图像和视频噪声基础知识（笔记）

-Jeffery Xu

目录

图像和视频噪声基础知识（笔记）.....1
噪声定义.....3
噪声种类.....3
扩大噪声.....7
椒盐噪声.....7
散粒噪声(起伏噪声).....7
量化噪声.....8
模拟胶片噪声(Film Grain).....8
各项不同性噪声.....8
数码相机噪声问题.....8
数码相机图像噪声.....9
概念.....9
术语.....10
噪声类型.....11
随机噪声.....11
固定模式噪声.....11
带噪声.....11
CCD 设备的噪声模型.....12
散粒噪声.....12
黑噪声或 obscurity noise.....13
黑帧减法.....13
读出噪声.....13
Bias 帧.....13
Gamma 矫正后的噪声模型.....13
猜测 1.....14
CCD 图像获取流程.....14
噪声减少.....15
邻域滤波器.....15
平滑的线性滤波器.....16
Sigma 滤波器.....16
SUSAN 滤波器.....18
Bilateral 滤波器.....18
非局部方法(Non-Local means).....19
欧几里德(Euclidean norm)度量.....19
电影去噪.....19
光圈问题.....20
LMMSE.....20

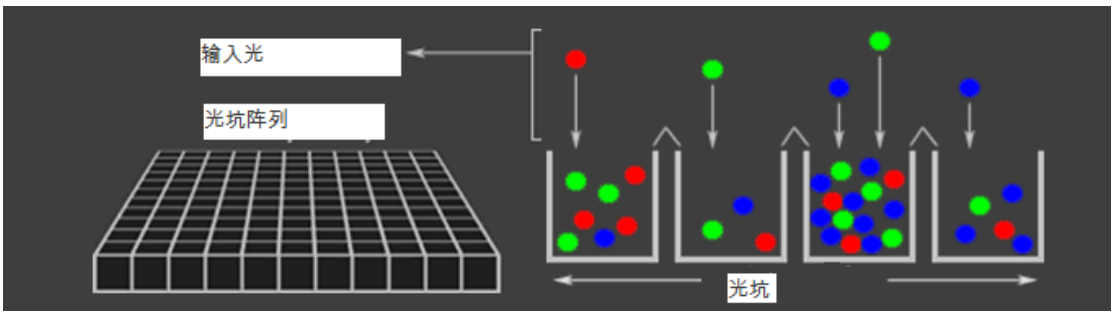
AWA 滤波器.....21
运动补偿中值滤波器.....21
运动补偿的维尔滤波器.....21
去噪算法性能的比较.....21
方法噪声.....21

噪声定义

图像噪声是由传感器、扫描仪电路或数码相机产生的图像的亮度或彩色随机变动。图像噪声也源自于胶片粒度和不变的量子检测器中的点噪声。
图像噪声通常被看作图像获取中不需要的成分。

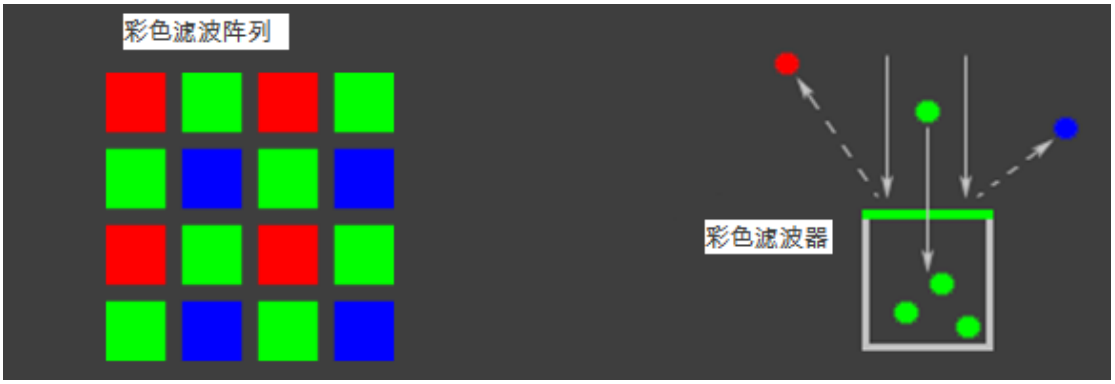
理解数码相机传感器

数码相机使用几百个微小像素的传感器阵列来产生最终的图像。在你按下相机快门的时候，曝光开始，每个这样的像素有一个像点其被打开来收集和存储光子到一个坑(cavity)中；一旦曝光结束，相机关闭这些光点并且尝试访问有多少光子在这些坑中。每个坑中相对光子的数量被分类为各种亮度级别，其精度由位深度决定（0-255 是 8 位图像）。

