

Duas abordagens baseadas em casamento entre grafos

Tese de Doutorado

Alexandre Noma,
Roberto M. Cesar-Jr

Instituto de Matemática e Estatística
Universidade de São Paulo

Abril de 2012

Introdução

- ▶ Reconhecimento de padrões
- ▶ Atribuir classes a objetos
- ▶ Classificação **supervisionada** / não-supervisionada

Introdução

Classificação supervisionada:

- ▶ Conjunto rotulado de dados
- ▶ Dados de treinamento
- ▶ Classificador

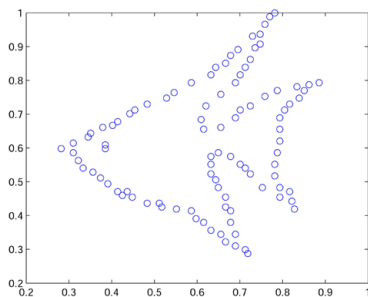
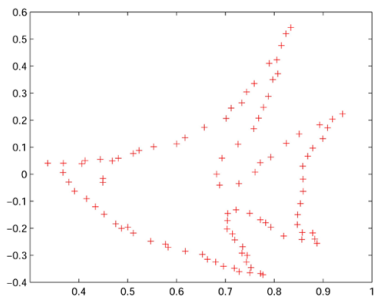
Introdução

Uma abordagem baseada em:

- ▶ Protótipos / modelos
- ▶ Comparação entre pares de objetos:
objeto de entrada vs objeto modelo

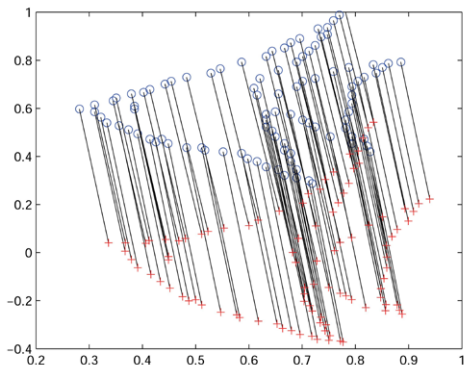
Padrões de Pontos

- ▶ Comparar pares de objetos é através de conjuntos de pontos.



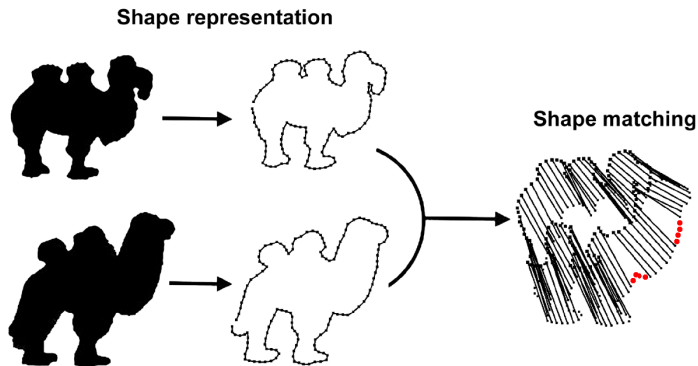
Casamento de Padrões de Pontos

- ▶ Encontrar uma correspondência entre os dois conjuntos.



Casamento de Padrões de Pontos

- ▶ Pontos sem correspondência indicam 'diferenças'.



Casamento entre Grafos

Representação de cada conjunto de pontos por um grafo:

- ▶ Cada ponto representado por um vértice.
- ▶ Arestas representando relações espaciais entre os pontos.
- ▶ Objetivo: encontrar uma correspondência entre vértices.

Casamento entre Grafos

Casamento entre dois grafos:

- ▶ Grafo de **entrada** G_i :
'objeto' a ser classificado.
- ▶ Grafo **modelo** G_m :
obtido à partir dos dados de treinamento.

Tópicos

- ▶ Algoritmo *deformed graphs* (DG)
- ▶ Algoritmo *belief propagation* (BP)
- ▶ Aplicações
- ▶ Conclusão

