Tema 5. Detección de bordes

Tabla de Contenidos

- Definición de Borde
- Extracción de Bordes
- Operadores Derivada
- Comparación de Funciones Locales
- Comparación con Máscaras Orientadas
- Extracción de Esquinas
- Umbralización

Definición de Borde

- Cualquier discontinuidad que sufre alguna función de intensidad sobre los puntos de la misma
- Tipos de bordes:
  - Cambio brusco en la distancia cámara-objeto (dc)
  - Cambio en la normal del objeto (n)
  - Cambio en la reflectancia del objeto (r)
  - Cambio en la proyección de la luz incidente (s)

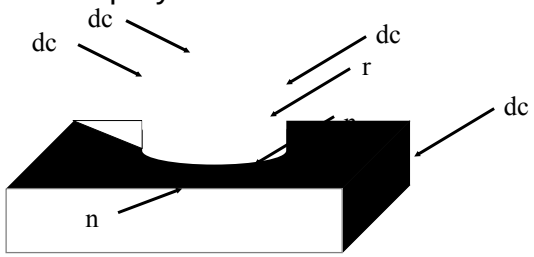
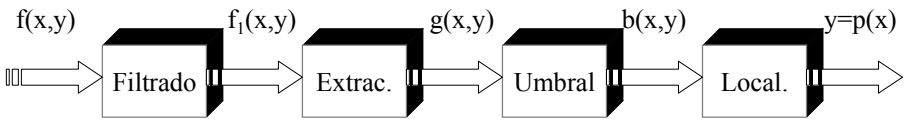


Tabla de Contenidos

- Definición de Borde
- Extracción de Bordes
- Operadores Derivada
- Comparación de Funciones Locales
- Comparación con Máscaras Orientadas
- Extracción de Esquinas
- Umbralización

Extracción de Bordes



- Filtrado + Extracción = Detección de bordes
- Umbralización:
  - Selecciona pixeles etiquetados como bordes
- Localización:
  - Suministra información exacta de la posición y orientación del borde

Extracción de Bordes

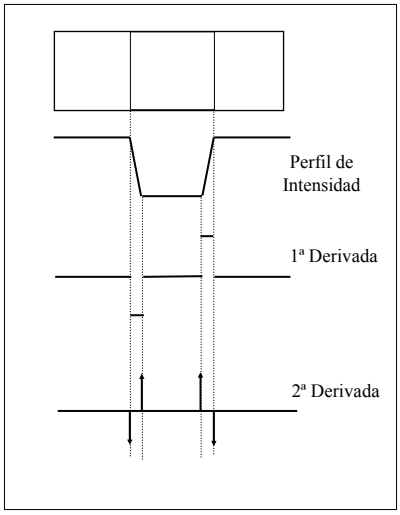
- En el dominio espacial
  - Operadores derivada de los niveles de intensidad
  - Comparaciones de funciones locales de intensidad
  - Comparación con máscaras orientadas, previamente definidas (*template matching*)
- Características exigibles
  - Precisión
  - Robustez
  - Calidad del etiquetado

Tabla de Contenidos

- Definición de Borde
- Extracción de Bordes
- Operadores Derivada
- Comparación de Funciones Locales
- Comparación con Máscaras Orientadas
- Extracción de Esquinas
- Umbralización

Operadores Derivada

- Efecto
  - La primera derivada produce un resalte de las zonas en que la intensidad no es homogénea.
  - La segunda derivada origina un cambio de signo en la posición de borde.
    - ”Zero-crossing" (paso por cero)



Operadores Derivada

- Vector Gradiente

$$\nabla f(x,y)=\begin{bmatrix}\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\\ \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\end{bmatrix}$$

$$\text{Mag}[\nabla f(x,y)]=\sqrt{\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)^2}$$

$$\theta=\text{arctag}\frac{\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}}{\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}}$$

  - Vector unitario en la dirección del gradiente

$$u_\theta=\begin{pmatrix}\cos\theta\\ \text{sen}\theta\end{pmatrix}=\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)^2}}\cdot\begin{pmatrix}\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\\ \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\end{pmatrix}$$

