

# AVALIAÇÃO DE 3 ALGORITMOS DE MODELAGEM POLIGONAL DE CONTORNOS BIDIMENSIONAIS

PAULO CÉSAR CORTEZ<sup>1</sup>  
JOÃO MARQUES DE CARVALHO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Elétrica - CT - UFC  
cortez@dee001.ufpbcg.anpb.br

<sup>2</sup>Laboratório de Automação e Processamento de Sinais - LAPS  
Departamento de Engenharia Elétrica  
CCT - UFPB - Campus II  
Caixa Postal 10105  
58.109-970 - Campina Grande, PB, Brasil  
joao@dee001.ufpbcg.anpb.br

**Abstract.** The present work evaluates and compares the performance of three algorithms for polygonal modeling of 2D shapes. One of the algorithms examined has been previously proposed by the authors and operates in a sequential fashion along the border of the object to be modeled. The other methods, extracted from the literature, work iteratively and therefore require an initial approximation to start operation. Results show the proposed algorithm to be much faster than the others, while presenting an equivalent performance in terms of approximation error and complexity of the model produced.

## 1 Introdução

Existe uma grande variedade de aplicações em processamento digital de imagens nas quais os modelos poligonais de objetos em 2D estão sendo usados, com especial destaque, no reconhecimento de padrões, visão robótica e reconhecimento de formas [Frias-Guigoitia(87)].

O presente trabalho apresenta uma comparação de desempenho entre um algoritmo de modelagem poligonal recentemente proposto pelos autores [Cortez-Carvalho(92.a)] e dois outros métodos muito utilizados, considerados como clássicos na área [Ramer(92)] e [Pavlidis-Horowitz(74)]. Como parâmetros de comparação foram utilizados o tempo de processamento, o número de segmentos poligonais gerados e o erro médio quadrático da aproximação.

Na seção 2 é referenciada a etapa de pré-processamento e segmentação da imagem original. Nas seções 3 e 4 são descritos os três algoritmos avaliados e são apresentados os resultados experimentais obtidos, respectivamente. Finalmente, nas seções 5 e 6, estes resultados são analisados e conclusões são tiradas sobre os métodos e suas possíveis aplicações.

## 2 Pré-processamento e Segmentação

Para o pré-processamento, a segmentação das imagens originais e a obtenção da lista dos pontos de contorno, utilizou-se o mesmo procedimento descrito pelos autores em [Cortez-Carvalho(92.a)] com as alterações propostas por [Cortez(92)].

## 3 Os Algoritmos

Do ponto de vista operacional, algoritmos para modelagem poligonal podem ser divididos em duas classes: iterativos e seqüenciais [Junior-Linhares(90)].

Os algoritmos que serão avaliados nesta seção são os algoritmos iterativos de Ramer [Ramer(92)], o método Split and Merge [Pavlidis-Horowitz(74)] e o algoritmo seqüencial proposto anteriormente pelos autores bem como variante deste algoritmo, utilizando o critério de aproximação dado pela distância euclidiana entre o vértice comum aos dois segmentos e a semi-reta formada pelos dois vértices extremos [Cortez-Carvalho(92.a)].

## 4 Resultados Experimentais

Os resultados mostrados nesta seção foram obtidos com as mesmas imagens usadas em [Cortez-Carvalho(92.a)].

Os algoritmos foram implementados em uma estação SUN SPARC-2 e executados sem nenhuma pri-

<sup>2</sup>Laboratoire MASI/CAO-VLSI  
Université Pierre et Marie Curie  
4, Place Jussieu - 75252 Paris Cedex 05 - France  
E-mail:carvalho@cao-vlsi.ibp.fr

oridade para este processo. Por esta razão foi considerado, para efeito de análise, o tempo médio de execução de cada algoritmo, calculado sobre dez execuções distintas.

O tempo de execução considerado em cada caso é apenas o tempo de construção do modelo poligonal a partir da lista de pontos de borda. No caso do algoritmo Split and Merge, considerou-se como solução inicial exatamente os dados resultantes do algoritmo de Ramer. Logo, para este método será incluído o tempo de execução do algoritmo de Ramer.

O erro que será mostrado nas tabelas é o erro médio quadrático da aproximação, calculado a partir da distância euclidiana de cada ponto  $a_i$  da borda do objeto ao correspondente segmento de reta do modelo poligonal.

O limiar considerado para definir a precisão dos modelos nos resultados que são mostrados a seguir foi  $\epsilon = 2.0$  pixels. Este valor foi o que apresentou melhores resultados para os propósitos deste trabalho. Valores menores deste limiar aumentam sobremaneira o número de lados tornando o modelo inútil e maiores aumentam muito o erro e comprometem a precisão do modelo.

