

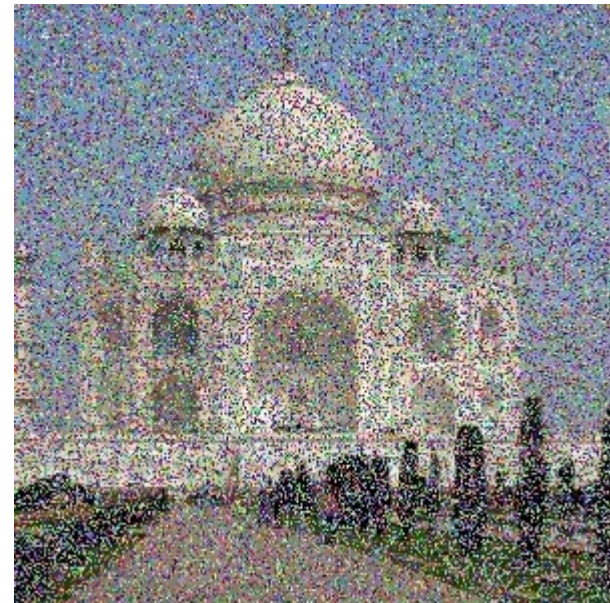
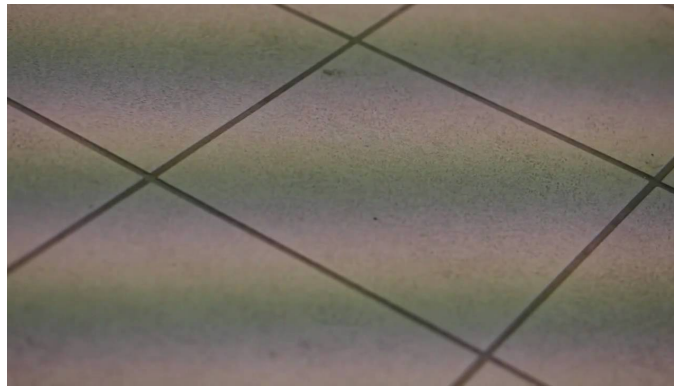
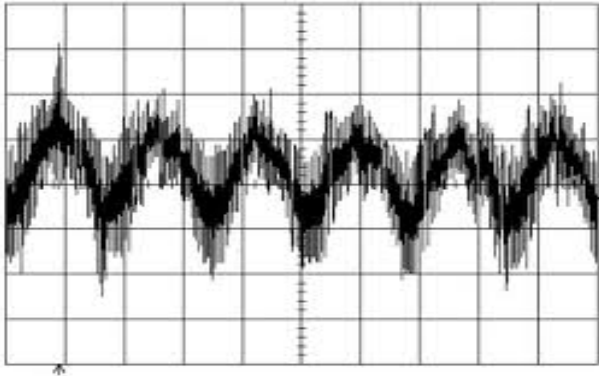


4. Ruído

Signal-to-Noise Ratio (SNR). Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR). Modelos de ruído aleatório (uniforme, gaussiano, impulsivo e multiplicativo). Padrão fixo. Banding. Blur.

Ruído

- Num equipamento electrónico que transmite, ou recebe um sinal, está sempre presente um certo grau de ruído.



Ruído

Em processamento digital de imagem, o termo “ruído” refere-se sobretudo a flutuações aleatórias no valor do tom de cinzento devido a perturbações ocorridas no processo de aquisição da imagem. No caso das câmaras digitais, o sinal consiste na luz que atinge o sensor nela instalado.

Apesar de, no processo de aquisição de imagem, a existência de ruído ser inevitável, pode ser de tal forma diminuto que aparente ser inexistente, quando comparado com o sinal captado.

