PERCEPCIÓN COMPUTACIONAL

Tema 4: PERCEPCIÓN VISUAL III

BORDES Y PUNTOS DE INTERÉS

Gonzalo Pajares Martinsanz

Dpt. Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial

Facultad de Informática.- Universidad Complutense de Madrid

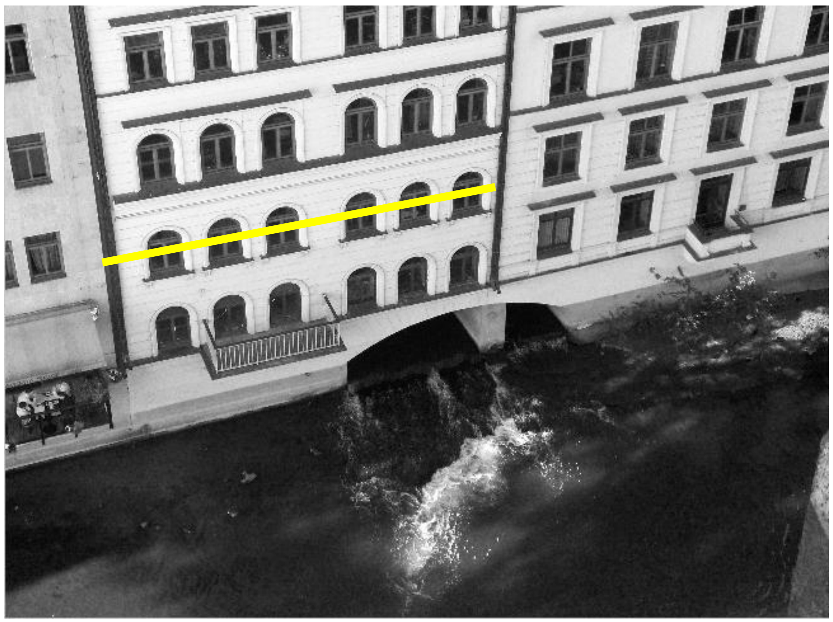
EXTRACCIÓN DE BORDES

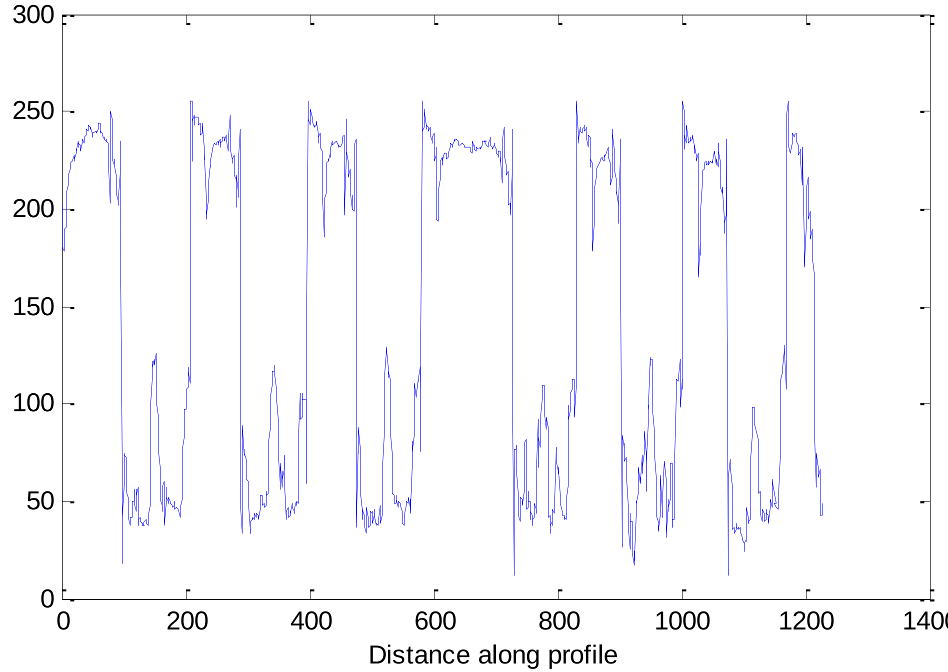
- Primera derivada
- Segunda derivada
- Operadores
- Filtrado de alta frecuencia

