

MEJORA DE LA DEFINICIÓN DE IMÁGENES SPOT MEDIANTE DECONVOLUCIÓN

C. Pinilla (*), F.J. Ariza (*) y J. Tovar (**).

cpinilla@ujaen.es

(*) *Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica. Universidad de Jaén. Virgen de la Cabeza, 2. 23071 – Jaén.*

(**) *Departamento de Física. Universidad de Jaén. Avda. Madrid 35. 23071 - Jaén.*

RESUMEN. Las imágenes proporcionadas por los satélites de observación son formas degradadas de la realidad como consecuencia del efecto producido por la función de dispersión puntual (PSF) propia del conjunto atmósfera-sistema de adquisición. Aplicando filtros de deconvolución deducidos a partir de la PSF es posible restaurar la señal consiguiendo imágenes más parecidas a las reales, incluso entrando en dimensiones por debajo del píxel. Es posible así utilizar imágenes de satélite para las actualizaciones cartográficas de escalas mayores a las tradicionalmente admitidas.

ABSTRACT. Images provided by the observation satellites are forms degraded of the reality. This is made by the point spread function (PSF) characteristic of the combined atmosphere-acquisition system. By applying deconvolution filters derived from the PSF it is possible restore the signal and get images more similar to the true image, even entering into subpixel size. Thus, it is possible to use remotely sensed data for mapping update in higher scales at the traditionally accepted.

Palabras clave: **PSF, deconvolución, restauración, Fourier, procesamiento de imagen.**

INTRODUCCIÓN

La señal útil registrada digitalmente es una forma degradada de la imagen real. Prescindiendo de las anomalías geométricas, objeto de correcciones habituales, la imagen

de un punto del espacio objeto no es solamente el propio punto registrado en una celda sino un conjunto de valores asociados a las celdas vecinas. La función que caracteriza el patrón geométrico de transferen-

cia desde el espacio objeto al espacio imagen es la Función de Dispersión Puntual PSF (*Point Spread Function*) y la forma en que esta función afecta a la imagen es la de una convolución entre ambas. El proceso de grabación de una imagen espacial puede ser considerado como un sistema complejo en el que entra a formar parte la atmósfera, con su inherente efecto dispersante sobre la señal, y el propio sistema formador de imágenes, con las anomalías que su óptica pueda inducir. Las técnicas de restauración basadas en la deconvolución se encaminan a regenerar la imagen original a partir de la imagen degradada con la condición de conocer la PSF.

La convolución bidimensional entre dos funciones $\phi(x,y)$ y $h(x,y)$ tiene la siguiente expresión:

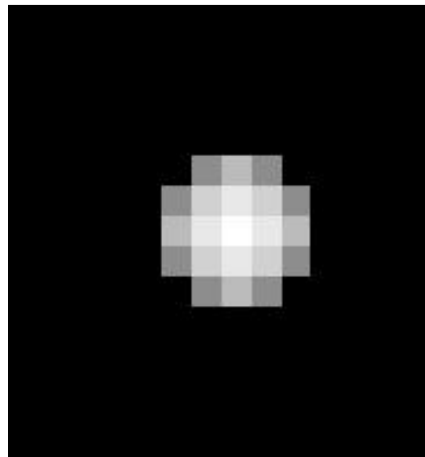
$$z(x,y) = \phi(x,y) \otimes h(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(u,v) h(x-u, y-v) du dv \quad (1)$$

que, adaptada para imágenes digitales finitas y discretas, toma la forma:

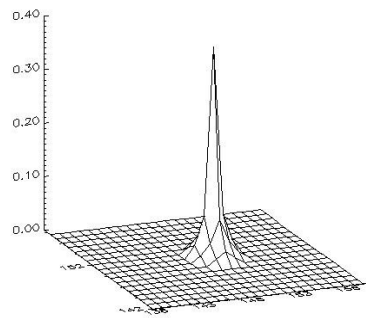
$$z(i,j) = \sum_m \sum_n \phi(m,n) h(i-m, j-n) \quad (2)$$

Si el fenómeno estudiado es el de degradación de la imagen, entonces el operador h representa la plantilla o matriz deslizante que caracteriza a la PSF.

