

白皮书

宽动态范围功能

WDR解决方案实现取证价值

十月 2022

概述

同时包含极暗和极亮区域的场景是摄像机所面临的一大挑战。在安防领域中，这些宽动态 (WDR) 场景的典型例子有：入户门、车库和隧道，在这些地方，外部光线明亮，内部则比较阴暗，因此对比度较大。有阳光直射但阴影较深的室外场景也是一大难题。

我们现已开发出多种方法，旨在让摄像机能够更好地重建拍摄场景中的所有内容。但没有一种技术能够单独成为所有场景和情形的最佳选择，而且各种方法都有其各自的缺点，其中包括会产生各种视觉异常，即所谓的“伪影”。

安讯士提供与众不同的WDR解决方案，内含两种取证解决方案，它们为困难场景的成像带来了革新性改进。它们表现卓越，既能够清晰呈现场景的黑暗区域，又不会造成明亮区域的过度曝光，并且提供的图像具有极高的取证价值。

安讯士WDR解决方案：

- **猎影超宽动态技术 (Forensic WDR)** 是双重曝光与局部对比度增强法的结合。它提供的图像经过调整，以实现最大的取证可用性。这项技术采用最新一代图像处理算法，有效减少了可见噪声和伪影。猎影超宽动态技术 (Forensic WDR) 还适合拍摄包含运动的场景，同时也是超高分辨率摄像机的理想搭档。
- **WDR Forensic Capture (WDR宽动态猎影技术)** 是双重曝光与局部对比度增强法的结合。它提供的图像经过调整，以实现最大的取证可用性。
- **WDR – 宽动态捕捉技术** 采用双重曝光法，以合并包含不同曝光时间的图像。动态范围受到伪影限制，伪影与（比如）运动和闪烁有关。
- **WDR – 宽动态对比技术** 采用对比度增强法，动态范围相当有限，但伪影非常少。由于使用的是一次曝光，因此这种解决方案在高运动场景有着良好表现。

一些安讯士摄像机使用各种方法的未特定组合来扩展动态范围。在这些摄像机中，针对每台特定的摄像机量身定制宽动态解决方案，并在数据表和其他产品信息中表示为“WDR”（宽动态）。

摄像机的动态范围能力通常用dB值来表示，而实际的WDR性能则难以测量，因为这还取决于其他因素，如场景复杂度、场景中的运动量以及摄像机的图像处理能力。

安讯士优先考虑取证可用性和图像质量，而不是高dB值。因此，拥有特定动态范围的安讯士摄像机可能比具有高dB值的摄像机竞品表现得更加出色。

目录

1	引言	4
2	宽动态范围场景	4
3	摄像机动态范围的物理限制	5
3.1	像素大小和曝光时间	5
3.2	噪声和位深	6
3.3	显示图像	6
4	扩展摄像机动态范围的一般方法	6
4.1	使用双重或多重曝光	6
4.2	使用双敏或多敏像素	6
4.3	使用对比度增强	7
4.4	使用局部对比度增强	7
5	安讯士摄像机的WDR成像	7
5.1	安讯士WDR性能描述	7
5.2	安讯士WDR解决方案	8
6	用dB表示的动态范围能力	9
7	WDR成像中的伪影	10

1 引言

传统上，摄像机难以应付宽动态范围场景，即包含多种不同照度等级的场景。本白皮书阐释了摄像机有限动态范围背后的技术，描述了可用于实现良好WDR性能的一般方法，并介绍了具有最大取证价值和可用性的安讯士WDR解决方案。