Perfiles de intensidad

Perfiles en todas las direcciones

Tema4a.m

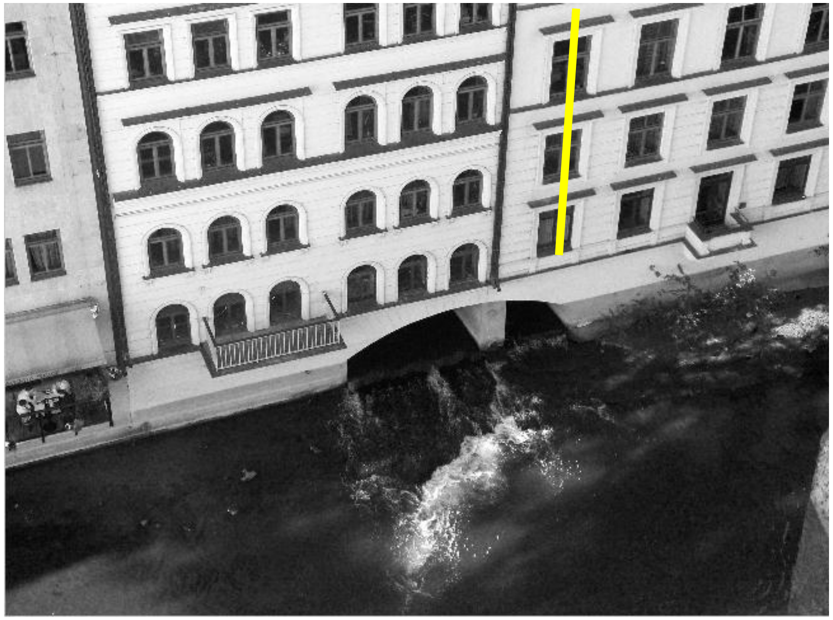


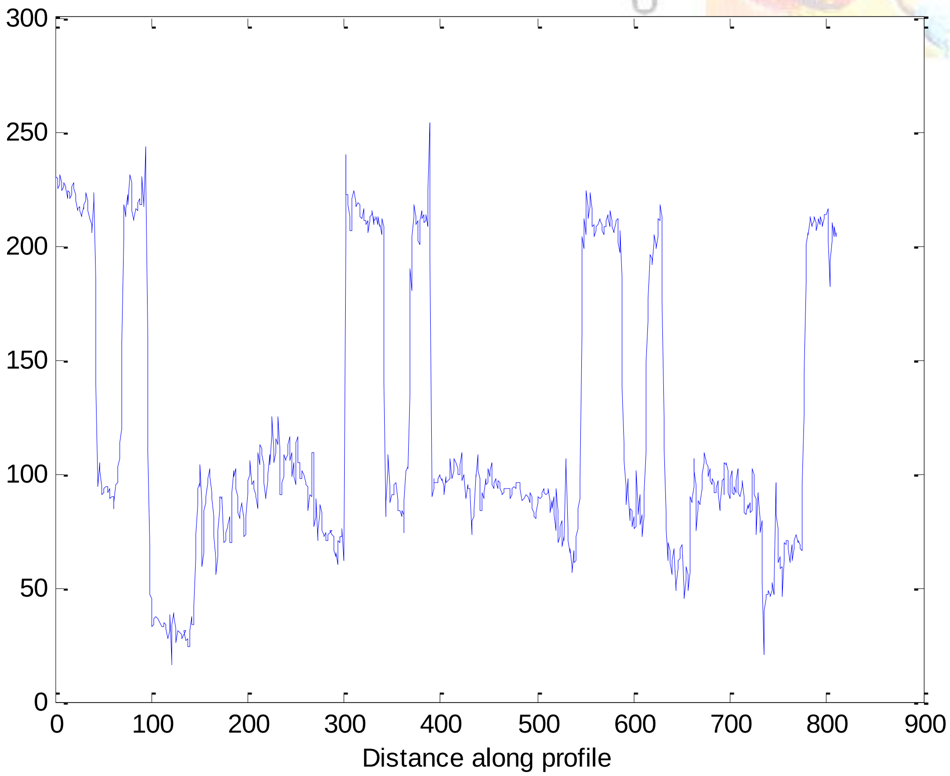


Perfiles de intensidad

Perfiles en todas las direcciones

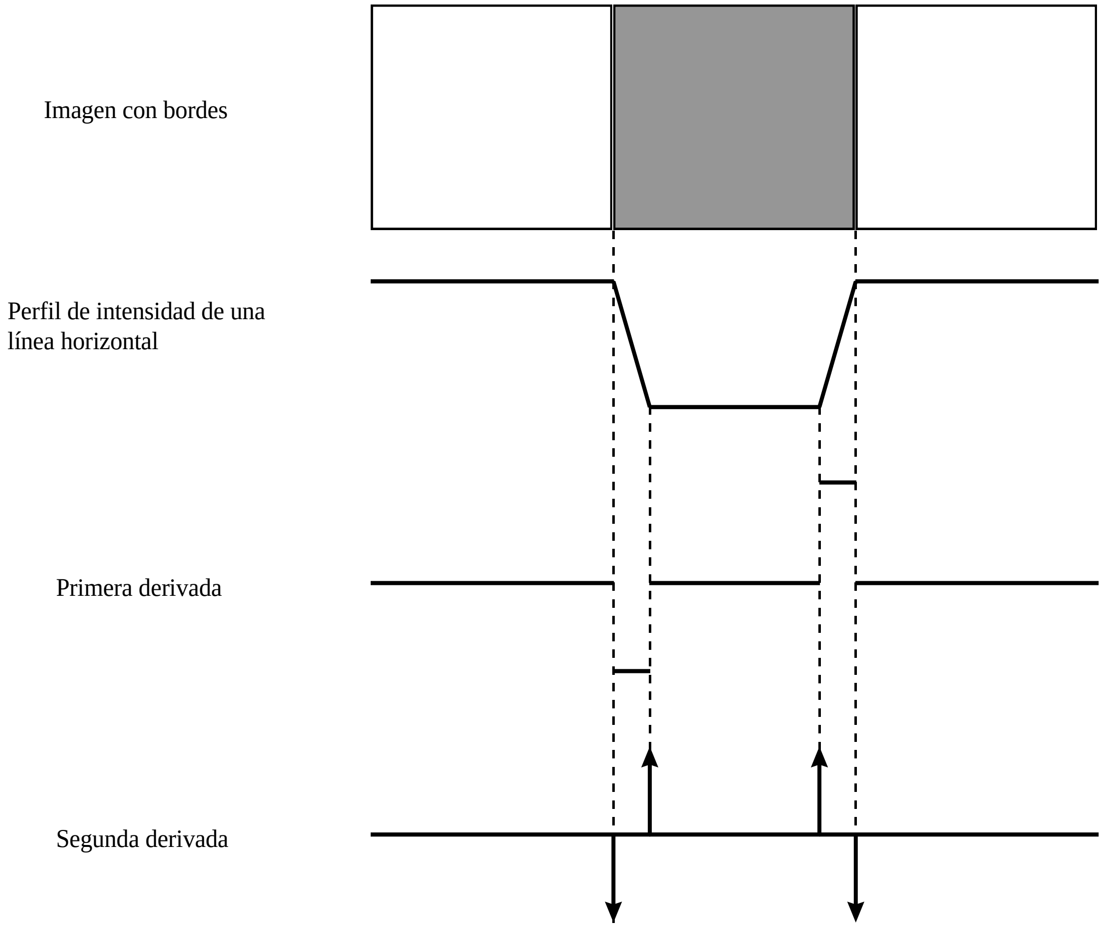
Tema4a.m





Extracción de bordes

Primera y segunda derivada



Extracción de bordes

Operadores primera derivada: gradiente de una imagen

$$\mathbf{G}\left[f(x,y)\right] = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial}{\partial x} f(x,y) \\ \dfrac{\partial}{\partial y} f(x,y) \end{bmatrix}$$

$$G_x = \frac{f(x+\Delta x) - f(x-\Delta x)}{2\Delta x} \qquad G_y = \frac{f(y+\Delta y) - f(y-\Delta y)}{2\Delta y}$$

$$\left|\mathbf{G}\right| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}; \qquad \phi(x,y) = \tan^{-1}\frac{G_y}{G_x}$$

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & si \;\; G\left[f(x,y)\right] > T \\ 0 & si \;\; G\left[f(x,y)\right] \le T \end{cases}$$

Extracción de bordes

Operadores primera derivada: Sobel

$$\begin{bmatrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ z_4 & z_5 & z_6 \\ z_7 & z_8 & z_9 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G_x = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$$
$$G_y = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$$

