

Reducción del ruido

Extracto de “Visión por Computador. Fundamentos y métodos”. Arturo de la Escalera. Prentice Hall, 2001

Copia para el alumno con fines didácticos

5.2. Eliminación de ruido.

Todas las imágenes tienen una cierta cantidad de ruido, valores distorsionados, bien debidos al sensor CCD de la cámara o al medio de transmisión de la señal. El ruido se manifestará generalmente en píxeles aislados que toman un valor de gris diferente al de sus vecinos. Los algoritmos de filtrado que se estudiarán a continuación se basan en esta característica. El ruido puede clasificarse en cuatro tipos:

- *Gausiano*. Produce pequeñas variaciones en la imagen. Es debido, por ejemplo, a las diferentes ganancias en el sensor, ruido en los digitalizadores, perturbaciones en la transmisión, etc. Su efecto puede verse en la figura 5.15 (o en la figura 5.16-b), donde se tienen dos imágenes tomadas sucesivamente. En apariencia son iguales, pero si se obtiene la resta puede comprobarse cómo existe una diferencia entre las dos (los resultados están aumentados 25 veces). Se considera siempre, por tanto, que el valor final del píxel sería el ideal más una cantidad correspondiente al error, que puede describirse como una variable gaussiana.
- *Impulsional* (conocido como sal y pimienta). El valor que toma el píxel no tiene relación con el valor ideal sino con el valor del ruido que toma valores muy altos o bajos (figura 5.16-c). Se caracteriza entonces porque el píxel toma un valor máximo, causado por una saturación del sensor, o mínimo, si se ha perdido su señal. También puede encontrarse si se trabaja con objetos a altas temperaturas, ya que las cámaras tienen una ganancia en el infrarrojo de la que no dispone el ojo humano. Por ello las partes muy calientes de un objeto pueden llegar a saturar el píxel.
- *Frecuencial*. La imagen obtenida es la suma entre imagen ideal y otra señal, la interferencia, caracterizada por ser una senoide de frecuencia determinada (figura 5.16-d)
- *Multiplcativo*. La imagen obtenida es fruto de la multiplicación de dos señales. En la figura 5.16-e puede observarse cómo la iluminación no es constante, de modo que la zona izquierda está más oscura que la derecha.

5.2.1 Filtros lineales espaciales.

Al ser el ruido variaciones sobre los niveles de gris, le corresponde frecuencias altas. Por ello aplicaremos filtros paso bajo para su eliminación.

Suma de imágenes.

Si se supone que el ruido es una señal que se añade a la original, el nivel de gris de un píxel puede definirse como la suma entre el nivel de gris ideal y el ruido:

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

Aunque el ruido esté siempre presente, el que afecte más o menos a un píxel determinado es aleatorio. Si se tratase de ruido gaussiano vendría definido por una distribución normal de media cero y desviación típica σ . Por ello, en el dominio temporal, la manera más sencilla es simplemente la media de varias imágenes (filtro paso bajo temporal); pues al suponer que el ruido tiene una distribución espacial aleatoria la influencia es menor cuantas más imágenes se tengan, ya que el valor de un píxel será:

$$f(x, y) = f_i(x, y) + \frac{r(x, y)}{n}$$

Siendo n el número de imágenes tomadas. Ahora el ruido de la imagen sigue una distribución normal $N\left(0, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$.

En la figura 5.17 se aplica la suma de imágenes al ruido impulsional, y se presentan resultados con 6, 12 y 25 imágenes. Puede verse como después de un segundo (25 imágenes) los resultados son bastante buenos. Este filtrado tiene el inconveniente de que, además de filtrar el ruido, también afecta a objetos que están en movimiento, ya que se les puede aplicar la misma definición de ruido al aparecer cada imagen en píxeles distintos.

Filtros paso bajo espaciales.

La siguiente solución es aplicar la misma idea: un filtro paso bajo que disminuya la ganancia de las altas frecuencias, que es donde se encuentra el ruido; pero en este caso se dispone de una única imagen. El filtro más sencillo e intuitivo es el que tiene coeficientes unidad para todos los elementos.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Si al resultado se le multiplica por un noveno se tiene la media de todos los píxeles, por lo que el ruido disminuye. Sin embargo este filtro presupone que la influencia de todos los píxeles es igual. Otra consideración es que, cuanto más alejado esté el píxel del central, su valor sea menor. Se tiene entonces la máscara:

1	1	1
1	2	1
1	1	1

Si se le vuelve a querer dar más importancia al píxel central que a sus vecinos, y a los vecinos tipo 4 que a los de tipo 8, se tiene:

1	2	1
2	4	2
1	2	1

y en general:

1	b	1
b	b ²	b
1	b	1

debiendo ser la ganancia de todas ellas la unidad para no variar la de la imagen.

