



PERCEPCIÓN COMPUTACIONAL

Tema 5: PERCEPCIÓN VISUAL II DESCRIPCIÓN BORDES Y REGIONES

Gonzalo Pajares Martinsanz

Dpt. Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial

Facultad de Informática.- Universidad Complutense de Madrid





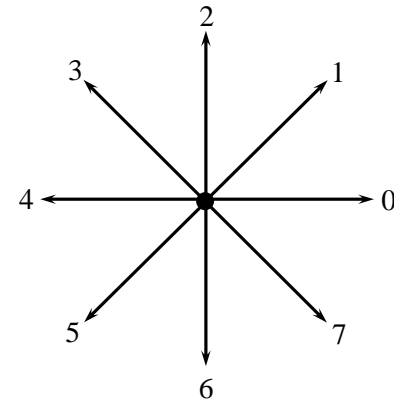
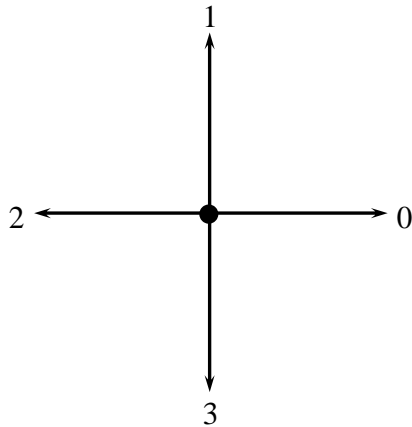
Descripción de bordes

- Descripción de segmentos rectos
- Ajuste de líneas por mínimos cuadrados
- La transformada de Hough
- Contornos deformables



Descripción de bordes

Segmentos rectos: códigos de cadena



Códigos de cadena

Ejemplo de código: 66666676666666666575666665

Descripción de bordes

Segmentos rectos: códigos de cadena

Algoritmo de Tanaka y Kak

1. Si el histograma tiene más de 4 barras ($N > 4$), la línea no es recta, ya que tiene al menos 4 orientaciones diferentes.
2. Si el histograma tiene una única barra ($N = 1$), la línea es puramente recta con alguna de las 8 direcciones cuantizadas.





Descripción de bordes

Segmentos rectos: códigos de cadena

Algoritmo de Tanaka y Kak (cont.)

3. Si el histograma tiene 2 barras ($N = 2$), dos casos han de ser considerados.

(a) Si las 2 barras son adyacentes, de nuevo hay que considerar dos casos:

(i) Si la máxima longitud del código de menor frecuencia es menor que un umbral prefijado T , la línea se declara recta.

(ii) Si la máxima longitud del código de menor frecuencia es mayor que un umbral prefijado T , la línea se declara no recta.

(b) Si las 2 barras no son adyacentes, esta línea se declara no recta. La línea contiene al menos dos orientaciones diferentes, y los ángulos de esas orientaciones difieren al menos 90° .



Descripción de bordes

Segmentos rectos: códigos de cadena

Algoritmo de Tanaka y Kak (cont.)

4. Si el histograma tiene 3 barras ($N = 3$), dos casos han de ser considerados:

(a) Si las 3 barras son adyacentes entre sí, la barra central es la más larga, y la altura de la barra vecina más próxima es menor que un umbral T fijado por el usuario, entonces la línea es declarada como recta.

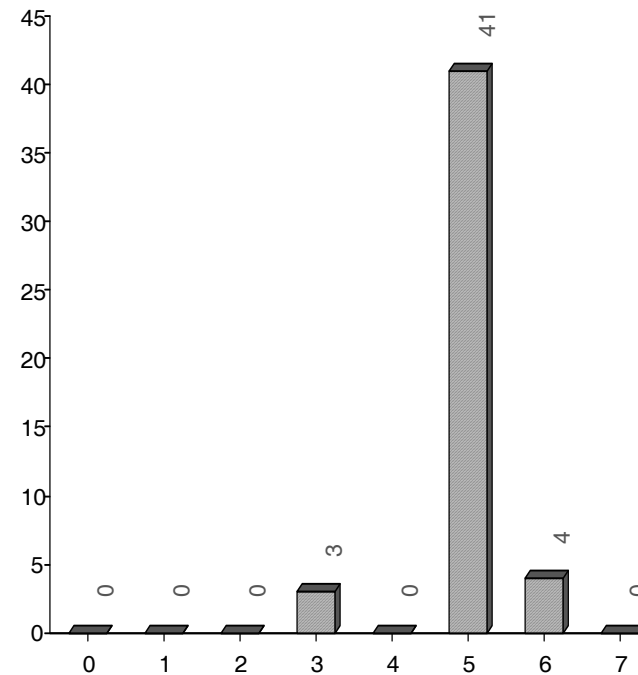
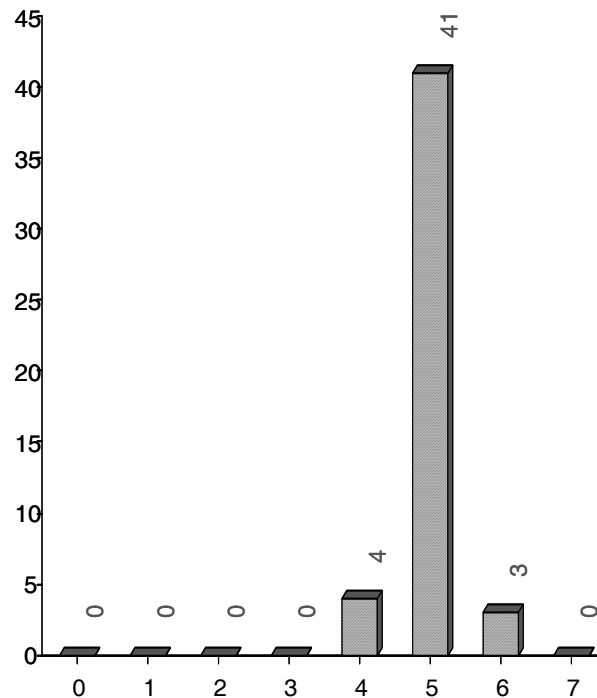
(b) Si de las 3 barras 2 no son adyacentes, esta línea se declara no recta. La línea tiene al menos dos orientaciones diferentes cuyos ángulos difieren al menos 90° .



Descripción de bordes

Segmentos rectos: códigos de cadena

Algoritmo de Tanaka y Kak (cont.)