Ejemplo

$$\begin{bmatrix} \circ\, 0 & \circ\, 8 & \circ\, 8 & 8 & 8 & 8 \\ \circ\, 1 & \bullet\, 8 & \circ\, 9 & 7 & 6 & 8 \\ \circ\, 2 & \circ\, 3 & \circ\, 4 & 8 & 8 & 8 \\ 2 & 2 & 2 & 8 & 8 & 8 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 8 & 8 \end{bmatrix}$$

G_x = 30 - 4 = 26 y G_y = 12 - 24 = -12

Utilizando la ecuación previa se obtiene $|\mathbf{G}| = 38$

Extracción de bordes

Operadores primera derivada: Sobel

Tema4b.m

Umbral = 0.1

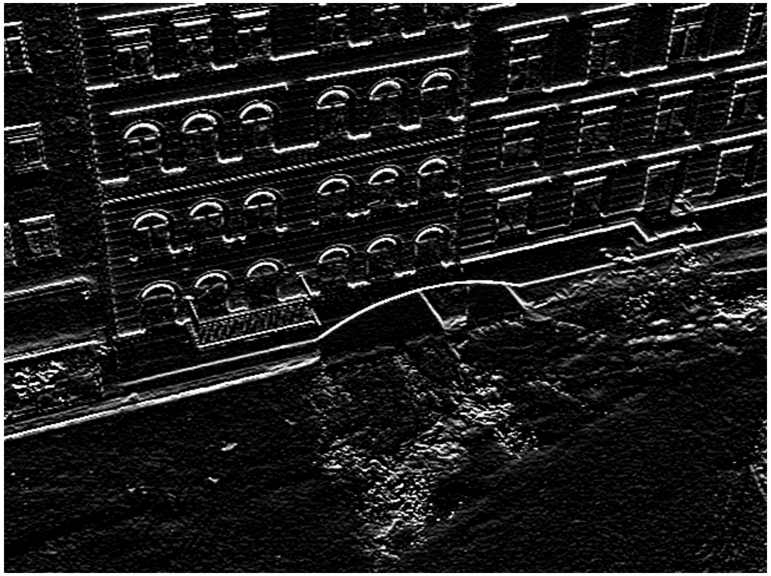
Umbral = 0.2

Extracción de bordes

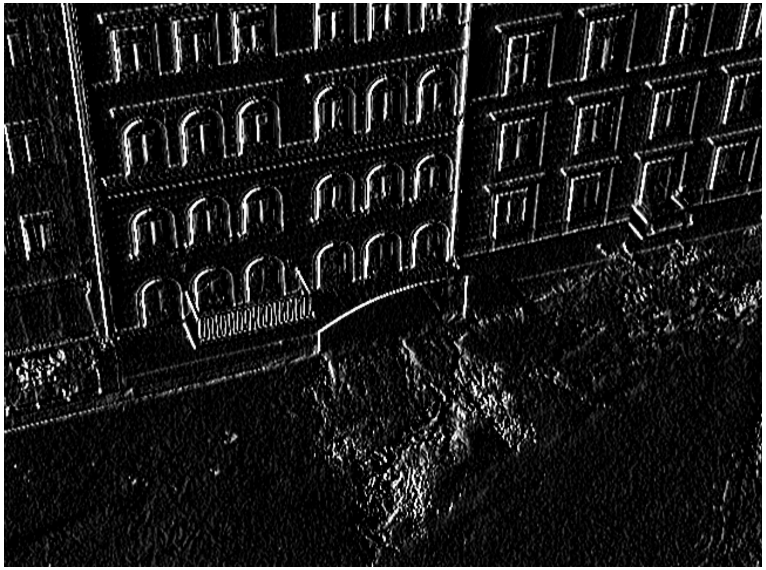
Operadores primera derivada: Sobel

Tema4b.m

Componentes horizontales



Componentes verticales



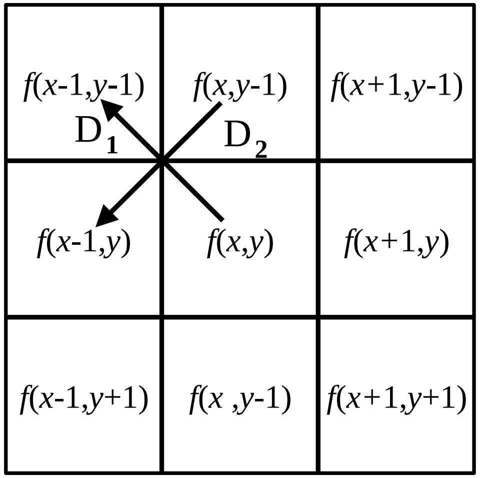
Umbral = 0.1

Extracción de bordes

Operadores primera derivada: Prewitt

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

Operadores primera derivada: Roberts



$$D_1 = f(x,y) - f(x-1,y-1); \quad D_2 = f(x,y-1) - f(x-1,y)$$

$$R = \sqrt{D_1^2 + D_2^2}; \qquad R = |D_1| + |D_2|$$

Extracción de bordes

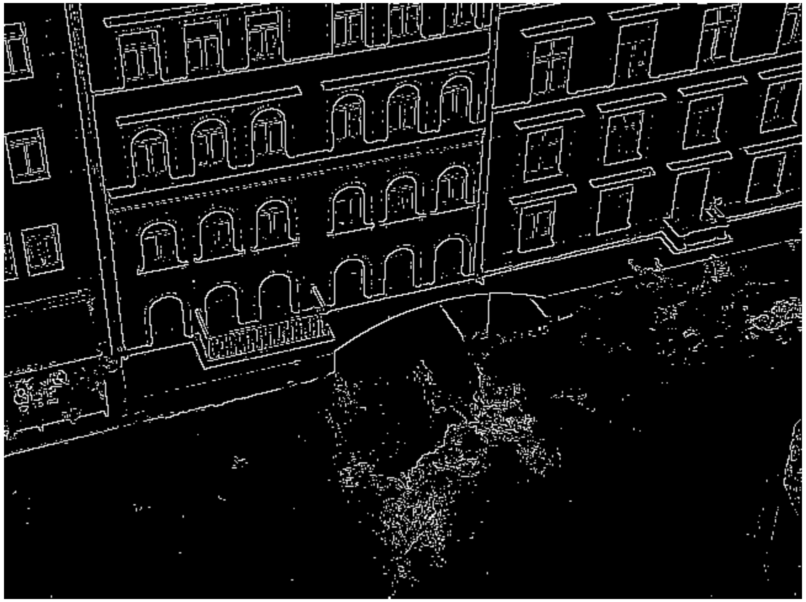
Gonzalo
Pajares

Operadores primera derivada: Prewitt y Roberts

Tema4c.m

Prewitt
Umbral = 0.1

Roberts
Umbral = 0.1



Extracción de bordes

Operadores primera derivada: máscaras de Kirsch

$$k_0 \equiv \begin{bmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{bmatrix} \quad k_1 \equiv \begin{bmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix} \quad k_2 \equiv \begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix} \quad k_3 \equiv \begin{bmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$$

0º 45º 90º 135º