Notações e definições preliminares

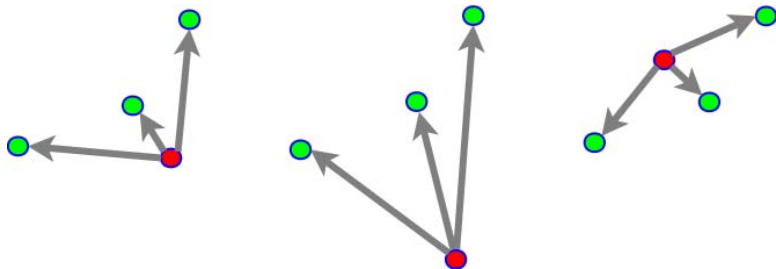
- ▶ *attributed relational graph* (ARG) $G = (V, E, \mu_V, \nu_E)$.
 μ_V : atributos de vértices (**aparência**).
 ν_E : atributos de arestas (**estrutura**).
- ▶ mapeamento $f : V_i \rightarrow V_m$
- ▶ *Quadratic Assignment*:
$$E = \lambda_1 \sum_{\text{vértices}} d_A + (1 - \lambda_1) \sum_{\text{arestas}} d_S$$

Atributos de vértices (μ_V)

- ▶ Dependente de cada aplicação.
- ▶ Exs. cor, área, perímetro, ...

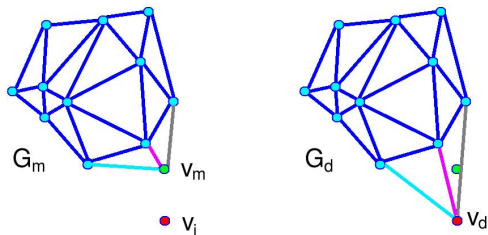
Atributos de arestas (ν_E)

- ▶ Explorar posição relativa entre os pontos:
distância e **orientação**.



1. Deformed graphs (DGs)

- ▶ Para cada par (v_i, v_m) , temos seu respectivo DG, $G_d(v_i, v_m)$.
- ▶ Representa uma deformação 'local' em relação ao modelo original.



Deformed graphs (DGs)

- ▶ Objetivo: avaliar as deformações não-rígidas.
- ▶ Evita a comparação direta entre G_i e G_m .
- ▶ Não usa informação de adjacência em G_i .
- ▶ Cada par (v_i, v_m) é analisado de maneira independente.
 - ▶ $E(v_i, v_m) = \lambda_1 d_A(v_i, v_m) + (1 - \lambda_1) d_S(v_i, v_m)$

Custo $E(v_i, v_m)$

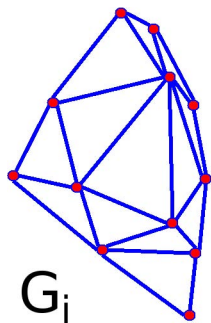
- ▶ **Aparência**: avaliar diretamente $\mu(v_i)$ e $\mu(v_m)$
- ▶ **Estrutura**: avaliar a média das deformações locais.

2. *Markov Random Fields* (MRF)

- ▶ Conjunto de variáveis aleatórias.
- ▶ Conjunto de rótulos \mathcal{L} .
- ▶ Sistema de vizinhança \mathcal{N} .
- ▶ Assumimos duas propriedades:
Markoviana e Positividade.

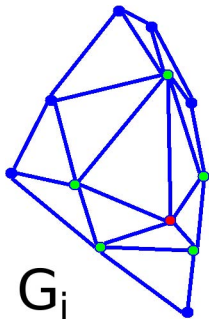
MRF

- ▶ Definimos campo aleatório em G_i .
- ▶ Rótulos $\mathcal{L} = V_m$.



Markov Random Fields (MRF)

- ▶ Propriedade Markoviana
'Dependência somente nos vizinhos'.



Maximum A Posteriori (MAP)

- ▶ Distribuição a posteriori (D : dados de 'aparência'):

$$p(f|D) = \frac{p(D|f) \cdot p(f)}{p(D)}$$

- ▶ MAP estimate: queremos encontrar

$$f^* = \arg \max p(D|f) \cdot p(f)$$

- ▶ Teorema (Hammersley-Clifford 1971):

$$E(f) = \sum_p D(f_p) + \sum_{q \in \mathcal{N}(p)} M(f_p, f_q)$$

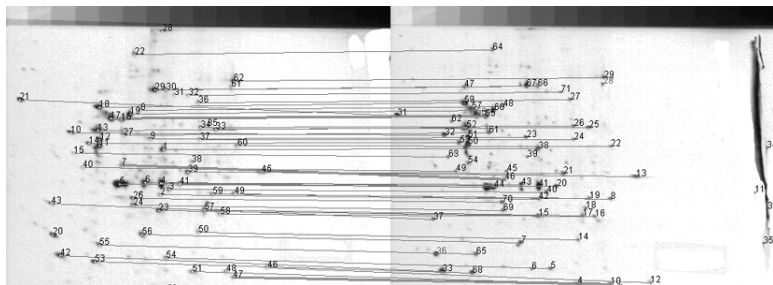
Algoritmo: *Belief Propagation* (BP)

[IJCV2006] Pedro Felzenszwalb, Daniel Huttenlocher:
Efficient Belief Propagation for Early Vision.
IJCV Vol. 70, No. 1 (2006).
(exploram suavidade / *smoothness*)

- ▶ (Extensão) Informações estruturais explorando 3 itens: adjacência, distância e orientação.