A imagem usada para o presente trabalho, bem como os correspondentes modelos poligonais produzidos por cada um dos métodos, é mostrada apenas nas Figuras 1 e 2 (apenas uma por razões de espaço) no final do trabalho. Os dados referentes à modelagem realizada por cada algoritmo está listado na Tabela 1.

Métodos	Tempo(ms)	Lados	Erro
Ramer	115	12	1.61
Split-Merge	135	12	1.61
Proposto	006	15	1.44
Modificado	008	09	2.53

Tabela 1: Resultados dos Algoritmos para o Arco

## 5 Análise Comparativa dos Algoritmos

O resultado listado na tabela mostra claramente que o algoritmo proposto pelos autores é muito mais rápido que os algoritmos iterativos examinados para produzir um modelo poligonal de complexidade equivalente.

Embora uma certa vantagem fosse esperada para o algoritmo proposto devido à sua característica sequencial de operação, o resultado obtido superou amplamente a expectativa.

A modificação imposta no algoritmo consegue simplificar o modelo poligonal produzido, através da

fusão de um maior número de lados. Este resultado é obtido às custas de um maior erro na aproximação e um maior tempo de processamento.

No que diz respeito à precisão (ou fidelidade) dos modelos expressa pelo erro médio quadrático, os algoritmos iterativos e o proposto na forma original apresentaram um desempenho quase equivalente, com ligeira vantagem para o último. Este resultado reflete o fato dos modelos obtidos por estes métodos possuírem aproximadamente o mesmo número de lados. Apenas o método proposto modificado apresenta um erro mais elevado que os demais, decorrente do menor número de lados no modelo produzido. Uma comparação visual entre as imagens dos objetos e as dos modelos, confirma estas observações.

## 6 Conclusões

Com base na análise feita na seção anterior e no material apresentado no restante do trabalho, as seguintes conclusões podem ser extraídas:

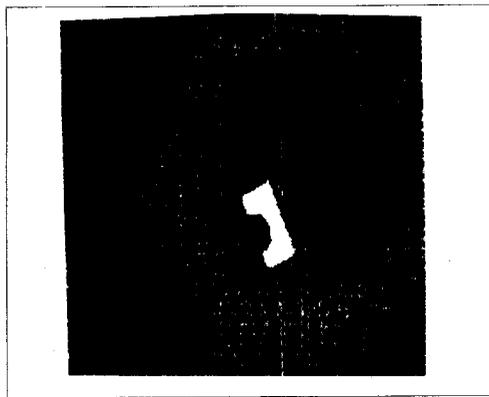
- ⇒ O algoritmo proposto pelos autores apresenta um desempenho consideravelmente superior aos outros algoritmos analisados em termos de tempo de processamento e ligeiramente superior em termos de erro médio quadrático na aproximação, para produzir um modelo poligonal de complexidade equivalente;
- ⇒ Este algoritmo possibilita a implementação simultânea das etapas de segmentação e modelagem, permitindo, portanto, sua implementação em máquinas que explorem o uso de paralelismo. Tal implementação paralela proporcionaria um aumento considerável de desempenho mesmo em relação a outros algoritmos sequenciais, os quais em geral necessitam da completa lista dos pontos de borda para iniciar a modelagem;
- ⇒ O método proposto na forma modificada produz um modelo com menor número de lados. Estes lados são, em geral, de maior comprimento do que aqueles produzidos pelos demais algoritmos. Esta característica torna o uso deste método recomendável para aplicações onde os maiores lados são tratados com prioridade, fornecendo os atributos para o processo de reconhecimento de formas [Ayache-Faugeras (86)];
- ⇒ Uma nova formulação para o método de segmentação por rastreamento de bordas foi obtida, a qual utiliza uma vizinhança de busca expandida. Este método se mostrou capaz de seguir o contorno dos objetos modelados mesmo em regiões com mudanças abruptas de direção;

⇒ O valor do limiar de distância  $\varepsilon = 2.0$  pixels foi o que possibilitou o melhor desempenho para todos os três algoritmos.

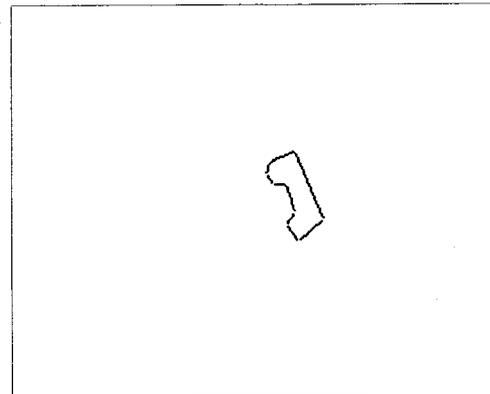
**Agradecimentos:** Este trabalho foi suportado parcialmente pelo CNPq e pelo programa RHAE-MCT.

