

Segmentação de Dentes Utilizando a Transformada Imagem-Floresta em Sistemas Biométricos

Elizabeth B. Barboza¹ (Bolsista FAPESP), Demiam O. Fonseca², Aparecido N. Marana³ (Orientador)

UNESP - Departamento de Computação – Faculdade de Ciências – Bauru
Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube 14-01, Bauru-SP, 17033-360

{¹bethinha,²demiam,³nilceu}@fc.unesp.br

Abstract. *The positive human identification by dental arch radiographs is one of the most trustful biometric techniques. However, automatic dental segmentation from radiograph images is not an easy task and demands human interaction. A promising method to dental segmentation in computer biometrics systems, with minimum human intervention, is the Image Foresting Transform (IFT). The purpose of this work is to implement and to evaluate algorithms based on IFT for robust dental radiograph images segmentation.*

Resumo. *A identificação positiva de indivíduos utilizando radiografias da arcada dentária é uma das técnicas biométricas mais confiáveis. Porém, a segmentação automática dos dentes a partir de imagens de radiografias não é uma tarefa simples e exige interação humana. Um método promissor para segmentação de dentes em sistemas biométricos computacionais, com mínima intervenção humana, é a Transformada Imagem-Floresta (TIF). O objetivo desse trabalho é implementar e avaliar algoritmos baseados na TIF para segmentação robusta de dentes a partir de imagens de radiografias.*

1. Introdução

A identificação de indivíduos por meio de registros dentários é aceita pelas autoridades legais, pois é um método que fornece resultados precisos e confiáveis para identificação positiva, uma vez que as características extraídas são consideradas únicas e não são destruídas após a morte [1].

Nos sistemas biométricos computacionais baseados no reconhecimento de dentes a comparação das imagens ante-mortem (AM) e post-mortem (PM) é feita, em geral, utilizando-se descritores da forma dos dentes. Portanto, é preciso segmentar os dentes nas radiografias e extrair seus contornos. A segmentação precisa dos dentes é uma das partes mais críticas dos sistemas biomé-

tricos baseados nas radiografias das arcadas dentárias [1].

O objetivo deste trabalho é implementar e avaliar algoritmos para segmentação de imagens de radiografias de arcadas dentárias, baseadas na Transformada Imagem-Floresta (TIF) [2], visando à detecção precisa dos contornos dos dentes, e de suas restaurações, com mínima intervenção humana. Os algoritmos de segmentação de imagens baseados na TIF computam, de forma robusta e eficiente, uma floresta de custo mínimo em um grafo derivado da imagem, através do uso de marcadores, por onde se inicia o crescimento da região [2].

2. Transformada Imagem-Floresta

A Transformada Imagem-Floresta (TIF) é uma ferramenta geral para modelar, implementar e avaliar operadores de processamento de imagens 2D/3D baseados em conexidade [2].

Uma imagem 2D/3D pode ser vista como um grafo onde os nós são os pixels e as arestas são definidas por uma relação de adjacência A entre os nós. Um caminho p nesse grafo é uma seqüência de nós distintos e adjacentes, e possui um valor de custo associado $c(p)$, cuja função de custo de caminho c depende de propriedades locais da imagem, tais como cor, gradiente e posição do nó ao longo do caminho. Um caminho p é ótimo se $c(p) \leq c(t)$ para qualquer outro caminho t com o mesmo destino de p . A busca por caminhos é realizada a partir de um conjunto dado S de nós sementes, determinadas pelo usuário. A TIF produz três atributos para cada pixel: seu predecessor no caminho ótimo, o custo desse caminho e o nó raiz correspondente (ou algum rótulo associado a ele) [2].

2.1. Abordagem Genérica

O algoritmo TIF genérico, ilustrado na Figura 1, visa encontrar um caminho ótimo, ou seja, um caminho com um custo mínimo no grafo derivado da imagem, que se origina no conjunto de sementes dado [2].

