向分辨率提升了100%，由65 lp/mm（USAF第3组第4元素）提高至130 lp/mm（USAF第4组第4元素），接近所用相机145 lp/mm的奈奎斯特极限。这使得在三个颜色通道上均能够实现接近全分辨率的成像性能。

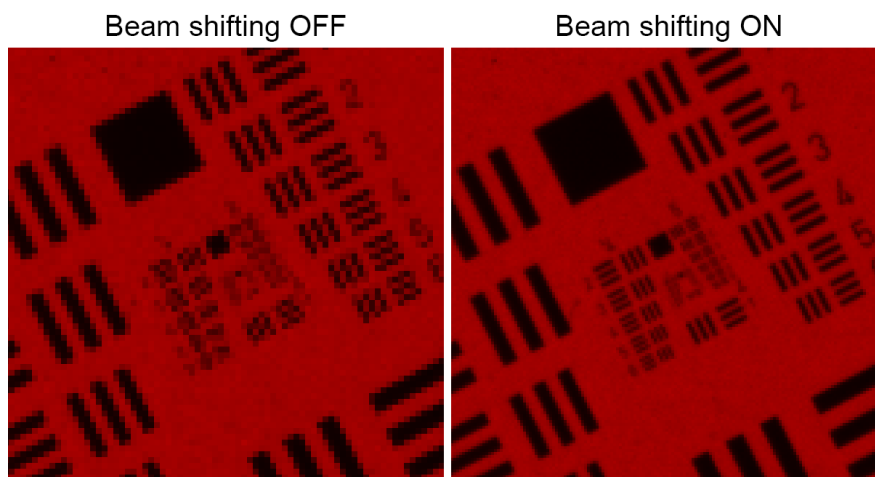


图9：（左）在 BSW-20 关闭状态下，使用彩色相机的红色通道对 USAF 分辨率靶标进行成像。
（右）在 BSW-20 开启状态下对同一靶标进行成像，横向分辨率提升 100%。

3 应用示例：显示屏检测

上一节所述的测量方法可用于高分辨率检测。在此，我们将该方法应用于手机显示屏的检测，如图10所示。BSW-20 提供的更高分辨率使得能够更精确地识别诸如缺失像素等缺陷。

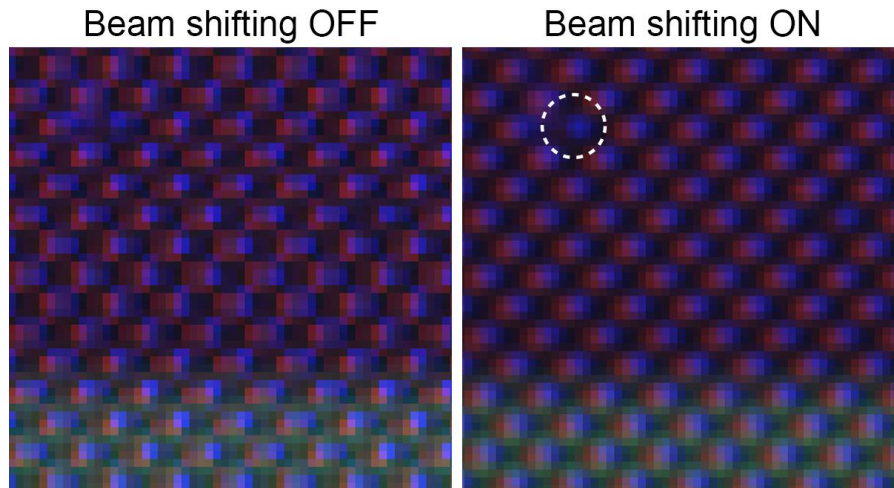


图10：（左）在 BSW-20 关闭状态下对手机显示屏进行成像。（右）在 BSW-20 开启状态下对同一显示屏进行成像，可清晰识别出缺失像素（白色虚线圆圈标示区域）。

4 更多信息与支持

我们很乐意为您提供关于将 BSW-20 集成到您设计中的建议。如有需要，请随时与我们联系。

新特光电是 Optotune 在中国的授权合作伙伴，一站式提供其全系列可调光学元件（液态可调焦镜头、精密&快速光束控制反射振镜、光束位移器、激光散斑衰减器及控制器）的选型匹配、应用方案设计及系统集成与工程落地全生命周期的技术支持。通过可调光学技术，实现焦距动态调节、光束精准偏转与高质量成像优化，广泛应用于激光加工、机器视觉检测、3D成像及高端科研系统等场景。

液态可调焦镜头：<https://www.sintecclaser.com/optical/liquid-lens.html>

精密&快速光束控制反射振镜：<https://www.sintecclaser.com/optical/beam-steering.html>

光束位移器：<https://www.sintecclaser.com/optical/beam-shifting-devices.html>

激光散斑衰减器：<https://www.sintecclaser.com/optical/laser-speckle-reducers.html>

我们还可提供不同通光孔径、调焦范围、光束偏转角度及涂层波长（UV-IR）的定制化可调光学解决方案，满足从科研到工业量产的多样化需求。获取最新方案及报价，请联系：

手机|微信：罗经理：18162698939，夏经理：13697356016