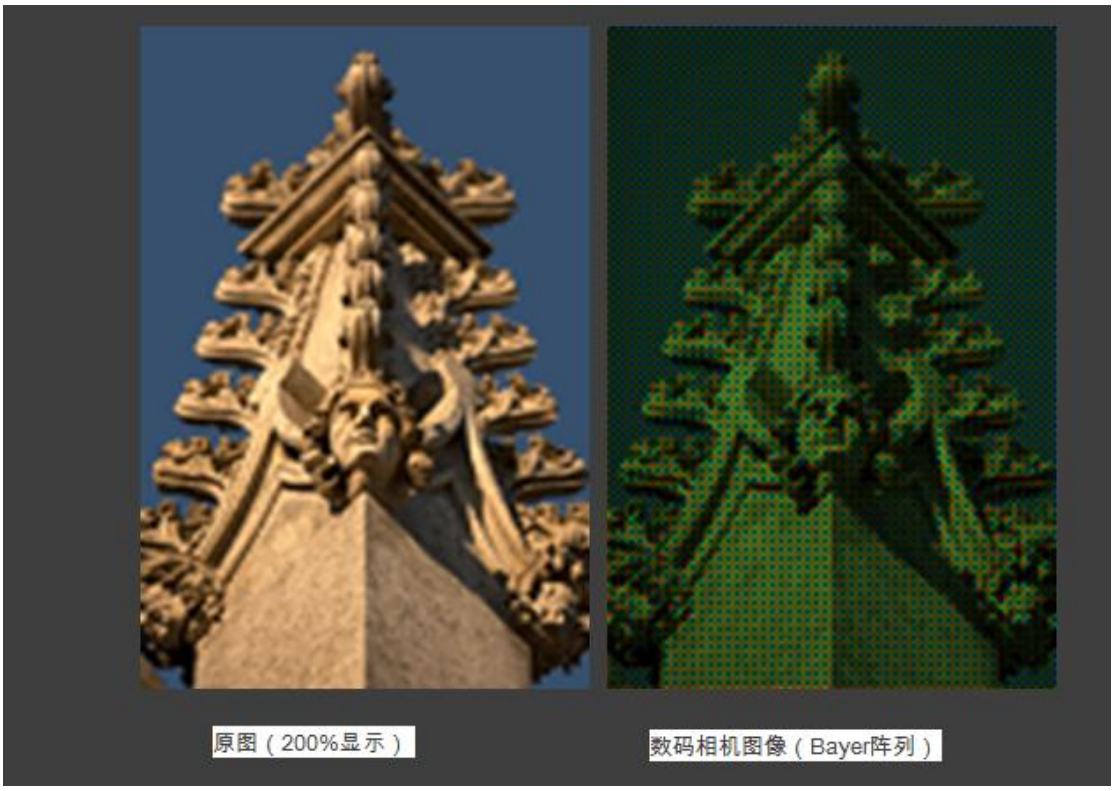


对于每个坑不能区分有多少颜色进来，因此上面的描述只能产生灰度图像。为了捕获彩色图

像，每个坑上必须有一个滤波器覆盖，滤波器的作用是允许光当中一部分的颜色进入。当下所有的数码相机都只能在每个坑捕获三个基本颜色的一个，并且会丢弃另外的 2/3 入射光。结果，相机不得不近似其他两个基本颜色来保证每个像素都有光裕所有三种颜色的信息。最通用的彩色滤波器阵列叫做 Bayer 阵列，如下所示：



Bayer 阵列由隔行的红绿和绿蓝滤波器组成。注意 Bayer 包含了两倍的绿色同红色或蓝色比较。每个主基色都不会收到总区域的相等部分，因为人眼对绿色比红色和蓝色要敏感。冗余的绿色像素会让图像更少噪声并且等多的细节；这也解释了为什么噪声在绿色通道比其他两基色通道要少。

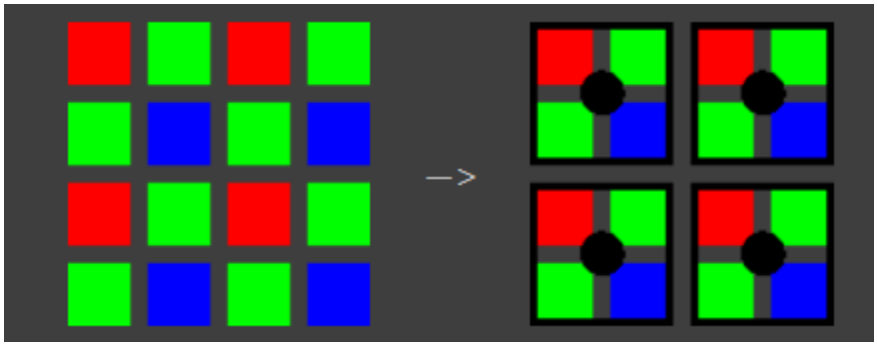


注意：

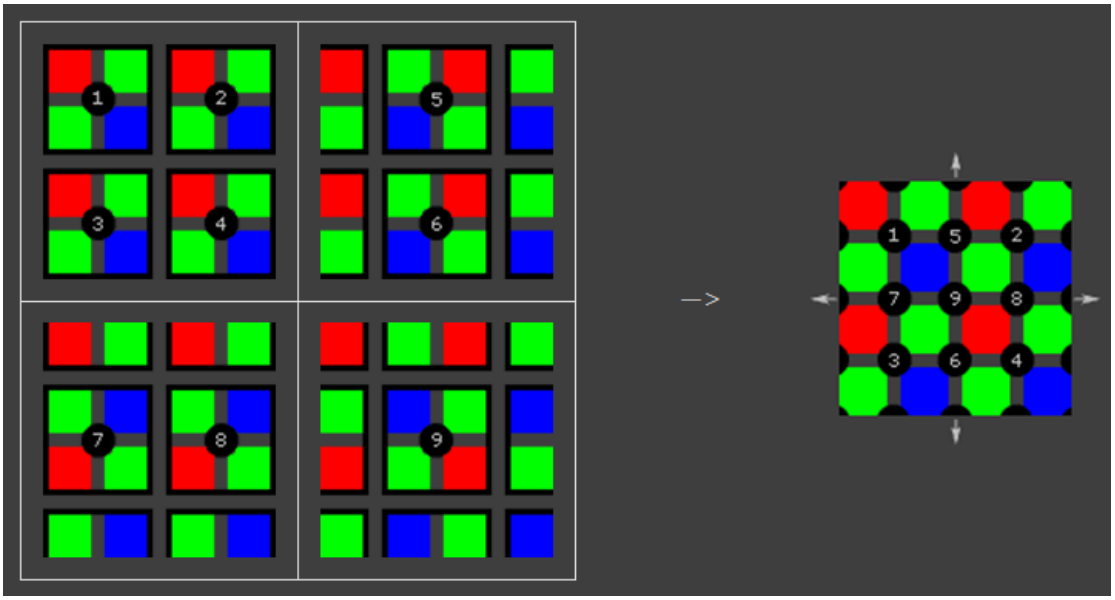
不是所有的数码相机使用 Bayer 阵列，然而到目前为止这是最通用的配置。在 Sigma SD9 和 SD10 中使用的 Foveon 传感器是在每个像素位置捕获所有三基色。Sony 相机按照相似的阵列来捕获四个颜色：红、绿、蓝和翡翠绿。

BAYER 去马赛克

Bayer 去马赛克是将这个 Bayer 阵列的基色转换到最终每个像素包含所有颜色信息图像的过程。如果相机不能直接测量所有颜色的话这个过程怎么做到？这个方法的一个理解就是将每个 2x2 的红绿和蓝的阵列作为一单个所有颜色的坑。



这个方法可行，不过大多数的相机会从这颜色阵列中抽取更多的图像信息。如果相机将 2x2 的数组看作是同一个位置，那么只能获得在水平和垂直方向上都一半的分辨率。另一方面，如果相机使用几个重叠的 2X2 数组来计算颜色，那么可能会得到更高的分辨率。下面的重叠 2x2 数组的合并可以被用来抽取更多的图像信息。

