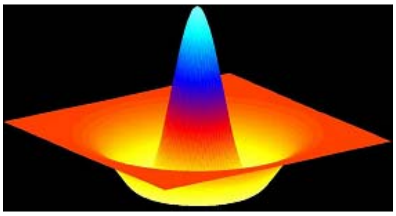

Procesamiento Digital de Imágenes

Modelo Lineal de Borrosidad

Modelo Lineal de Borrosidad

El movimiento horizontal de un objeto filmado con una video cámara puede producir una borrosidad (horizontal) en la imagen (***horizontal blurring***). Esta borrosidad se puede representar matemáticamente procesando la imagen con un filtro lineal. La borrosidad horizontal hace que cada pixel en la imagen contenga alguna información de *N* pixels previos, en la misma fila. Un modelo simple de borrosidad horizontal viene dado entonces por el filtrado lineal

$$F_b(\ell, n) = \sum_{k=\max(1,n-N)}^{n} F(\ell, k) h(n-k) \qquad (1)$$

donde *h(n)* es la respuesta al impulso del filtro (que suponemos de longitud finita *N*), $F(\ell,k)$ denota el valor numérico de intensidad del pixel en la fila ℓ, columna k en la imagen original, y $F_b(\ell,n)$ denota el valor numérico de intensidad del pixel en la fila ℓ, columna *n* en la imagen con borrosidad. Notemos que si imponemos una respuesta al impulso de la forma:

$$h(n) = \frac{1}{N} \qquad\qquad n = 1, \cdots, N \tag{2}$$

entonces, la operación (**convolución discreta**) (1) que representa la borrosidad corresponde a reemplazar el valor de intensidad de cada pixel por el promedio de los valores de intensidad de los pixeles anteriores en la misma fila.

Asumiendo que la imagen es de *L x L* pixeles, para cada fila ℓ la convolución discreta (1) puede expresarse en forma matricial como

$$\begin{bmatrix} F_b(\ell,1) \\ F_b(\ell,2) \\ \vdots \\ F_b(\ell,L) \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} h(0) & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ h(1) & h(0) & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ h(N-1) & h(N-2) & \cdots & h(0) & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & h(N-1) & \cdots & \cdots & h(0) & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & h(N-1) & h(N-2) & \cdots & h(0) & 0 \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & h(N-1) & \cdots & h(1) & h(0) \end{bmatrix}}_{H} \begin{bmatrix} F(\ell,1) \\ F(\ell,2) \\ \vdots \\ F(\ell,L) \end{bmatrix} \tag{3}$$

Es decir, usando la notación de Matlab

$$F_b(\ell,:)^T = HF(\ell,:)^T \tag{4}$$

que es equivalente a

$$F_b(\ell,:) = F(\ell,:)H^T \tag{5}$$

Considerando que la matriz *H* es cuadrada e invertible, la fila ℓ de la imagen original $F(\ell,k)$ se puede recuperar multiplicando por la matriz $\left(H^T\right)^{-1}$ por la izquierda en ambos miembros de (5), *i.e.*

$$F(\ell,:) = F_b(\ell,:)\left(H^T\right)^{-1} \tag{6}$$

Finalmente, apilando todas las filas de la matriz, la imagen original puede calcularse a partir de la imagen con borrosidad según

$$F = F_b\left(H^T\right)^{-1} \tag{7}$$

<u>Nota:</u> De manera similar puede modelarse la borrosidad producida por un movimiento vertical de la cámara respecto al objeto, trabajando con columnas en lugar de con filas.

Problema: La imagen siguiente (`cameraman_blur.tif`) presenta borrosidad debido al movimiento relativo de la cámara en el sentido horizontal al momento de la adquisición de la misma. Procesar la imagen para eliminar esa borrosidad.