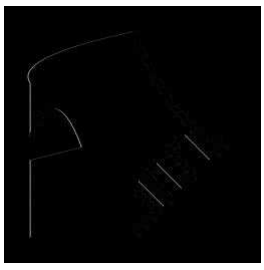
Operadores Derivada

- Discretización del Vector Gradiente (Eje X)

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\approx\nabla_x f(x,y)=f(x,y)-f(x-1,y)$$

-1	1

  - Desplazamiento de los bordes en una cantidad positiva de 0.5 píxels

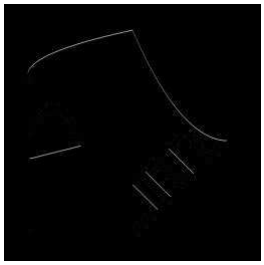


Operadores Derivada

- Discretización del Vector Gradiente (Eje Y)

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \approx \nabla_y f(x,y) = f(x,y) - f(x,y-1)$$

-1
1



Operadores Derivada

- Aproximaciones (Vector Gradiente)

$$\hat{Mag} = |\nabla_x f(x,y)| + |\nabla_y f(x,y)|$$

$$\hat{Mag} = |\nabla_r f(x,y)| + |\nabla_c f(x,y)|$$

siendo

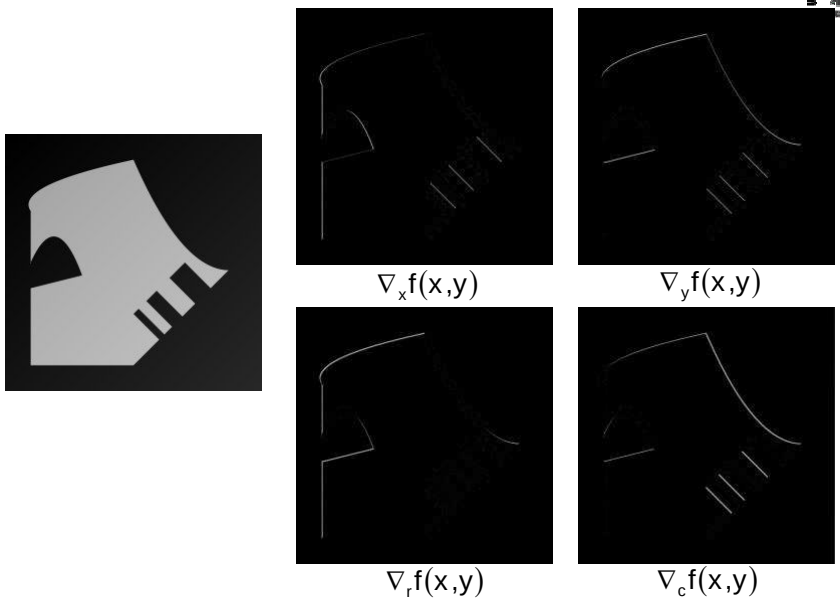
$$\nabla_r f(x,y) = f(x,y) *$$

-1	0
0	1

$$\nabla_c f(x,y) = f(x,y) *$$

0	-1
1	0

Operadores Derivada



Operadores Derivada

- Primera Derivada Direccional
  - Derivada de la función f(x,y) en la dirección α

$$D_\alpha f(x,y) = \nabla f(x,y)^T \cdot u_\alpha = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \cdot \cos\alpha + \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \cdot \text{sen}\alpha$$

  - Derivada de la función f(x,y) en la dirección del gradiente θ

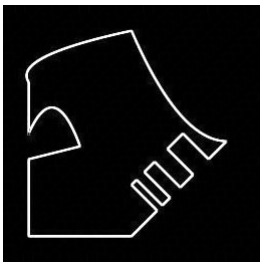
$$D_\theta f(x,y) = \nabla f(x,y)^T \cdot u_\theta = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \cdot \cos\theta + \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \cdot \text{sen}\theta$$

    - Escogiendo el propio gradiente como vector

$$D_\theta f(x,y) = \nabla f(x,y)^T \cdot \nabla f(x,y) = \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)^2$$

Operadores Derivada

- Primera Derivada Direccional (Ejemplo)



Primera Derivada Direccional

- Isotrópico (v)
- No Lineal (i)

