



Extração de Características

Carlos Alexandre Mello

Pós-Graduação em Ciência da Computação



Extração de Características

- Representação de “objetos” através de um conjunto de dados para posterior processamento (reconhecimento)
- Problema: que tipo de característica(s) deve(m) ser usada(s)?
 - Há diversas.....



Extração de Características

- *Template matching* (casamento de padrões)
 - Método simples

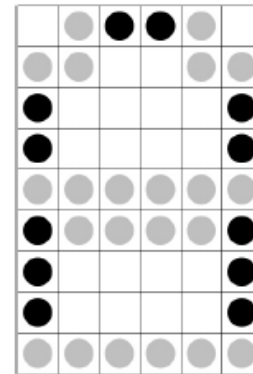
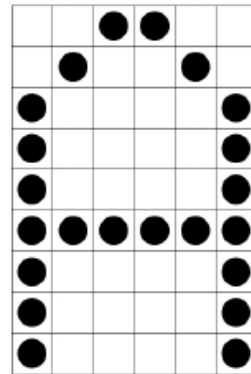
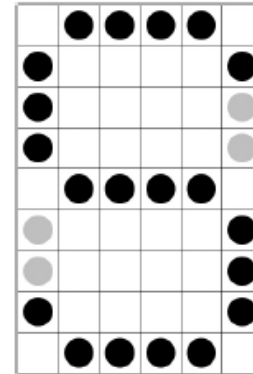
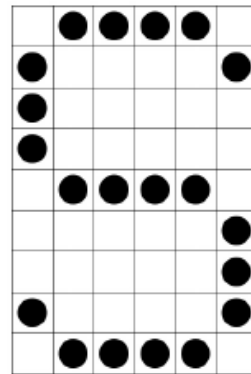
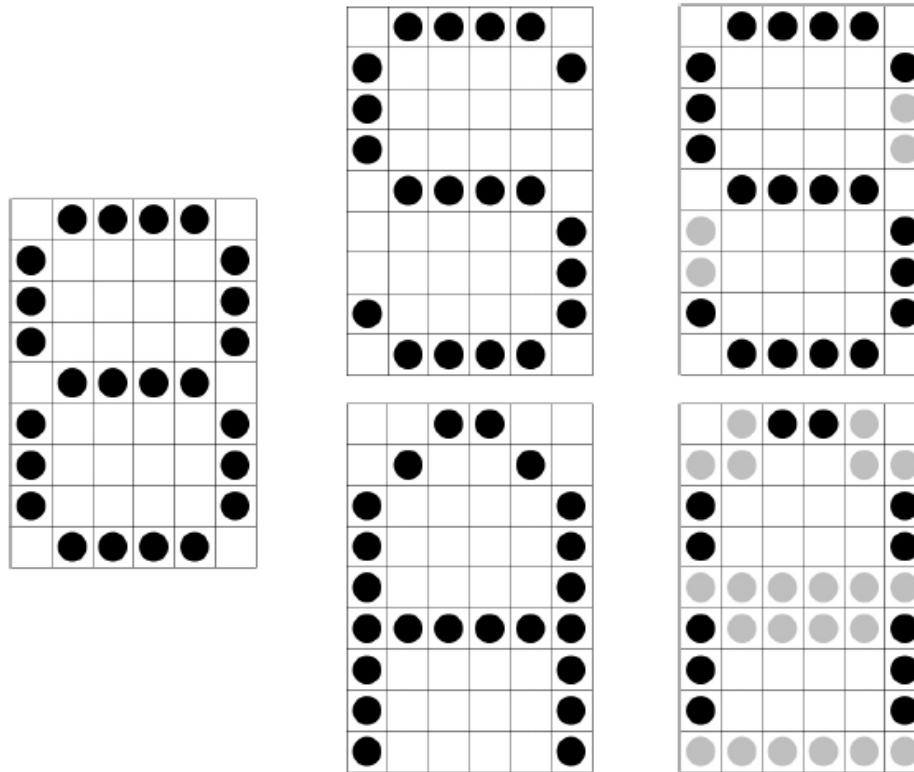
A B C D E

E

A B C D E

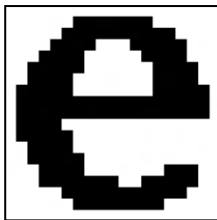
Extração de Características

- *Template matching* (casamento de padrões)
 - Fácil *mismatch*



Extração de Características

- *Template matching* (casamento de padrões)
 - Baseado em morfologia matemática



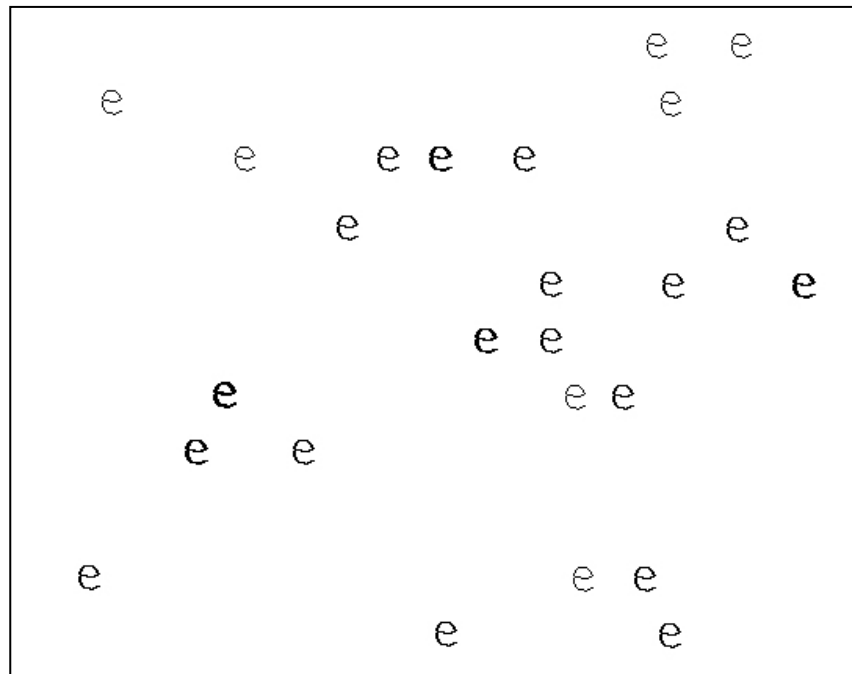
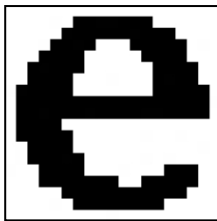
O temor não impõe respeito
recalques prontos a explodir
logo se apresentem oportunidades.

A superioridade hierárquica
tanto mais forte, real e
quanto mais se estriba na
rigidez moral, intelectual, pr
nal e afetiva.

Disciplina não é mera conv
é estado d'alma, é estado d
ciência, é aceitação espontâ