Descripción de bordes

Ajuste de líneas por mínimos cuadrados

$$\sum_{i=1}^n [(c_0 + c_1 x_i) - y_i]^2$$

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 1 & x_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix}$$

$Y \quad \quad a \quad \quad b$

$$\|Ya - b\|^2 = \left\| \begin{bmatrix} c_0 + c_1 x_1 \\ c_0 + c_1 x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_0 + c_1 x_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} \right\|^2 = \sum_{i=1}^n [(c_0 + c_1 x_i) - y_i]^2$$

$$a = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \end{bmatrix} = Y^T b$$

Descripción de bordes

Ajuste de líneas por mínimos cuadrados

$$\sum_{i=1}^n \left[\left(c_0 + c_1 x_i + c_2 x_i^2 + \dots + c_d x_i^d \right) - y_i \right]^2$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \cdot & \cdot & \cdot & x_1^d \\ & & \cdot & & & & \\ & & \cdot & & & & \\ & & \cdot & & & & \\ 1 & x_n & x_n^2 & \cdot & \cdot & \cdot & x_n^d \end{bmatrix} \quad \mathbf{a} = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_d \end{bmatrix}$$



Descripción de bordes

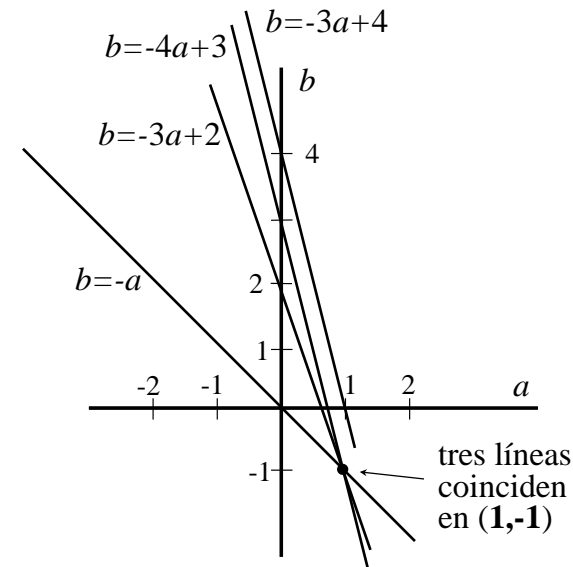
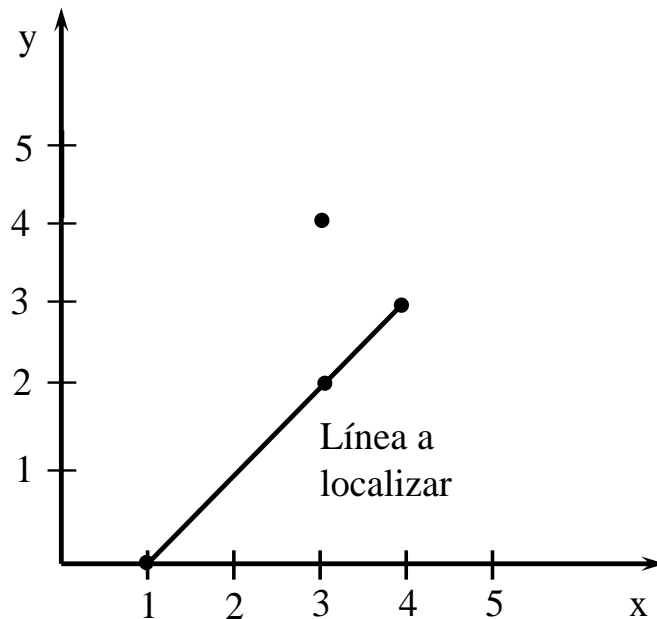


La transformada de Hough

$$y = ax + b$$

$$y_i = ax_i + b$$

Espacio de parámetros: $b = -x_i a + y_i$

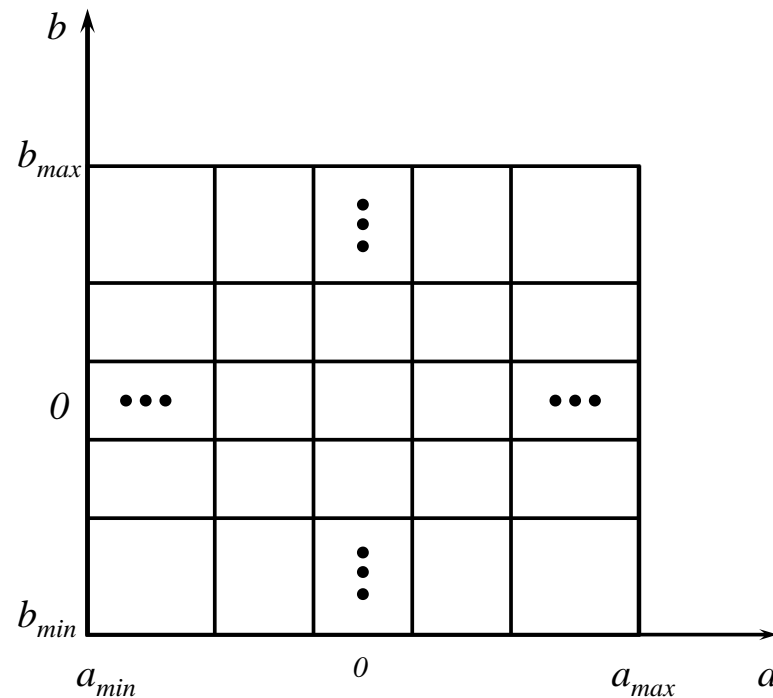


x	y	espacio xy	espacio ab
1	0	$0 = a + b$	$b = -a$
3	2	$2 = 3a + b$	$b = -3a + 2$
4	3	$3 = 4a + b$	$b = -4a + 3$
3	4	$4 = 3a + b$	$b = -3a + 4$