2 宽动态范围场景

动态范围是指场景或图像中最暗区域与最亮区域之间的照度差异。因此，宽动态范围场景中同时包含非常亮的区域和非常暗的区域。监控领域的典型例子：

- 门外有日光但门内环境较暗的入口门。
- 外部有日光但内部环境较暗的车库或隧道。
- 有阳光直射但阴影较深的室外场景。
- 窗户反射光多的办公楼或购物中心。

下面的例子是使用不带宽动态功能的监控摄像机拍摄的一个宽动态范围场景。



Figure 1. 典型的宽动态范围监控场景：带入口的车库内部。这两个图像采用不同的曝光时间拍摄，左图的曝光时间短，右图的曝光时间长。

根据使用的曝光时间，摄像机既可清晰呈现光线好的入口和明亮的外部区域，也可显示黑暗的车库内部情况。不带宽动态功能的摄像机无法在一个图像中捕捉完整的场景内容。

下图分别是长时间曝光的图像数据被插入短时间曝光的图像中，以及短时间曝光的图像数据被插入长时间曝光的图像中。很明显，不带宽动态功能的摄像机丢失了场景中的重要物体。



Figure 2. 场景与之前相同。左图显示了短曝光时间所丢失的细节。右图显示了长曝光时间所丢失的细节。

如要能够捕捉完整的场景内容，需要使用支持WDR功能的监控摄像机。它能够在一张图像中捕捉到这两种极端的情况；也就是说，既能够清楚地显示光线明亮的入口处的细节，也能够清楚地显示车库内部阴影中的情况。然而，如果不带宽动态功能，动态范围会受到许多因素的限制。

3 摄像机动态范围的物理限制

限制摄像机动态范围的主要原因涉及摄像机传感器中的光捕捉方式、图像处理方式以及光的自身性质。更实际地讲，动态范围取决于像素大小、曝光时间、噪声和位深。

3.1 像素大小和曝光时间

光线由称为光子的离散能量束组成。场景中的光线越强，意味着射向摄像机的光子数量就越多。但摄像机，或者说其图像传感器，在每个曝光间隔中只能侦测有限数量的光子。

图像传感器由无数感光点（被称为像素）组成，这些感光点能够将捕捉的光子转换成电子。摄像机成像时，测量每个像素的电子计数，从而提供与所拍摄场景不同部分的照度等级有关的信息。

每个像素具有设置的尺寸，只能够容纳设置数量的电子，然后便达到饱和。在现代摄像机中，我们希望最大程度增加像素数量，但出于成本原因，又需要缩小传感器的总尺寸，这会有效限制像素大小。

对于宽动态范围场景，长时间曝光将导致在图像较明亮的部分中达到像素饱和。通过缩短曝光时间，并在较短的时间内收集光子，就能够避免较明亮的部分收集的光子过多而曝光过量。然而，曝光时间短同时也可能意味着，在较暗的区域，将只能够捕捉非常少的光子。由于光的粒子特性，以及一种被称为光子散粒噪声的现象，图像的这些区域将呈现明显的噪声。像素的正确曝光时间可将信噪比 (SNR) 最大化，所以图像较亮部分像素的正确曝光时间比图像较暗部分像素的正确曝光时间要短。

3.2 噪声和位深

从像素层面来说，动态范围被定义为最大信号与基底噪声的比值。基底噪声确定了可识别的高于各种噪声源强度总和的最低信号强度。部分噪声的产生是由于进行电子计数并生成每个像素的读数的模数转换器存在缺陷。另一种噪声类型是光子散粒噪声，即使是最完美的设备，也无法避免这种噪声。各种噪声都会导致像素值无法反映真实场景的实际光强度。

位深是指“捕捉”一个像素中所有信息需要的位数，它决定了能够被检测到的可能照度等级的数量。安防摄像机的位深通常是10位。理论上讲，较高的位深将增加能够被检测到的照度等级数量，但实际上，只有在传感器像素足够大且噪声足够低时，它才会提高图像质量。如果传感器数据噪声较大，那么提高位数也就没有太大的意义。

3.3 显示图像

在位深方面，还应该注意，供安防专业人员查看监控视频的典型监视器在每种颜色通道的位深仅为8位。这就意味着，要实现良好的WDR性能，用于将传感器中的10位转换成监视器中8位的算法至关重要。

4 扩展摄像机动态范围的一般方法

为应对摄像机的动态范围限制并实现WDR成像，现已开发出了多种不同的方法。有时会将多种方法结合使用，以便获得更好的结果。没有哪一种方法能够单独成为各种应用的理想之选，因为每种方法都会产生不同的视觉异常，即所谓的“伪影”。在一个应用场合中不明显的伪影，在另一个应用场合中可能完全突显出来。有关常见伪影的介绍，请参见第7章。