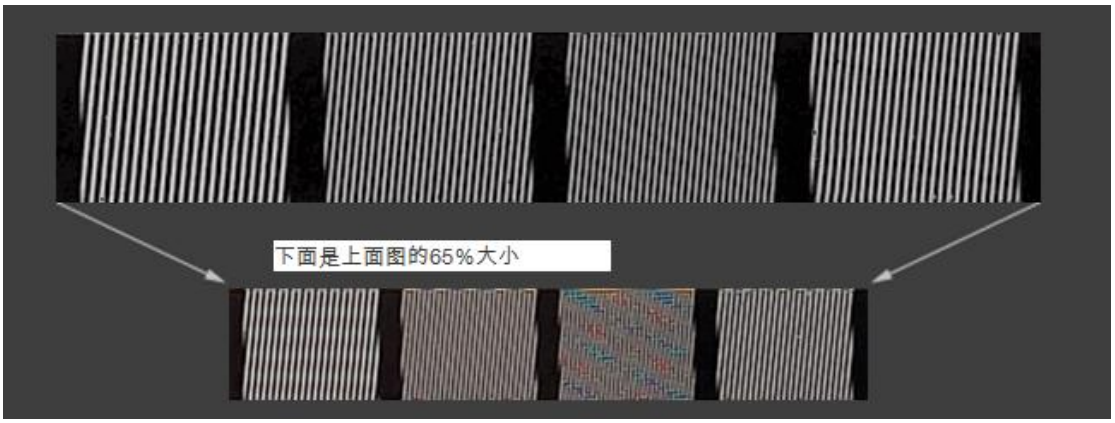


注意：
我们不为在边界的阵列计算图像信息，由于我们假定图像在每个方向都是连续的。如果这确实是坑阵列的边界，计算就不准确，主要是因为所有的边都没有像素了。这不是问题，对于几百万像素的相机来说每个边界的信息都可以被裁剪掉。
其他的存在的去马赛克方法抽取更多分辨率，产生较少噪声的图像或在每个位置都最好的近似到图像。

去马赛克的缺陷

图像在缩小细节接近数字传感器分辨率限制时能欺骗去马赛克算法－产生不真实的表现结

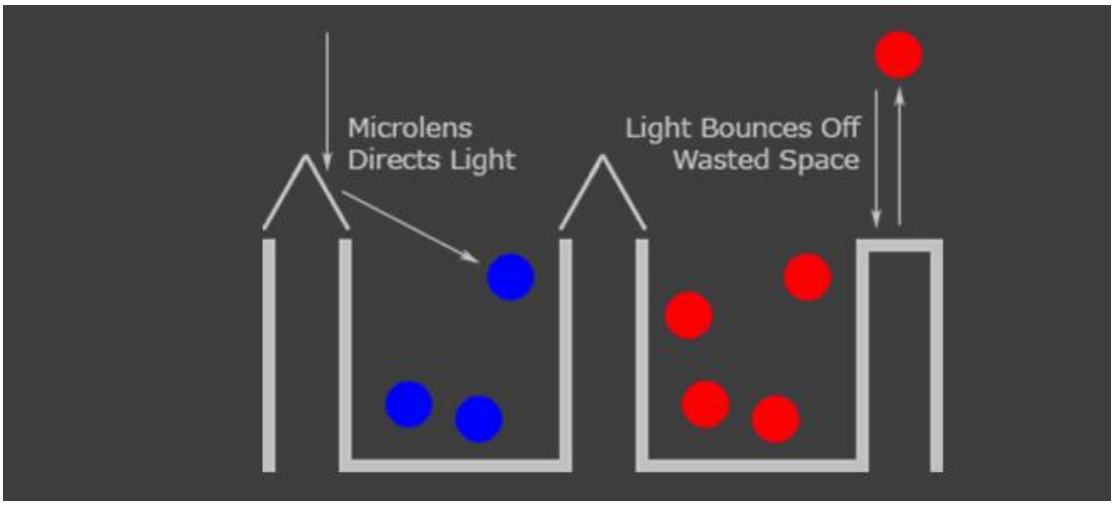
果。最通常的缺陷就是 moiré(发音 more-ay)，表现为重复模式、颜色缺陷或像素以不真实的迷宫样模式排列。



两个独立的图显示在上面（不同的比例）。注意 moiré 在所有四个底部正方形的表现，另外第一个图的第三个正方形。迷宫样的和颜色缺陷的两个问题都可以在下面的第三个正方形看到。这个缺陷取决于纹理的类型和采集相机 RAW 文件采用的软件。

显微镜阵列

让我们赶到奇怪的是第一个图中的图像传感器之间为什么不是彼此相连的。真实的数码相机传感器不会有这种覆盖整个传感器表面的光点。实际上，它们通常只是覆盖其中的一半，而中间有其他电器元件。坑和坑之间有一个尖峰其将光子导向到一个坑或另外一个。数码相机在每个光子的上面都包含显微镜来增强光的收集能力；这个棱镜是模拟漏斗，其将光子导向到光点（使用光子的）或者就不使用。



设计较好的显微镜能提高每个光点的光子信号并且在同样曝光的情况下产生较少噪声的图像。尽管由于超过百万像素挤在同样的传感器区域，相机厂商已经提高显微镜的设计来在最新的高分辨率相机中减少或维持噪声级别。

噪声种类

扩大噪声

扩大噪声的标准模型是加性的、高斯的和独立于像素的并且独立于像素和信号强度。最基本的是有 Johnson–Nyquist noise（热流噪声）组成，包括电容复位噪声(KTC)。在彩色摄像头针对蓝色光通道有更多的放大（相比较与绿色或红色通道），因此在蓝色通道上有更多的噪声。放大噪声是图像传感器的“读出”噪声的主要部分，也就是说图像黑区域的常噪声级别。

椒盐噪声

Fat-tail-distributed 或脉冲噪声有的时候叫做 salt-and-pepper 噪声或穗花噪声。
如果图像包含 salt-and-pepper 噪声，那么在明亮的地方会有黑像素并且暗的区域有亮像素。这种类型的噪声也叫做死像素，模拟到数字转换错误，转换位错误等。
这个可以通过使用 dark frame subtraction 和通过将黑、亮像素差值成周围像素来消除。

散粒噪声(起伏噪声)