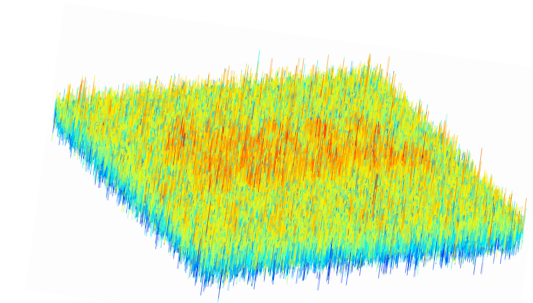
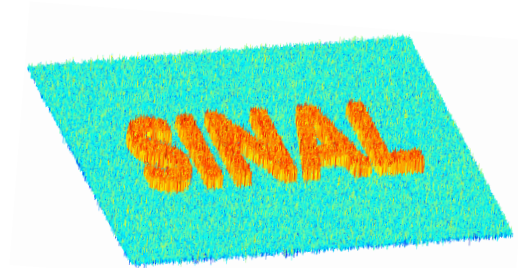
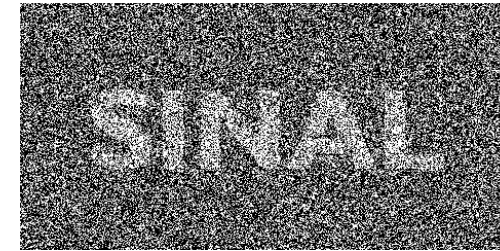
Signal-to-Noise Ratio (SNR)

O conceito de “**Signal to Noise Ratio (SNR)**” (proporção Sinal-Ruído) é um indicador útil e universal de comparação das quantidades relativas de sinal e ruído existentes num sistema electrónico de aquisição de dados.

Proporções elevadas corresponderão à baixa existência de ruído visível, enquanto que baixas proporções corresponderão a existência significativa de ruído na imagem.

A sequência de imagens seguinte mostra representações 2D e 3D de uma imagem contendo a palavra SINAL, um pouco degradada (esquerda) e outra bastante mais degradada (direita).

Signal-to-Noise Ratio (SNR)



A imagem da esquerda tem um SNR suficientemente alto para que a informação importante possa ser claramente separada do fundo de ruído. Por outro lado, à direita, um baixo SNR corresponderá a uma imagem onde o sinal e o ruído serão mais comparáveis e, como tal, difíceis de separar.

Signal-to-Noise Ratio (SNR)

O SNR é usado para quantificar de quanto um sinal, obtido por um dispositivo electrónico, está corrompido por ruído, por comparação com a intensidade do sinal.

O SNR pode ter diversas definições. Começemos por associar a quantidade de ruído ao valor do seu desvio padrão s_n .

A caracterização do sinal z pode ser feita de várias formas. Se o intervalo de representação do sinal é conhecido (sinal limitado), $z_{min} \leq z \leq z_{max}$, então o SNR é definido como,

$$SNR_{dB} = 10 \times \log_{10} \left[\frac{(z_{max} - z_{min})^2}{s_n^2} \right] = 20 \times \log_{10} \left[\frac{z_{max} - z_{min}}{s_n} \right] (dB)$$

Signal-to-Noise Ratio (SNR)

Se não se sabe o intervalo de valores do sinal, mas conhece-se a sua distribuição estatística (sinal estocástico), então são estabelecidas duas outras definições para o SNR (m_z = média do sinal e s_z = desvio padrão do sinal):

$$SNR_1 = 20 \times \log_{10} \left[\frac{m_z}{s_n} \right] (dB)$$

(Sinal e Ruído inter-dependentes)

$$SNR_2 = 20 \times \log_{10} \left[\frac{s_z}{s_n} \right] (dB)$$

(Sinal e Ruído independentes)

Critério de Rose (Albert Rose): este critério estipula que um SNR de pelo menos 5 dB é necessário para que se possa distinguir os objectos de uma imagem com uma certeza de 100%. Um valor inferior significa uma certeza menor que 100% na identificação dos detalhes de uma imagem.