Aplicação: correspondência 2DE

- ▶ Detecção de mudanças entre pares de imagens de eletroforese.
- ▶ Trabalho colaborativo com o prof. Álvaro Pardo, UCU.

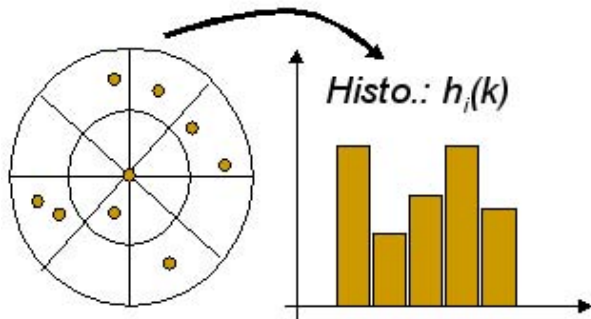


Aplicação: correspondência 2DE

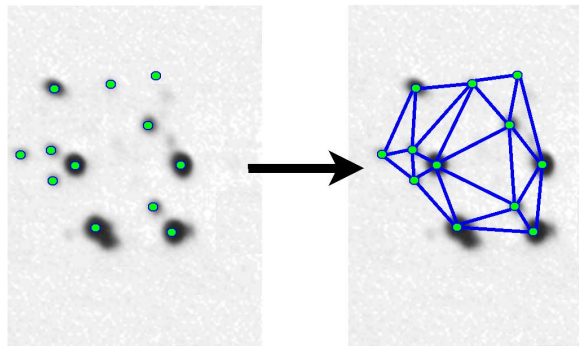
- ▶ Eletroforese 2D: separação de proteínas usando o ponto isoelétrico e a massa.
- ▶ Aplicação na área de Proteômica, diagnósticos médicos, desenvolvimento de medicamentos, etc.

Aparência: *shape context*

- ▶ S. Belongie and J. Malik and J. Puzicha.
Shape Matching and Object Recognition Using Shape
Contexts. IEEE PAMI, Vol. 24, No. 4, 2002.



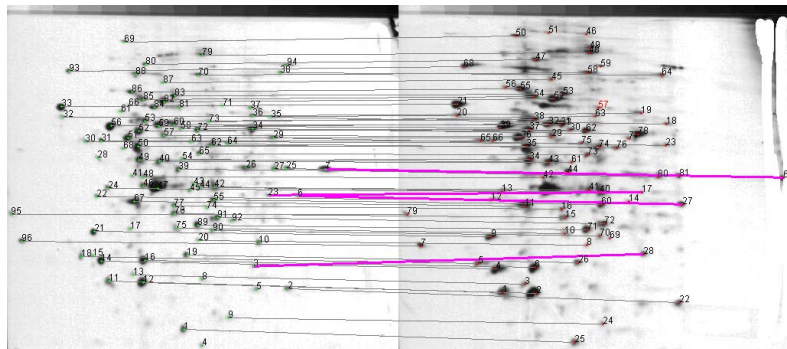
Estrutura: triangularização de Delaunay



Resultados: correspondência 2DE

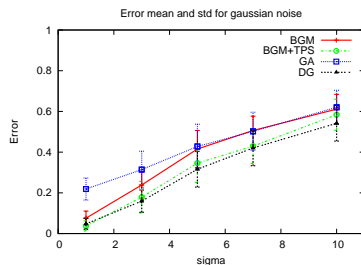
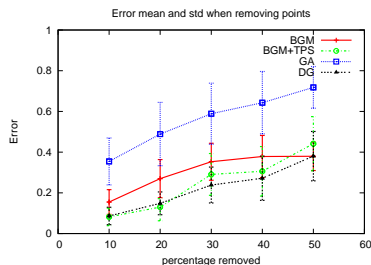
- ▶ 2D gel Datasets:

<http://www.lecb.ncifcrf.gov/2DgelDataSets/>



Resultados: correspondência 2DE

- ▶ Comparação com método húngaro (Bipartite Graph Matching, BGM), com e sem estimação de transformação (Thin-Plate Splines, TPS), e Graduated Assignment (GA).