Extração de Características

- *Template matching* (casamento de padrões)
 - Baseado em morfologia matemática

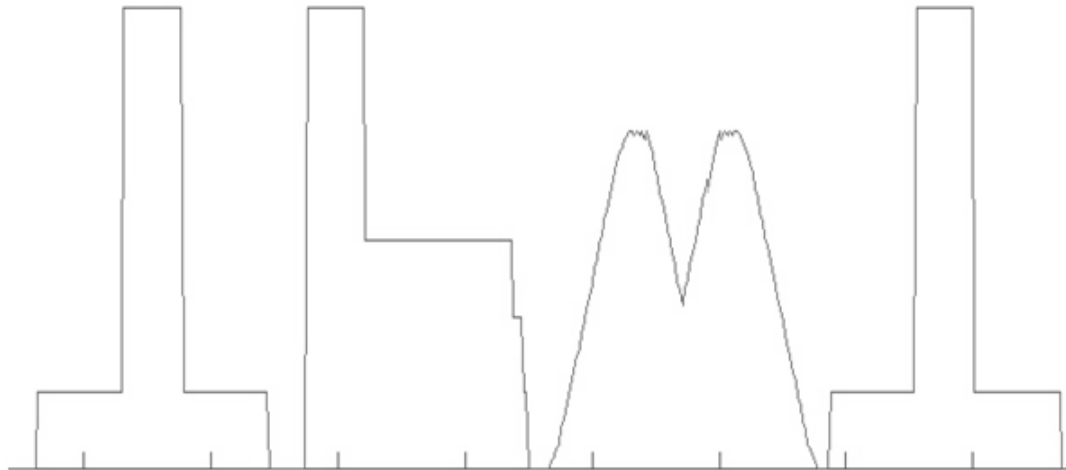




Extração de Características

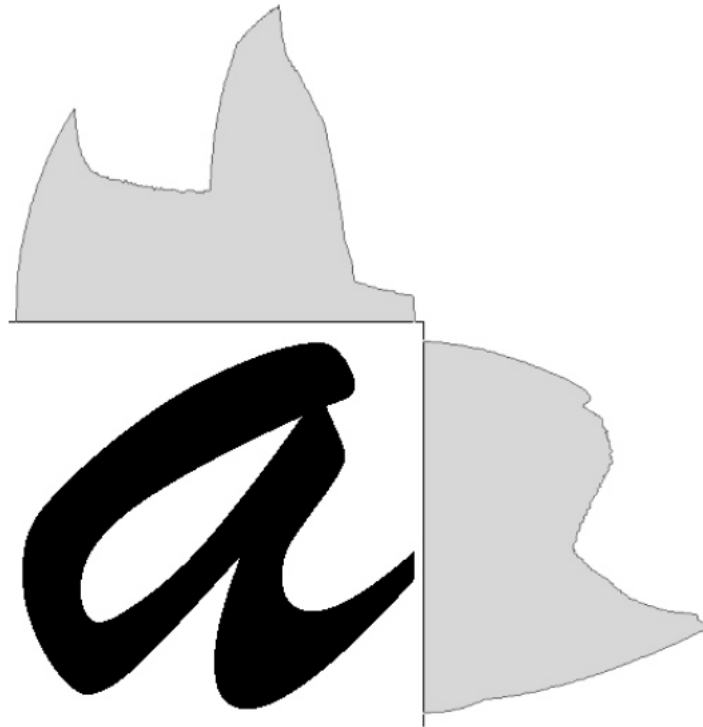
- Análise de projeção

TEXT



Extração de Características

- Análise de múltiplas projeções



Extração de Características

- Características estatísticas
 - Momentos

$$\text{mean} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i$$

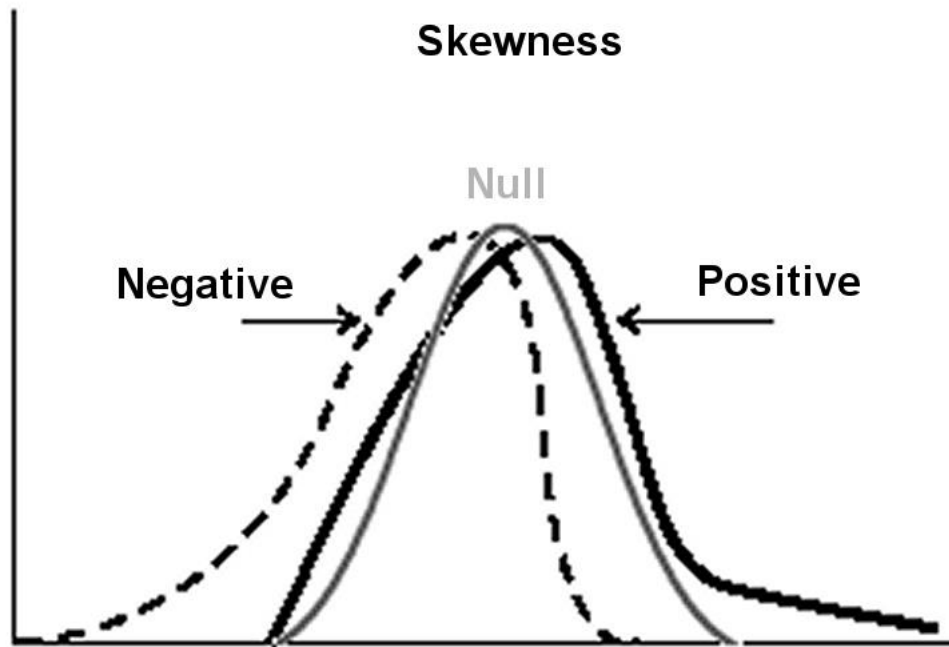
$$\text{standard_deviation} = s = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\text{skewness} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3$$

$$\text{kurtosis} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 - 3$$

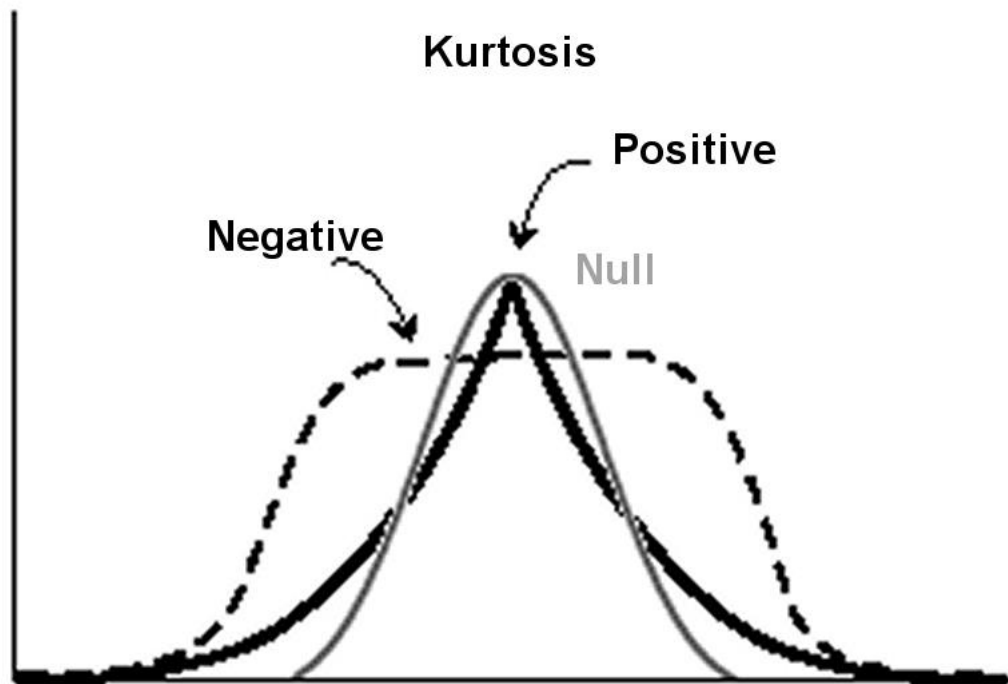
Extração de Características

- Características estatísticas
 - Momentos



Extração de Características

- Características estatísticas
 - Momentos





Características de forma

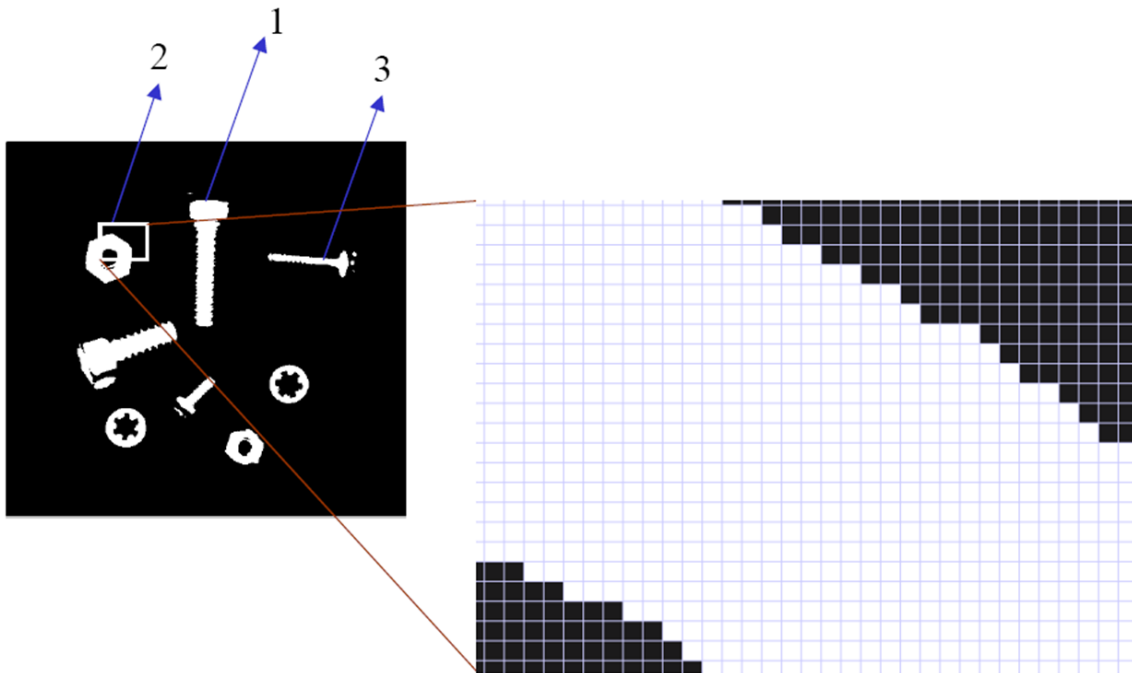
- Características comuns
 - Área
 - Perímetro
 - Centro de Massa
 - Compactação