En las figuras 5.18-19 pueden verse la imagen original con ruido gaussiano y el resultado de aplicar el filtrado.

Como puede verse en las imágenes, estos filtros presentan el inconveniente de que, además de eliminar parte del ruido, desdibujan también los contornos y pueden eliminar los objetos pequeños. Así, si la fila de píxeles presentase un escalón perfecto:

0	0	0	0	0	10	10	10	10	10
---	---	---	---	---	----	----	----	----	----

El resultado sería (tomando el valor entero de la media de tres valores):

0	0	0	0	3	6	10	10	10	10
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

Esto se debe a que, igual que ocurría con los filtros paso bajo temporales cuando había objetos en movimiento, a los bordes y objetos pequeños les corresponden altas frecuencias. Un inconveniente añadido es que los filtros paso bajo no logran eliminar el ruido impulsional. Así, si la fila de píxeles fuera

50	50	0	50	50	50	50	255	50	50
----	----	---	----	----	----	----	-----	----	----

El resultado sería:

50	33	33	33	50	50	185	185	185	50
----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	----

Donde se puede apreciar que aunque los valores han disminuido, siguen estando alejados de los de sus vecinos. Por otro lado ahora se tienen más píxeles con valores extremos (figura 5.20).

Gausiana.

Otro tipo de máscaras son aquellas que intentan imitar la forma de una gaussiana:

$$G(x,y) = e^{-\frac{(x+y)^2}{2\sigma^2}}$$

Si $\sigma = 0.391$ píxeles

1	4	1
4	12	4
1	4	1

Si $\sigma = 0.625$ píxeles

1	2	3	2	1
2	7	11	7	2
3	11	17	11	3
2	7	11	7	2
1	2	3	2	1

Si $\sigma = 1.0$ píxeles (primer cuadrante y fila central)

0	0	1	1	1
0	1	2	3	3
1	2	3	6	7
1	3	6	9	11

1	3	7	11	12
---	---	---	----	----

Si $\sigma = 1.6$ pixeles (primer cuadrante y fila central)

1	1	1	2	2	2
1	2	2	3	4	4
1	2	4	5	6	7
2	3	5	7	8	9
2	4	6	8	10	11
2	4	7	9	11	12

Si $\sigma = 2.56$ pixeles (primer cuadrante y fila central)

2	2	3	4	5	5	6	6
2	3	4	5	7	7	8	8
3	4	6	7	9	10	10	11
4	5	7	9	10	12	13	13
5	7	9	11	13	14	15	16
5	7	10	12	14	16	17	18
6	8	10	13	15	17	18	19
6	8	11	13	16	18	19	20

Los filtros basados en gaussianas tienen los mismos inconvenientes que los filtros paso bajo (figura 5.21). Más adelante se estudiará su utilidad para la detección de bordes.

5.2.2. Filtros no lineales.

"Outlier".

Cada píxel es comparado con la media de sus ocho vecinos; si esta diferencia es superior a un valor preestablecido se considera ruido y se sustituye por el valor de esa media. Así, si la fila de pixeles fuera:

50	50	0	50	50	50	50	255	50	50
----	----	---	----	----	----	----	-----	----	----

Si se considera un entorno de tres pixeles, el resultado sería:

50	25	50	25	50	50	177	50	177	50
----	----	----	----	----	----	-----	----	-----	----

Aunque su respuesta ante el ruido impulsional es mejor que la de los filtros lineales ya que afecta a menos pixeles, no logra eliminarlo del todo al basarse en la media de los ocho vecinos; y la media es un operador en el que los valores extremos influyen mucho en el resultado.

Mediana.

Si, por tanto, no se puede usar la media, se puede intentar con otros operadores como la mediana. En una secuencia impar de números $x_1 \dots x_N$, la mediana es aquel valor que cumple que $(N-1)/2$ elementos tienen un valor menor o igual a ella y que $(N-1)/2$ tiene un valor mayor o igual a la mediana. Para el caso anterior se lograría eliminar el ruido impulsional ya que los valores erróneos estarían al principio o al final de la lista. En el caso de imágenes se pueden aplicar dos soluciones:

- Definir una ventanas de dimensión Nx1 (unidimensionales) y a las que se aplica el mismo criterio
- Definir ventanas de dimensión NxN (bidimensionales) y elegir la mediana de entre todos los valores.