Quando existem várias sementes em S , estas são propagadas ao mesmo tempo, estabelecendo um processo competitivo. Cada semente irá definir uma zona de influência composta por pixels conexos a ela por caminhos mais baratos do que os fornecidos por qualquer outra semente em S [2].

```
ENTRADA: Uma Imagem com pixels de intensidade  $I$ ,  
relação de adjacência  $A$  e um conjunto de nós sementes  $S$ .  
SAÍDA: Mapa de Custo  $C$ , mapa de Predecessores  $P$  e  
mapa de Raízes  $R$ .  
  
Para Cada nó  $p$  do grafo derivado da imagem Faça  
   $C(p) \leftarrow +\infty, R(p) \leftarrow p, P(p) \leftarrow \text{nil}$ .  
Para Cada nó  $p \in S$  Faça  
   $C(p) \leftarrow 0$   
  Insira  $p$  em  $Q$   
Enquanto  $Q$  não estiver vazia, Faça  
  Remova  $p$  de  $Q$  tal que  $C(p)$  seja mínimo  
  Para Cada nó  $q \in A(p)$  tal que  $C(q) > C(p)$  Faça  
     $cst \leftarrow \max(C(p), |I(q) - I(p)|)$   
    Se  $cst < C(q)$  Então  
      Se  $C(q) \neq +\infty$  Então Remova  $q$  de  $Q$   
       $C(q) \leftarrow cst, R(q) \leftarrow R(p), P(q) \leftarrow p$   
      Insira  $q$  em  $Q$   
  Retorne  $\{C, P, R\}$ .
```

Figura 1. Algoritmo TIF Genérico. Fonte [2].

2.2. Segmentação por Competição entre Sementes K-Conexas

Um conjunto de pixels é dito componente k -conexo com relação a uma dada semente, quando este é alcançado por caminhos ótimos com custos inferiores ou iguais a um valor k . Um componente k -conexo com relação a um pixel semente pode ser redefinido como um conjunto de pixels com forças de conexidade em relação a sementes maiores ou iguais a um limiar derivado de k [2].

A idéia deste método é limitar o tamanho máximo das frentes de mesmo custo, fazendo com que seus crescimentos parem quando ultrapassam um dado limiar. Isto faz com que o problema de achar um k para cada semente se reduza a um único limiar de área aplicado às frentes de custo. O método restringe a competição entre sementes em regiões com pixels que são k -conexos a alguma semente s , o que o torna mais efetivo. Pixels não alcançados por nenhuma semente são considerados como pertencentes ao fundo e sementes externas são necessárias somente quando há vazamentos [2].

3. Resultados Experimentais

Na extração do contorno de dentes utilizando a abordagem genérica do algoritmo TIF (Figura 2(a)) nota-se a concorrência entre sementes, o que gera bordas nos limites de abrangência de cada pixel semente. Para a mesma imagem, utilizando o algoritmo de segmentação por Competição entre Sementes K-Conexas, os resultados são melhores comparados com o método anterior. Como a competição entre as sementes depende de um valor k distinto, eliminou-se a concorrência entre sementes pertencentes a uma mesma região, já que há diferenciação entre sementes pertencentes ao objeto e ao fundo (Figura 2(b)).

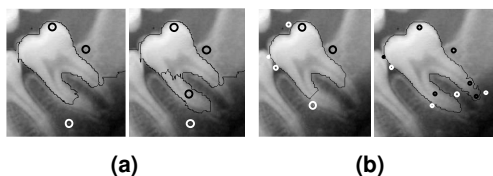


Figura 2. Segmentação de dente: (a) TIF Genérico; (b) Segmentação por Competição entre Sementes K-Conexas. Os círculos representam as sementes.

Para o caso da extração do contorno de restaurações, foram aplicadas as mesmas técnicas para segmentação dos dentes. A utilização do algoritmo de segmentação por Competição entre Sementes K-Conexas se mostrou mais efetiva do que a abordagem genérica (Figuras 3(a) e 3(c)). Para realçar bordas de interesse foi utilizado um pré-processamento baseado no operador Sobel. Observa-se que com o pré-processamento houve uma melhoria nos resultados das segmentações, pois os contornos foram suavizados (Figuras 3(b) e 3(d)).

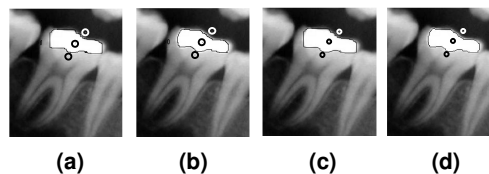


Figura 3. Segmentação de restauração: (a) TIF Genérico; (b) TIF Genérico e Sobel; (c) Competição entre Sementes K-Conexas; (d) Competição entre Sementes K-Conexas e Sobel. Os círculos representam as sementes.

Para avaliar o desempenho dos algoritmos de segmentação, foi realizada a detecção manual dos contornos dos dentes (*ground truth*), utilizando um software de manipulação de imagens. Os contornos gerados pelos algoritmos foram comparados visualmente com os manuais. As Figuras 4(a) e 4(b) mostram exemplos de segmentações obtidas pelo método genérico da TIF (esquerda), ao lado de suas respectivas segmentações manuais (direita). A Figura 4(c) apresenta o contorno da restauração gerado pelo algoritmo de Segmentação por Competição entre Sementes K-Conexas. É possível observar que houve um bom desempenho nas segmentações obtidas pelos métodos TIF, comparando-se com as segmentações manuais.