$$k_4 \equiv \begin{bmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{bmatrix} \quad k_5 \equiv \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{bmatrix} \quad k_6 \equiv \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix} \quad k_7 \equiv \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{bmatrix}$$

180º 225º 270º 315º

$$\boldsymbol{max}\ \{\boldsymbol{k_i}\}$$

Operadores primera derivada: máscaras de Robinson

$$r_0 \equiv \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

como Kirsch pero con la máscara base dada

Extracción de bordes

Operadores primera derivada: extensión

$$Prewitt \equiv \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \qquad Sobel \equiv \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -2 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -2 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -2 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Extracción de bordes

Algoritmo de Canny

1) Obtención del gradiente (magnitud y ángulo en cada píxel)

La entrada es una imagen *I* corrompida por ruido.

Sea *H* un núcleo Gaussiano discreto con media cero y desviación estándar σ
a) Suavizar la imagen *I* con dicho núcleo para obtener una imagen de salida *J.*
b) Para cada píxel (*i*,*j*) en *J* obtener la magnitud y módulo del gradiente.

Se obtienen dos imágenes de salida: E_m de la magnitud del gradiente y E_a del ángulo del gradiente

Extracción de bordes

Algoritmo de Canny

2) Supresión no máxima al resultado del gradiente

Con E_m y E_a como entradas y una nueva imagen I_N como salida, considerar las cuatro direcciones d_1, d_2, d_3, d_4 identificadas por las orientaciones de 0º, 45º, 90º y 135º.