来自图像传感器的图像中较亮部分的主要噪声通常是由统计量子波动造成，也就是在给定曝光级别的光子数量的变动，这个噪声也叫做的光子散粒噪声。散粒噪声有 RMS (root-mean-square 均方根) 值正比于图像亮度的平方根，并且不同像素的噪声是独立于另外一个像素。散粒噪声遵从 Poisson(泊松)分布，其通常是与高斯分布没有什么不同。
另外对于光子散粒噪声，也有来自黑暗泄露电流图像传感器的散粒噪声，这个噪声有个时候叫做“黑散粒噪声”或“暗电流散粒噪声”。暗电流在图像传感器的“热像素”处最大；热像素能被减去（使用暗帧减法），仅仅留下散粒噪声，或随机部分；如果 dark-frame 减法不能做到，或如果曝光时间足够长，那热点像素超过了线性电容的充电量，噪声就不仅仅是点

噪声了，并且热像素就看上去像 salt-and-pepper 噪声了。

量化噪声

由量化输入的噪声到离散级别叫做量化噪声，其近似统一分布，并且是信号依赖的，如果其他噪声源是达到足够导致抖动时时信号独立的。

模拟胶片噪声(Film Grain)

胶片的精细度是信号独立的噪声，与散粒噪声相关。也就是如果胶片粒度是统一分布（等于每个面积的数量），并且每个粒度有一个相等并且独立的概率来吸收光子，那么这样的黑粒度的数量就是随机的二项分布；如果某个区域的概率是低的，分布就接近泊松分布（散粒噪声），经管如此高斯分布足够表达这个模型。
胶片粒度通常看做是各向同性（非方向性的）的噪声源。

各向不同性噪声

有些噪声在图像中有显著的方向性，例如：图像传感器有的时候产生行噪声或列噪声。在电影中，划痕是非等方形的噪声。
典型的 Logitech Pro 9000 上的红色竖线。

数码相机噪声问题

在低光照的情况下，正确曝光要求使用长的快门速度、较高的粒度（敏感度）或两者都要。多数相机上，长快门速度导致椒盐噪声增加（漏电流）。以双倍读噪声方差的代价（41%增加到读噪声标准差），这个椒盐噪声能通过黑帧减法去除。
随着曝光的增加读噪声和散粒噪声的相对效果减少，对应的 ISO 敏感度增加，由于较少的光子被计数（散粒噪声）并且更多的信号放大是必要的。
图像传感器的大小或每像素传感器上光收集的效率是决定信噪比和明显噪声级别的最大信号级别。相同噪声级别的给定敏感度随着传感器区域逐渐伸缩；例如：由四三传感器产生的噪声级别在 ISO800 是基本等于由全帧传感器在 ISO3200（大概是这个区域的四倍），并且以 ISO100 时 1/2.5’’压缩相机传感器产生。这个

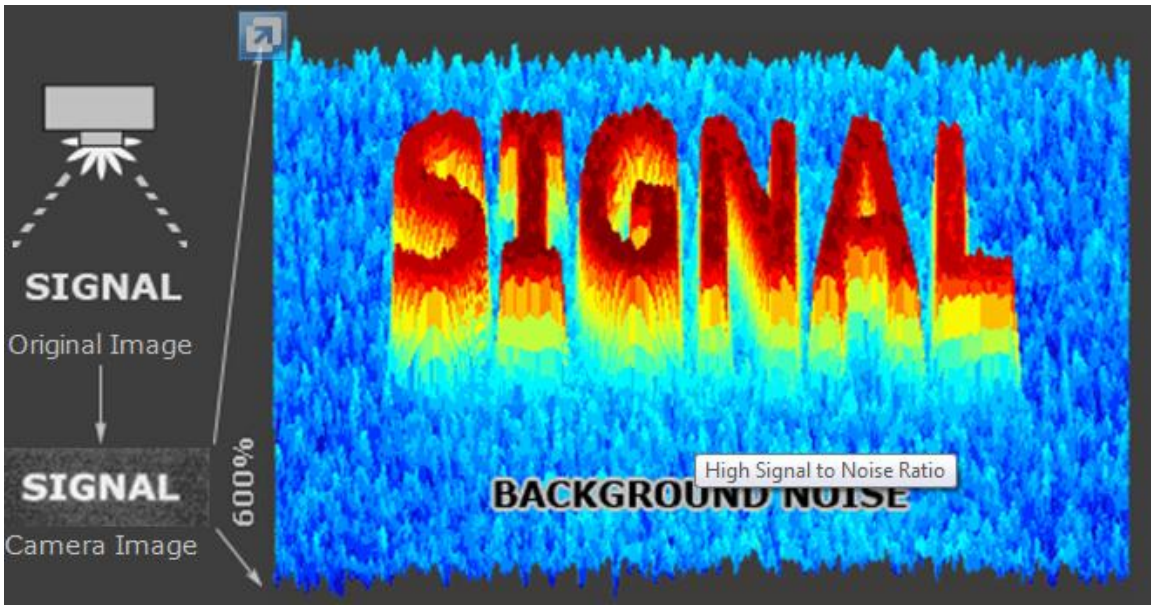
左边的是低光照曝光时间大于 10 秒；右边是光照足够并且曝光小于 0.1 秒

数码相机图像噪声

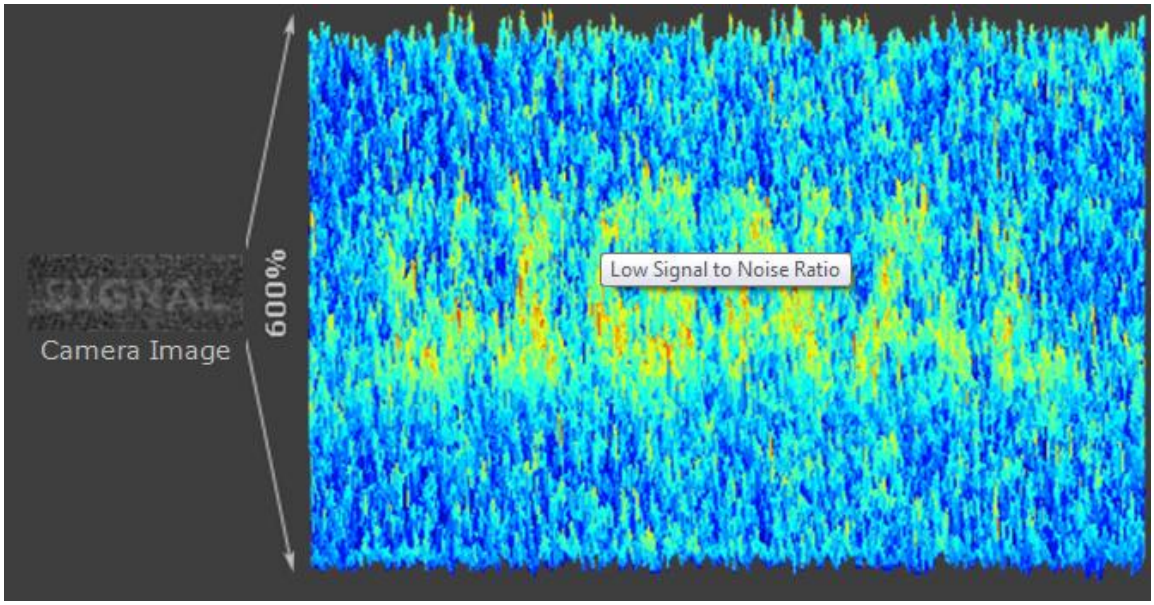
图像噪声是模拟相机的胶片粒度的数字等量；也可以认为是你将音量系统调到最大的时候带来的背景的吱吱声。对于数字图像这些噪声以随机的斑点出现在平滑的区域并且明显降低了图像的质量。尽管噪声通常会导致图像的质量下降，有的时候我们为了找回对早期胶片的回忆而提供一个风格。一些噪声可以增加图像的对比度。噪声随着相机的敏感度设置、曝光时间、温度甚至不同的相机而变化。