Descripción de bordes

Transformada de Hough

Acumulador: $A(p, q) = A(p, q) + 1$

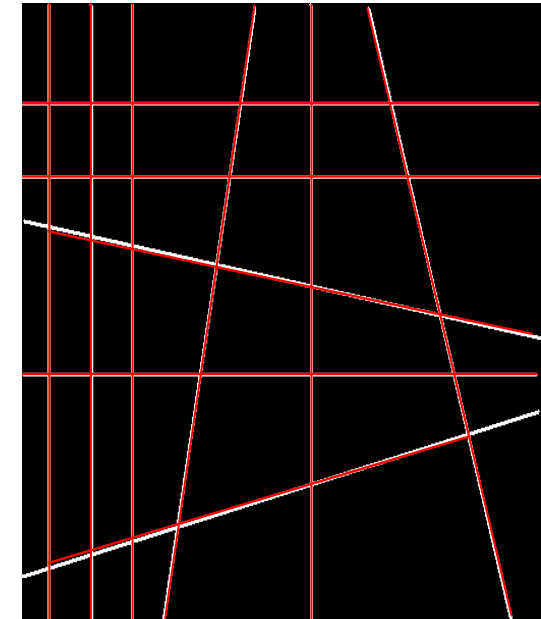
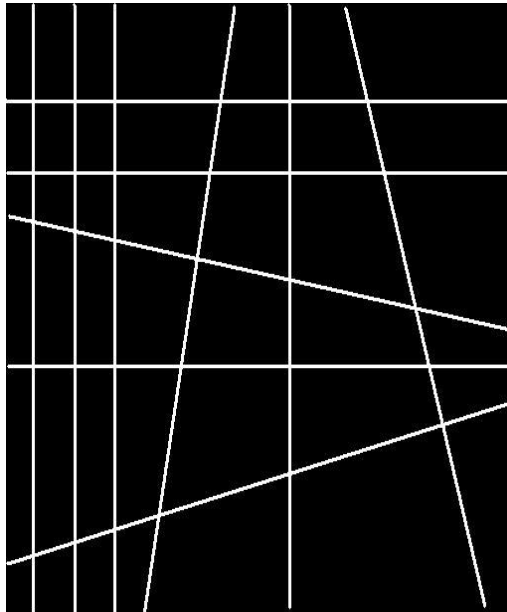


