

Avaliação Quantitativa de um Método Automático de Extração de Bordas em Imagens Digitais

Inês A. Gasparotto Boaventura

Departamento de Ciências de Computação e Estatística, IBILCE, UNESP,
15054-000, São José do Rio Preto, SP
E-mail: ines@ibilce.unesp.br

Adilson Gonzaga

Departamento de Engenharia Elétrica, EESC, USP
13560-970, São Carlos, SP
E-mail: agonzaga@sc.usp.br

Resumo: *Recentemente foi proposto um novo método para a detecção automática de bordas em imagens digitais baseado em números fuzzy, chamado FUNED (Fuzzy Number Edge Detector). Esse novo algoritmo é mais simples, mais intuitivo e mais rápido comparado às abordagens existentes na literatura. A avaliação de desempenho dos detectores de borda, em geral, é feita empiricamente através da análise visual das imagens bordas geradas. Este artigo traz um conjunto de métodos que permitem avaliar quantitativamente o desempenho do FUNED, através de um conjunto de imagens sintéticas e suas respectivas imagens bordas ideais (ground truth). É feito também uma análise comparativa entre o desempenho do FUNED com outros detectores de borda.*

Palavras-chave: *Avaliação da qualidade, Detector de Bordas, Conjuntos Fuzzy, Segmentação de imagens*

1 Introdução

A detecção de borda é um problema clássico em sistemas de visão computacional e reconhecimento de padrões sendo uma parte crítica desses sistemas. A detecção de bordas é uma das tarefas mais importantes do processamento em baixo nível de imagens. Bordas e contornos são características úteis, uma vez que representam uma imagem pelos limites dos objetos e separação de regiões não similares em termos de intensidade de pixels, além disso, apresentam informação essencial de um objeto de interesse na imagem. Idealmente, uma borda é o limite entre duas regiões, cujos níveis de cinza predominantes são relativamente diferentes, ou seja um ponto de borda localiza um pixel onde existe troca de intensidade local significativa.

Devido à importância da extração de bordas, vários algoritmos tem sido desenvolvidos com o intuito de automatizar este processo. Entre eles podem ser citados o detector de bordas de Sobel [7], o detector de Canny [5], o detector baseado em sistemas fuzzy de Russo [9] e o detector FUNED [2, 3], dentre outros.

A correta localização das bordas é fundamental para o processamento subsequente de uma imagem. No entanto, não existe um algoritmo de detecção de borda ideal em sua formulação e/ou implementação. O processo de extração de bordas é complexo e envolve problemas com ruídos, iluminação e baixo contraste. Desta forma, se faz necessário avaliar e quantificar o desempenho dos algoritmos de extração de bordas e comparar o desempenho destes algoritmos do ponto de vista de suas potencialidades, suas limitações e aplicabilidade em relação às imagens.

O detector FUNED foi introduzido em [2, 3] com excelentes resultados na extração de bordas. Nestes dois trabalhos foram feitas comparações qualitativas e comparações em relação ao tempo de processamento dos resultados do detector FUNED aos resultados dos detectores de Canny e de Russo. Essas comparações indicaram que o detector FUNED possui vantagem de desempenho sobre os demais.

O objetivo deste trabalho é apresentar um método para avaliar quantitativamente o desempenho do detector de bordas FUNED, usando um conjunto de imagens sintéticas. A avaliação é realizada através de medidas de qualidade de bordas. Estas medidas são obtidas pela comparação das bordas geradas pelo detector FUNED com imagens de referência, supostas como verdade absoluta, chamadas imagens borda ideais (*ground truth*). Além disso, uma análise comparativa aos desempenhos dos detectores de bordas de Canny e de Russo serão apresentadas.

2 Metodologia

A função de pertinência proposta para a implementação do detector de bordas FUNED, o qual é baseado na teoria de números fuzzy, tem a seguinte formulação [2, 3]: para cada pixel $g_{i,j}$ da imagem, interpretado como um número fuzzy, calcula-se a pertinência desse pixel em relação à região determinada por uma vizinhança local. Assim, seja uma imagem $A_{N \times M}$ em que, para cada pixel $g(i, j)$, tem-se uma janela de vizinhança espacial $W \times W$. A função de pertinência, $\hat{\mu}_{g(i,j)}$, de cada pixel $g(i, j)$ ao conjunto fuzzy *Região Homogênea* da imagem é definida pela equação

$$\hat{\mu}_{g(i,j)} = \frac{\sum_{k=1}^W \sum_{l=1}^W \max(0, 1 - \frac{|g(i,j) - A(k,l)|}{\delta}) - 1}{W^2 - 1}, i = 1 \dots N, j = 1 \dots M, \quad (1)$$

onde $\delta \in R$ representa o parâmetro de espalhamento do número fuzzy. Quanto menor δ , menor é a base do número triangular, ou seja menor é o intervalo onde se considera a pertinência dos vizinhos.

Existem vários critérios comuns para avaliação quantitativa de detectores de bordas [1, 4, 10, 11]. Alguns desses critérios são a taxa de erro e de acerto de detecção e localização de bordas e a distância entre os pontos de borda detectados, em comparação a uma imagem de referência, denominada imagem ideal (*ground truth*). A imagem ideal, geralmente, é obtida por processos manuais [8], porém existem propostas de geração automática de tais imagens [6].

Uma maneira de verificar a discrepância entre as bordas da imagem borda obtida e da imagem ideal é através do cálculo das seguintes medidas [10]:

A porcentagem dos pixels de bordas que foram corretamente detectados (P_{co}):

$$P_{co} = \frac{N_{pd}}{N_I}, \quad (2)$$

onde N_{pd} representa o número de pixels da borda detectados corretamente.