概念

有些噪声总是出现在任意转换和接收信号的电子设备上。对于电视，这个信号就是通过电缆传播的或天线接收的广播数据，对于数码相机，这个信号就是打到相机传感器上的光。尽管噪声是不可避免的，但可以相对于不存在噪声的信号变小。SNR（信噪比）是比较统一的非常有用的方法来度量任何电子系统的信号和噪声的数量；高比例会有少的噪声，而相反的比例就有多的噪声。下面显示的图像的序列是一个产生在平滑背景上产生 signal 这个单词的照相机；结果图像以放大的 3D 的表现显示在右边。



上面显示的图像有较高的 SNR 可以清晰的将图像从背景噪声中分离出来。如果一个较低的 SNR 的图像将很难分辨出原始信号，如下图所示。

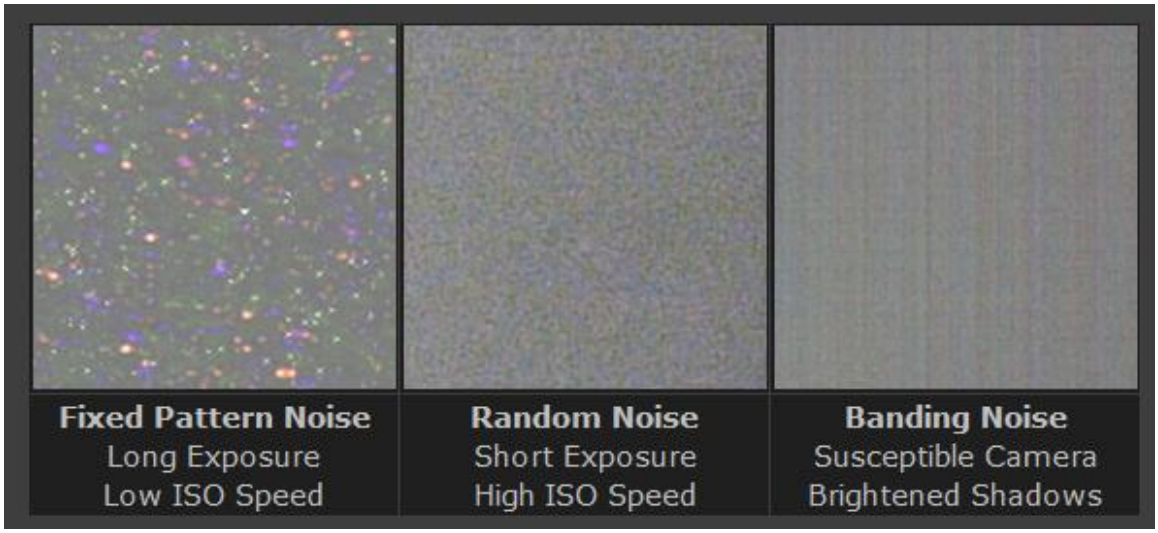


术语

相机的 ISO 设置或 ISO 速度是一个描述对光的绝对敏感度的标准。ISO 设置通常以 2 为因子的倍数，例如：ISO50、ISO100 和 ISO200，并且有更多值。较高的数字表示大的敏感度，两个 ISO 数字之间的比例表示他们的相对敏感度，就是说 ISO200 的图像如果设置到与 ISO100 是同样的曝光只要一半的时间（所有其他设置是相同的）。ISO 速度是与不同胶片的 ASA 速度相比拟的，然而单个的数码相机能以几个不同的 ISO 速度来捕获图像，这是通过在相机内放大图像的信号来完成，然而这也同时放大噪声，因此较高 ISO 速度将带来更多的噪声。

噪声类型

数码相机产生三种通用类型的噪声：随机噪声、固定模式噪声、和带状噪声。三个定性的例子如下显示，并且每个都呈现在平滑的灰度背景上：



随机噪声

主要是光照和色彩的强度在实际的图像强度上下波动。这个总是一些随机的噪声不管任何的曝光长度，并且受 ISO 的速度影响最大。随机噪声的模式即使在曝光设定相同的情况下也改变。

固定模式噪声

包括热像素，定义为一个像素的强度超过周围随机噪声波动太多。固定模式噪声通常是在非常长的曝光情况下出现，并且在高温时恶化。固定模式噪声在相同的条件（温度，曝光长度和 ISO 速度）下的分布是相同的唯一的。

带噪声

这种噪声是取决于相机，并且起从数字传感器上读数据而产生的。带噪声在高的 ISO 速度和阴影部分总容易看的见；或当一个图像超过亮度时。带噪声也是某种白平衡而增加，取决于相机型号。

尽管固定模式噪声看起来令人讨厌，但通常比较容易去除由于他的重复性。相机内部的电子不定知道这个模式并且从噪声图像中减去噪声来获得真图。固定模式噪声在新一代的数码相机中比随机模式噪声来说问题要小，然而即使微不足道的数量也为对随机噪声噪声干扰。