Para preservar más los bordes de los objetos se puede aplicar la mediana a solo unos cuantos pixeles del entorno cuadrado. Así, por ejemplo, una máscara del estilo:

	X	
X	X	X
	X	

preservaría los bordes verticales y horizontales. Si quisiéramos las diagonales tendría que ser:

X		X
	X	
X		X

En la figura 5.22 se ve el resultado de usar el filtro de la mediana para un entorno de 3x3 a una imagen con ruido gaussiano de media cero y desviación típica 15. Como puede comprobarse con los resultados anteriores, desdibuja menos los contornos que los filtros lineales. Pero donde más se observa la diferencia de comportamiento es con el ruido impulsional.

Así en la figura 5.23 se observa el resultado de filtrar una imagen con ruido impulsional del 5%. El resultado es lógico ya que los pixeles con valores extremos estarán al principio o al final en la ordenación de valores. Si el ruido aumenta hasta llegar al 15%, se observa que el entorno de 3x3 no es suficiente. Además cuando falla tiende a agrupar varios pixeles con valores falsos. La solución está en aumentar el tamaño del entorno (a 5x5 por ejemplo).

La mediana tiene el inconveniente frente a los filtros lineales de que es más lento. Así que el criterio general es que si el ruido es gaussiano y la rapidez es un factor crucial se utilizaría la media, y si el ruido es impulsional o la rapidez no es tan crítica la mediana.

5.5 Bibliografía.

- Astola, J. T.; Campbell, T.G. On computation of the running median. IEEE Transaction on Acoustic, Speech, and Signal Porcessing, ASSP-37 (4): 572-574, 1989.
- Bracewell, R. *The Fourier Transform and its aplicaciones* (2ª ed.). McGraw-Hill, Nueva york, 1986.
- Ballard, D. H., Brown, C. M. *Computer Vision*. Prentice-Hall, 1982
- González, R. C., Woods, R. E. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, 1993
- Haralick, R. M., Shapiro, L. G. *Computer and Robot Vision*. Addison-Wesley, 1992-1993
- Jain, A. K. *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice-Hall International 1989
- Kramer, H.; Bruchner, J. Interactions of a non-linear transformation for the enhacement of digital images”. Pattern Recognition, vol 7, pp53-58, 1975.

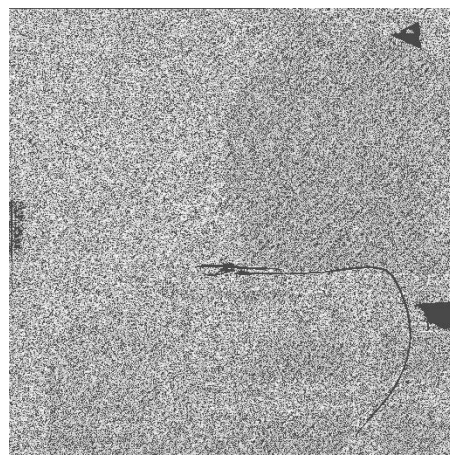
- Pratt, W. K. *Digital Image Processing*, 2ª edición. John Wiley & Sons, cop. 1991.
- Tyan, S.G. Median Filtering, deterministic properties. T.S. Huang editor. *Two-dimensional Digital Signal Porcessing*, Volumen-II. Springer-Verlag, Berling, 1981.



(a)



(b)

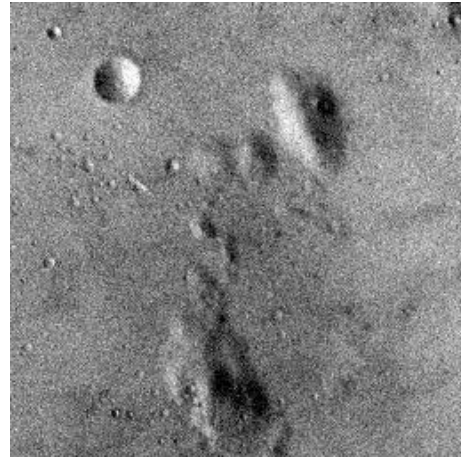


(c)

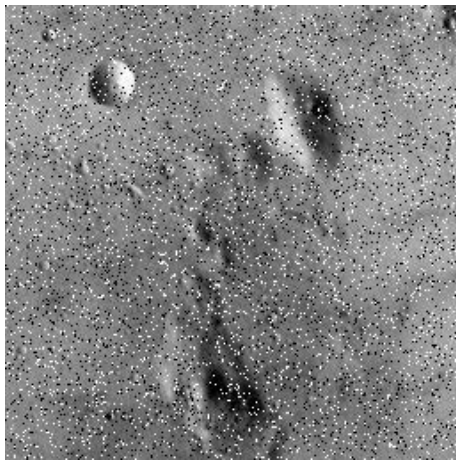
Figura 5.15 Ruido gaussiano. (a) Imagen inicial (b) Imagen tomada 50 ms más tarde (c) diferencia.