Características de forma

■ Características comuns

■ Área

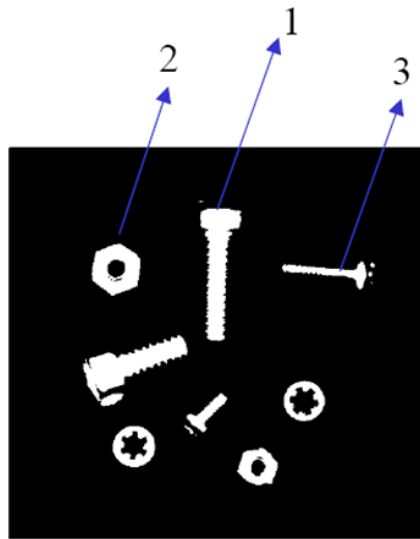
- Conta o número de pixels



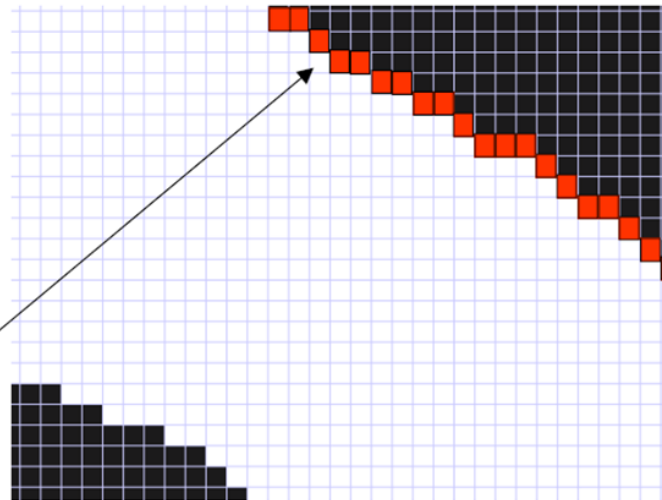
Por exemplo, após binarização e legenda de componentes conectados, conta o número de pixels legendados como 2.

Características de forma

- Características comuns
 - Perímetro
 - Número de pixels na borda



Pixels do perímetro





Características de forma

■ Características comuns

■ Compactação

- $\text{Perímetro}^2 / (4\pi \cdot \text{Área})$

- Para um círculo perfeito: compactação = $(2\pi r)^2 / (4\pi \cdot \pi r^2) = 1$

■ Outros:

- Fator de forma = $4\pi \cdot \text{Área} / \text{Perímetro}^2$

- Roundness = $4 \cdot \text{Área} / (\pi \cdot \text{Máx Diagonal}^2)$

- Razão de Aspecto = $\text{Máx Diagonal} / \text{Min Diagonal}$

Características de forma

■ Exemplo:



Área:

Legenda de componentes conectados
Contador de legenda

Perímetro:

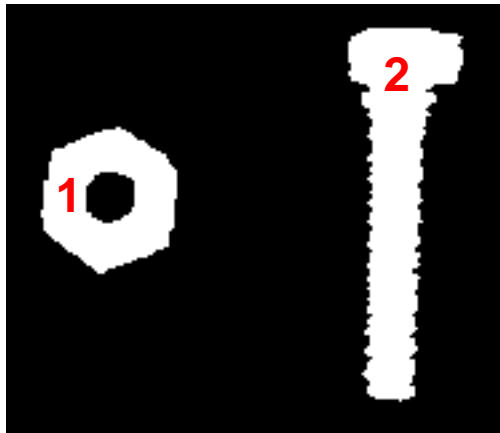
Fill holes (necessário)
Detector de bordas (Canny)
Legenda de componentes conectados
Contador de legendas

Bounding box

Para características com diagonal

Características de forma

Exemplo:



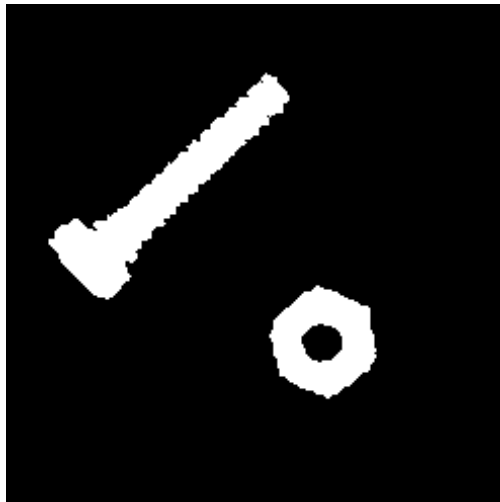
Áreas:	1803	3078
Perímetros:	150	331
Compactações:	0,9931	2,8325



Áreas:	1803	3078
Perímetros:	150	330
Compactações:	0,9931	2,8155

Características de forma

- Exemplo:



Áreas:

1799	3072
------	------

Perímetros:

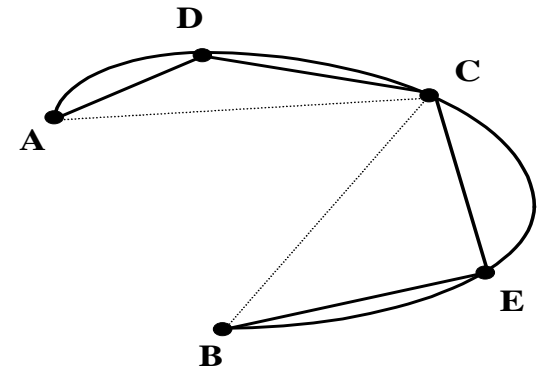
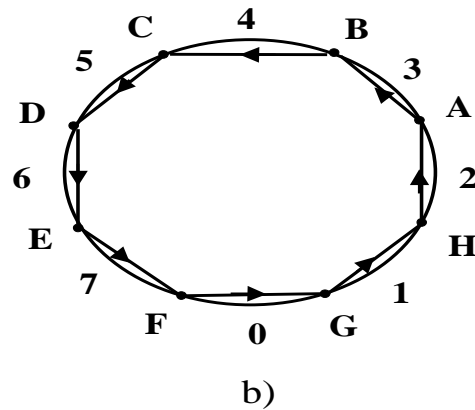
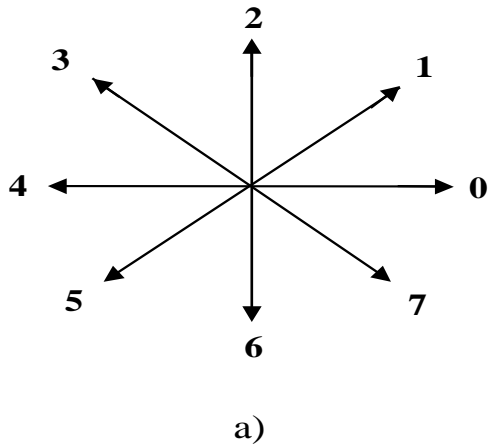
149	284
-----	-----

Compactações:

0,9820	2,0893
--------	--------

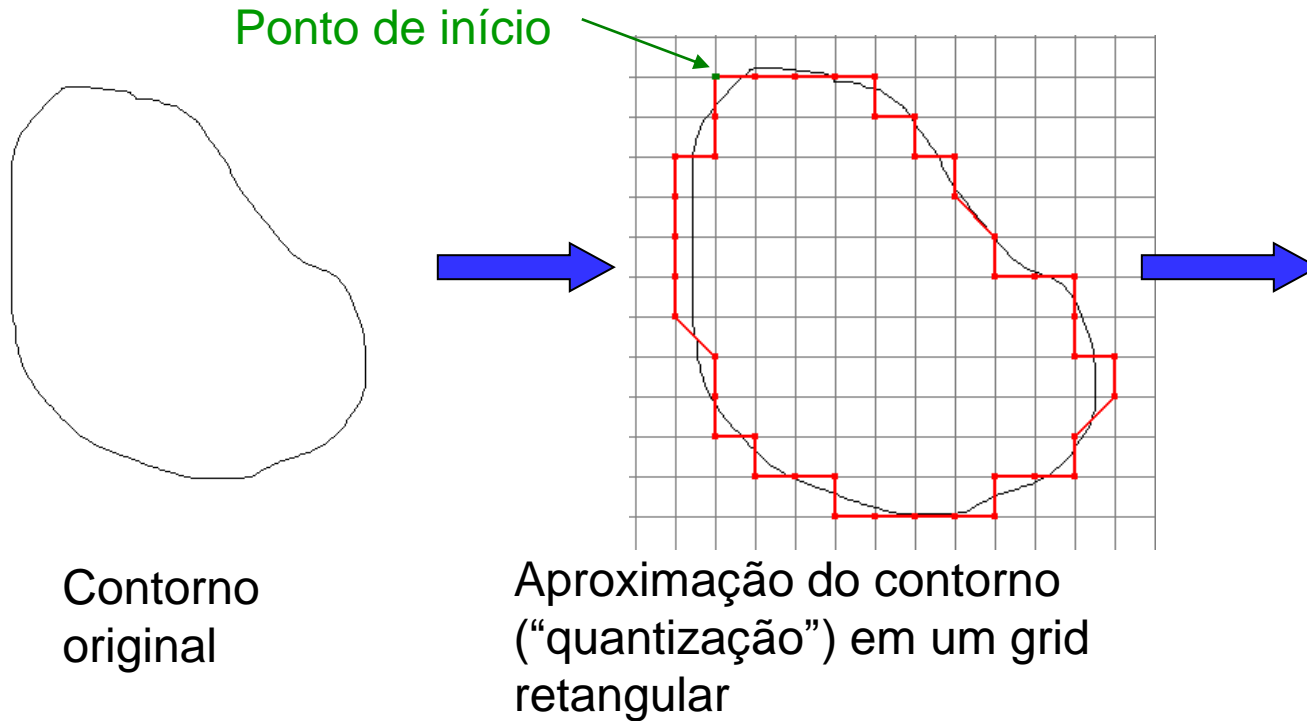
Chain Codes

■ Característica de forma



Chain Codes

■ Característica de forma



O contorno é codificado por um código de cadeia (chain code) com oito direções, considere a origem o ponto superior à esquerda; o contorno segue direção arbitrária; as únicas posições possíveis estão no grid.