随机噪声通常是比较难以在不损失图像的情况下去除的。计算机对从精细纹理中挑出噪声不擅长，因此最终的结果是删除随机噪声的同时你通常也删除图像的纹理。有两个程度 Neat Image 和 Noise Ninja 都能很好的删除噪声并尽量保留细节。另外有一个图像平均的方法也可以用来减少噪声。
此噪声同前面的各向异性噪声。

CCD 设备的噪声模型

CCD 设备获取图像产生噪声的主要因素是光照程度和传感器温度。CCD 设备一般有三种噪声，分别是:

1. 散粒噪声－n0
2. 黑噪声-n1
3. 读出噪声：n2

散粒噪声

散粒噪声正比于在曝光时间内输入采集设备的光子数量的平方根：

$$n_0 = \sqrt{\frac{\Phi}{h\nu} t \cdot A \cdot \eta},$$

Φ是光能量（W/m2）,hv 光子能量(Ws)，t 是秒为单位的曝光时间,A 是像素描述（m2），η是量子功率.可以简化为 $n_0 = C\sqrt{\phi}$；ϕ是真图像,C 是一个常量。

图 1：仿真散粒噪声。左边：原始图像 u；右边是噪声图像$\sqrt{u}n$，这里 n 是 0 均值的白噪声，标准差是σ =1。可以看到亮出的噪声比暗处的噪声大，其也是 Gamma 矫正有的时候是翻转的结果。

黑噪声或 obscurity noise

由于图像采集设备自己添加的伪造光子噪声的；可以假定其是 0 均值的白加性噪声。零均值的特性可以通过从原始图像减去黑帧得到。黑帧可以通过长时间的平均黑噪声得到。

黑帧减法

在数字图像中，黑帧减法是很好的方法来最小化通过长曝光时间得到的图像的噪声。其利用图像噪声的分量（叫做固定模式噪声），其在不同的拍摄中是相同的，噪声来自传感器，死噪声或热像素。其通过关闭快门来拍照得到。

黑帧是通过在黑暗中的传感器得到的图像，本质上是一个图像传感器的图像噪声。黑帧或几个黑帧的平均可以从连续的图像中减去来更正固定模式噪声例如由黑电流造成的。黑帧减法在科学图像中已经有一点时间了；许多电子消费者自动完成。
可见的固定模式噪声通常是由热像素噪声，像素传感器带有超过正常的黑电流。长曝光，他们是亮的像素，CCD 上的传感器总是以较亮的像素出现，叫做 stuck 像素，而在长时间曝光后才变量的叫做热像素。
黑帧减法技术也用在数字照相测量法中，来提高卫星云图的对比度。

读出噪声

读出噪声是另外一种电子加性和信号独立的噪声。这种噪声可以通过减去 Bias 帧来有 0 均值的假设。

Bias 帧

在数字图像中，Bias 帧是通过没有曝光时间的光电传感器得到；图像仅仅包含噪声。Bias 帧是黑帧的补偿。

Gamma 矫正后的噪声模型

一般的数字图像在最终显示的时候都需要经过 Gamma 矫正，其主要的目的是增加对比度；也就是让图像中最亮的部分和最暗部分之间的梯度表现的更合理；因此加上上面的噪声模型，最终可以得到输入图像的模型：

$$u(i) = g(\Phi(i) + c\sqrt{\Phi(i)}\ n0(i) + n1(i) + n2(i)),$$

这里 $u(i)$是观察到的 i 点的像素能量；而 $\Phi(i)$是真正的像素平均光强；后面三个分别是前面对应的三种噪声。通常 $g(s) = s^a$;并且 $0<a<1$.
如果 $\Phi(i)$足够大，那么散粒噪声将占主导作用，那么上面的表达式可以修改为：

$$u(i) \approx g(\Phi(i)) + g'(\Phi(i))(C\sqrt{\Phi(i)} * n0(i) + n1(i) + n2(i))$$

=: $g(\Phi(i)) + n(i)$.
如果 $\Phi(i)$相对于 n1+n2 来说很小，那么有：
$n(i) \approx u(i) \approx g(n1(i) + n2(i))$
如果 g(s) = s1/2,那么噪声 n(i)为：

$$n(i) \approx \begin{cases} n_0(i) & -\text{图像亮区域} \\ \sqrt{n_1(i) + n_2(i)} & -\text{取向暗区域} \end{cases}$$

Note:
在所有的情况下，噪声是信号依赖的但每个像素又是独立的。

猜测 1

在数字图像中，每个像素 i 的噪声模型取决于原始像素值 Φ(i)并且是加性的；

J(i)是和 i 有相同源的像素的集合，那么 n(j)，j J(i)是独立同分布的。

上面的猜测不能直接使用，因为原始像素值不知道；挑战是找到 J(i)。最简单的想法是假定所有的像素有相同的观察值 u(i)有相同的噪声模型。更复杂的猜测 1 的使用如下：

对于一个图像的给定像素，检查所有相同模型的的像素。

通过猜测 1 每个 J(i)中的 J 遵从模型 u(j) = v(i) + n(j),这里的 n(j)是独立同分布的；那么使用下面的方式来去噪就是合理的了：

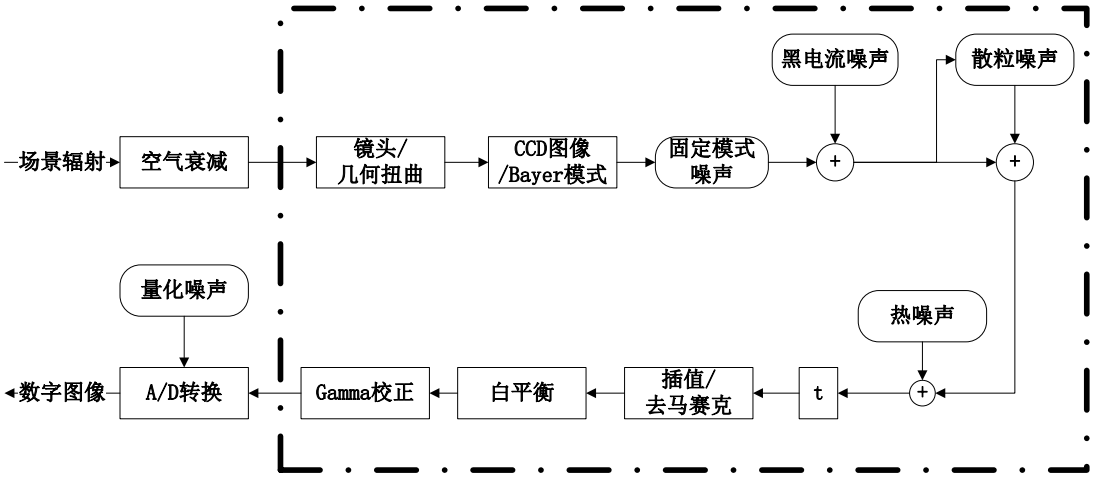
$$NFu(i) = \frac{1}{|J(i)|} * \sum_{j \in J(i)} u(j)$$