coordenadas polares: $x \cos \theta + y \sin \theta = \rho$

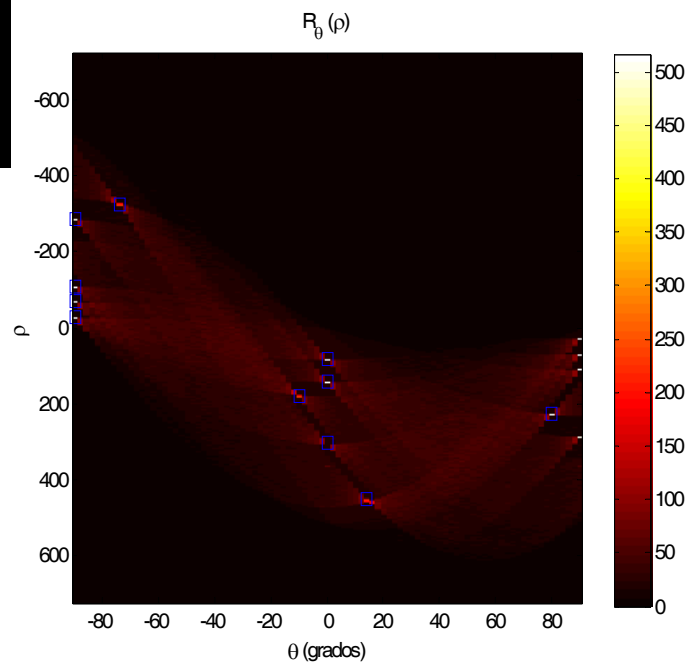
Descripción de bordes

Transformada de Hough

Detectar_lineas.m

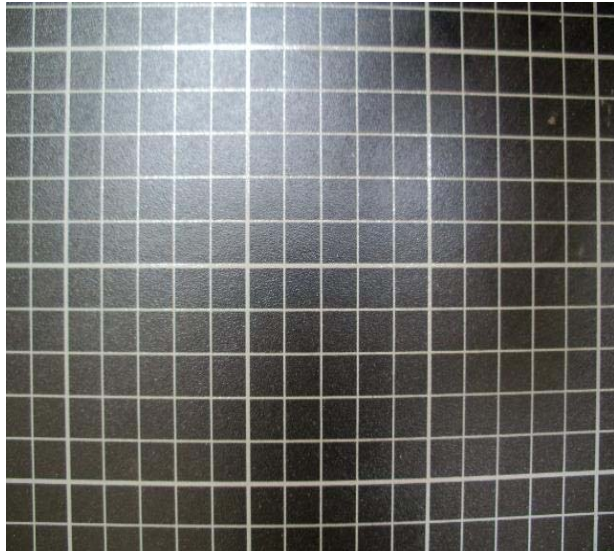


acumulador

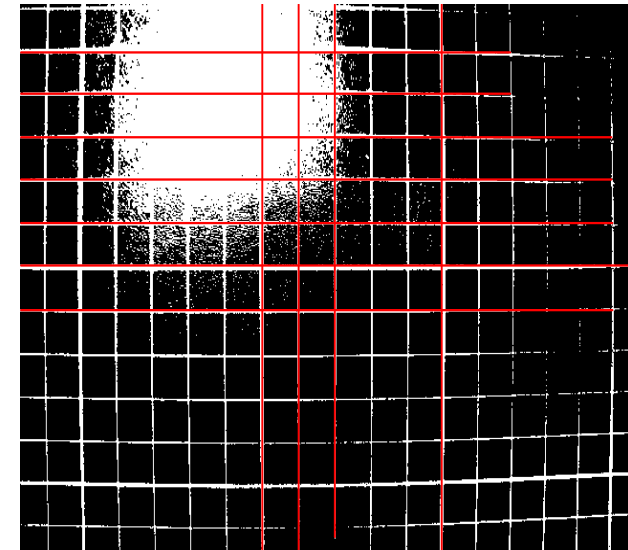


Descripción de bordes

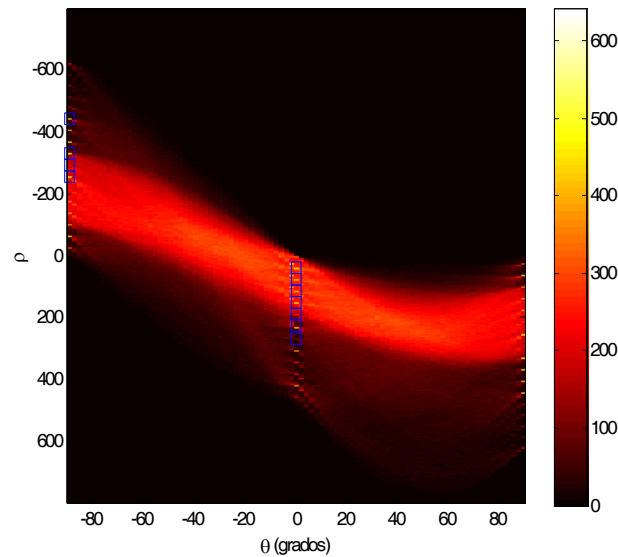
Transformada de Hough



Detectar_lineas.m



$R_{\theta}(\rho)$

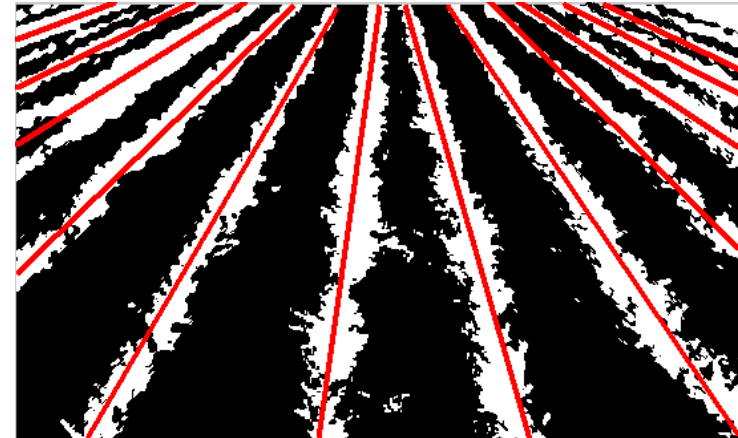


acumulador

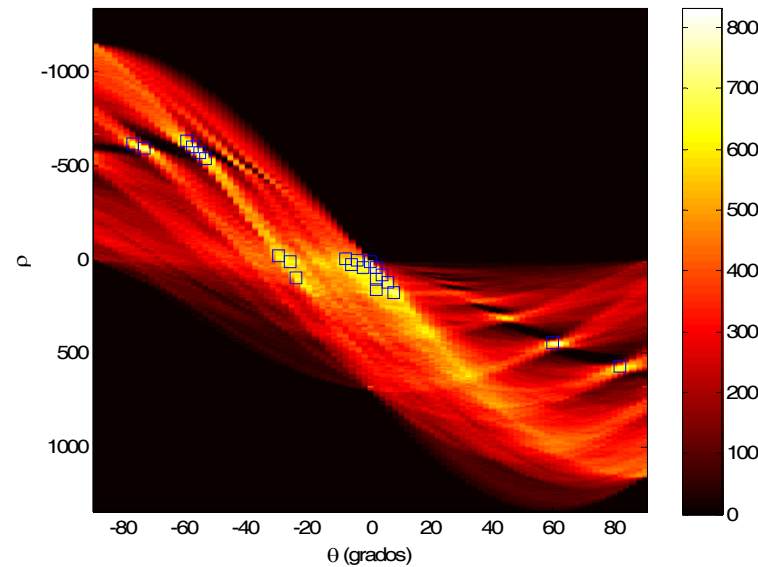


Descripción de bordes

Transformada de Hough



acumulador



Descripción de bordes

Contornos deformables: un algoritmo

Minimizar:
$$E = \sum_{i=1}^N (\alpha_i E_{cont} + \beta_i E_{curv} + \gamma_i E_{imag}) \quad \alpha_i, \beta_i, \gamma_i \geq 0$$

Continuidad del contorno:
$$E_{cont} = \|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_{i-1}\|^2 \quad \text{con } \mathbf{p}_i = (x_i, y_i)$$

Suavidad del contorno:
$$E_{curv} = \|\mathbf{p}_{i-1} - 2\mathbf{p}_i + \mathbf{p}_{i+1}\|^2$$

Atracción del borde:
$$E_{imag} = -\|\nabla I\|^2$$



Descripción de bordes

Contornos deformables: un algoritmo

Definir el contorno inicial con un número de puntos N e inicializar α_i , β_i y γ_i .

2.- Mientras el número de puntos que se mueven a una nueva localización sea mayor que un determinado umbral T_l realizar el paso 3.

3.- Desde $i = 0$ hasta N (el punto N es el primero y el último procesado).

3.1 Fijar E_{min} a un valor elevado.

3.2 Para todos los puntos j en un entorno de vecindad del punto p_i de dimensión $m \times m$ obtener

$$E_j = \alpha_i E_{cont,j} + \beta_i E_{curv,j} + \gamma_i E_{imag,j}$$

3.3 Si $E_j < E_{min}$ entonces $E_{min} = E_j$ y $jmin = j$.

3.4 Mover el punto p_i a la localización $jmin$ y contabilizar este movimiento de posición.

Descripción de bordes

Contornos deformables: un algoritmo

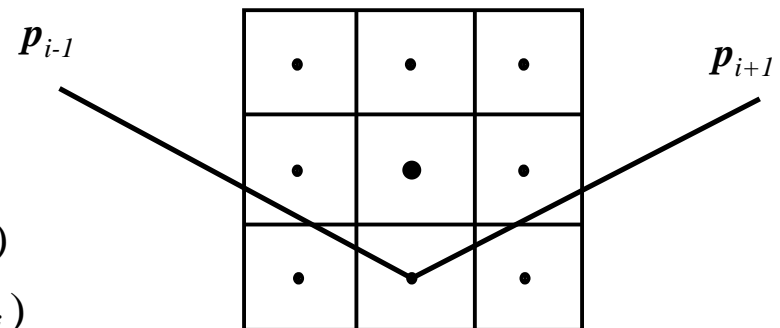
Determinar las curvaturas para la siguiente iteración:

4.1 Desde $i = 0$ hasta $N-1$ obtener c_i

4.2 Si $c_i > c_{i-1}$ y $c_i > c_{i+1}$ (si la curvatura es mayor que la de los vecinos) y $c_i > T_2$ (y la curvatura es mayor que un determinado umbral) y la magnitud del gradiente en $\mathbf{p}_i > T_3$ (la fuerza del borde supera un umbral) entonces fijar β_i a 0 (eliminar la contribución de la curvatura en el cómputo de la energía para la siguiente iteración).