Chain Codes

- Problemas:
 - Dependente do ponto de partida
 - Dependente da orientação



Extração de Características

- *Zernike moments*

- Invariante a rotação
- Robusto a ruído
- Rápido cálculo
- Representação multiníveis
- São definidos tomando como base polinômios de n -ésima ordem, onde as mais altas ordens têm mais detalhes sobre a imagem

Extração de Características

■ Zernike moments

- Polinômios de Zernike de ordem p e frequência angular q , calculadas nas posições (ρ, θ) no círculo unitário são dadas por:

$$Z_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \sum_x \sum_y f(x, y) W_{pq}^*(\rho, \theta)$$

↑ Imagem

$$W_{pq}(\rho, \theta) = R_{pq}(\rho) \exp(iq\theta)$$

$$R_{pq}(\rho) = \sum_{s=0}^{(p-|q|)/2} \frac{(-1)^s (p-s)!}{s! ((p+|q|)/2 - s)! ((p-|q|)/2 - s)!} \rho^{p-2s}$$

$p - |q|$ é par e $|q| \leq p$

Extração de Características

- *Zernike moments*

- Os polinômios R_p^q , na verdade, são simples:

$R_0^0(r)$	1
$R_1^1(r)$	r
$R_2^0(r)$	$2r^2 - 1$
$R_2^2(r)$	r^2
$R_3^1(r)$	$3r^3 - 2r$
$R_3^3(r)$	r^3

Extração de Características

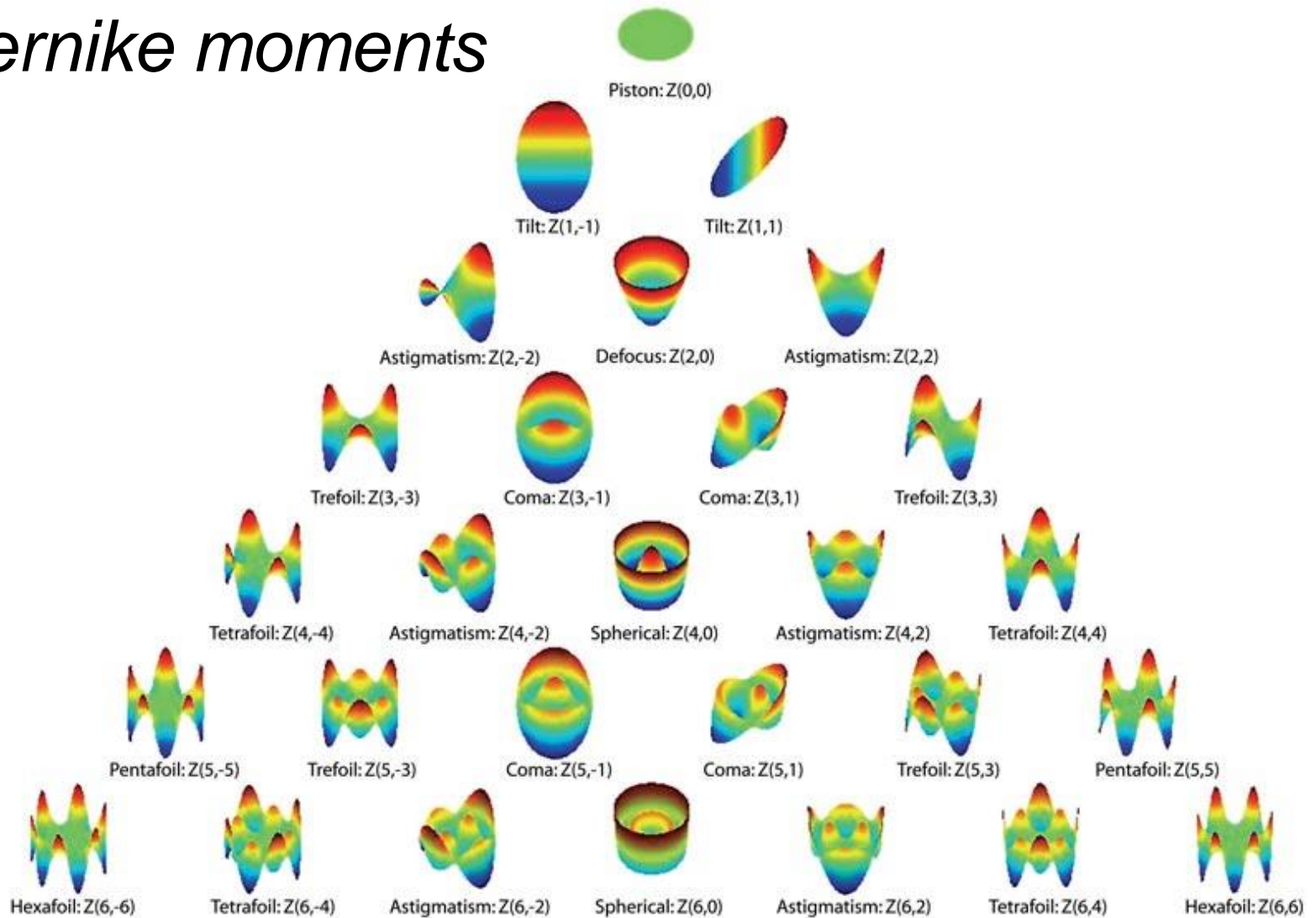
■ Zernike moments

- As 10 primeiras funções radiais de Zernike (Z_{pq}):

$Z_0^0(r, \theta)$	1	
$Z_1^{-1}(r, \theta)$	$r \cos \theta$	x-tilt
$Z_1^1(r, \theta)$	$r \sin \theta$	y-tilt
$Z_2^{-2}(r, \theta)$	$r^2 \cos 2\theta$	astigmatism
$Z_2^0(r, \theta)$	$2r^2 - 1$	defocus
$Z_2^2(r, \theta)$	$r^2 \sin 2\theta$	astigmatism
$Z_3^{-3}(r, \theta)$	$r^3 \cos 3\theta$	trefoil
$Z_3^{-1}(r, \theta)$	$(3r^3 - 2r) \cos \theta$	coma
$Z_3^1(r, \theta)$	$(3r^3 - 2r) \sin \theta$	coma
$Z_3^3(r, \theta)$	$r^3 \sin 3\theta$	trefoil

Extração de Características

Zernike moments



Extração de Características

■ Zernike moments

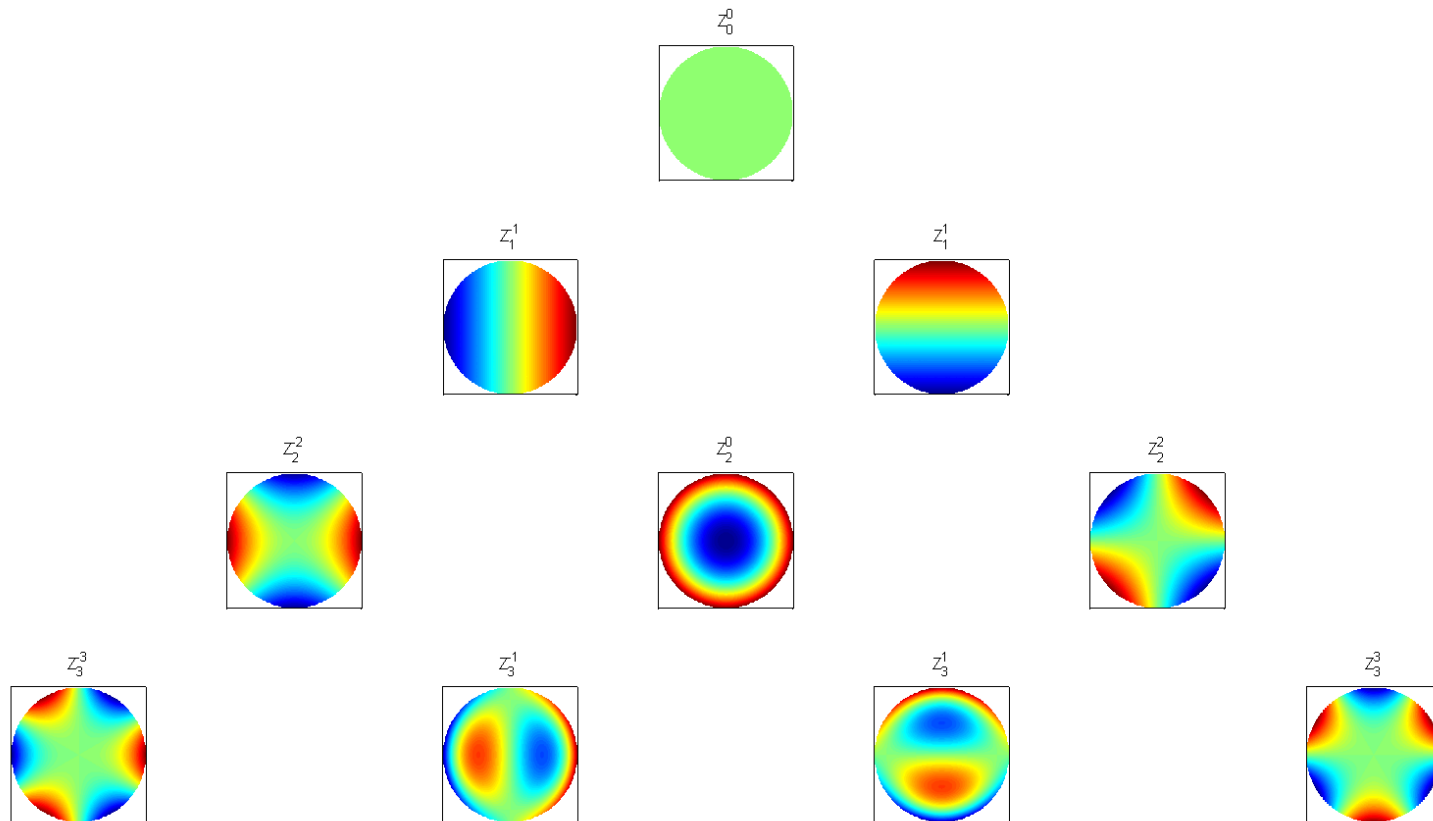
- Exemplos de funções:

p	q	Zernike function
0	0	1
1	1	$r * \cos(\theta)$
1	-1	$r * \sin(\theta)$
2	-2	$r^2 * \cos(2*\theta)$
2	0	$(2*r^2 - 1)$
2	2	$r^2 * \sin(2*\theta)$
3	-3	$r^3 * \cos(3*\theta)$
3	-1	$(3*r^3 - 2*r) * \cos(\theta)$
3	1	$(3*r^3 - 2*r) * \sin(\theta)$
3	3	$r^3 * \sin(3*\theta)$
4	-4	$r^4 * \cos(4*\theta)$
4	-2	$(4*r^4 - 3*r^2) * \cos(2*\theta)$
4	0	$6*r^4 - 6*r^2 + 1$
4	2	$(4*r^4 - 3*r^2) * \cos(2*\theta)$
4	4	$r^4 * \sin(4*\theta)$

Extração de Características

■ *Zernike moments*

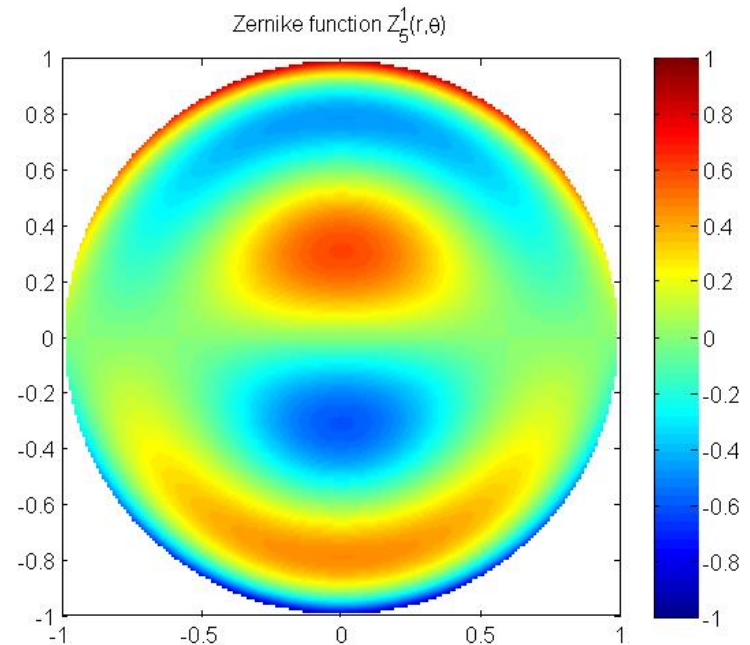
- Os momentos são projeções dos polinômios



Extração de Características

- *Zernike moments*
 - Zernike $p = 5, q = 1$

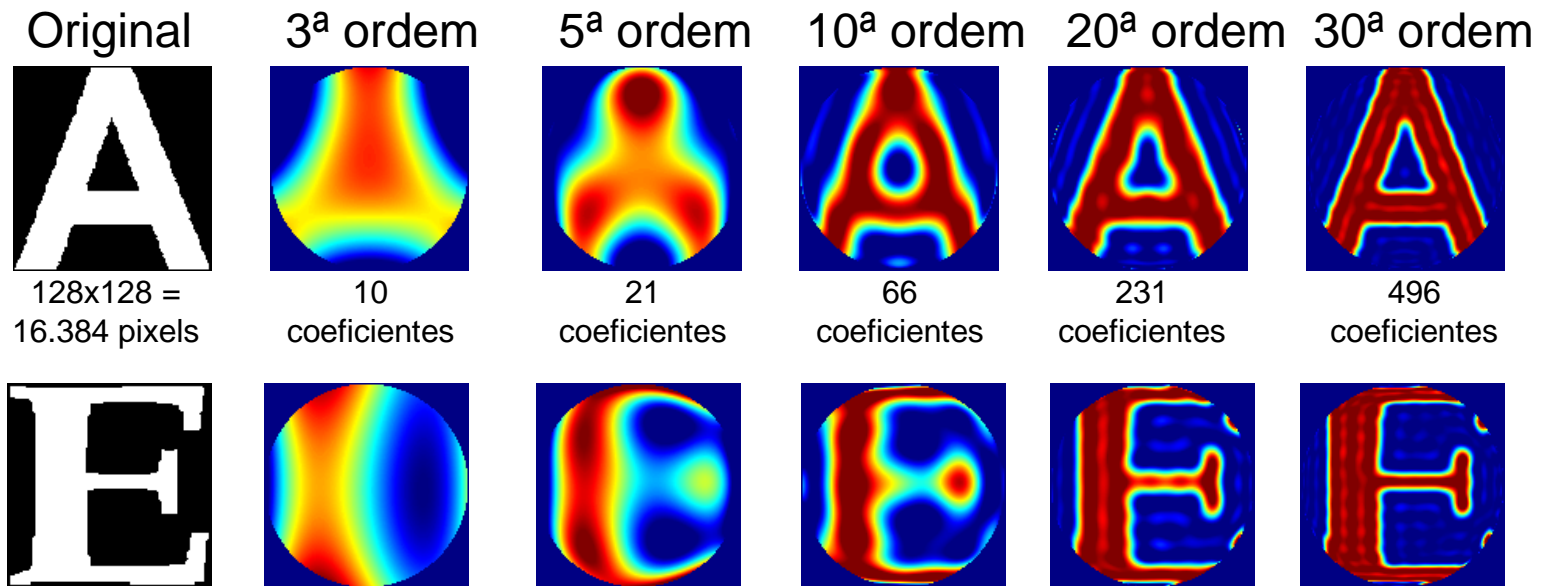
```
% Display the Zernike function Z(p=5,q=1)
x = -1:0.01:1;
[X,Y] = meshgrid(x,x);
[theta,r] = cart2pol(X,Y);
idx = r<=1;
z = nan(size(X));
z(idx) = zernfun(5,1,r(idx),theta(idx));
figure
pcolor(x,x,z), shading interp
axis square, colorbar
title('Zernike function Z_5^1(r,\theta)')
```



Extração de Características

Zernike moments

Reconstrução de imagens:

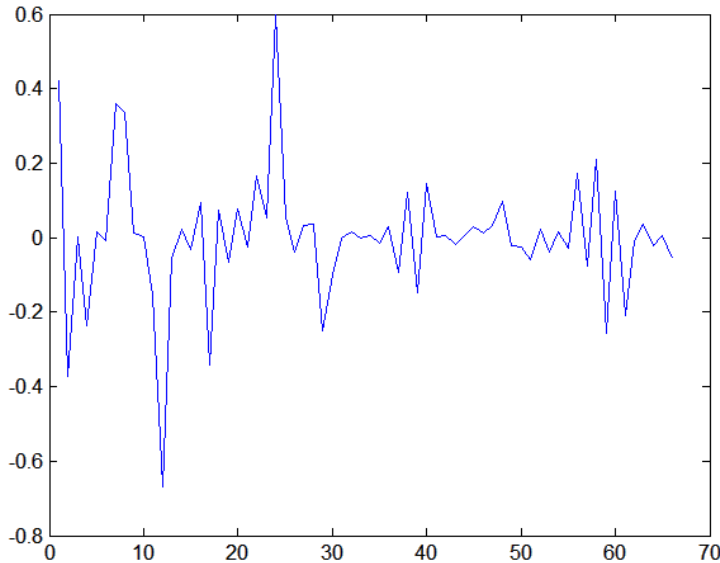


Reconstruction by Zernike moments
<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/7687>