Signal-to-Noise Ratio (SNR)

Considere-se a imagem abaixo. O valor do SNR (= 11.5 dB) pela expressão SNR_0, não é realista, se obtido a partir dos dados globais da imagem. O valor do desvio padrão $s_n = 49.5$ não se deve a ruído, mas sim às variações de intensidade de várias regiões distintas.

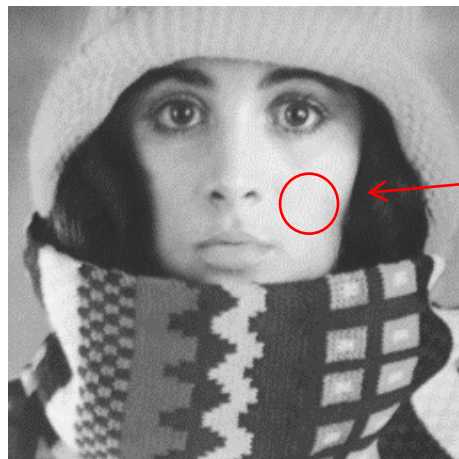


Estatística	Imagem
Média	137.7
Desvio padrão	49.5
Mínimo	56
Mediana	141
Máximo	241
Moda	62
SNR	NA

Recorrendo a regiões de interesse (ROI) estima-se um SNR mais realista.

Signal-to-Noise Ratio (SNR)

Selecciona-se uma ROI na imagem e determina-se o valor de s_{nROI} (= 4.0). Calcula-se o intervalo dinâmico de representação dos níveis de cinzento da imagem (= 241-56). O valor do SNR₀ é então igual a 33.3 dB. Os pressupostos para este cálculo são os de (1) considerar que o sinal é aproximadamente constante na ROI e (2) mantém-se semelhante para outras ROIs da imagem. O desvio padrão é dado por $s_n = S_{nROI}$.



ROI

Estatística	Imagem	ROI
Média	137.7	219.3
Desvio padrão	49.5	4
Mínimo	56	202
Mediana	141	220
Máximo	241	226
Moda	62	220
SNR	NA	33.3



Peak to Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

O termo PSNR é uma expressão para a razão entre a intensidade máxima possível de um sinal e a intensidade do ruído que afecta a qualidade de representação desse sinal.

Devido ao facto de muitos sinais digitais terem um intervalo dinâmico de representação bastante grande (razão entre o valor mais alto e o valor mais baixo de uma determinada quantidade variável), o PSNR é também expresso em termos de uma escala logarítmica, ou seja em decibéis.

O realce ou melhoramento da qualidade visual de uma imagem pode ser um facto subjectivo. Dizer que um dado método proporciona uma melhor qualidade visual varia de pessoa para pessoa.

Peak to Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

Por esta razão, é necessário estabelecer medidas quantitativas/empíricas para comparar os efeitos dos algoritmos de melhoramento da qualidade visual das imagens.

Usando um mesmo conjunto de imagens teste, podem ser sistematicamente testados e comparados diferentes tipos de algoritmos de melhoramento das imagens, para se identificar qual deles produz melhores resultados.

Por intermédio do indicador PSNR, pode-se aferir se um certo algoritmo ou conjunto de algoritmos, quando aplicados a uma imagem degradada, resulta ou não numa imagem mais próxima da imagem não degradada.

Peak to Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

Dada uma imagem monocromática A ($m \times n$) sem ruído e uma imagem K correspondente a A corrompida com ruído, o Erro Médio Quadrático (EMQ) é definido como:

$$EMQ = \frac{1}{m \times n} \times \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [A(i, j) - K(i, j)]^2$$

O PSNR é dado por:

$$\begin{aligned} PSNR &= 10 \times \log_{10} \left[\frac{(\max(A))^2}{EMQ} \right] = 20 \times \log_{10} \left[\frac{\max(A)}{\sqrt{EMQ}} \right] = \\ &= 20 \times \log_{10} [\max(A)] - 20 \times \log_{10} [\sqrt{EMQ}] = \\ &= 20 \times \log_{10} [\max(A)] - 10 \times \log_{10} [EMQ] \end{aligned}$$