Operadores Derivada

- Gradiente de Roberts horizontal

-1	0
0	1

0	-1
1	0

- Detector vertical

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

f_x

Detector

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

f_y

Detectores diagonales

1	1	0
1	0	-1
0	-1	-1

0	1	1
-1	0	1
-1	-1	0

Operadores Derivada

- Operador de Prewitt
- Operador de Sobel

-1	-1	-1	-1	0	1	-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-1	0	1	0	0	0	-2	0	2
1	1	1	-1	0	1	1	2	1	-1	0	1

- Máscaras de Kirsch

-3	-3	5	-3	5	5	5	5	5	5	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
-3	0	5	-3	0	5	-3	0	-3	5	0	-3	5	0	-3	5	0	-3	5	0	-3	-3	0	5	-3
-3	-3	5	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	5	-3	-3	5	5	-3	5	5	5	-3	5	5	5

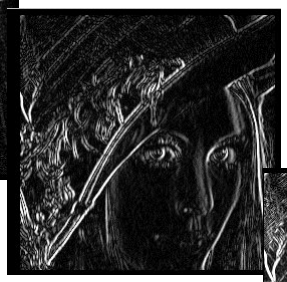
K_0 0º K_1 45º K_2 90º K_3 135º K_4 180º K_5 235º K_6 270º K_7 315º

Módulo del Gradiente = Máximo de estos valores
Dirección = Correspondiente al máximo

Operadores Derivada

- Ejemplos de operadores derivada

Detector horizontal



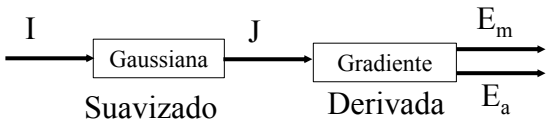
Detector vertical

Detector de Sobel

Operadores Derivada

- Algoritmo de Canny
  - Obtención del gradiente
  - Supresión no máxima al resultado del gradiente
  - Histéresis de umbral a la supresión no máxima
  - Cierre de contornos abiertos

1. Obtención del gradiente:



Operadores Derivada

2. Supresión no máxima al resultado del gradiente
   a. Para todo punto se obtiene la dirección más cercana d_k a 0º, 45º, 90º y 135º en $E_a(i,j)$
   b. Si $E_m(i,j)$ es menor que uno de sus dos vecinos en la dirección d_k, $I_N(i,j)=0$. Si no $I_N(i,j)=E_m(i,j)$
3. Histéresis de umbral a la supresión no máxima

   Permite eliminar máximos procedentes de ruido, etc.
   a. Entrada I_N, E_a, y dos umbrales T_1 y T_2 ($T_2>T_1$)
   b. Para todo punto en I_N, y explorando en un orden:
      a. Localizar el siguiente punto tal que $I_N(i,j) > T_2$
      b. Seguir las cadenas de máximos locales a partir de $I_N(i,j)$ en ambas direcciones perpendiculares a la normal al borde siempre que $I_N>T_1$. Marcar los puntos explorados.
   c. La salida es un conjunto de bordes conectados de contornos de la imagen, así como la magnitud y orientación.

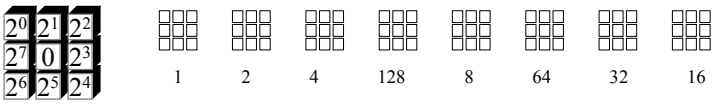
Operadores Derivada

4. Cierre de contornos abiertos

(Algoritmo de Deriche y Cocquerez)

a. La imagen de entrada es una imagen de contornos binarizada (1= borde; 0=no borde)

b. Para cada punto de borde de un extremo abierto se le asigna un código que determina las direcciones de búsqueda para el cierre del contorno



c. Para los pixels marcados con este código se marca como pixel de borde el de máximo gradiente en las tres direcciones posibles.

d. Se repiten los pasos hasta que se cierren todos los contornos.