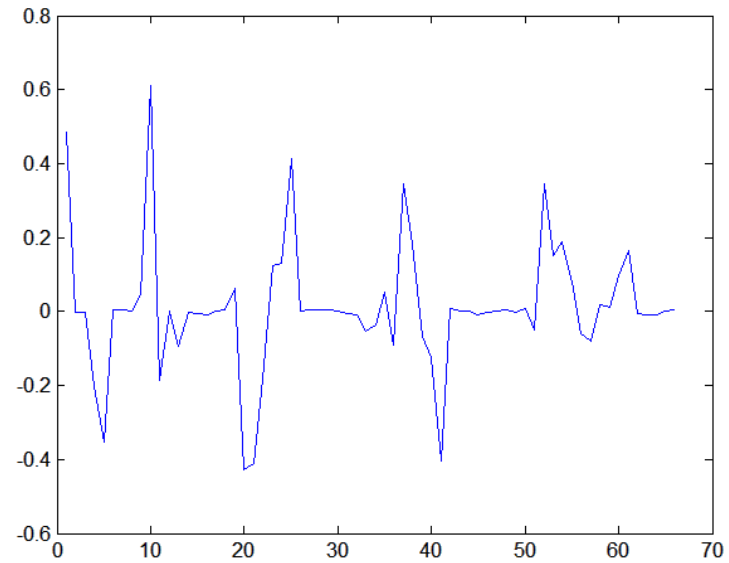
Extração de Características

- *Zernike moments*

- Ordem 10



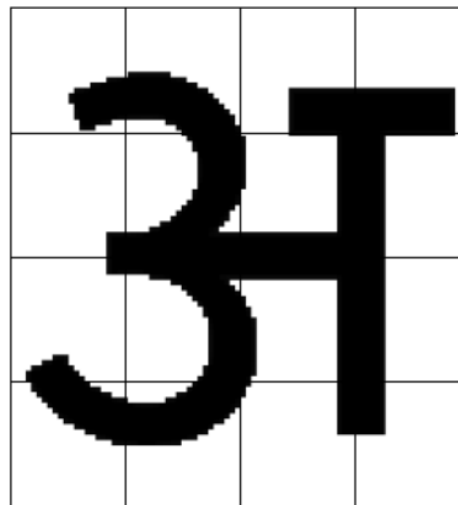
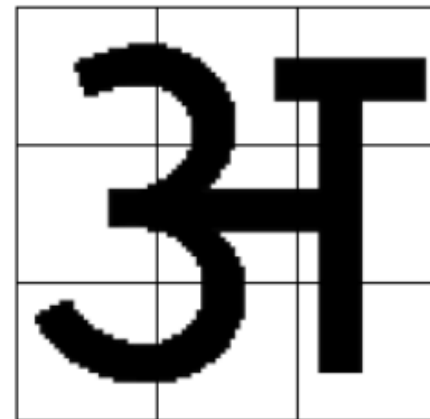
Coeficientes para A



Coeficientes para E

Extração de Características

- *Zoning*



Extração de Características

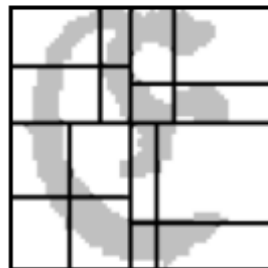
- *Dynamic Zoning* (baseado em centro de massa)



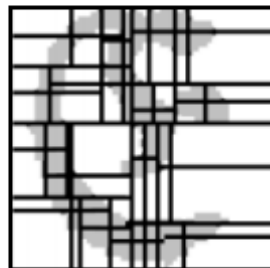
(a)



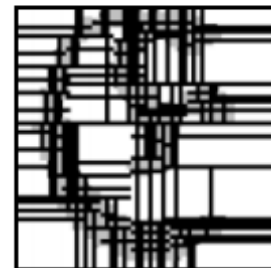
(b)



(c)

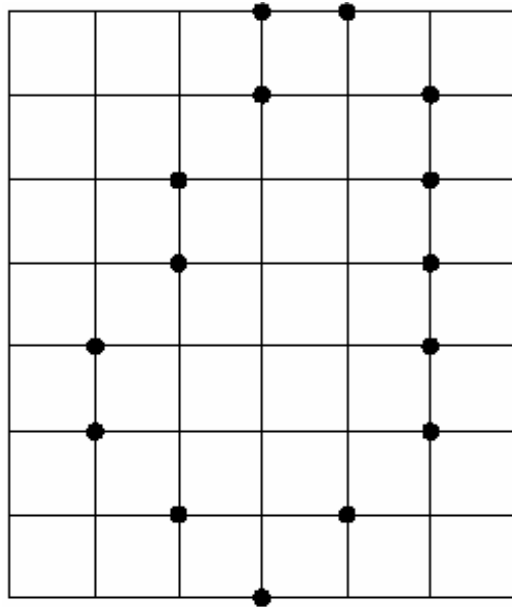


(d)



(e)

Descritores de Fourier



$\{x(k), y(k)\}, k=1, 2, \dots, N$

$$z(k) = x(k) + j y(k)$$

DFT

$$a(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N z(k) e^{-j2\pi nk/N}$$

Descritores de
Fourier

IDFT

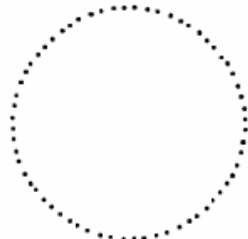
$$z(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N a(n) e^{j2\pi nk/N}$$

Descritores de Fourier

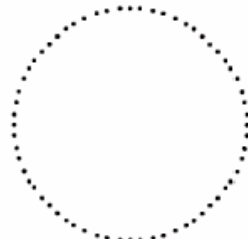
■ Exemplo: $\hat{z}(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^P a(n) e^{j2\pi nk/N}$



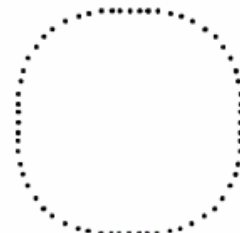
Original ($K = 64$)



$P = 2$



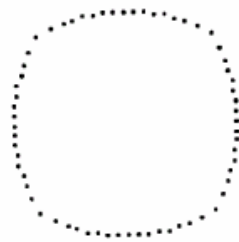
$P = 4$



$P = 8$



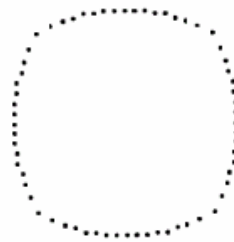
$P = 16$



$P = 24$



$P = 32$



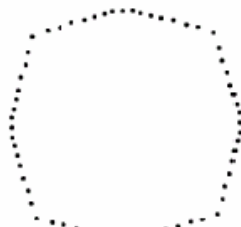
$P = 40$



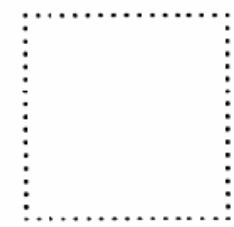
$P = 48$



$P = 56$



$P = 61$

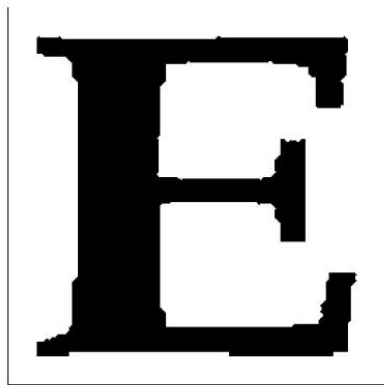


$P = 62$

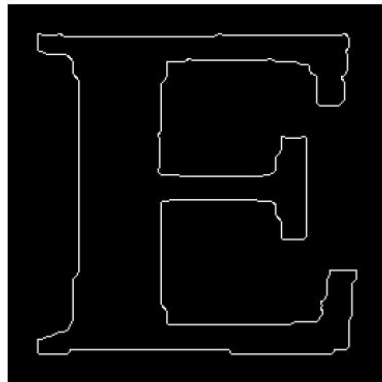
P = número de coeficientes usados na reconstrução

Descritores de Fourier

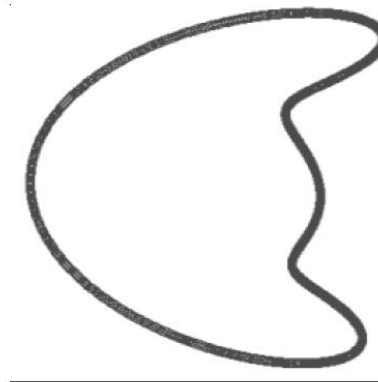
Exemplo:



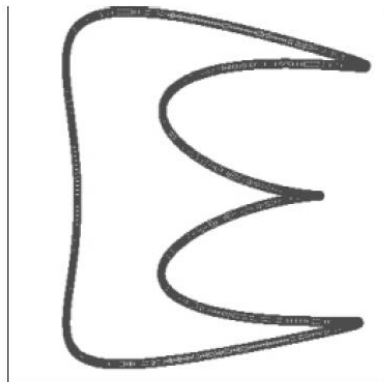
(a)



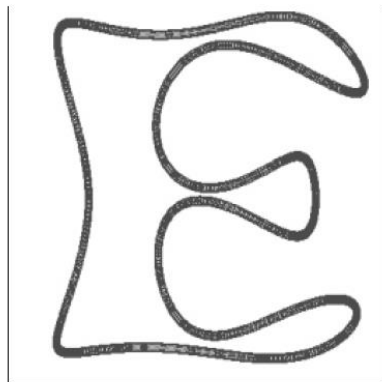
(b)



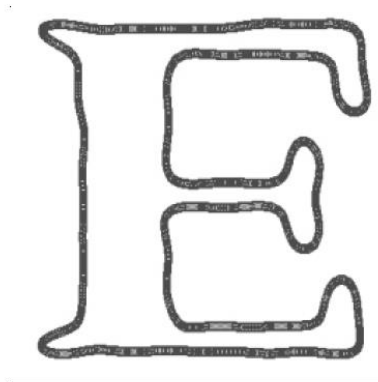
(c)



(d)



(e)



(f)

a) Original

b) Bordas

c) $P = 3$

d) $P = 5$

e) $P = 10$

f) $P = 32$

$P = \text{no. de coefs.}$



Análise de Texturas

■ Propriedades de Haralick

- Segundo Momento Angular
- Contraste
- Correlação
- Variância
- Momento de Diferença Inverso
- Média da Soma
- Variância da Soma
- Entropia da Soma
- Entropia
- Variância da Diferença
- Entropia da Diferença
- Medidas de Informação da Correlação (2 propriedades)
- Coeficiente de Correlação Máximo



Análise de Texturas

- Propriedades de Haralick
 - Dessas, Baraldi e Parmiggiani mostraram que apenas seis eram mais relevantes:
 - Segundo momento angular, entropia, contraste, variância, correlação e homogeneidade

Análise de Texturas

■ Propriedades de Haralick

$$f_{\text{sma}} = \sum_{i=0}^{H_g} \sum_{j=0}^{H_g} p_{i,j}^2$$

$$f_{\text{ent}} = - \sum_{i=0}^{H_g} \sum_{j=0}^{H_g} p_{i,j} \log(p_{i,j})$$

$$f_{\text{con}} = \sum_{i=0}^{H_g} \sum_{j=0}^{H_g} (i - j)^2 p_{i,j}$$

$$f_{\text{var}_i} = \sum_{i=0}^{H_g} \sum_{j=0}^{H_g} (i - \mu_i)^2 p_{i,j}$$

$$f_{\text{hom}} = \sum_{i=0}^{H_g} \sum_{j=0}^{H_g} \frac{1}{1 + (i - j)^2} p_{i,j}$$

$$f_{\text{var}_j} = \sum_{i=0}^{H_g} \sum_{j=0}^{H_g} (j - \mu_j)^2 p_{i,j}$$

$$f_{\text{corr}} = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} \sum_{i=0}^{H_g} \sum_{j=0}^{H_g} (i - \mu_i)(j - \mu_j) p_{i,j}$$



Descritores de Texturas

- Matriz de Co-ocorrência de Tons de Cinza
 - Descritor da estrutura da imagem
 - Matriz 256x256
 - Para imagens com 256 tons de cinza
 - Cada célula funciona como um contador
 - A célula (i, j) armazena quantas vezes a cor i e a cor j estão presentes na imagem em pixels separados por uma distância d
 - Usada por Franke para implementar as medidas de Haralick
 - Problema: Alto custo computacional



No MatLab....

- graycomatrix
 - Gera a matriz GLCM
 - Matriz esparsa
- graycoprops
 - Extrai algumas propriedades
- Exemplo:
 - `>> im = imread('d96.bmp');`
 - `>> glcm_text2 = graycomatrix(im); % matriz 8x8`
 - `>> stats_text2 = graycoprops(glcm_text2);`

No MatLab....

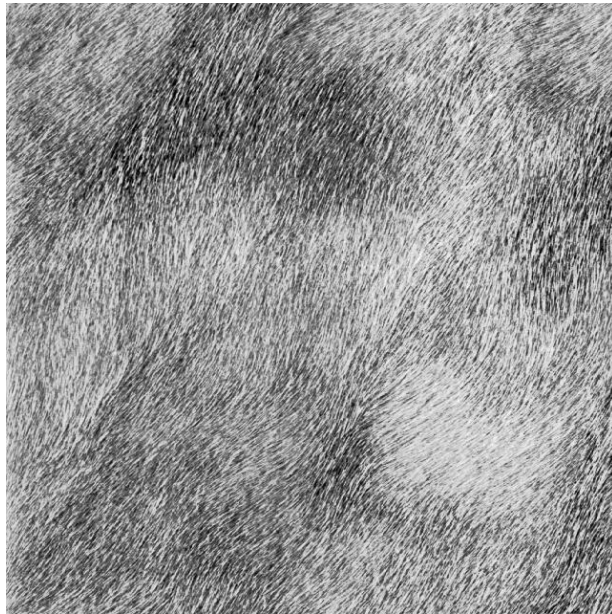
- Exemplo:



Contrast: 1,5975
Correlation: 0,5626
Energy: 0,0525
Homogeneity: 0,6340

No MatLab....

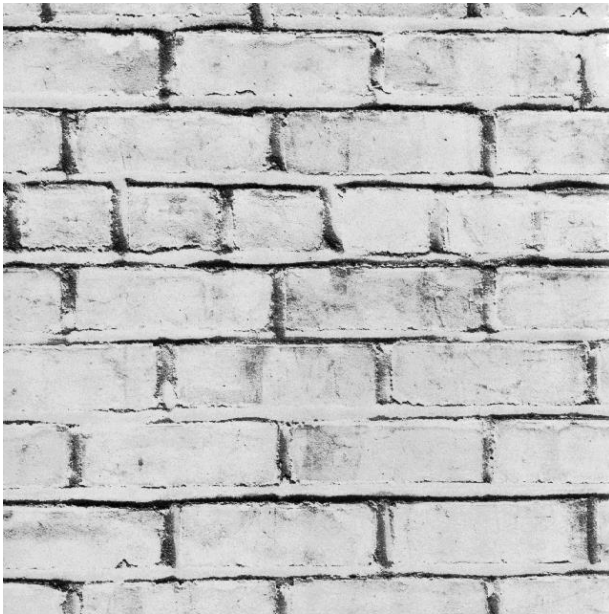
- Exemplo:



Contrast: 0,3045
Correlation: 0,9157
Energy: 0,4517
Homogeneity: 0,8975

No MatLab....

- Exemplo:



Contrast: 1,3413

Correlation: 0,8674

Energy: 0,1346

Homogeneity: 0,7895



Descritores de Texturas

- *Sum and Difference Histograms (SDH)*
 - Unser (1986)
 - Descritor de imagens sem necessidade de criação das matrizes
 - O histograma da soma S depende de deslocamentos dx e dy , e é o histograma das somas de todos os pixels separados por dx e dy
 - Por exemplo, o pixel da posição (i, j) é somado com o pixel da posição $(i+dx, j+dy)$ e o histograma do valor da soma é incrementado



Descritores de Texturas

- *Sum and Difference Histograms (SDH)*
 - O histograma da diferença D calcula as diferenças entre os pixels
 - S tem valores entre 0 e 510
 - D tem valores entre -255 e 255
 - Para imagens de 8 bits
 - Assim, por exemplo, a média pode ser calculada como:
 - $\mu = (1/2) \sum i * S(i)$
 -aproximadamente



Descritores de Texturas

- *Local Binary Pattern (LBP)*
 - Definido por Wang e He (1990)
 - Trabalha com os 8 vizinhos de um pixel
 - Cria um novo histograma
 - Uma máscara 3x3 é definida; seus valores são limiarizados pelo valor do pixel central
 - Os valores dos pixels nas vizinhanças são multiplicados por pesos e somados para obter um valor de descrição
 - Esse valor define o histograma LBP

Descritores de Texturas

- *Local Binary Pattern (LBP)*

- Exemplo:

6	5	2
7	6	1
9	3	7

1	0	0
1		0
1	0	1

Valor maior ou igual que o pixel central

Valor menor que o pixel central

Descritores de Texturas

Local Binary Pattern (LBP)

Exemplo:

$(10010101)_2$

1	0	0
1		0
1	0	1

X

1	2	4
8		16
32	64	128

$(10101001)_2$

$$= 1 \times 1 + 0 \times 2 + 0 \times 4 + 1 \times 8 + \\ + 0 \times 16 + 1 \times 32 + 0 \times 64 + \\ + 1 \times 128 = 169$$

Multiplicação
elemento a
elemento

Somatório de todos os
elementos = 255!!