Peak to Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

- Exemplo:

Inicial



Salt&Pepper programado



$EMQ = 414.1$
 $PSNR = 21.9 \text{ dB}$

Salt&Pepper programado



$EMQ = 2098.7$
 $PSNR = 14.9 \text{ dB}$

Modelos de ruído aleatório

- A caracterização do ruído agrupa-se, de forma geral, em duas classes distintas:

Ruído independente: É frequentemente descrito por um modelo de ruído aditivo, onde a imagem registada $s(x,y)$ é a soma da imagem verdadeira $f(x,y)$ com o ruído $r(x,y)$.

$$s(x, y) = f(x, y) + r(x, y)$$

Ruído dependente: Está correlacionado com o conteúdo da imagem original. Os modelos deste tipo de ruído são multiplicativos, ou não-lineares. São modelos matematicamente mais complicados de elaborar e, por isso, o ruído é, sempre que possível, assumido como sendo independente do conteúdo da imagem.

Modelos de ruído aleatório

O ruído pode ser caracterizado pela sua probabilidade de ocorrência em cada pixel da imagem. Isso é dado pela **Função Densidade de Probabilidade** (FDP) (*Probability Density Function*).

É o tipo de ruído mais difícil de eliminar por não se prever onde pode ocorrer. É necessário recorrer à aprendizagem e descrição posteriores do modelo aleatório que melhor se adequa ao ruído.

Certos pacotes de software de processamento de imagem contêm operadores para adicionar ruído artificial a uma imagem. Corromper uma imagem com ruído permite testar a resistência de um determinado operador de processamento de imagem ao ruído e avaliar o desempenho de determinados filtros.

Modelos de ruído aleatório

Exemplos de algoritmos para a estimação do ruído:

- Realização de uma filtragem prévia, a partir da qual se obtém a variância do ruído através da diferença entre a imagem original e a imagem filtrada (naturalmente, as características do filtro utilizado influenciam o resultado que se irá obter).
- Cálculo da variância do ruído baseando-se no valor médio e na respectiva variância de blocos da imagem original.

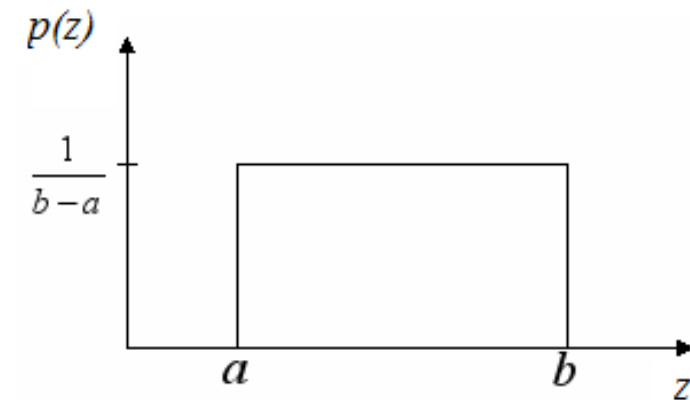
Modelos de ruído aleatório

Ruído Uniforme: Gerado a partir de uma FDP uniforme.

$$r(x, y) = a + (b - a) \times \text{aleatório}$$

$$0 \leq \text{aleatório} \leq 1$$

$$PDF = p(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & \text{se } a \leq z \leq b \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