Para cada píxel (i,j):

a) Encontrar la dirección d_k que mejor se aproxima a la dirección $E_a(i,j)$.

b) Si $E_m(i,j)$ es más pequeño que al menos uno de sus dos vecinos en la dirección d_k, al píxel (i,j) de I_N se le asigna el valor 0, $I_N(i,j)=0$ (supresión); de otro modo $I_N(i,j)= E_m(i,j)$

Extracción de bordes

Algoritmo de Canny

3) Histéresis de umbral a la supresión no máxima

a) Tomar como entrada I_N, que es la salida del módulo anterior, E_0 la orientación de los puntos de borde de la imagen y dos umbrales t_1 y t_2, $t_1 < t_2$.

b) Para todos los puntos de I_N y explorando I_N en un orden fijo:

b.1) Localizar el siguiente punto de borde no explorado previamente, $I_N(i,j)$, tal que $I_N(i,j)>t_2$.

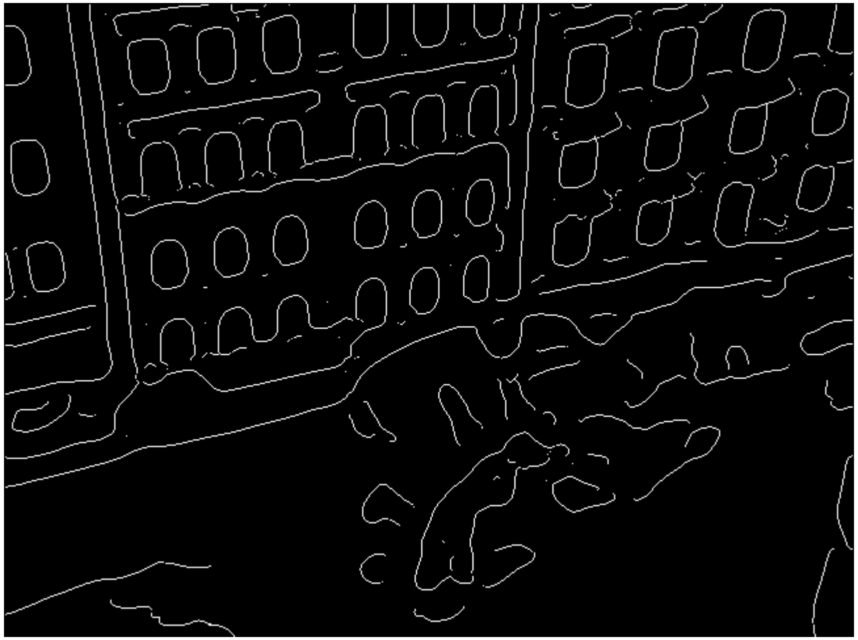
b.2) Comenzar a partir de $I_N(i,j)$, seguir las cadenas de máximos locales conectados en ambas direcciones perpendiculares a la normal del borde, siempre que $I_N > t_1$. Marcar todos los puntos explorados y salvar la lista de todos los puntos en el contorno conectado encontrado.

Extracción de bordes

Algoritmo de Canny

Tema4d.m

Canny
Umbrales T1 = 0.1 T2 = 0.5
sigma (suavizado Gaussiano) = 5



Extracción de bordes

Operadores segunda derivada: operador laplaciana

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \qquad \nabla^2 f = 4z_5 - (z_2 + z_4 + z_6 + z_8)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Aproximación de Haralick y Shapiro