Valor do Histograma
LBP

Descritores de Texturas

- *Local Binary Pattern (LBP)*

- Exemplo:

6	5	2
7	6	1
9	3	7

1	0	0
1		0
1	0	1

$$\text{Contraste} = (6 + 7 + 9 + 7)/4 - (5 + 2 + 1 + 3)/4 = 4,5$$

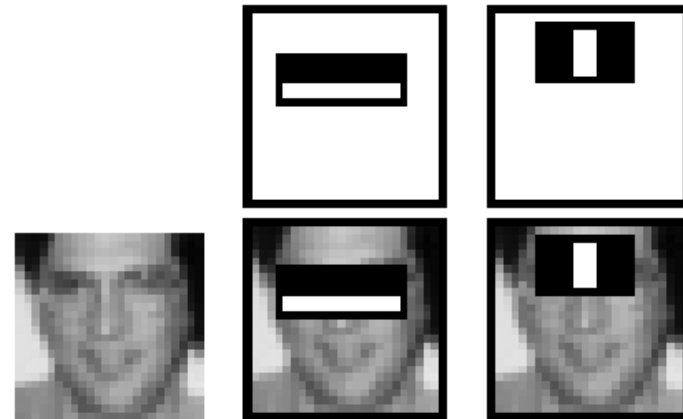
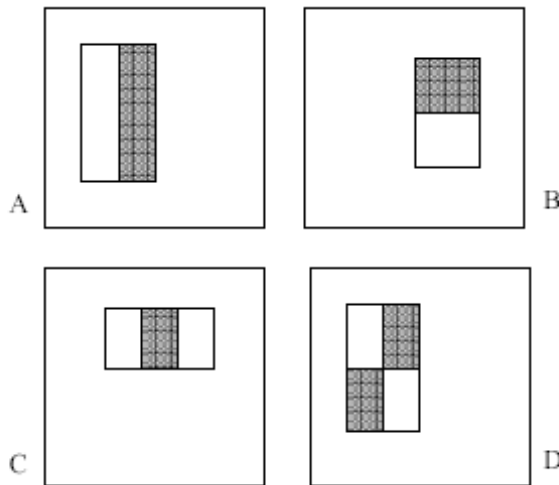
Descritores de Texturas

- *Local Binary Pattern (LBP)*
 - Exemplo: Matriz LBP



Exemplo

- *Face detection*
 - Viola-Jones



- Áreas em branco são subtraídas das áreas em preto
- Uso de Imagem Integral

Imagem Integral

■ Imagem Integral

- Aplicação: Cálculo rápido de filtros *box*
- Valor da imagem integral $S(x, y)$ representa a soma de todos os pixels da imagem de entrada I em uma região retangular entre $(0,0)$ e (x, y)

- $$S(x, y) = \sum_{i=0}^{x-1} \sum_{j=0}^{y-1} I(i, j)$$

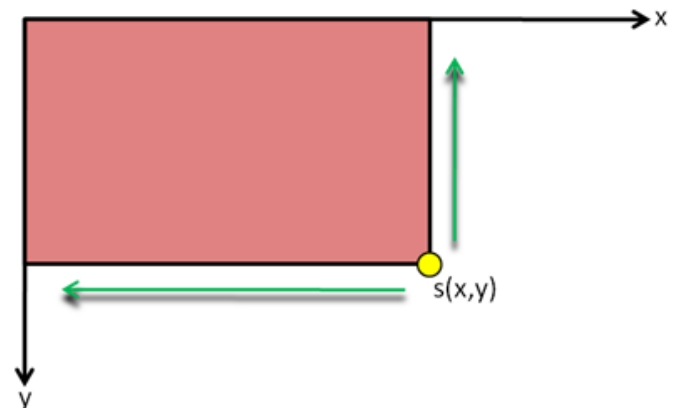


Imagem Integral

- Cálculo da imagem integral é realizado em apenas uma passagem pela imagem
 - $S(x, y) = I(x, y) + S(x - 1, y) + S(x, y - 1) - S(x - 1, y - 1)$

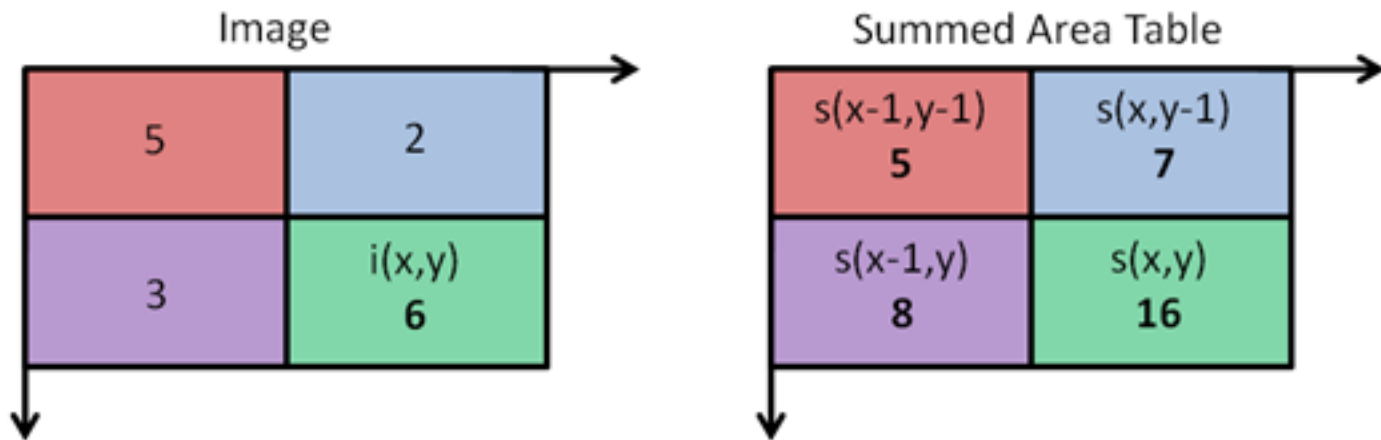
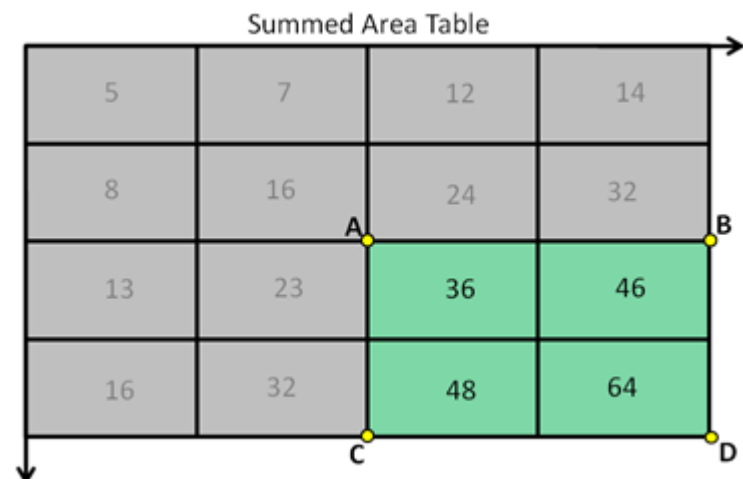
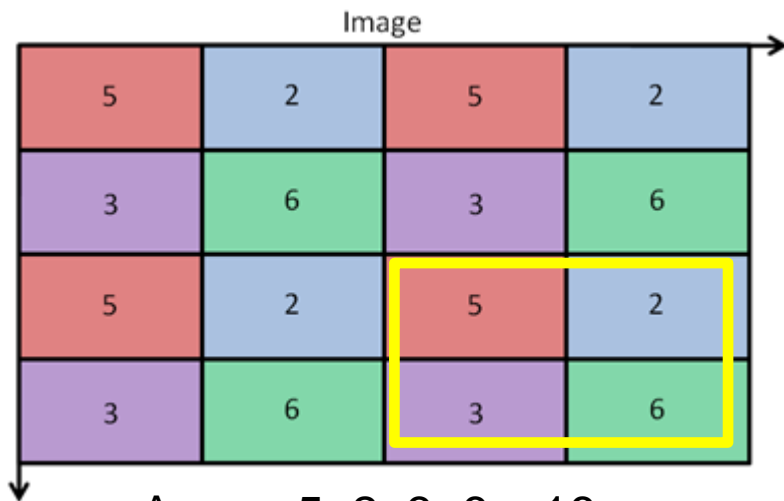


Imagem Integral

- Cálculo da área de uma região retangular qualquer usando uma imagem integral

$$i(x',y') = s(A) + s(D) - s(B) - s(C)$$



Vantagem: 4 acessos à memória, para qualquer tamanho de janela

$O(1)$



Conclusões

- Não há “melhores” ou “piores” características
- A escolha pode depender de seu problema
- Novas formas de extração podem ser necessárias
- É importante que as características sejam independentes de escala e rotação (desejável, claro)

Referência