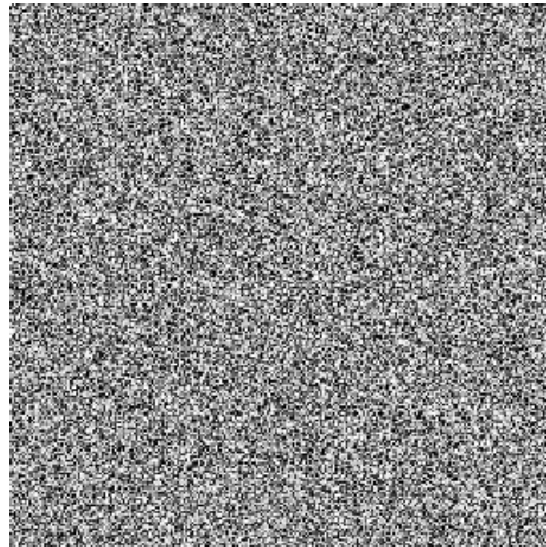


Modelos de ruído aleatório

Exemplo de ruído uniforme:



$f(x,y)$



Ruído uniforme $r(x,y)$



Imagem $s(x,y)$ com ruído uniforme

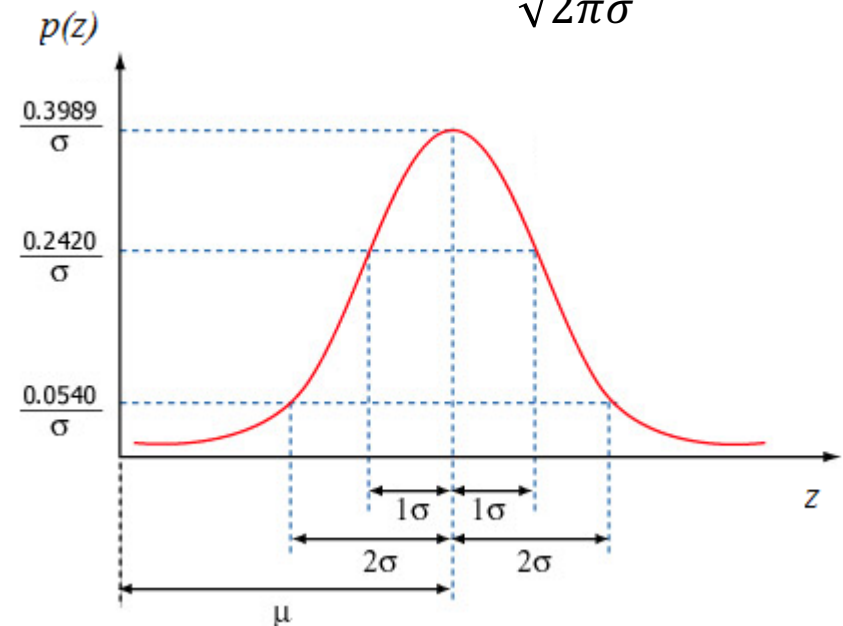
Modelos de ruído aleatório

Ruído Gaussiano: Gerado a partir de uma FDP gaussiana de média μ e desvio padrão σ . O valor de σ controla a “concentração” do ruído em torno da média μ .

$$r(x, y) = \sigma \times \text{aleatório} + \mu$$

$$0 \leq \text{aleatório} \leq 1$$

$$PDF = p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$



Modelos de ruído aleatório

Exemplo de ruído gaussiano numa imagem:

$$s(x, y) = f(x, y) + r(x, y)$$



$f(x,y)$



$s(x,y)$, com ruído gaussiano ($\sigma^2 = 0.01$)



$s(x,y)$, com ruído gaussiano $\sigma^2 = 0.05$



Modelos de ruído aleatório

Ruído Impulsivo (*Salt-and-Pepper*): Gerado com base em uma FDP uniforme discreta.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Se aleatório} < \frac{D}{2}, \text{ então } r(x, y) = 0 \\ \text{Se } \frac{D}{2} \leq \text{aleatório} < D, \text{ então } r(x, y) = 255 \end{array} \right.$$

$$0 \leq \text{aleatório} \leq 1$$

D: Densidade

$$PDF = p(z) = \begin{cases} P_a, \text{ se } z = a \\ P_b, \text{ se } z = b \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$$

Modelos de ruído aleatório

Exemplo de ruído impulsivo numa imagem:



$f(x,y)$



$s(x,y)$ com ruído Salt-and-Pepper
(Densidade = 0,02)