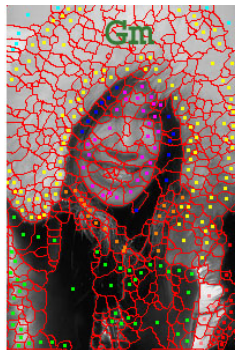
Aplicação: segmentação interativa de imagens

- ▶ Cooperação com Luis Augusto Consularo, Ana B. V. Graciano, e Isabelle Bloch.

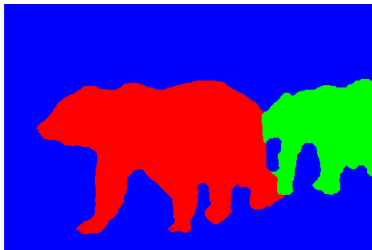
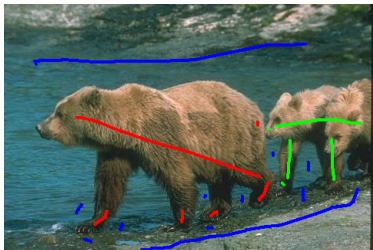


Aplicação: segmentação de imagens

- ▶ watershed
- ▶ cada região é representada pelo seu centróide
- ▶ grafo de entrada inclui todos os pontos
- ▶ grafo modelo inclui somente os pontos marcados



Multilabel



Comparação quantitativa

[ECCV2004] A. Blake, C. Rother, M. Brown, P. Torr:
Interactive image segmentation using an adaptive GMMRF
model.

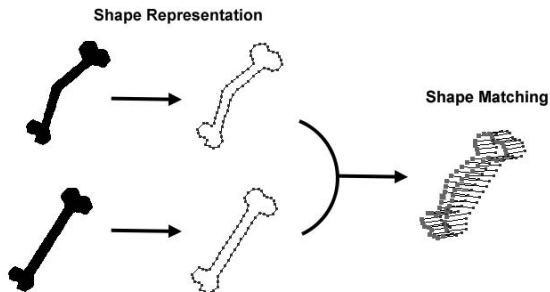


Comparação quantitativa

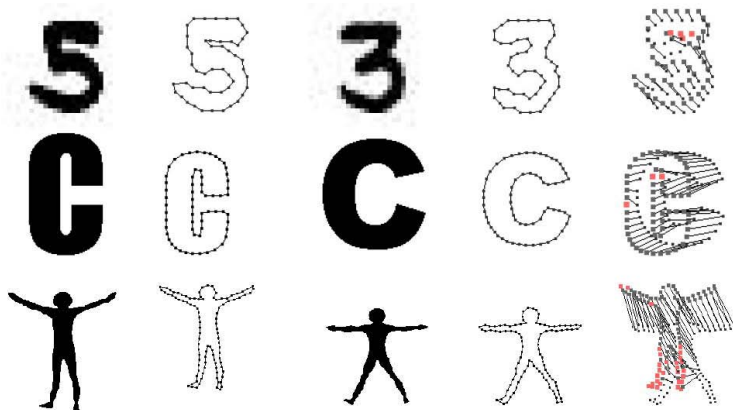
Method	Error rate
GMMRF [ECCV2004]	7.9%
IGC [Boykov-Jolly 2001]	6.7%
Random walker [Grady 2006]	5.4%
DG+P1+P2 ($\lambda_1 = 0.5$)	5.4%
Geodesic GC [CVPR2010]	4.8%

Aplicação: *Shape Matching*

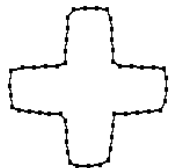
- ▶ pontos amostrados na borda
- ▶ **aparência**: *shape context*
- ▶ **estrutura**: arestas ligando pontos na borda (aproximação poligonal do contorno do objeto)



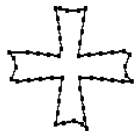
Shape Matching: silhouettes



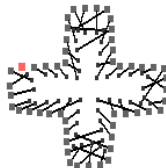
Shape Matching: silhouettes



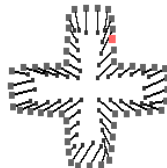
(G_i)



(G_m)



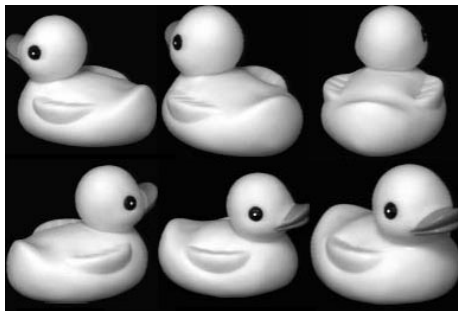
(BGM)



(BP)

Shape Matching: COIL

- ▶ *Columbia University Image Library*
- ▶ 20 objetos
- ▶ Cada objeto foi colocado em uma plataforma rotacionável e fotografado a cada 5° (70 visões).