Tras el filtrado,

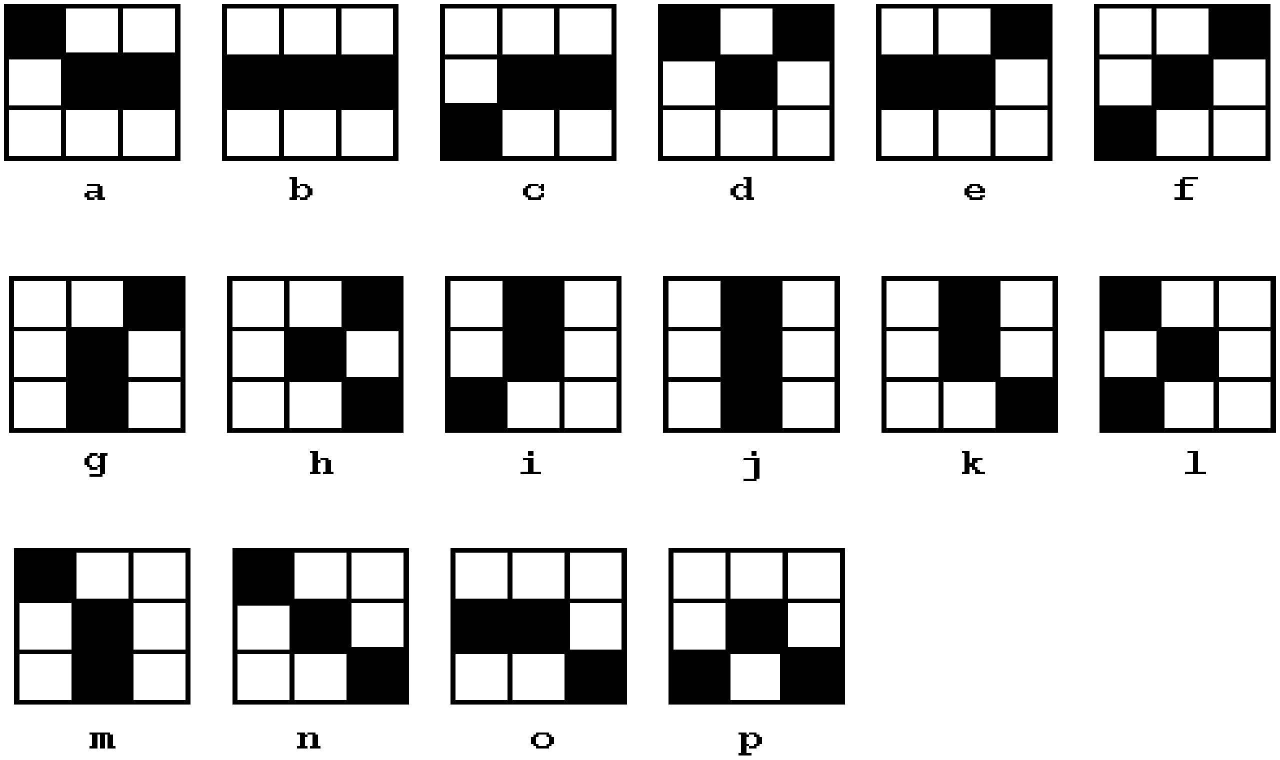
- Un punto es considerado de borde si es menor que -***t*** y uno de sus ocho vecinos es mayor que ***t***

- Un punto es considerado de borde si es mayor que ***t*** y uno de sus ocho vecinos es menor que -***t***

Extracción de bordes

Operadores segunda derivada: operador laplaciana

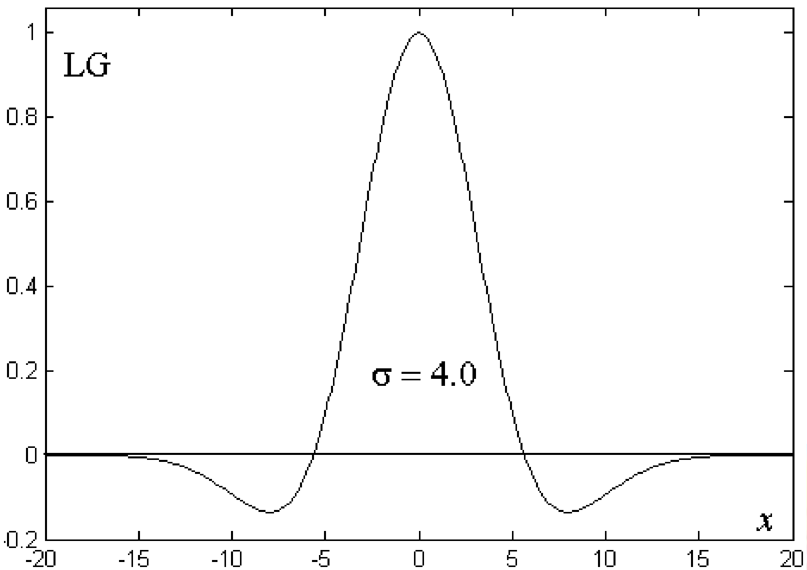
Aproximación de Kim y Aggarwal para zero-crossings