Modelos de ruído aleatório

Ruído multiplicativo (*Speckle*): Modelo de ruído não linear em que $s(x,y)$ é a imagem degradada e $f(x,y)$ é a imagem inicial; $u(x,y)$ e $\varphi(x,y)$ são respectivamente as componentes multiplicativa e aditiva do ruído *speckle*. É um tipo de ruído característico de diversas imagens, como por exemplo as imagens RADAR.

$$s(x, y) = f(x, y) \times u(x, y) + \varphi(x, y)$$

Modelos de ruído aleatório

Exemplo de imagem com ruído multiplicativo:



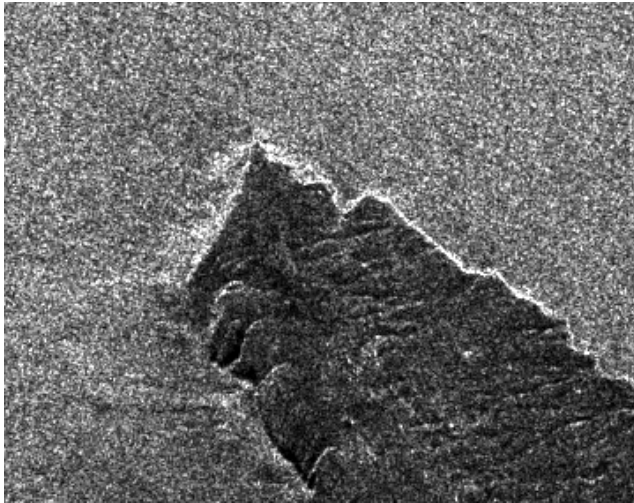
Original



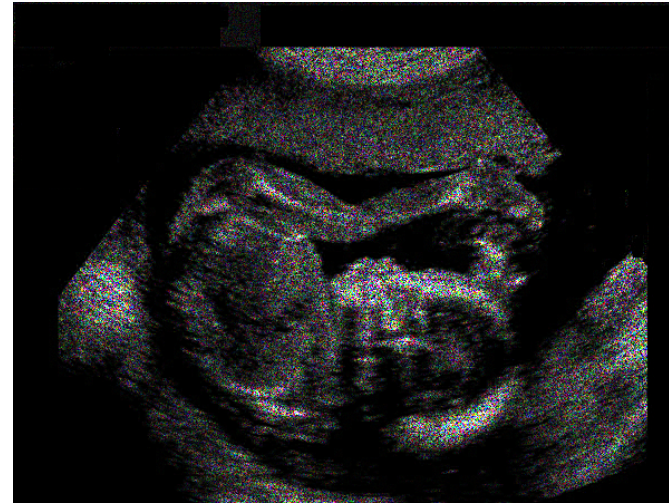
Speckle

Modelos de ruído aleatório

Exemplos de outras imagens com ruído multiplicativo:



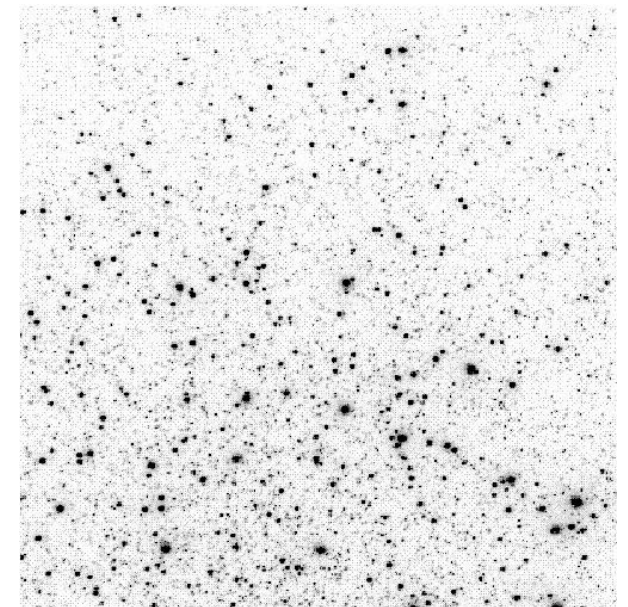
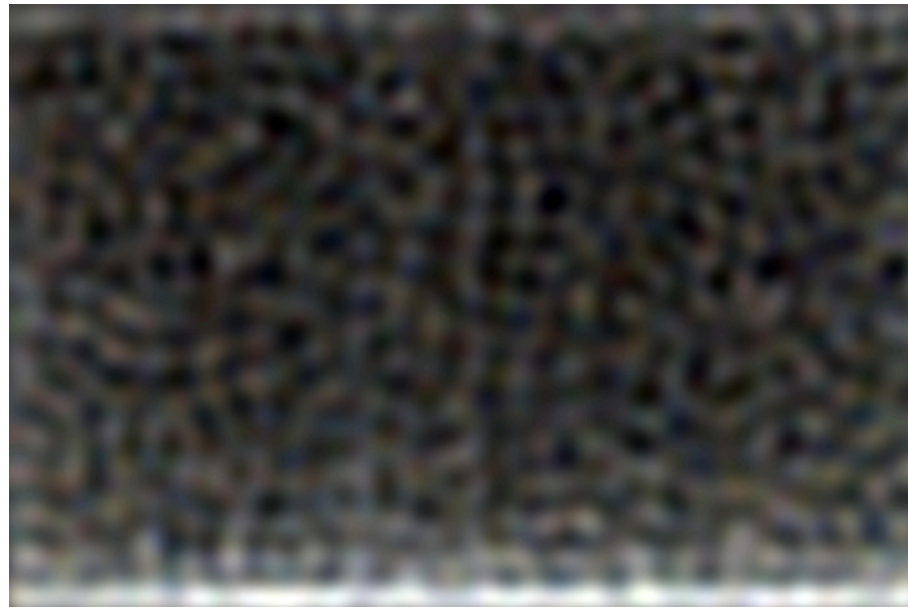
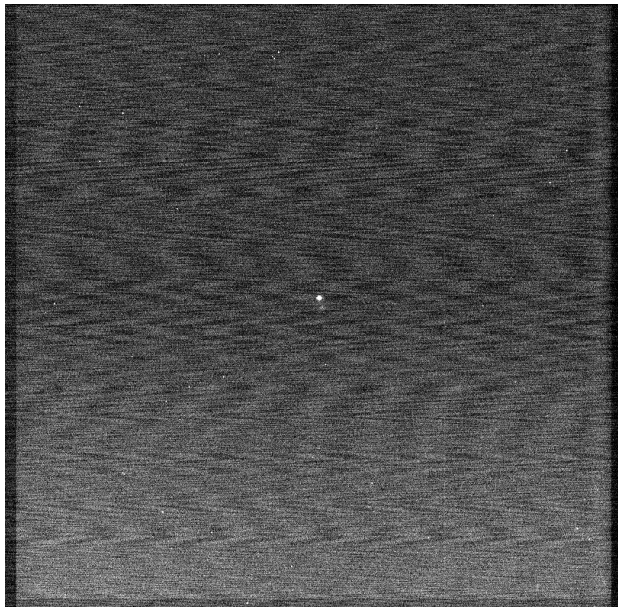
Speckle (ENVISAT)



Speckle (Ultrasons)