Operadores Derivada

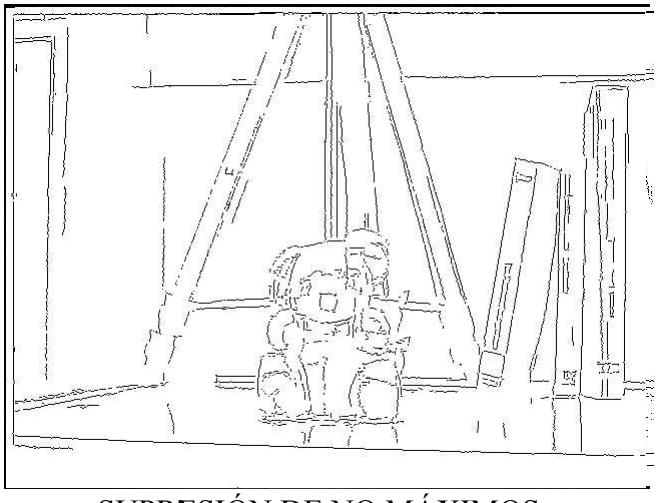


IMAGEN ORIGINAL

Operadores Derivada

- Operador Laplaciana

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

  - Discretizaciones aproximadas

$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} \approx \Delta_{xx} f(x,y) = f(x+1,y) - 2f(x,y) + f(x-1,y)$$

1	-2	1

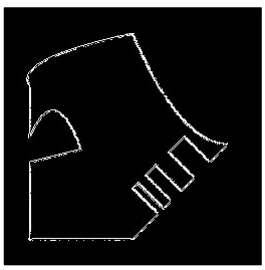
$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \approx \Delta_{yy} f(x,y) = f(x,y+1) - 2f(x,y) + f(x,y-1)$$

1
-2
1

Operadores Derivada

- Acción conjunta de las dos máscaras

0	1	0
1	-4	1
0	1	0



Operador Laplaciana

Operadores Derivada

- Segunda Derivada Direccional
  - En la dirección α

$$D_\alpha^2 f(x,y) = u_\alpha^T \cdot H \cdot u_\alpha$$

    - siendo H la matriz Hessiana

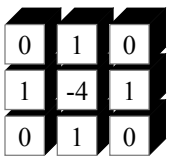
$$H = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \end{pmatrix}$$

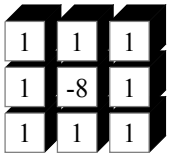
  - Escogiendo el vector unitario en la dirección del gradiente

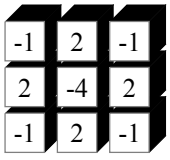
$$D_\theta^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2}\cos^2\theta + 2\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x \partial y}\text{sen}\theta\cos\theta + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2}\text{sen}^2\theta$$

Operadores Derivada

- Operador Laplaciana





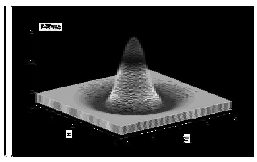


Operadores Derivada

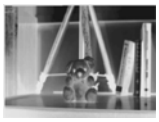
- Operador Laplaciana de la Gaussiana

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

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



- El filtro obtenido resulta bastante costoso en tiempo de computación
- Al ser un operador segunda derivada se reduce el efecto del ruido al suavizar la imagen
- Se detectan bordes en todas las direcciones
- Se puede trabajar a diferentes escalas al variar el valor de la desviación estándar de la Gaussiana. Cuanto mayor es esta desviación, habrá un menor número de pasos por cero.



Original + LG

Positivos – Blanco
Negativos - Negro

Imagen de Ceros

Operadores Derivada

- Aproximación de Haralick y Shaphiro
  - Se filtra la imagen con la Laplaciana de la Gaussiana
  - Un pixel es declarado como cero:
    - Si es menor que –t y uno de sus ocho vecinos es mayor que t
    - Si es mayor que t y uno de sus ocho vecinos es menor que -t

t=4000
Desviación = 2.0

Tabla de Contenidos

- Definición de Borde
- Extracción de Bordes
- Operadores Derivada
- Comparación de Funciones Locales
- Comparación con Máscaras Orientadas
- Extracción de Esquinas
- Umbralización