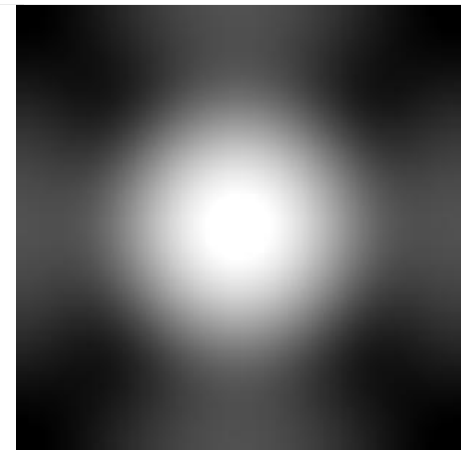
De entre las propiedades de la convolución cabe desatacar la conmu-



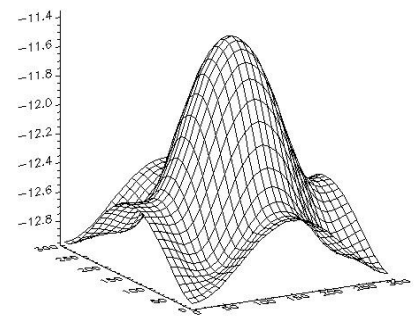
(a)



(b)



(a)



(b)

Figura 1.- Subimagen central de PSF (a) y perfil bidimensional de la PSF (a) y perfil bidimensional

$$z(m,n) = \phi(m,n) \otimes h(i,j) \quad (6)$$

entonces:

$$Z(r,s) = \Phi(r,s) \cdot H(\rho,\sigma) \quad (7)$$

siendo $Z(r,s)$, $\Phi(r,s)$ y $H(\rho,\sigma)$ las transformadas rápidas de Fourier (FFT) respectivas de $z(m,n)$, $\phi(m,n)$ y $h(i,j)$, donde (m,n) e (i,j) son las coordenadas espaciales de las funciones —que no tienen por que compartir el mismo sistema—, (r,s)

y (ρ, σ) son sus coordenadas frecuenciales (Brigham 1974).

FUNCIÓN DE DECONVOLUCIÓN

Existen procedimientos para deducir una función de deconvolución matricial basados en la inversión de la PSF en el dominio espacial (Foster y Best 1994), en tanto que otras técnicas actúan netamente en el dominio de la frecuencia (Kundur and Hatzinakos 1996). La simplicidad de los primeros favorecen su práctica, sin embargo, la obtención de funciones aplicables no es siempre fácil, al tratarse la PSF frecuentemente de una matriz singular. Por ello, en este trabajo se decidió adoptar un procedimiento mixto consistente en operar en el dominio de la frecuencia para confeccionar una matriz de deconvolución y extraer de ellas un filtro simplificado aplicable mediante convolución con la imagen degradada en el dominio del espacio. Operar en el dominio frecuencia en la primera fase tiene la ventaja añadida de que la matriz de deconvolución obtenida tiene la misma dimensión que la imagen y por ello se dispone de la facultad para decidir la dimensión final del filtro de deconvolución, de acuerdo a su composición interna y a la capacidad del sistema de tratamiento de

imágenes.

Supuesto encontrada la función de deconvolución $g(x,y)$, dado que su efecto debe contrarrestar el inducido por la PSF $h(x,y)$, se debe verificar que la convolución entre el filtro de deconvolución y la PSF proporcione una imagen cuyos ND fueran todos ceros excepto el correspondiente a su posición central, que estaría ocupado por el valor más alto del margen dinámico del sistema:

$$g(x, y) \otimes h(x, y) = \delta(x, y) \quad (8)$$

y, según (7), en el dominio de la frecuencia:

$$\text{FFT}[g(x, y)] \cdot \text{FFT}[h(x, y)] = \text{FFT}[\delta(x, y)] \quad (9)$$

es decir:

$$G(r, s) \cdot H(r, s) = [1] \quad (10)$$

donde [1] simboliza una imagen con $\text{ND}_{i,j}=1$ para todo i y j , ya que la transformada de Fourier de un impulso unitario es una función constante de valor igual a la unidad extendido a todo su intervalo de existencia. En consecuencia, puede deducirse la matriz de deconvolución en el dominio espacial aplicando la transformada rápida inversa de Fourier:

$$g(x, y) = \text{FFT}^{-1} \left\{ \frac{[1]}{H(r, s)} \right\} \quad (11)$$

La restauración de una imagen verdadera a partir de su imagen degradada se basa en el siguiente