$$c_i = \left\| \frac{\mathbf{u}_i}{|\mathbf{u}_i|} - \frac{\mathbf{u}_{i+1}}{|\mathbf{u}_{i+1}|} \right\|$$

donde $\mathbf{u}_i = (x_i - x_{i-1}, y_i - y_{i-1})$
 $\mathbf{u}_{i+1} = (x_{i+1} - x_i, y_{i+1} - y_i)$



Descripción de bordes

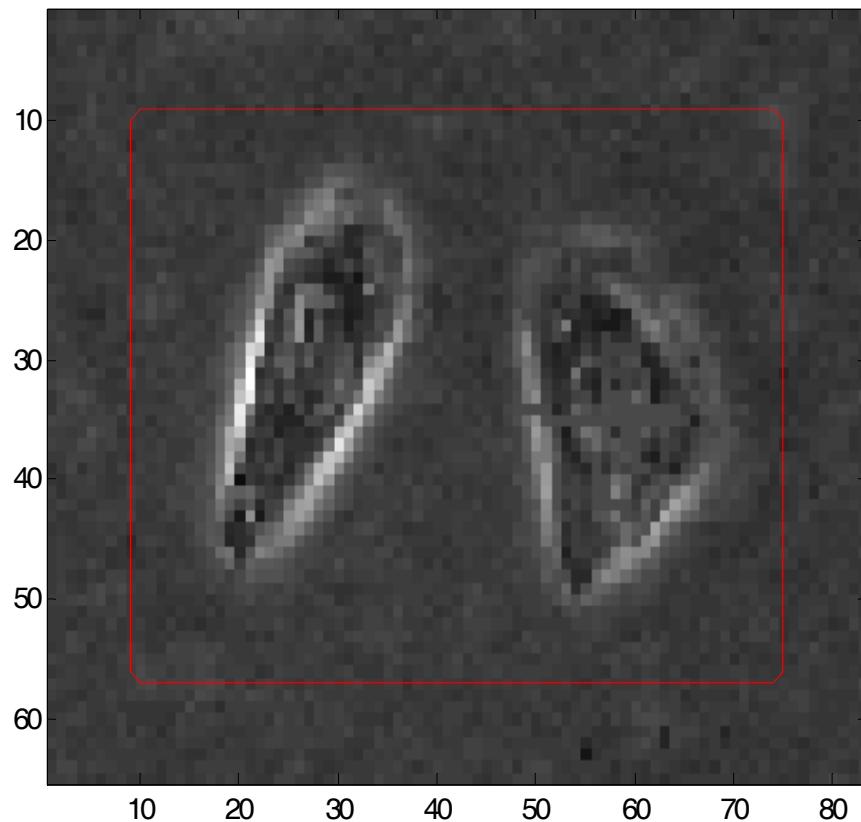
Contornos deformables

Demo1.m

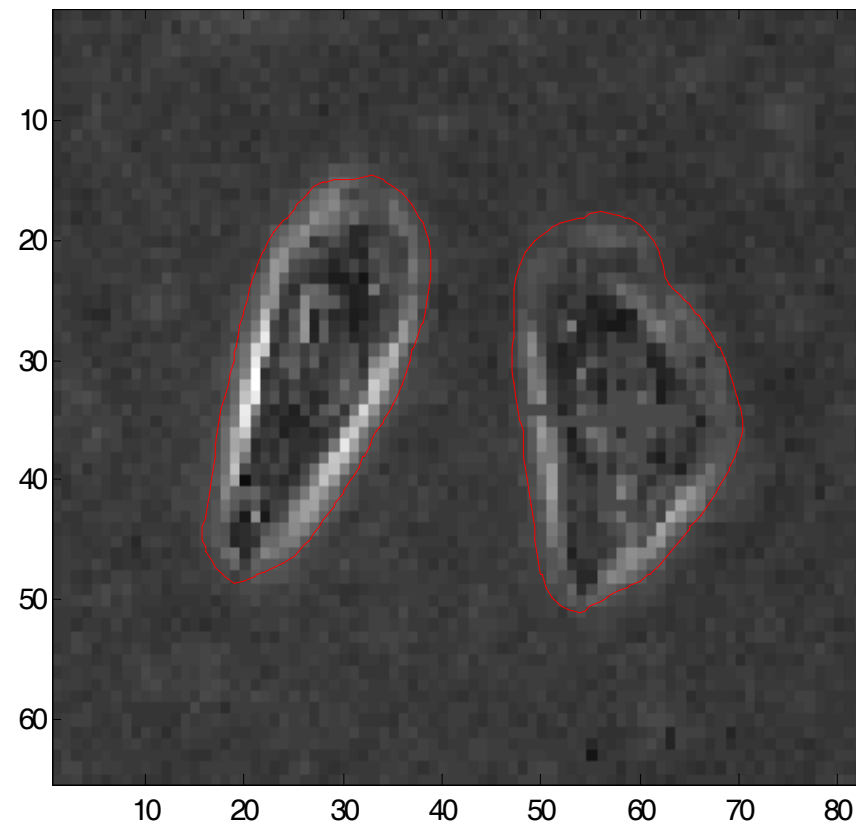
Chunming Li

<http://www.engr.uconn.edu/~cmli/code/>

Initial contour



Final contour, 300 iterations



Descripción de bordes

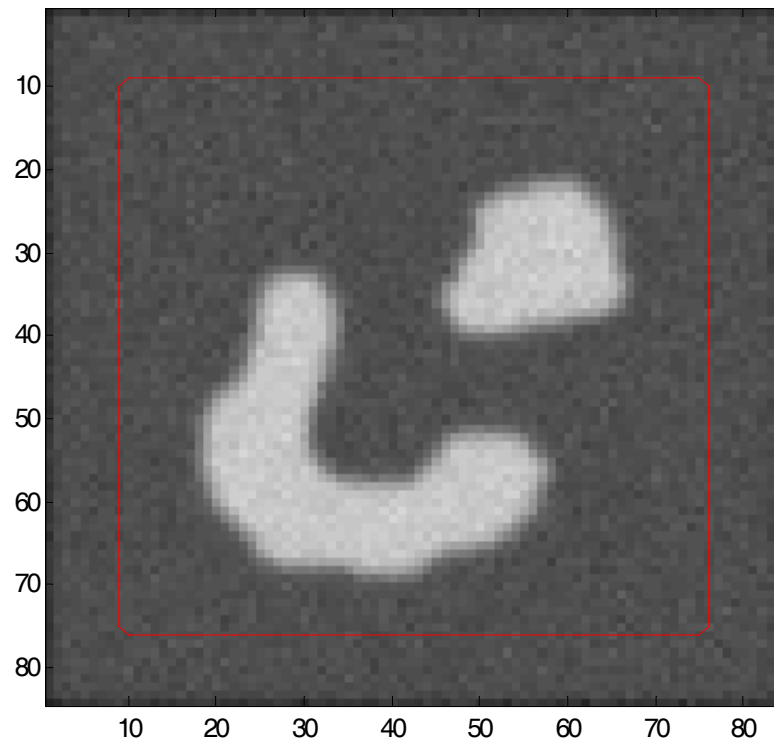
Contornos deformables

Demo2.m

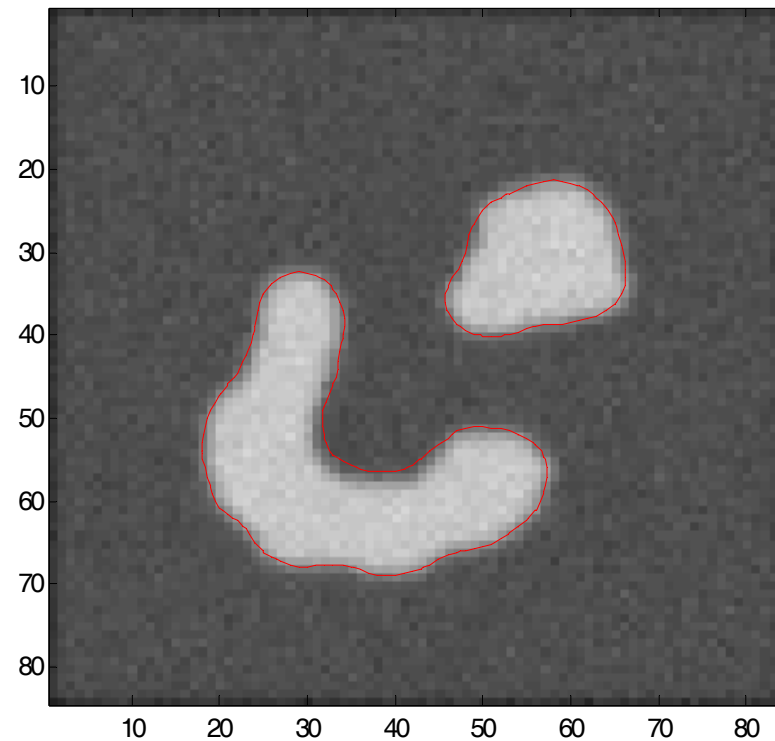
Chunming Li

<http://www.engr.uconn.edu/~cmli/code/>

Initial contour



Final contour, 250 iterations





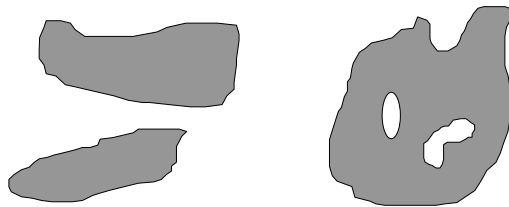
Descripción de regiones

- **Propiedades de las regiones**
- **Estadísticas: primer y segundo orden**
- **Descripción de texturas: Fourier**
- **Momentos invariantes de Hu**
- **Superficies 3D**

Descripción de regiones

Propiedades topológicas

Componentes conexas



número de *Euler* $E = C - H$

C = número de componentes conexas

H = número de huecos

A

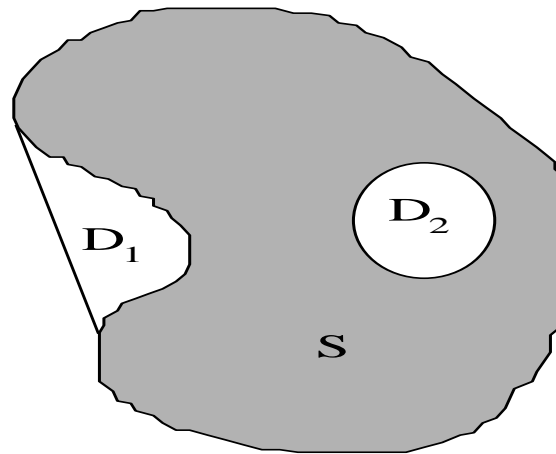
$$E = 1 - 1 = 0$$

B

$$E = 1 - 2 = -1$$

Descripción de regiones

Propiedades topológicas