Comparación de Funciones Locales

- Funciones Gaussianas
  - Se comparan la imagen origen con imágenes filtradas con Gaussianas de distinta sigma

$$\hat{f}_1(x,y,\sigma_1) = f(x,y) * h(u,v,\sigma_1)$$

$$\hat{f}_2(x,y,\sigma_2) = f(x,y) * h(u,v,\sigma_2)$$

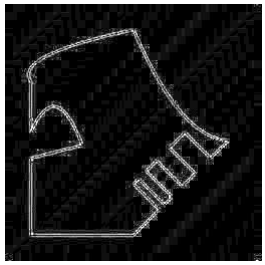
siendo h un filtro Gaussiano

  - Realce de los bordes

$$g(x,y) = \hat{f}_1(x,y,\sigma_1) - \hat{f}_2(x,y,\sigma_2)$$

Comparación de Funciones Locales

Filtro: Gaussiano σ=1



Diferencia imágenes previas

Filtro: Gaussiano σ=0.7

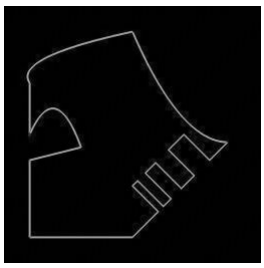
Comparación con Funciones Locales

- Funciones Exponenciales simétricas
- Operaciones Morfológicas
  - Imagen dilatada multinivel
  - Imagen erosionada multinivel
  - Realce de bordes: Diferencia entre ambas

$$g(x,y)=[f(x,y)\oplus e(u,v)]-[f(x,y)\Theta e(u,v)]$$

Comparación con Funciones Locales

Imagen Dilatada Multinivel



Diferencia Dilatación-Erosión

Imagen Erosionada Multinivel

Tabla de Contenidos

- Definición de Borde
- Extracción de Bordes
- Operadores Derivada
- Comparación de Funciones Locales
- Comparación con Máscaras Orientadas
- Extracción de Esquinas
- Umbralización

Comparación con Máscaras Orientadas

- Conjunto de Máscaras
  - Cada una resalta la existencia de un borde en una determinada dirección
  - Tamaño y número
    - Dependiente de la precisión requerida
  - Realce de los bordes

$$g(x,y,i) = \max\{f(x,y) * h_i(u,v)\}$$

Tabla de Contenidos

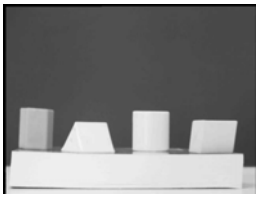
- Definición de Borde
- Extracción de Bordes
- Operadores Derivada
- Comparación de Funciones Locales
- Comparación con Máscaras Orientadas
- Extracción de Esquinas
- Umbralización

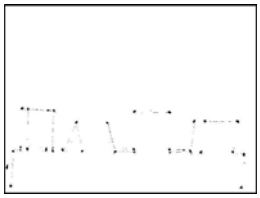
Extracción de Esquinas

- Método de Kitchen y Rosenfeld

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

Siendo f_x, f_y las primeras derivadas y f_{xx}, f_{xy}, f_{yy} las segundas derivadas. U_1 es un umbral para determinar si el punto pertenece a una esquina.





- Curvatura Gaussiana (Beaudet)

$$K = \frac{f_{xx}f_{yy} - f_{xy}^2}{(1 + f_x^2 + f_y^2)^2} \geq U_2$$

Tabla de Contenidos

- Definición de Borde
- Extracción de Bordes
- Operadores Derivada
- Comparación de Funciones Locales
- Comparación con Máscaras Orientadas
- Extracción de Esquinas
- Umbralización

Umbralización

- Umbralización
  - Etiquetado de los pixeles de borde
  - Problemas
    - Pérdidas de conectividad:
      - bordes poco definidos
      - filtrados muy fuertes
      - umbral muy exigente
    - Generación de bordes de anchura múltiple:
      - efectos del filtrado
      - umbral poco exigente
    - Existencia de falsos bordes:
      - presencia de ruido

Umbralización

- Tipos de umbralización
  - Operadores basados en la primera derivada
    - Umbralización simple
      - Umbral T único, define la existencia de borde
      - g(x, y)>T entonces BORDE
      - g(x, y)<T entonces NO BORDE
    - Umbralización múltiple
      - Dos o más umbrales, que definen dos imágenes resultado
    - Determinación de máximos locales del gradiente

Umbralización

- Ejemplos de imágenes de borde umbralizadas

Imagen original	Bordes (Sobel)	Umbral

Umbralización

- Localización de la posición del borde
  - Imagen umbralizada → Adelgazamiento
    - Bordes de anchura unidad
    - Información a nivel de pixel
  - Supresión de no máximos
    - Bordes de anchura unidad