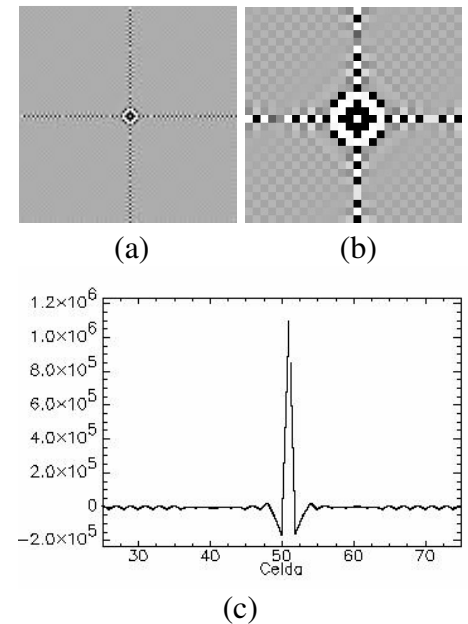


Figura 3.- Función de deconvolución bidimensional (a), detalle del

razonamiento: una imagen real $I(x,y)$, como consecuencia de la intervención de una PSF no nula $h(x,y)$, produce una imagen degradada $f(x,y)$:

$$h(x,y) \otimes I(x,y) = f(x,y) \quad (12)$$

$$g(x,y) \otimes h(x,y) \otimes I(x,y) = g(x,y) \otimes f(x,y)$$

$$\delta(x,y) \otimes I(x,y) = g(x,y) \otimes f(x,y) \quad (13)$$

según lo visto en (8). Y como el impulso unitario se comporta como elemento neutro de la operación de convolución (la convolución entre un impulso unitario y una función da como resultado la misma función), queda en definitiva (Richards 1994):

$$I(x,y) = g(x,y) \otimes f(x,y) \quad (14)$$

Es decir, conocida la función $g(x,y)$, puede utilizarse como un filtro de convolución ordinario para regenerar la imagen verdadera. En este modelo sencillo no se ha incluido el ruido de la escena, por cuya razón es más propio hablar de una estimación de la imagen verdadera que de ésta.

RESTAURACIÓN

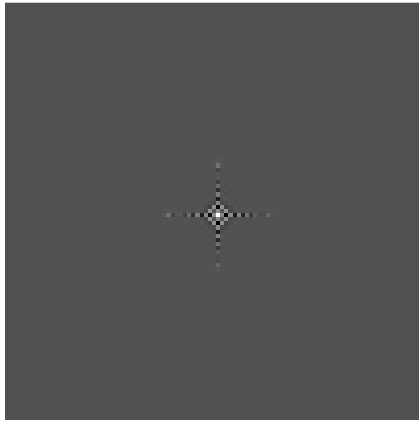
En el presente trabajo se ha comprobado la bondad de la metodología expuesta partiendo de una PSF simétrica respecto de su centro estimada a partir de rasgos que muestran cambios bruscos de luminancia en la imagen (McGillem *et al.* 1983), con la que se generó una imagen de dimensión 301 filas \times 301 columnas y cuyo perfil

muestra que se pondera en un 40 % la luminancia de cada celda en la generación de cada ND de imagen, correspondiendo el resto a la contribución de las celdas vecinas (Figura 1).

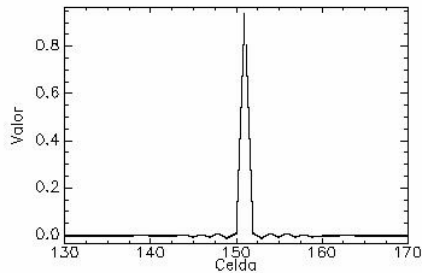
El espectro de frecuencias de la PSF (Figura 2) muestra una composición intermedia a la esperada para un impulso (espectro constante) o a una imagen homogénea (espectro tendente a un impulso).