La envoltura convexa o en terminología anglosajona el “*convex hull*” H de un conjunto arbitrario S es el conjunto convexo más pequeño conteniendo S . Si S es convexo se cumple que $H = S$. Si S tiene solamente una componente conexa, entonces H puede verse como el conjunto encerrado por una goma elástica alrededor del perímetro de S . El conjunto diferencia $H-S$ se denomina *deficiencia convexa* D del conjunto S .

Descripción de regiones

Propiedades métricas

Área: número de píxeles de una región

A

Perímetro: número de píxeles del borde

$$P = \sum_i \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$$

Compatibilidad: P^2/A

Centroide: centro de gravedad

$$\bar{x} = \frac{1}{A} \sum_i x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{A} \sum_i y_i$$

Elongación o razón de aspecto: razón longitud ancho; cuadrado = 1

Ejes mayor y menor: de la elipse envolvente, determinan la orientación

Redondez: razón entre el área y el eje mayor al cuadrado

Compacidad: cociente entre la raíz cuadrada del área y el eje mayor



Descripción de regiones

Propiedades métricas

Orientación

$$S_x = \sum x_i, \quad S_y = \sum y_i, \quad S_{xx} = \sum x_i^2, \quad S_{yy} = \sum y_i^2, \quad S_{xy} = \sum x_i y_i$$

$$M_{xx} = S_{xx} - \frac{S_x^2}{A}, \quad M_{yy} = S_{yy} - \frac{S_y^2}{A}, \quad M_{xy} = S_{xy} - \frac{S_x S_y}{A}$$