Shape Matching: COIL

- ▶ 8 visões igualmente espaçadas: erro = 5.81%
- ▶ média de 8 visões por objeto: erro = 1.61%

Shape Matching: MNIST

- ▶ 60000 treinamento, 10000 teste
- ▶ 600 milhões de casamentos possíveis
- ▶ 5-NN: erro = 2.11%

18: 3 -> 8



73: 9 -> 8



445: 6 -> 0



707: 4 -> 9



726: 7 -> 3



1260: 7 -> 1



551: 7 -> 3



2109: 3 -> 7



2035: 5 -> 3



2182: 1 -> 3



3005: 9 -> 1



2597: 5 -> 3



2927: 3 -> 2



2938: 4 -> 0

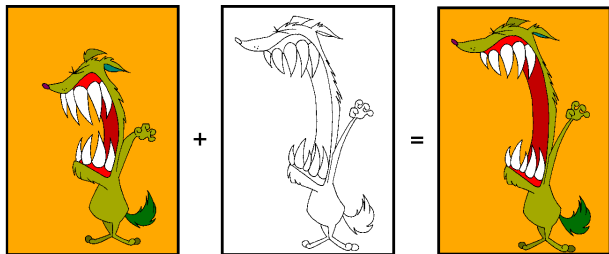


3132: 1 -> 2

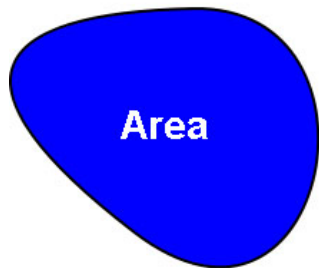


Aplicação: colorização *cartoon*

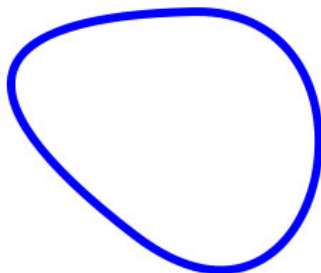
- ▶ Trabalho desenvolvido com o prof. Luiz Velho.



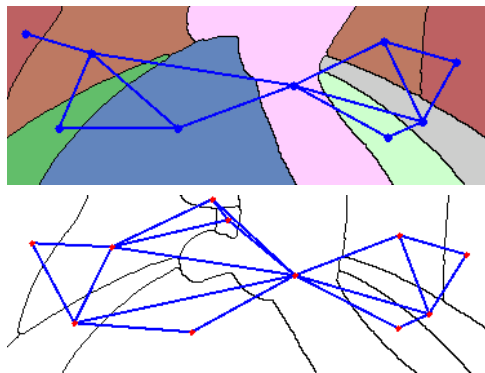
Aparência:



Perimetro



Estrutura: adjacência entre regiões



Conclusão

- ▶ Duas contribuições baseadas em casamento entre padrões de pontos, usando grafos relacionais com atributos para aplicações específicas.

	Electrophoresis	Segmentation	Shape Matching	Coloriz
DG	Good	Good	Bad	?
BP	Bad	Bad	Good	Feasible

Contribuições concretas

- ▶ Publicações: Sibgrapi, CIARP, PRL e PR.
- ▶ Implementação Java:
`http://structuralsegm.sourceforge.net/`

Principais resultados

[PRL2011] A. Noma, A. Pardo, R. M. Cesar-Jr. Structural matching of 2D electrophoresis gels using deformed graphs. Pattern Recognition Letters, Vol. 32, No. 1, p.3–11, 2011.

[PR2012] A. Noma, A. B. V. Graciano, R. M. Cesar-Jr, L. A. Consularo, I. Bloch. Interactive Image Segmentation by Matching Attributed Relational Graphs. Pattern Recognition, Vol. 45, No. 3, p. 1159–1179, 2012.

[SUBMISSÃO] A. Noma, R. M. Cesar-Jr. Spatial Constraints for Efficient Belief Propagation and Matching. Submitted to Pattern Recognition.

Próximos passos

- ▶ Estender trabalhos para detectar mudanças em imagens de satélite.

Agradecimentos

- ▶ À FAPESP, CAPES e CNPq.