La transformada inversa de Fourier de la función recíproca del espectro anterior proporciona en definitiva la función de deconvolución (Figura 3) que se caracteriza por tener restringidos sus valores más altos al centro de la imagen, lo que permite extraer solamente una fracción de imagen para componer un filtro de deconvolución espacial manejable por cualquier sistema de proceso.

Se confeccionó un filtro de deconvolución de 25 filas por 25 columnas con los niveles digitales centrales de la imagen de deconvolución obtenida. Y se normalizó de modo que la luminancia media de la imagen sobre la que se aplique permanezca constante. Previamente se ensayó su efectividad convolucionando este filtro por la imagen degradada de un impulso, esto es por la imagen de la PSF centrada sobre un fondo cero. El resulta-



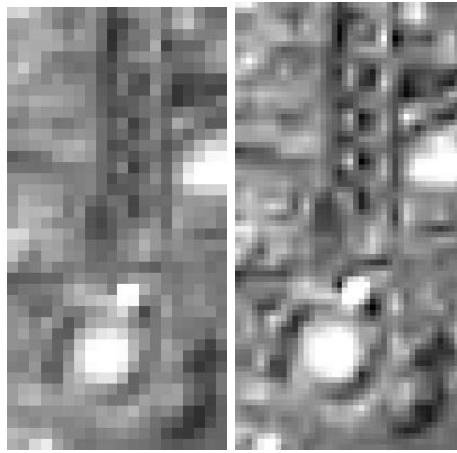
(a)



(b)

Figura 4.- Imagen estimada del impulso unitario por restauración de la DSF como predice la teoría, la imagen estimada del impulso unitario (Figura 4). Para estudiar el efecto de restauración ejercido sobre una imagen real se tomó una

subescena de $301 \text{ filas} \times 301 \text{ columnas}$ de la misma imagen original a partir de la que se dedujo la PSF. Dicha subescena pertenece a una imagen SPOT pancromática centrada sobre el casco urbano de Andújar (Jaén). Para aprovechar al máximo las ventajas de la deconvolución se remuestreó la imagen a 602×602 y sobre ella se aplicó un filtro de deconvolución modificado consistente en una matriz de 50×50 en la que se introdujeron líneas y filas alternas de ceros. Por último, el producto de la deconvolución se interpoló bilinealmente para degradar las diferencias sobre las celdas mitad. El estudio pormenorizado de las formas en la imagen restaurada y la original muestra cómo cobran mayor nitidez los contornos, reapareciendo formas anteriormente irreconocibles. Tal es el caso de la plaza de toros de la localidad y de edificaciones próximas, con más definición por el mayor número de celdas (Figura 5).



(a) (b)

Figura 5.- Imagen degradada original (a) e imagen restaurada mediante de-

CONCLUSIONES

Con el uso de filtros de deconvolución puede descenderse geométricamente a la estructura del sub-píxel, consiguiendo aumentar las escalas tradicionalmente admitidas en las actualizaciones cartográficas obtenidas a partir de imágenes de satélite.

BIBLIOGRAFÍA

Beauchamp, K.G. (1987). *Transforms for Engineers. A Guide to Signal Processing*. Clarendon Press. Oxford.

Brigham, E.O. (1974). *The fast Fourier Transform*. Prentice-Hall. New Jersey.

Foster, B.C. and Best, P. (1994) Estimation of SPOT P-mode point spread function and derivation of a

deconvolution filter. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 49(6): 32-42.

Kundur, D. and Hatzinakos D. Blind Image Deconvolution. *IEEE Signal Processing Magazine*. May 1996: 43-64.

McGillem, C.D., Anuta P.E. Malaret, E. And Yu, K.B. 1983. Estimation of a remote sensing system point-spread function from measured imagery. *Proc. Sysm. Machine Processing of Remotely Sensed Data*. Purdue University. Laffayette. Pp. 62-68.

Pinilla R, C. (1997). *Transformaciones de Fourier en Teledetección*. Universidad de Jaén. Jaén.

Richards, J.A. (1994). *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*. Springer-Verlag. Berlín.