Tema V: Preprocesado de imágenes

— Suavizado, eliminación de ruido, realce y enfatizado.

— Métodos en el dominio de la frecuencia.

— Métodos en el dominio espacial

— Detección de bordes

  — Definición.

  — Métodos basados en máscaras

  — Métodos basados en operadores diferenciales

Filtrado-preprocesado de imágenes

Se trata de modificar la imagen mejorando algunos de sus aspectos pero sin cambiar significativamente su contenido semántico.

Existen dos grandes famílias de filtros en cuanto a su objetivo:

— Suavizado: que consiste en la eliminación de ruido o detalles no importantes o interesantes de alta frecuencia.

— Realce: que consiste en aumentar la importancia relativa de las zonas de cambio de intensidad en la imagen. Se enfatizan los contornos de los objetos, las altas frecuencias y (como consecuencia no deseada) el ruido.

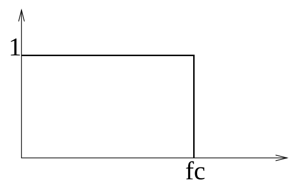
Filtrado en el dominio espacial o frecuencial

El filtrado se puede aplicar en el dominio espacial mediante máscaras de diferentes tamaños, fijas o dependientes de los datos o de las posiciones. Estos filtros pueden ser lineales (convoluciones) o no lineales.

Alternativamente, los filtros se pueden aplicar en el dominio frecuencial. En este caso, la gran mayoria de los filtros son multiplicativos en este espacio (se corresponden con una convolución en el dominio espacial) y pueden ser isótropos o anisótropos en función de si tienen en cuenta la dirección de la frecuencia espacial o no. También pueden ser pasa-alta o pasa-baja en función de si filtran las bajas o las altas frecuencias. Mediante combinaciones de éstos se consiguen filtros de tipo pasa-banda o elimina-banda.

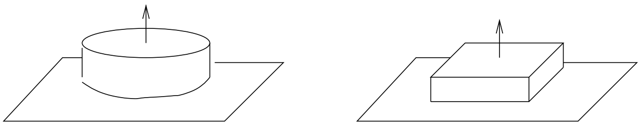
Filtros en el dominio frecuencial

Supongamos una imagen y su TDF centrada. Las frecuencias bajas y medias se concentran en torno a la componente de continua, por tanto un filtro pasa-baja sera una función que en función del módulo de la frecuencia tendria el siguiente aspecto:



El desarrollo de revolución de esta función daria lugar al filtro pasa-baja conocido como “caja de pastillas” o filtro ideal con frecuencia de corte f_c.

También puede usarse un filtro con una frecuencia de corte para las x y otra para las y que puede ser la misma o no. En este caso se obtiene un filtro que tiene un aspecto de "caja" cuadrada o rectangular.



Estos filtros se llaman ideales porque las frecuencias estrictamente mayores que la de corte son filtradas completamente (multiplicadas por cero).

Su comportamiento dista bastante de ser ideal ya que las transiciones bruscas en el filtro ocasionan efectos indeseados

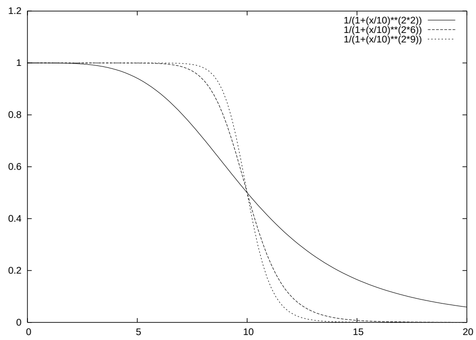
Filtros de Butterworth

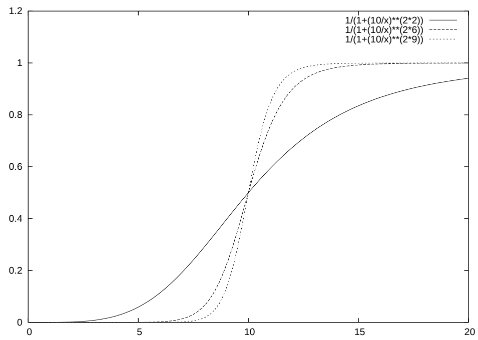
Filtro pasa-baja de orden n:

$$f(x) = \frac{1}{1 + (x/D)^{2n}}$$

Filtro pasa-alta de orden n:

$$f(x) = \frac{1}{1 + (D/x)^{2n}}$$





Filtros Gaussianos

También puede usarse un filtro con forma de Gaussiana normalizada para que el máximo sea 1.

Se cumple que la TDF de una Gaussiana es también una Gaussiana.

Por lo tanto aplicar un filtro Gaussiano en el dominio frecuencial o en el espacial es equivalente.