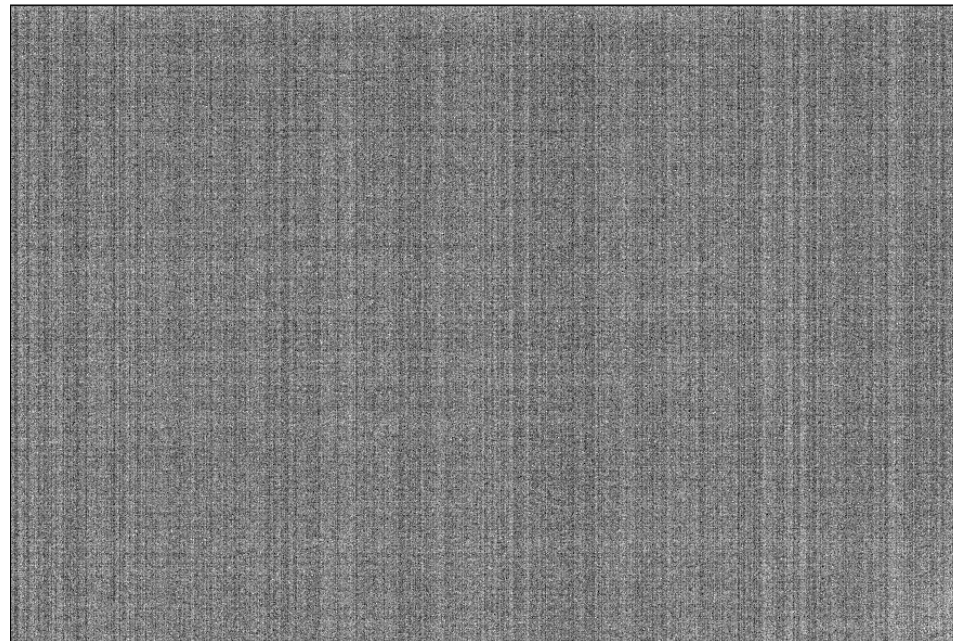
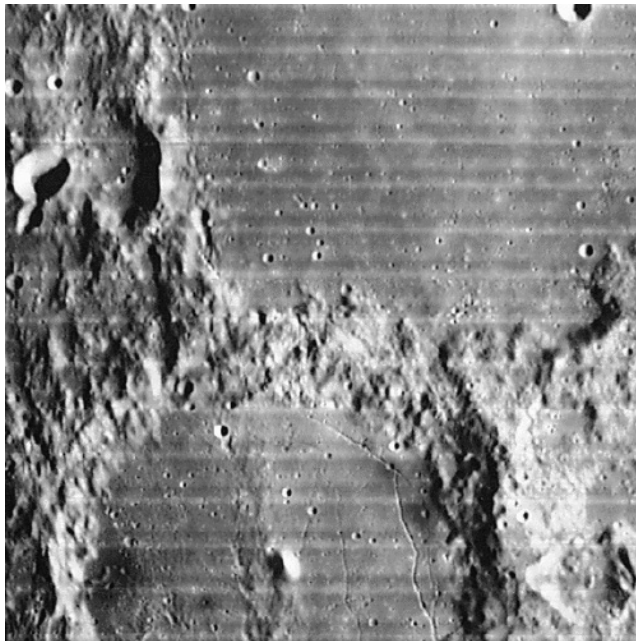
Ruído de padrão fixo (não aleatório)

É um tipo de ruído em que certos grupos de pixels têm intensidade bastante diferente das restantes flutuações aleatórias de ruído. É o tipo de ruído mas fácil de eliminar uma vez realizada a aprendizagem do seu padrão (modelação do ruído).



Ruído de *banding* (não aleatório)

É um tipo de ruído óbvio e bastante objectivo e é produzido pelo sensor da câmara digital. Consiste em padrões lineares segundo as linhas e/ou as colunas, em que a sua presença chama imediatamente à atenção. A sua redução acarreta geralmente um compromisso de redução da nitidez dos objectos.



Ruído de *blur* (não aleatório)

Consiste em uma aparente desfocagem devido ao movimento rápido de objectos durante a exposição (*motion blur*), ou quando a imagem a ser registada se altera devido ao movimento rápido da câmara, ou a longa exposição.



Original



Blur



É geralmente usado como uma das melhores formas de simulação de velocidade em imagens, ou jogos de video, pois confere realismo e sensação de movimento.