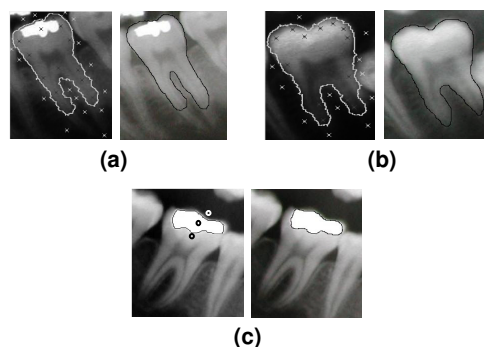


Figura 4. Análise qualitativa: (a) e (b) Segmentação de dente com o algoritmo TIF Genérico (esquerda); (c) Segmentação de restauração com o algoritmo de segmentação por Competição entre Sementes K-Conexas. À direita de cada imagem estão as segmentações manuais. Os pontos e os círculos representam as sementes.

Para a análise quantitativa foi realizado um experimento com uma amostra de 9 indivíduos, sendo duas radiografias para cada, obtidas em intervalos de um a quatro anos entre elas. A radiografia mais antiga foi considerada como sendo a AM e a mais nova a PM. Cada teste comparativo foi realizado entre a segmentação do terceiro molar inferior esquerdo de cada radiografia e os mesmos molares dos outros indivíduos, além de sua radiografia genuína, fazendo uso da abordagem genérica da TIF. Foram utilizados 100 pontos de comparação entre as formas, com o algoritmo *Shape Context* [3] para descrição e comparação das formas. A Figura 5 mostra os gráficos obtidos nesta avaliação. As distâncias foram normalizadas no intervalo de 0 a 20. A taxa de erro obtida (Equal Error Rate - EER) para este teste foi de aproximadamente 26%. Esse resultado pode ser considerado razoável, principalmente porque essa taxa de erro foi obtida utilizando-se apenas um dos dentes da arcada dentária.

4. Conclusão

Os algoritmos implementados para segmentação de dentes baseados na Transformada Imagem Floresta (TIF) mostraram-se satisfatórios, principalmente para a segmentação das restaurações. A segmentação por Competição entre Sementes K-Conexas apresentou melhores resultados do que a abordagem genérica. Os resultados preliminares obtidos indicam que algoritmos baseados em TIF são uma alternativa promissora para sistemas biométricos computacionais de reconhecimento de dentes, uma vez que permitem a segmentação eficaz dos dentes e suas restaurações com mínima intervenção do usuário.

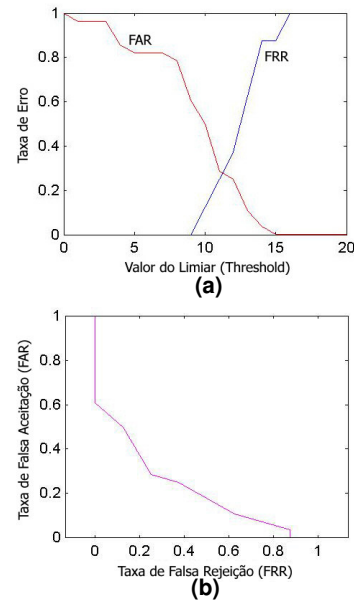


Figura 5. Análise quantitativa: (a) Curvas da taxa de falsa aceitação (FAR) versus taxa de falsa rejeição (FRR). Observa-se o valor da taxa de erro (EER) de aproximadamente 26%; (b) Curva ROC.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapesp (processo no 2007/02662-0) pelo auxílio financeiro.

Referências

- [1] Jain, A. K.; Chen, H.; and Minut, S. (2003). "Dental Biometrics: Human Identification Using Dental Radiographs", Proceedings of 4th Int. Conf. AVBPA, Guildford, UK, pages 429-437, June.
- [2] Miranda, P. (2006). "Segmentação de Imagens pela Transformada Imagem-Floresta", Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – UNICAMP. Orientador: Alexandre Xavier Falcão.
- [3] Belongie, S., Malik, J., Puzicha, J. (2002). "Shape Matching and Object Recognition Using Shape Contexts", IEEE Trans. of PAMI, vol. 24, n. 4, pp. 509-522.