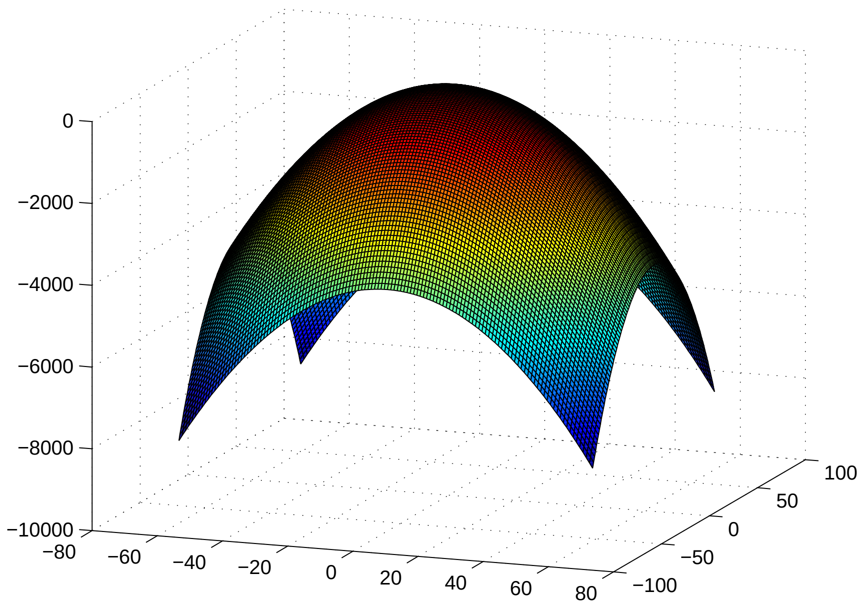
Filtro Laplaciano

A partir de la relación entre derivadas y TDF ($\mathcal{F}[\frac{d^n f(x)}{dx^n}] = (ju)^n F(u)$) se obtiene una expresión analítica para la laplaciana de una señal:

$$\mathcal{F}[\nabla^2 f(x,y)] = \mathcal{F}[\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2}] = -(u^2+v^2)F(u,v)$$

Por lo tanto, la Laplaciana en el dominio frecuencial se corresponde con el filtro

$$H(u,v) = -(u^2+v^2)$$



El operador Laplaciano enfatiza las zonas de cambio y penaliza las constantes independientemente de la dirección.

Filtros en el dominio espacial: suavizado

Consisten en la realización de algun tipo de promedio:

$$h = \frac{1}{9}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{10}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \qquad \frac{1}{16}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

La generalización evidente de este tipo de operadores es el llamado filtro Gaussiano: la máscara h es una Gaussiana (muestreada en una matriz de un cierto tamaño).

Filtros no lineales

También se pueden utilizar filtros no lineales para suavizar imágenes. Una opción particular muy utilizada es el filtro de mediana.

Se calcula la mediana del conjunto de píxeles en una determinada vecindad del píxel correspondiente.

Normalmente se usa la 8-vecindad pero en función del problema concreto se pueden usar otras vecindades diferentes.

La generalización del filtro de mediana son los llamados filtros de estadísticas de orden o filtrado por rango (rank filtering).

Filtros en el dominio espacial: realce

Los filtros de tipo gradiente pretenden enfatizar las discontinuidades en los valores de gris en una imagen.

Estas discontinuidades o bordes son las características más importantes en las imágenes.

El problema consiste en que enfatizar las discontinuidades es un proceso que casi necesariamente implica amplificar el ruido en las imágenes.

La diferencia entre los bordes verdaderos y el ruido (o detalles menores de la imagen) puede llegar a ser muy sutil.

Estos filtros estan basados normalmente en la primera o en la segunda derivada de la imagen (en sus versiones discretas).

Filtros Laplacianos

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 2 & -1 & 2 \\ -1 & -4 & -1 \\ 2 & -1 & 2 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ 2 & -4 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

Filtros (direccionales) basados en la primera derivada

Consisten en calcular la primera derivada en diferentes direcciones y de diferentes maneras.