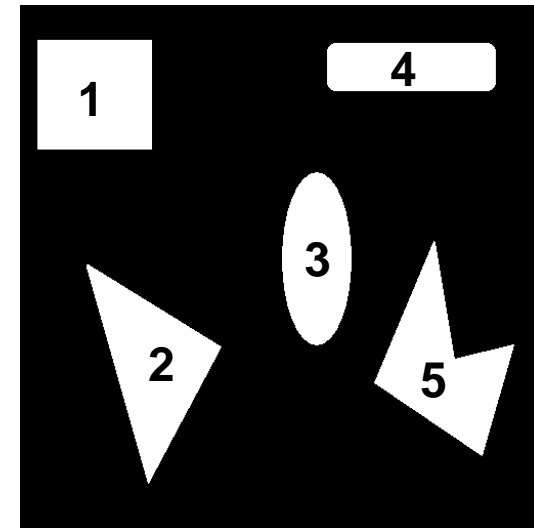
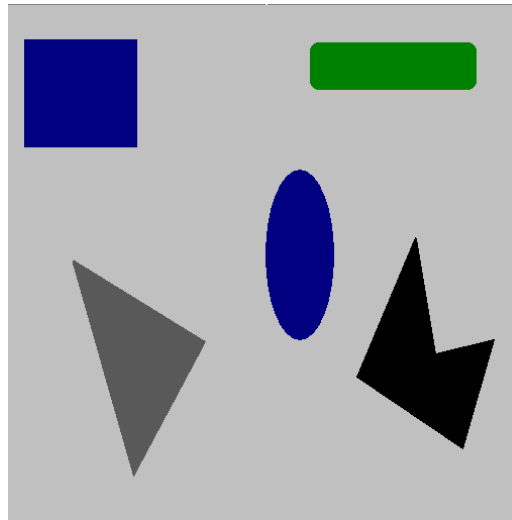
$$\phi = \tan^{-1} \left\{ \frac{M_{xx} - M_{yy} + \sqrt{(M_{xx} - M_{yy})^2 + 4M_{xy}^2}}{2M_{xy}} \right\}$$

Descripción de regiones

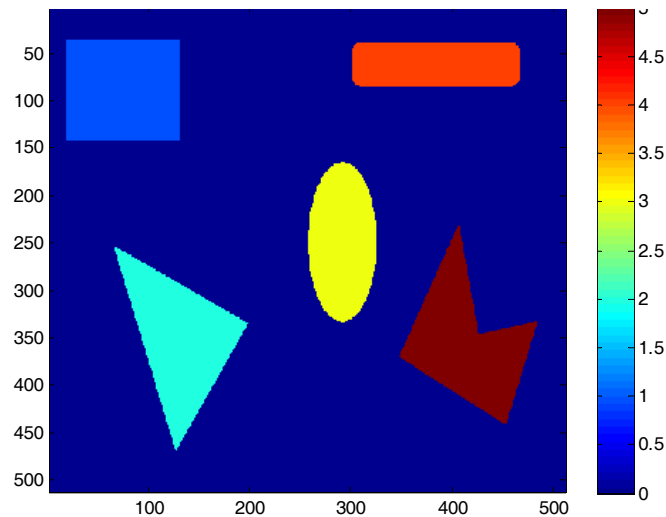
Propiedades métricas

Tema5a.m

regionprops




etiquetas



Descripción de regiones

Propiedades métricas

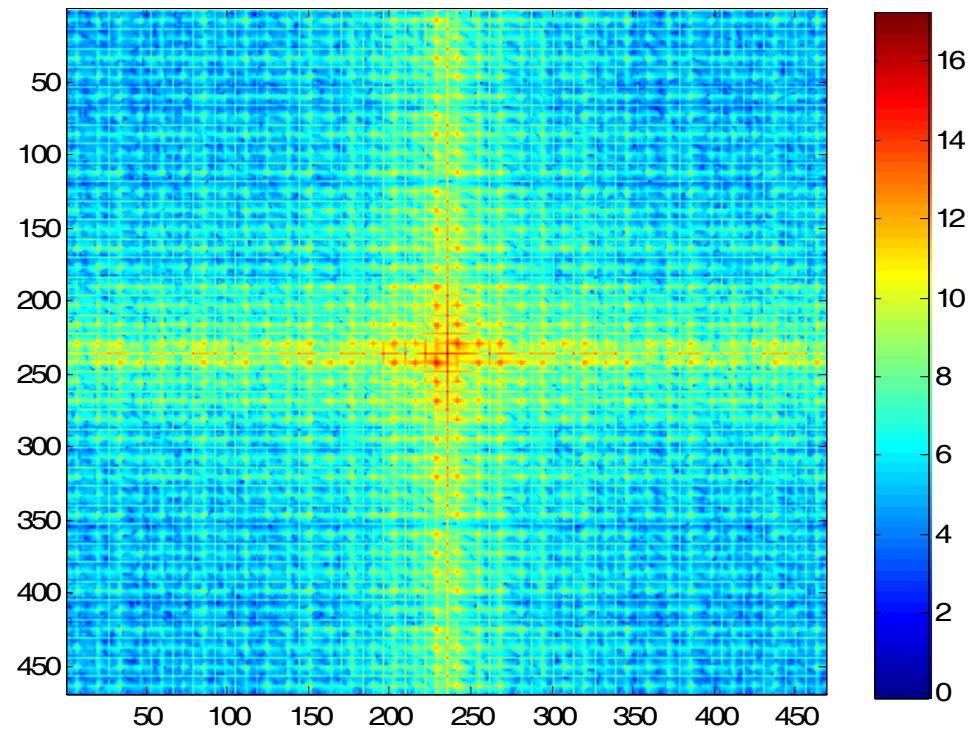
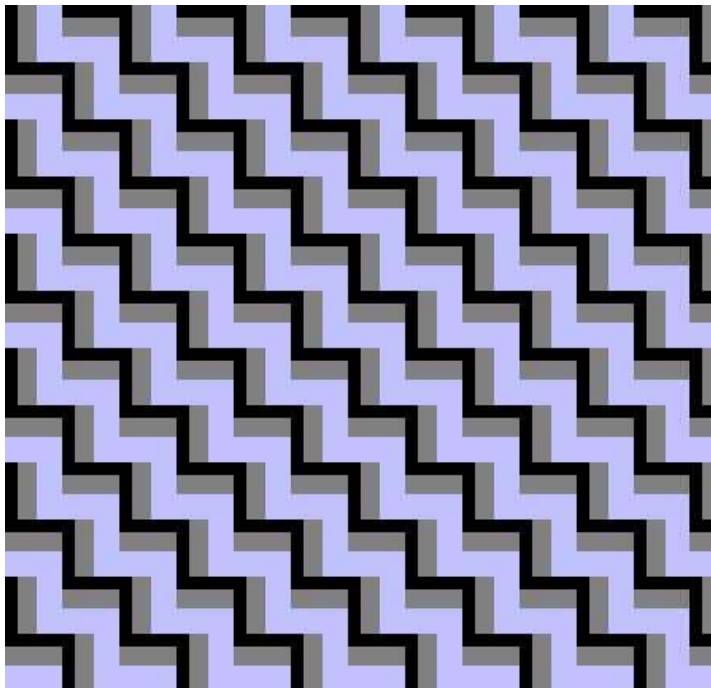
Array Editor - Prop(298,1)	
	