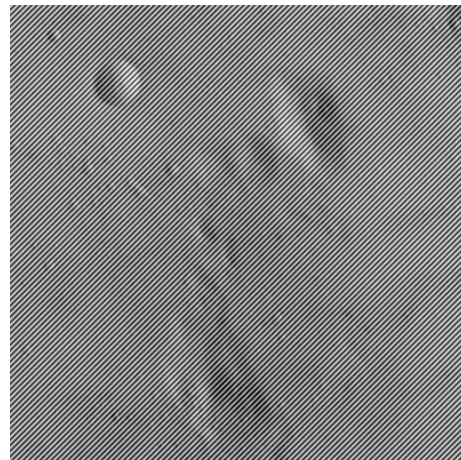
(a)



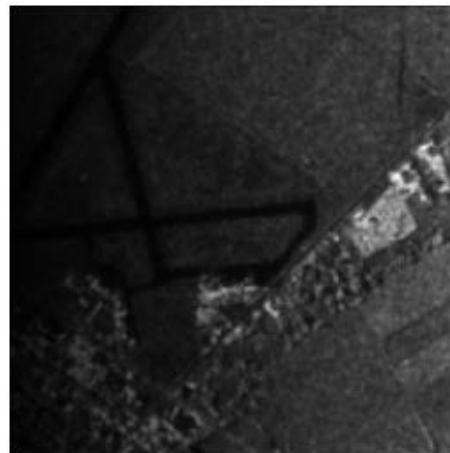
(b)



(a)

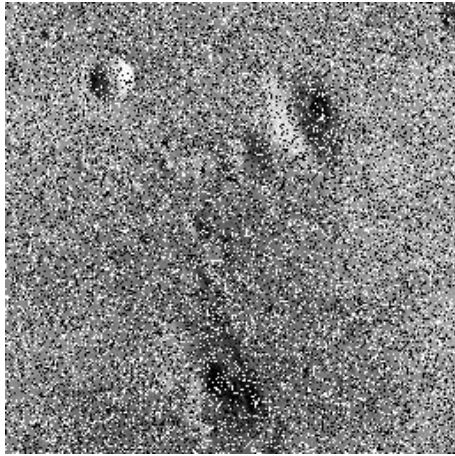


(d)

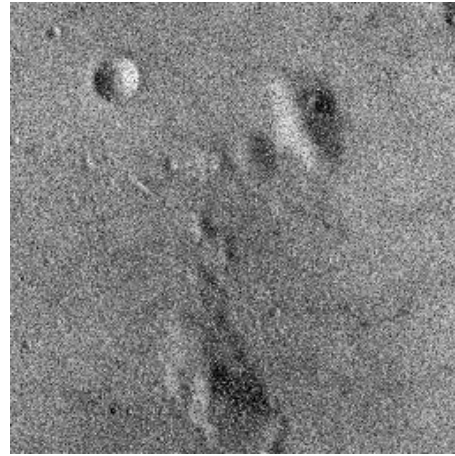


(e)

Figura 5.16. Ruido. (a) Imagen original (b) Ruido gaussiano de media cero y desviación típica 20
(c) Ruido impulsional del 15% (d) Interferencia (e) ruido multiplicativo.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.17. Suma de imágenes: (a) Imagen original, ruido impulsional de 30% (b) suma de 6 imágenes (c) suma de 12 imágenes (d) suma de 25 imágenes.