根据1独立变量的方差公式得到：
NFu(i) = v(i) + n'(i)
而Var(n'(i)) = 1/|J(i)| * Var(n(i)

由上式可以得到，如果有9个相同颜色的像素加上不相关的噪声被平均的话，那么噪声就被除3.按照这种方法处理的算法被称作领域滤波器。

CCD 图像获取流程

在 CCD 图像的获取流程上，噪声其实不能假定是单一的加性、0 均值的噪声，参加下图：



从上图可以看到的噪声包括：

1. 固定模式噪声；非加性的
2. 黑电流噪声；加性的
3. 散粒噪声：加性或非加性
4. 热噪声：加性的
5. 量化噪声：非加性的

噪声减少

大多数从相机或计算机将图像传感器数据转换到图像的算法都设计一些形式的噪声减少。这个方面有许多程序，但所有都尝试判定像素质是噪声还是真正的图像细节，并且平均噪声。然而，没有算法能执行完美的判断，因此常常是在噪声删除和细节保留之间的权衡，低对比细节可能有与噪声相似的特性。许多摄像头有设置来控制输入摄像头噪声的减少。

噪声和细节的判定可以通过源图像的特点和人类视觉的特性来辅助判定。多数噪声减少算法都在色度上执行的非常多，由于色度细节的丢失不是特别重要。此外，许多人发现亮度噪声通过很难能眼睛看到，主要由于纹理表面看上去像模拟胶片噪声。

给定摄像头的高敏感度图像质量取决于噪声减少算法的好坏。由于噪声级别随着 ISO 敏感度的增加而增加，大多数摄像头制造商都在高敏感度的情况下主动增加噪声减少算法。这导致高敏感度下的图像质量以两种方式损坏：噪声级别增加和细节被平滑。

下面讨论的噪声去除方法都是将噪声假定成高频信号，采用低通滤波类似的方法来保留低频信号，当然方法在针对高频信号处理方面有许多不同。

各向同性和各向异性去噪

邻域滤波器

邻域滤波器是针对图像和视频的滤波器；其能通过平均相似像素的来减少噪声。通常 CCD 噪声模型提示数字图像和视频中的噪声是信号依赖的；幸运的是对于同样能量的两个像素会受到同样程度的污染从而有同样的噪声模型。通常的假定是同样能量级别的噪声模型是加性的并且是白噪声，去噪可以通过首先找到相似源能量的像素然后平均观察值来进行。
邻域滤波器通过将 i 的灰度值 u(i)替换为:

$$NFu\ (i) = \frac{1}{|J(i)|} * \sum_{j \in J(i)} u(j)$$

取决于噪声模型而不是统计估计当然可能是中值。
这里的假定是 j∈J(i)接收同 i 像素一样的源能量；NFu(i)是去噪以后的 u(i)。
最著名的邻域去噪算法有:sigma 滤波器， SUSAN 和 bilateral 滤波器。

平滑的线性滤波器

Sigma 滤波器

Sigma 滤波器是克服空间简单平滑滤波器的缺点：将邻近但相差很大的像素来平均得到滤波的效果。
Sigma 滤波器设定一个偏差，只有与当前像素在这个范围内的像素才会被用作去噪的平均；这个值就是 sigma.

Sigma 核

Sigma 滤波器的核由 r（半径）来决定；r 的取值可以是 0.5,1,1.5,2 等。
r=0.5 的时候是当前像素的 4 邻域，如下：

	x	
x	x	x
	x	

真正半径 R= 1
r=1 的时候是当前像素的 8 邻域，如下：

x	x	x
x	x	x
x	x	x

真正半径 R= 1

r=1.5 的时候，如下：

		x		
	x	x	x	
x	x	x	x	x
	x	x	x	
		x		

真正半径 R= 2
r=2 的时候，如下：

	x	x	x	
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
	x	x	x	

真正半径 R= 2
r=2.5 的时候，如下：

			x			
	x	x	x	x	x	
	x	x	x	x	x	
x	x	x	x	x	x	x
	x	x	x	x	x	
	x	x	x	x	x	
			x			

真正半径 R= 3
如果 R<2 被认为是小核的模板。

主要参数

核半径 r: 正如上节所示
Sigma: 阈值，用来选择进行平均滤波像素需要的值。Sigma 取 1 和 2 能保留更多的细节。否则就和普通的平滑滤波器一样的效果。
核像素数(KNPoint): 在 Sigma 核模板中的像素数量
MinPixelFraction: 一个百分比，表示 KNPoint 中多少个像素在 Sigma 范围内，就可以用其来进行去噪。一般取 0.2，越大噪声去除越明显，但边界也会被平滑。

算法细节

1. 根据 MinPixelFraction 和 KNPoint 计算有效像素数
   nMinPixelNumber = KNPoint*MinPixelFraction
2. 计算模板内所有像素的和已经平方和；并计算均值
3. 计算模板的整体方差：平方和/KNPoint – 平均值的平方
4. 根据 Sigma 和方差计算 SigmaRange, SigmaRange= Sigma*sqrt(方差)
5. 根据平均值算出 SigmaTop(上限)和 SigmaBottom(下限)
6. 再次遍历核中的像素，统计 SigmaRange 内的像素数量和它们的和
7. 如果满足条件的像素数比 nMinPixelNumber 大，那么滤波后的结果就是这些 SigmaRange 内的像素的平均值
8. 否则有两种情况
   a) 去前面所有像素的平均值
   b) 将当前像素排除，去其他所有像素的平均值

SUSAN 滤波器

SUSAN 去噪滤波器和其他存在的滤波器一样，通过平均中心像素周围满足某个区域的相邻像素来去噪，并可以保留图像细节。
http://users.fmrib.ox.ac.uk/~steve/susan/susan/node18.html

Bilateral 滤波器

http://user.cs.tu-berlin.de/~eitz/bilateral_filtering/

拉普拉斯去噪

拉普拉斯是二阶微分，其对噪声点上响应较一阶微分更强烈；同样它对边界也有响应；不过可以观察到其对边界的响应要大于噪声响应，因此可以设定一个阈值只对小于阈值的像素进行去噪处理。
优点：可以保留原始图像边界细节
缺点：阈值的选择是一个难题；另外其对较强的噪声只能减小，不能根除。