Field ▲	Value
Area	1230
Centroid	[401.55 403.41]
BoundingBox	[367.5 378.5 67 48]
SubarrayIdx	<1x2 cell>
MajorAxisLength	73.49
MinorAxisLength	30.882
Eccentricity	0.90742
Orientation	40.591
ConvexHull	<20x2 double>
ConvexImage	<48x67 logical>
ConvexArea	1889
Image	<48x67 logical>
FilledImage	<48x67 logical>
FilledArea	1243
EulerNumber	-10
Extrema	<8x2 double>
EquivDiameter	39.574
Solidity	0.65114
Extent	0.38246
PixelIdxList	<1230x1 double>
PixelList	<1230x2 double>
Perimeter	239.52



Descripción de regiones

Texturas: Fourier

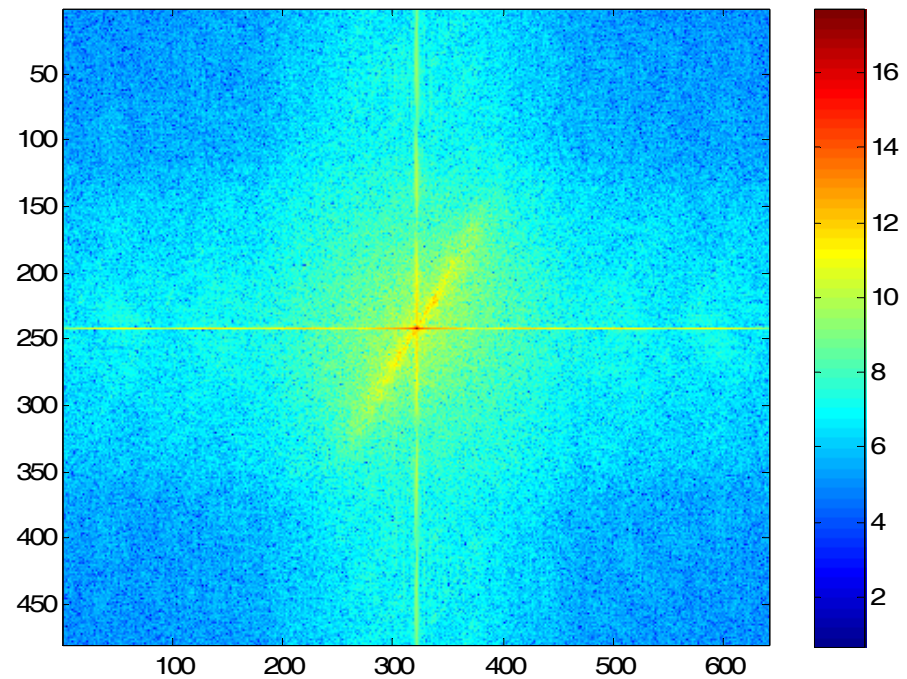
Tema5c.m



Descripción de regiones

Texturas: Fourier

Tema5c.m



Descripción de regiones

Momentos invariantes: Hu

Momentos de orden **p+q** $m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y)$

Momentos centrales de orden **p+q** $\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y)$

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

Momentos centrales normalizados de orden **p+q**

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma} \quad \text{donde} \quad \gamma = \frac{p+q}{2} + 1 \quad \text{para } (p+q) = 2, 3, \dots$$

Descripción de regiones

Momentos invariantes: Hu

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$\phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ (3\eta_{12} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$\phi'_n = \text{abs} \ln(\text{abs}(\phi_n))$$

Descripción de regiones

Momentos invariantes: Hu

Determinar los momentos de orden $p+q = 0, 1, 2, 3$ de la región de unos

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$m_{21} = \sum_x \sum_y x^2 y^1 f(x, y) = 3^2 * 2^1 * 1 + 3^2 * 3^1 * 1 + 3^2 * 4^1 * 1 + \\ 4^2 * 2^1 * 1 + 4^2 * 3^1 * 1 + 4^2 * 4^1 * 1 + 5^2 * 2^1 * 1 + 5^2 * 3^1 * 1 + 5^2 * 4^1 * 1 \\ = 18 + 27 + 36 + 32 + 48 + 64 + 50 + 75 + 100 = 450$$

m_{00}	m_{10}	m_{01}	m_{11}	m_{20}	m_{02}	m_{30}	m_{03}	m_{12}	m_{21}
9	36	27	108	150	87	648	297	348	450



Descripción de regiones

Momentos invariantes: Hu

Determinar los momentos centrales normalizados de orden $p+q = 2, 3$

$$f_1 = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$f_2 = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} = 4 \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} = 3$$

	η_{11}	η_{20}	η_{02}	η_{30}	η_{03}	η_{21}	η_{12}
γ	2	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5
f_1	0.0100	0.1210	0.0600	0.0121	0.000	0.0076	-0.0025
f_2	0.0100	0.1210	0.0600	0.0121	0.000	0.0076	-0.0025



Descripción de regiones

Momentos invariantes: Hu

Main_momentos.m



phi primer dos =	0.3014	0.9162	2.4024	3.1043	5.8879	3.5626	6.3002
phi segundo dos =	0.3050	0.9238	2.4330	3.1098	5.9624	3.5770	6.1340
phi primer cuatro =	0.5269	1.6283	2.0184	3.0798	5.7549	3.8980	5.8071
phi segundo cuatro =	0.5269	1.6283	2.0184	3.0798	5.7549	3.8980	5.8071