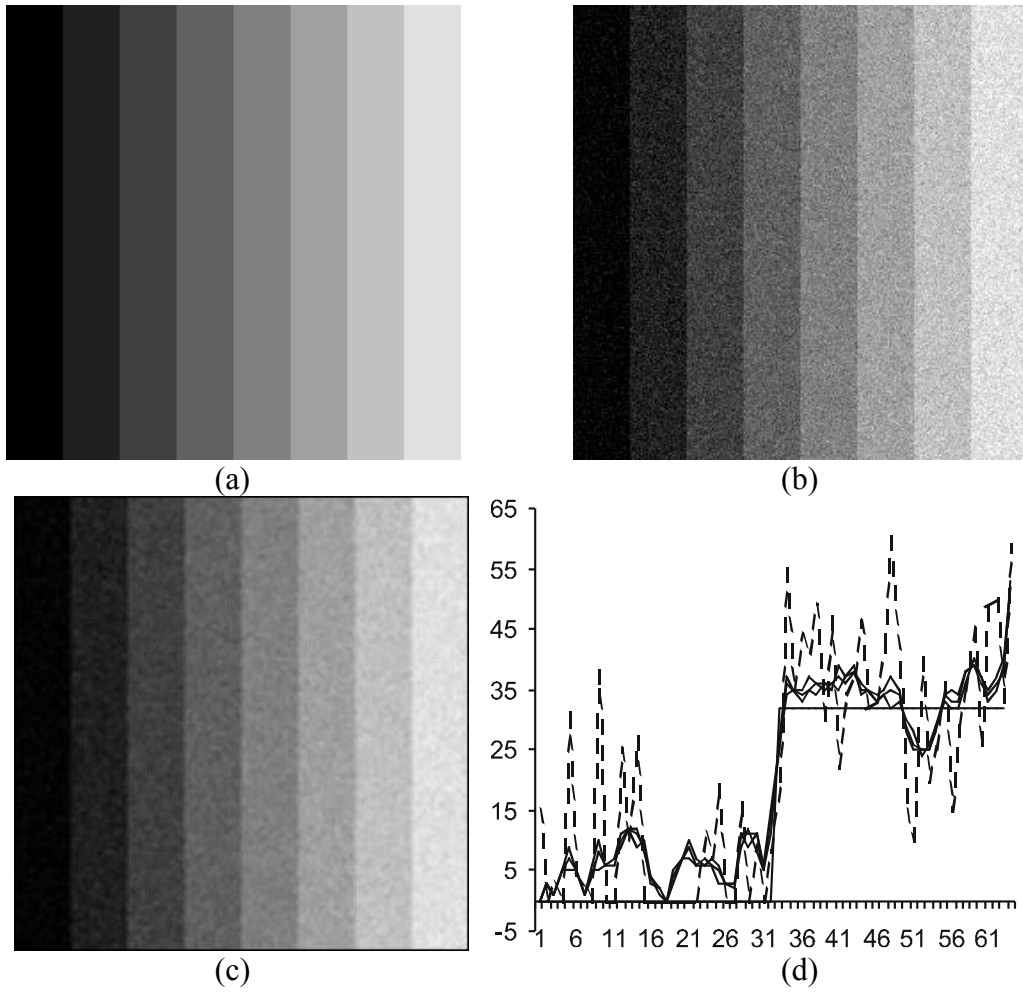
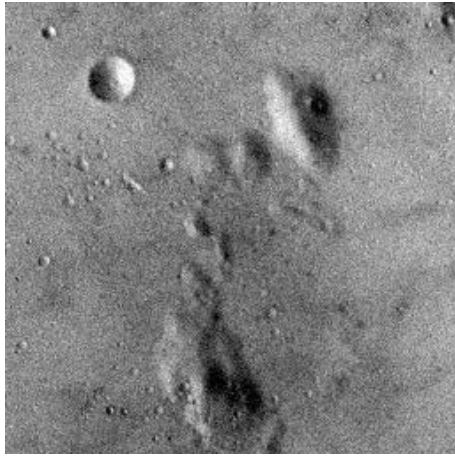


Figura 5.18. Filtros lineales: (a) Imagen original (b) ruido gaussiano (c) filtrado (d) comparación de resultados.

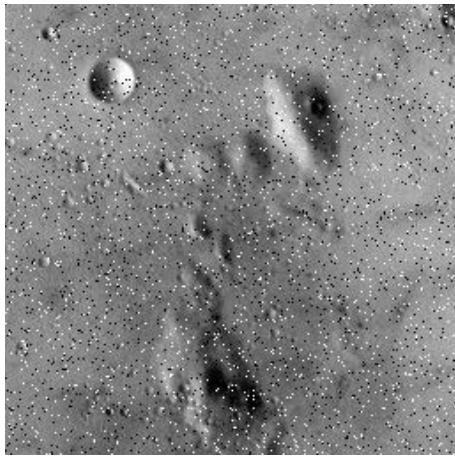


(a)



(b)

Figura 5.19. Filtros lineales espaciales. (a) Imagen original, ruido gaussiano de media cero y desviación típica 15 (b) Resultado del filtro 1.