4.1 使用双重或多重曝光

利用合并算法，能够将采用不同曝光时间拍摄的多个图像组合，形成一个图像。这是扩展动态范围的更常见方法。然而，由于连续拍摄，这种方法会产生与场景中的运动相关的伪影。通常，闪烁的光源和快速的运动是一大难题，因为物体在拍摄间隔期间也可能在移动。图像处理还可能导致带状噪声。因此，伪影包括：

- 闪烁
- 运动模糊和重影
- 噪声

4.2 使用双敏或多敏像素

借助这种方法，摄像机就能够使用包含两种或更多像素类型且具有不同感光度的图像传感器。所以，一次曝光能够基本上创建两个图像，一个较暗的图像和一个较亮的图像，每个像素集分别创建一个这样的图像。通过组合这些图像可获得最终的WDR图像。在相邻像素的灵敏度差异方面，通常存在限制，比如灵敏度比率是固定的，这就限制了这种方法能够实现的动态范围。由于同时曝光，与运动和闪烁相关的伪影得以避免，但却可能产生其他类型的伪影。比如，这种方法引起的分辨率降低（因为只能有较少的像素用于形成图像）可能导致图像中形成摩尔纹和阶梯效应。另外，将两个像素集组合到一起的处理过程可能较为复杂，在某些情况下，可能会带来其他的问题。典型伪影：

- 摩尔纹和阶梯效应

- 噪声
- 色差
- 模糊

4.3 使用对比度增强

这是一种数字方法，它使用曝光不足的图像，以数字方式提亮最暗的区域。这种方法不会真正扩展捕捉的动态范围，但能够改善最终图像中的检测能力，尤其是在过度曝光的区域。它非常适合动态范围有限且包含大量运动的场景。产生的典型伪影包括：

- 在较暗的区域中存在带状噪声
- 某些区域的灰度级很少
- 颜色不自然

4.4 使用局部对比度增强

传统上，摄像机使用全局法来调整色调曲线，这意味着图像中的所有像素使用了相同的转换。它也可以使用局部法，以不同方式对传感器的不同区域进行色调曲线调整。这种方法不会真正扩展捕捉的动态范围，但通过优化对比度，能够提供一款强大的可视化工具，以较窄的动态范围，实现更好的场景呈现。典型伪影取决于这种方法的使用强度，可能包括：

- 重影
- 卡通化
- 对比度不足
- 颜色过度

5 安讯士摄像机的WDR成像

安讯士提供多种宽动态成像解决方案，将上一章所述的某些一般方法与先进的图像处理和伪影消减方法相结合。

5.1 安讯士WDR性能描述

安讯士对自有的WDR解决方案从多个关键方面展开评估。在确定适合特定监控场合的解决方案时，应结合具体情况从不同的角度考量这些方面。基于实际用途和主观判断对这些方面做出评估。

表 5.1 宽动态性能的决定因素方面。

方面	含义
运动	对运动和闪烁相关的伪影有怎样的规避效果？
范围	实际动态范围。用dB值表示。
呈现	对困难场景的图像呈现效果如何？

运动方面评估总结了解决方案在不产生与采样技术相关的伪影的前提下，对包含运动的场景的捕捉能力。在这一方面，闪烁处理是一大重要因素，另一个重要因素则是避免合并伪影。

范围方面评估总结了在保持图像监控可用性的前提下，图像最亮部分与最暗部分之间的亮度差能够有多大。

呈现方面评估总结了解决方案再现困难光照条件、但仍呈现可供安防人员在电脑监视器上查看的图像的能力。其目的不在于尽可能高保真再现场景，因为这会让观察者无法看到细节。

5.2 安讯士WDR解决方案

摄像机的动态范围通常以dB值来表示，这个值涉及上节所述的“范围”方面。然而，为了保证典型监控场景的监控图像可用性和细节呈现，安讯士WDR解决方案优先考虑“运动”和“呈现”方面，而不是“范围”方面。这样的优先级意味着，安讯士摄像机提供的动态范围成像比其dB值所表现的效果要更好。在消减伪影并改善可用性的前提下，dB值低的安讯士摄像机可能比dB值高的其他品牌摄像机表现得更加出色。有关dB值的详细内容，请参见第6章。