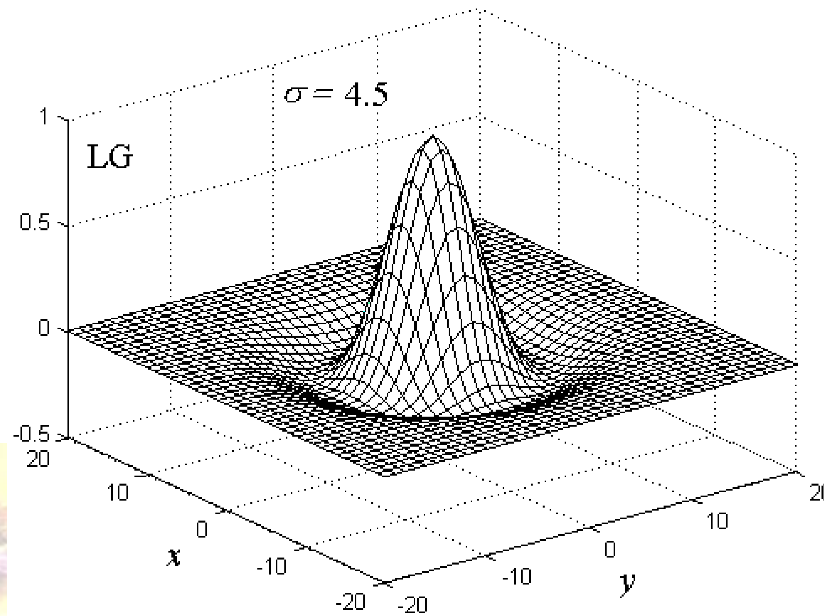


Operadores segunda derivada: operador Laplaciana de la Gaussiana

$$\nabla^2 G(x,y) = K\left(2 - \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right) e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

$$G(x,y) = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left(x^2+y^2\right)/2\sigma^2}$$





Extracción de bordes

Segunda derivada: resultados

Tema4e.m

Laplaciana
t = 150

Tema4f.m

Zero-crossing

Tema4g.m

LoG

Extracción de puntos de interés

Curvatura Gaussianas

$$E = \frac{f_{xx} f_y^2 + f_{yy} f_x^2 - 2 f_{xy} f_x f_y}{(f_x^2 + f_y^2)^{3/2}} \geq U_1 \qquad K = \frac{f_{xx} f_{yy} - f_{xy}^2}{f_x^2 + f_y^2} \geq U_2$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \equiv \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \frac{f}{\partial y} \equiv \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$f_x \equiv \frac{\partial f}{\partial x} \qquad f_y \equiv \frac{\partial f}{\partial y} \qquad f_{xx} \equiv \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) \qquad f_{yy} \equiv \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) \qquad f_{xy} \equiv \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)$$

Extracción de puntos de interés

Curvatura Gaussianas (Ejercicio_07_10.m)

$$f = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 & 8 & 8 \\ 2 & 2 & 2 & 8 & 8 \\ 2 & 2 & \bullet 2 & 8 & 8 \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 8 \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 8 \end{bmatrix} \quad f_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 18 & 18 & 0 \\ 0 & 0 & 12 & 12 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad f_y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 18 & 12 & 6 & 0 \\ 0 & 18 & 12 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad f_{xx} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 30 & -30 & 0 \\ 0 & 36 & 36 & -36 & 0 \\ 0 & 18 & 18 & -18 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$U_1 = 1.5$

$$f_{yy} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 36 & 18 & 0 \\ 0 & 30 & 36 & 18 & 0 \\ 0 & -30 & -36 & -18 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad f_{xy} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 24 & 24 & 0 \\ 0 & -12 & -24 & -24 & 0 \\ 0 & -12 & -24 & -24 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.00 & 1.36 & 0.85 & 0 \\ 0 & 1.36 & 1.70 & 0.33 & 0 \\ 0 & 0.85 & 0.33 & 0.26 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Puntos \equiv E \geq U_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Extracción de puntos de interés

Harris

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} < f_x^2 > & < f_x f_y > \\ < f_x f_y > & < f_y^2 > \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_W f_x^2 & \sum_W f_x f_y \\ \sum_W f_x f_y & \sum_W f_y^2 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} < R_x^2 + G_x^2 + B_x^2 > & < R_x R_y + G_x G_y + B_x B_y > \\ < R_x R_y + G_x G_y + B_x B_y > & < R_y^2 + G_y^2 + B_y^2 > \end{bmatrix}$$

$$H = \det(A) - kTr(A) \geq U_4$$

Extracción de puntos de interés

Harris

Tema4m.m

Puntos de interés