(a)



(b)

Figura 5.20. Filtros lineales espaciales. (a) Imagen original, ruido impulsional de 5% (b) Resultado del filtro 1

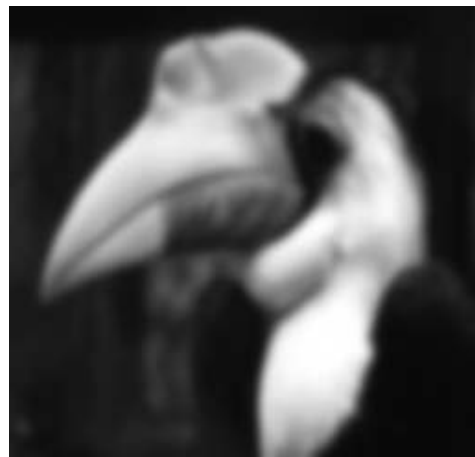
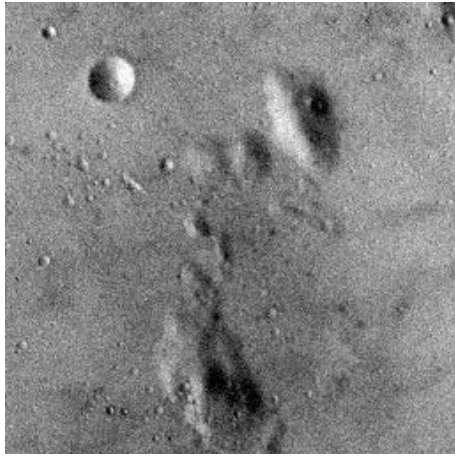


Figura 5.21 Filtros con gaussianas

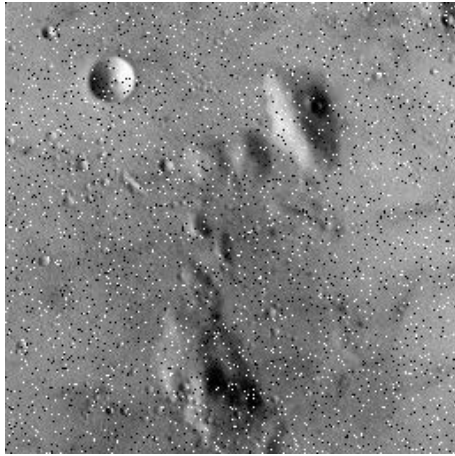


(a)

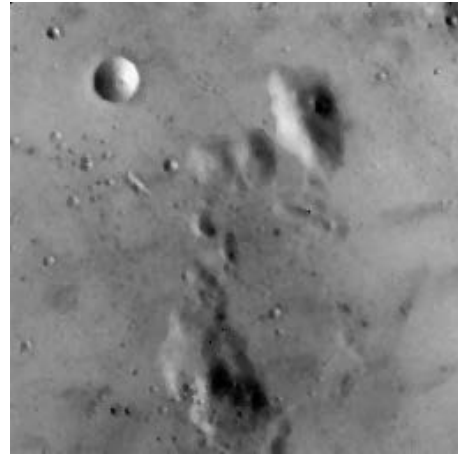


(b)

Figura 5.22. Filtro de la mediana. (a) Ruido gaussiano de media cero y desviación típica 15 (b) filtro de la mediana para un entorno de 3x3.



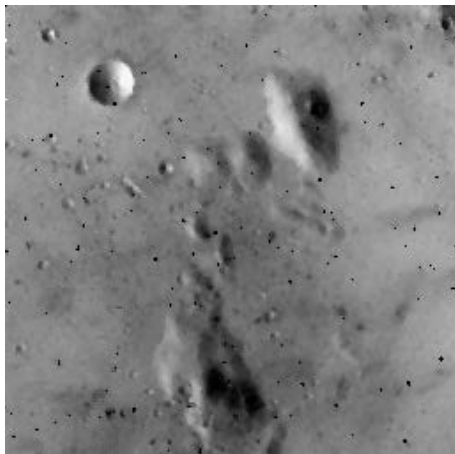
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 5.23. Filtro de la mediana. (a) Ruido impulsional del 5% (b) Filtro de la mediana para un entorno de 3x3. (c) Ruido impulsional del 15% (d) Filtro de la mediana para un entorno de 3x3. (e) Filtro de la mediana para un entorno de 5x5