拉普拉斯算子

算法细节

基于偏微分方程的图像去噪方法

非局部方法(Non-Local means)

非局部方法是邻域滤波器方法的扩展，缩写为 NL-means.这个算法定义 i 的邻域 J(i)通过这样的条件：

如果 j 周围窗口的灰度值接近 i 周围窗口灰度值，那么 j∈J(i)

显然空间的限制松散了。

NL-means 可以给出两个起始点，不像通常的邻域滤波器。同样的马尔可夫相似模型被用在一个对后来有巨大影响的文章中（Efros and Leung 1999），其从一个纹理样本来做纹理整合。在这种情况下，邻域 J(i)不用作去噪；其目的是从纹理样本估计 i 的规则;这个规则通过迭代来整合图像中相似的纹理。

Image Denoising with the Non-local Means Algorithm
http://pages.cs.wisc.edu/~evanswes/cs766report.doc

对于给定像素最相似的像素不一定是邻近的。考虑一下周期模式或大多数图像的延长边界。NL-means 算法扫描图像的大部分来搜索与待恢复像素相似的部分。相似性是通过每个像素周围的整个窗口比较来完成的，并不仅仅是像素自己。NL-means 方法对于文字去噪有更好的效果，因为文字或字符的联合通常比较图像来说更容易重复。NL-means 的一个限制是删除了高结构的噪声，例如：JPEG 压缩图像。其删除了块效应的同时也去除了细节。

一个简单的 NL-means 版本就是平均其灰度级别窗口在指定阈值的范围内的像素。窗口比较是通过它们之间差的欧几里德(Euclidean norm)度量来进行的。实际上噪声样本是局部 IID 并且是 0 均值

欧几里德(Euclidean norm)度量

欧几里得度量定义欧几里得空间中，点 x = (x1,...,xn) 和 y = (y1,...,yn) 之间的距离为:

$$d(x,y) := \sqrt{(x_1-y_1)^2+(x_2-y_2)^2+\cdots+(x_n-y_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^2}$$

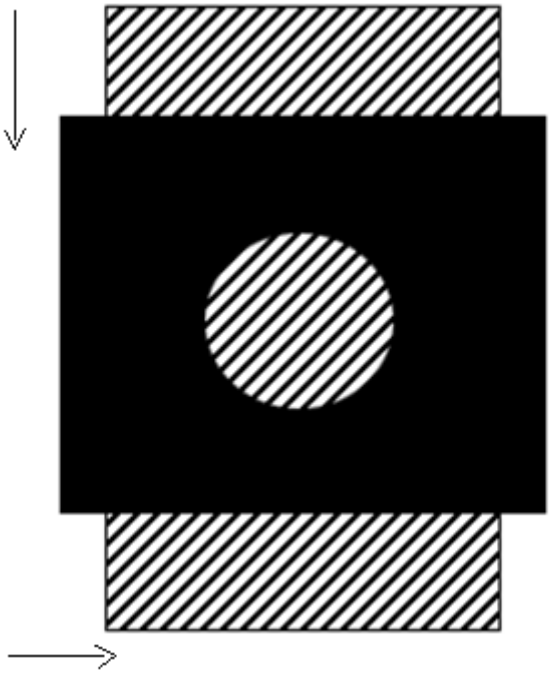
电影去噪

大多数的艺术电影的去噪方法是邻域滤波器并且它们中的某些一定意义上将是 NL-means 滤

波器。实际上，运动补偿算法是查找时间上的邻居 J(i)、轨迹然后是平均处理。基于 ***Lambertian 假设***，属于某个物体的像素在其运动轨迹上保留相同的灰度值。因此这个被算作 i 灰度值邻域。灰度值的比较不是充分标准，难点是光圈问题。因此几个运动补偿滤波器涉及了块匹配。通过比较 j 周围的整个块到 i 周围的整个块来构建 J(i)。
所有的这些电影去噪算法都是从每帧中选一个像素到邻域 J(i)。这个限制有的时候是起反作用的。实际上视频去噪滤波器的性能可以通过忘记运动轨迹而使用空时间相似的像素来显著提高，不管每帧选多少像素。这样的话，NL-means 将所有的视频看作是图像的集合，而不是图像序列。这个联合的时间顺序是不相关的。光圈问题导致每个像素有多个样本存在，有那次增加了非局部方法的性能。

光圈问题

光圈问题是由 1D 的简单条带模式通过一个光圈运动而产生的运动方向不明确造成的。



如上图所示

Note:
其实在运动估计中，其代表在参考帧中找到多个块其与当前帧的给定块相似；这增加了搜索的复杂度。

LMMSE

Samy and Sezan

AWA 滤波器

Ozkan

运动补偿中值滤波器

Huang and Martinez

运动补偿的维尔滤波器

Kokaram

去噪算法性能的比较

各种去噪方法的系统比较是需要的，而在没有正式比较准则情况下针对不同的原则的方法来比较却做不到。可视化的在去噪和噪声图像之间的比较式主观的。添加噪声通常又是不现实的，其噪声一般是白统一分布的噪声有大的方差。这些比较方法依赖于图像的选择并且不能解释主要的问题：人工添加和噪声中图像结构的损失。
这里有三个客观上的评价准则。

方法噪声

在原始图像和滤波后的图像之间的差值表示的是算法删除的“噪声”。这个差值叫做“方法噪声”。原则上方法噪声应该看起来象噪声；否则方法噪声可以被再次滤波并且其确定性的部分被翻回到图像。***如果噪声的标准差比细节对比高的时候方法噪声的视觉探究是不可靠的***。图像细节可能被标记为方法噪声。因此去噪算法的评估不应该依赖于将标准差大于 5 的白噪声添加到原来图像的试验结果。最好的方法就是不添加噪声。

【定义】
假定 u 是图像（不一定是噪声的），并且 D_h 是去噪操作算子取决于 h。u 的方法噪声定义为图像差值：
: $n(D_h, u) = u - D_h(u)$
【定理】
对于每个去噪算法，没有噪声的图像其方法噪声是 0，并且方法噪声是一个独立 0 均值随机变量的图像。

噪声到噪声原则

将噪声从高方差的随机变量转换到低方差的随机变量。

统计最优性