下面列出了安讯士WDR解决方案。

- **猎影超宽动态技术 (Forensic WDR)** 是双重曝光与局部对比度增强法的结合。它提供的图像经过调整，以实现最大的取证可用性。这项技术采用最新一代图像处理算法，有效减少了可见噪声和伪影。猎影超宽动态技术 (Forensic WDR) 还适合拍摄包含运动的场景，同时也是超高分辨率摄像机的理想搭档。
- **WDR Forensic Capture (WDR宽动态猎影技术)** 是双重曝光与局部对比度增强法的结合。它提供的图像经过调整，以实现最大的取证可用性。
- **WDR – 宽动态捕捉技术**采用双重曝光法，以合并包含不同曝光时间的图像。动态范围受到伪影限制，伪影与（比如）运动和闪烁有关。
- **WDR – 宽动态对比技术**采用对比度增强法，动态范围相当有限，但伪影非常少。由于使用的是一次曝光，因此这种解决方案在高运动场景有着良好表现。

一些安讯士摄像机使用各种方法的未特定组合来扩展动态范围。在这些摄像机中，针对每台特定的摄像机量身定制宽动态解决方案，并在产品信息文档中表示为“WDR”（宽动态）。

下表显示了安讯士宽动态解决方案在性能方面的评估。

表 5.2 安讯士WDR解决方案根据运动、范围和呈现方面来评估。

WDR解决方案	运动 对运动和闪烁相关的伪影有怎样的规避效果？	范围 实际动态范围。用dB值表示。	呈现 对困难场景的图像呈现效果如何？
Forensic WDR	+++	+++	+++++
WDR Forensic Capture (WDR宽动态猎影技术)	++	+++	+++
WDR – 宽动态捕捉技术	+	+	++
WDR – 宽动态对比技术	+++++	–	–

根据评估，总体表现最佳的宽动态解决方案是Forensic WDR（猎影超宽动态技术）技术，相比WDR Forensic Capture（WDR宽动态猎影技术），它对运动方面和呈现方面都有改善。然而，这两种取证解决方案都为困难场景的成像带来了革新性改进。它们表现卓越，既能够清晰呈现场景的黑暗区域，又不会造成明亮区域的过度曝光，并且提供的图像具有极高的取证价值。

由于取证解决方案的目的是重点考虑取证可用性，因此阴影得到提亮，细节也得到增强，使图像观感与（比如）广播视频中所呈现的大为不同。利用Forensic WDR摄像机，场景的动态范围被压缩成小得多的动态范围，同时又不丢失细节。这优化了视频呈现，安防中心的专业人员可以轻松的查看实时的和录制的视频。

下图比较了用两种不同的摄像机拍摄同一场景：左边是用不带宽动态功能的摄像机拍摄的，右边是用安讯士Forensic WDR（猎影超宽动态技术）摄像机拍摄的。利用猎影超宽动态技术（Forensic WDR），图像细节清晰呈现，不受室内和室外背光的影响。



Figure 3. 强背光下的室内场景。不带宽动态功能的摄像机（左边）与安讯士Forensic WDR（猎影超宽动态技术）摄像机（右边）的对比。

6 用dB表示的动态范围能力

摄像机的动态范围能力通常用dB值来表示，与第5章所述的“范围”方面相关。

dB是一个比值，即摄像机能够捕捉到的最亮物体与最暗物体的辐射亮度之比。如果照度比为1000:1，则dB值为60dB。这个值的计算方法是：照度比的对数（本例中为3）乘以20。

最暗的可检测水平定义为传感器像素的基底噪声，在这个水平之下的信号均淹没于噪声之中。根据这个定义，良好的图像传感器通常可以达到约70dB的动态范围。通过宽动态技术，我们可以在不改变摄像机实际dB值的情况下增加实际动态范围。