— Roberts

— Sobel

— Prewitt

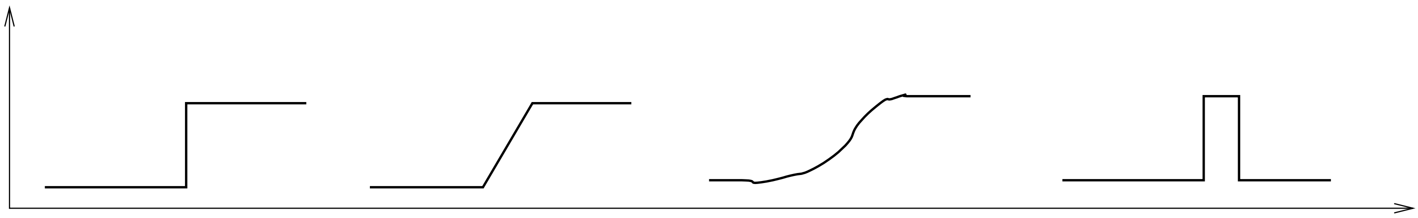
— Robinson

— Kirsch

Detección de bordes

Un **borde** en una imagen es una discontinuidad entre dos zonas suficientemente homogéneas.

Normalmente, delimitan zonas de interés en las imágenes y proporcionan valiosa información sobre la forma de las diferentes partes de las escenas analizadas.



Máscaras direccionales

Kirsch:

$$\begin{bmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{bmatrix}$$

Aproximaciones del gradiente

En general, la técnica consiste en calcular la derivada en las direcciones x e y,

$$G_x = \frac{\partial f}{\partial x}, G_y = \frac{\partial f}{\partial y}$$

Si lo que interesa es detectar los bordes, entonces se calcula

$$\sqrt{|G_x|^2 + |G_y|^2} \text{ o } |G_x|^2 + |G_y|^2$$

En el caso discreto:

$G_x = \frac{f(i,j)-f(i,j-1)}{T}$ o $G_x = \frac{f(i,j+1)-f(i,j-1)}{2T}$

$\begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Roberts: $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$

Prewitt: $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Sobel: $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Frei-Chen: $\sqrt{2}$

Para evitar el efecto de la amplificación del ruido, es normal aplicar algún tipo de suavizado antes de calcular las derivadas.

También se puede combinar un filtro (Gaussiano) de suavizado con el càlculo de las derivadas lo que da lugar a un filtro único

Operadores basados en la segunda derivada

Uno de los filtros isotrópicos (invariantes a rotaciones) más sencillos y usados es el filtro laplaciano.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

En el caso discreto:

$G_{xx} = G_x(i, j+1) - G_x(i, j) = f(i, j+1) - 2f(i, j) + f(i, j-1)$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Los bordes se corresponden con los cruces por cero de la laplaciana.

El filtro de Marr-Hildreth

También llamado filtro log (Laplacian Of Gaussian). Consiste en calcular un suavizado normal previamente al cálculo de la Laplaciana.

$$\nabla^2[f(x,y) * g_\sigma(x,y)] = f(x,y) * \nabla^2 g_\sigma(x,y)$$

Por su forma, este operador se conoce también como el sombrero mejicano.

Marr y Hildreth proponen aproximar el filtro log mediante una diferencia de Gaussianas (dog) lo que permite una mayor eficiencia.

Además, proponen aplicar el filtro log (o dog) a diferentes escalas espaciales (es decir, suavizando con varios valores para σ) de manera que se pueden detectar diferentes tipos de bordes y inferir propiedades de las discontinuidades en las imágenes.

El detector de Canny El detector de Canny (1986) representa un método elaborado y completo para la detección de bordes muy robusto.

Los dos primeros pasos (suavizado y realce) se basan en la aplicación de un filtro Gaussiano seguido de la primera derivada (gradiente).

Estos dos pasos se pueden realizar a la vez como en el filtro log.

Sea G el operador Gaussiano. La idea es calcular la convolución de la imagen con el operador

$$G_n = \frac{\partial G}{\partial n} = n \cdot \nabla G$$

donde n es un vector cuya orientación es perpendicular al borde.

Una estimación robusta de n viene dada por

$$n = \frac{\nabla G * f}{|\nabla G * f|}$$

Canny: supresión de los no-máximos

Los bordes se calculan entonces como los màximos locales de la imagen suavizada en la dirección perpendicular a los bordes para lo cual se calcula

$$\frac{\partial}{\partial n} G_n * f = \frac{\partial^2}{\partial n^2} G * f = 0$$

Para ello se cuantiza la dirección en 8 valores y se inspeccionan los píxeles adyacentes.

Canny: umbralización con histéresis

Los píxeles que pasan el test anterior (máximos locales en la dirección n) tienen asociada la magnitud del gradiente

$$|G_n * f| = |\nabla(G * f)|$$

A continuación se definen dos umbrales $t_1 < t_2$ y se etiquetan como bordes aquellos píxeles cuya magnitud del gradiente sea mayor que t_2.

los píxeles cuyo valor esté entre t_1 y t_2 sólo serán etiquetados como bordes si tienen algún borde adyacente. (procedimiento iterativo hasta convergencia).

Por ultimo se puede repetir el proceso para valores crecientes de σ (suavizado) acumulando los resultados.