## 7 Referências

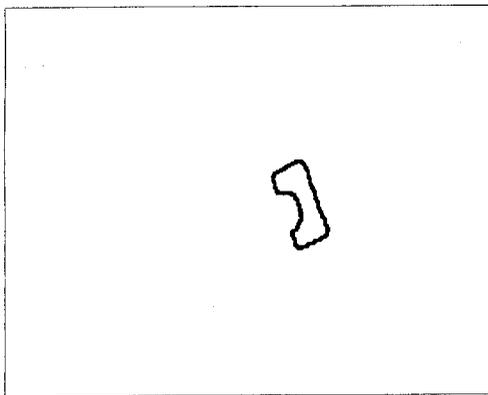
- N. Ayache, and O. D. Faugeras, HYPER: A New Approach for the Recognition and Positioning of Two-Dimensional Objects, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8, January (1986) 44-54.
- P. C. Cortez, Reconhecimento de Objetos Bidimensionais Usando Modelagem Poligonal, *Tese de Mestrado UFPB*, Agosto (1992).
- P. C. Cortez e J. M. Carvalho, Algoritmo para Modelamento Poligonal de Objetos em 2D, *9<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Automática*, Vitória, Setembro, (1992.a).
- P. C. Cortez e J. M. Carvalho, Algoritmo para Modelamento Poligonal de Objetos em 2D, *V Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens*, Águas de Lindóia - SP, Novembro, (1992.b).
- B. C. Frias e C. F. B. Guigoitia, *Visión para Computadoras*, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires (1987).
- R.M.C. Junior e O.D. Linhares, Métodos Numéricos de Aproximação Poligonal: uma Análise Comparativa de 3 métodos, *Jornada EPUSP/IEEE em Computação Visual*, (1990) 191-199.
- T. Pavlidis, S.L. and Horowitz, Segmentation of Plane Curves, *IEEE - Transactions on Computers*, vol. C-23, 8, August(1974) 860-870.
- U. Ramer, An Iterative Procedure for the Polygonal Approximation of Plane Curves, *Comp. Graph. and Imag. Proc.*, 1, (1972) 224-256.



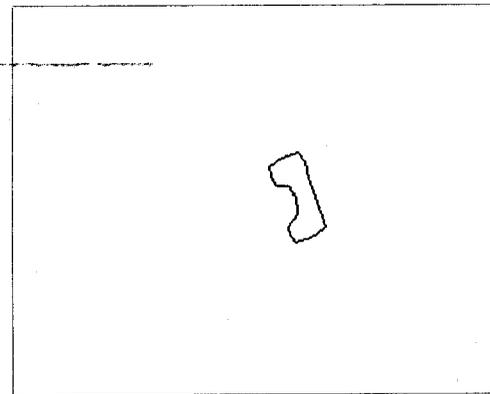
a)



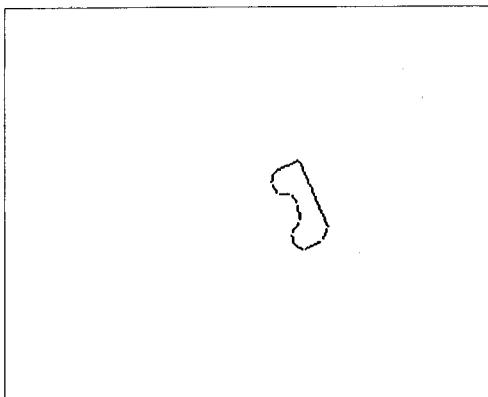
d)



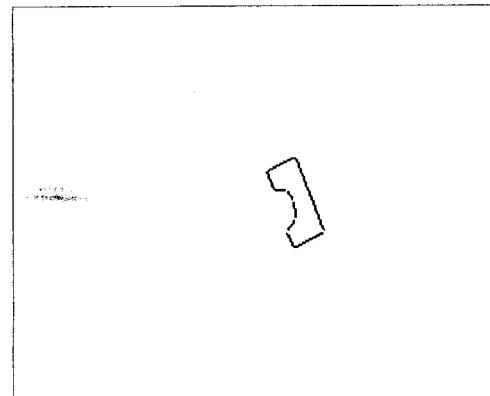
b)



e)



c)



f)

Figura 1: a) Arco - Original, b) Arco - Gradiente e c) Modelo Ramer.

Figura 2: d) Modelo Split-Merge, e) Modelo Proposto e f) Modelo Modificado.