然而，dB值和范围都不能完全说明摄像机的动态范围能力。宽动态图像的质量还取决于所使用的宽动态方法、是否留下可见伪影以及图像处理质量。第5章所述的“呈现”方面和“运动”方面对其中的某些因素进行了总结。

拍摄下方右图使用的摄像机的dB规格值小于左图所用的摄像机。出乎意料，在这种宽动态场景中，dB值较低的摄像机提供的清晰图像更适合视频监控用途。显而易见，dB值较低的摄像机拥有其他的功能，如更好的图像处理，从而改善了其WDR能力。



Figure 4. 用具有不同dB值的摄像机拍摄的背光内部场景。出乎意料，拍摄右图使用的摄像机的dB规格值小于左图所用的摄像机。

7 WDR成像中的伪影

本章讲述了一些常见的视觉伪影及其成因。

- **运动模糊**
在单帧记录期间，若由于场景中出现快速移动，或仅因曝光时间过长而导致录制的图像发生变化，则会产生动态模糊。
- **重影**
当使用多重曝光来拍摄一个图像时，拍摄的运动物体可能处于不同的位置上。这种操作本身可能让图像产生重影；此外，由于不同亮度的物体，其动态模糊也会有所不同，因此成像的模糊程度也可能进一步增大。例如，移动物体的较暗部分会比较亮部分更加模糊。
- **闪烁导致的伪影**
各种类型的摄像机都无法规避因闪烁光导致的伪影。由于通常假设的照明是恒定照明，因此调制光源（如荧光灯）就是一大难点。所产生的伪影可能看起来像条纹或呈现搏动，这取决于具体的摄像机类型。
- **带状噪声**
图像中通常允许存在特定量的随机分布噪声。但在数字处理中，像素值读出方面的技术难度有时可能导致出现可见噪声线。
- **卡通化和过度锐化**
WDR图像的呈现色调和增强细节可能非常丰富，从而在标准监视器上难以显示。因此，所显示的图像可能呈现卡通化和不自然的风格。
- **色差**
如果各种像素的处理方法不一致，可能在颜色重现上产生伪影，比如，颜色不正确，或者颜色过重。
- **紫边**
紫边（或蓝边）是指由于镜头色差而在图像中靠近锐缘的地方出现紫边效应。当光的不同颜色在镜头中未得到同等折射时，便会出现色差，从而导致传感器发生轻微失焦。这种效

应通常在传感器边缘附近更强。相对于没有宽动态功能的摄像机，宽动态摄像机对色差更敏感，因为图像的黑暗区域色调映射更多。

- **镜头光晕和起雾**

光进入光学镜头系统时，部分光在镜头系统中得不到正确收集，而是被散射（或晕开）。这种光中有部分被设计用来减少反射光的内部挡板收集，但也有部分光会到达图像传感器中的错误位置，从而产生不同类型的伪影。最常见的伪影是镜头光晕，这在迎着强光源（如太阳）的大多数摄像机中可以看到。另一种现象（被称为起雾）会大面积降低图像的对比度和色饱和度。这两种现象都尤其会受到图像中的强光源、宽动态范围场景、前端镜片脏污或镜头系统灰尘的干扰。通过为摄像机安装防风雨外罩，能够有效减少光晕和起雾，但定位大范围拍摄的WDR摄像机仍将受到光学系统中散射光的限制。

关于 Axis Communications

Axis 通过打造网络解决方案，不断提供改善 安防技术的独特见解并引入创新业务模式，旨在创建一个更加 智能、安全的世界。作为网络视频行业的领导者，Axis 致力于 推出视频监控和分析应用、访问 控制、内通系统以及音频系统的相关产品和服务。Axis 在全球 50 多 个国家和地区设有办事机构，拥有超过 3800 名专职员工，并与 遍布世界各地的合作伙伴携手并进，为客户带来高价值的解决方案。Axis 创立于 1984 年 总部位于瑞典隆德。

有关 Axis 的更多信息，请访问我们的网站 axis.com。