A porcentagem dos pixels de bordas que não foram detectados (P_{nd}):

$$P_{nd} = \frac{N_{pnd}}{N_I}, \quad (3)$$

onde N_{pnd} é o número de pixels da borda não detectados.

Porcentagem dos pixels de bordas que foram erroneamente detectados como pixels de borda (P_{ed}):

$$P_{ed} = \frac{N_{ed}}{N_B}, \quad (4)$$

onde N_{ed} significa o numero de pixels de falso alarme, ou seja, erroneamente detectados.

A figura de mérito de Pratt também é uma ferramenta útil para avaliar a performance de detectores de borda. A medida utiliza a distância entre todos os pares de pontos correspondentes

para quantificar, de forma precisa, a diferença entre os contornos [1]. Assim, para uma avaliação quantitativa do desempenho do FUNED foi utilizada a figura de mérito de Pratt, que avalia a semelhança entre dois contornos, e é definida como

$$P = \frac{1}{\max(N_I, N_B)} \sum_{i=1}^{N_B} \frac{1}{1 + \alpha \times d_i^2}, \quad (5)$$

onde N_I e N_B são os números de pontos de bordas na imagem ideal e imagem borda, respectivamente, d_i é a distância entre um pixel de borda e o pixel mais próximo na imagem ideal e α é uma constante de calibração empírica e foi utilizado $\alpha = 1/9$, valor ótimo estabelecido por Pratt [1]. A figura de mérito de Pratt P é um indicador da qualidade de borda e, traduz o comportamento global das distâncias entre as bordas, sendo uma medida relativa, que varia no intervalo $[0,1]$, onde 1 representa o valor ótimo, ou seja, as bordas detectadas coincidem com as bordas ideais.

O algoritmo desenvolvido, chamado *algoritmo de comparação*, recebe como entradas a imagem borda produzida por um detector de bordas e a imagem ideal, e a saída é o valor do índice de Pratt, que indica a qualidade da borda produzida. O processo usado pode ser sumarizado da seguinte forma: cada pixel de borda do mapa de borda é avaliado em comparação à imagem ideal. Se o pixel de borda coincide com uma borda na imagem borda de referência, a distância é zero. Caso contrário, considera-se a menor distância, D_{min} , entre o pixel de borda e o pixel de borda na imagem ideal, que esteja a uma vizinhança de no máximo 3 pixels deste pixel. Caso não exista um pixel na imagem borda ideal que satisfaça essa condição, é considerado um valor maior para a distância D_{min} , que penaliza o cálculo da figura de mérito. No caso desta implementação, considerou-se $D_{min} = 7$, valor bem acima das distâncias mínimas calculadas para uma janela de tolerância máxima de 3 pixels para que um pixel de borda corresponda a um pixel de borda na imagem ideal.

3 Resultados Computacionais

As imagens sintéticas mostradas na figura 1 mostram alguns dos exemplos de imagens sintéticas utilizadas para a avaliação quantitativa do desempenho do detector FUNED.

Para cada uma das imagens sintéticas (fig. 1), foi produzido manualmente a respectiva imagem borda ideal, mostradas pela figura 2.

O detector de borda FUNED foi comparado com os seguintes detectores de borda: o detector de Sobel, o detector de Canny e o detector de Russo. As imagens sintéticas foram submetidas a cada um dos detectores de bordas e foram considerados os melhores resultados de imagens borda obtidos para cada um dos métodos. Para as imagens bordas obtidas, que aparecem nas figuras 3, 4 e 5, calculou-se o índice de mérito de Pratt, medindo-se os desvios entre as bordas produzidas por cada um dos detectores e as bordas consideradas ideais.

A tabela 1 mostra os valores dos índices de mérito de Pratt que foram obtidos. Conforme pode ser observado, o detector FUNED apresenta índices de mérito maiores, comparado aos outros detectores utilizados para comparação.

Imagem Borda	Índices de Mérito de Pratt			
	FUNED	Canny	Sobel	Russo
Fig 3	0.9970	0.8992	0.9005	0.9502
Fig 4	0.9556	0.9536	0.9023	0.6859
Fig 5	0.9483	0.9199	0.9529	0.8768

Tabela 1: Resultados dos Índices de Mérito de Pratt

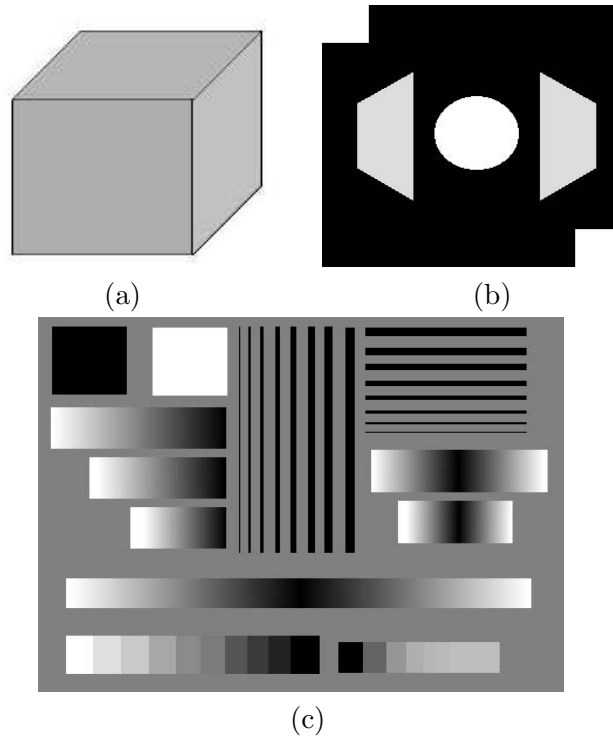


Figura 1: Imagens Sintéticas utilizadas para as medidas da Figura de Mérito de Pratt.

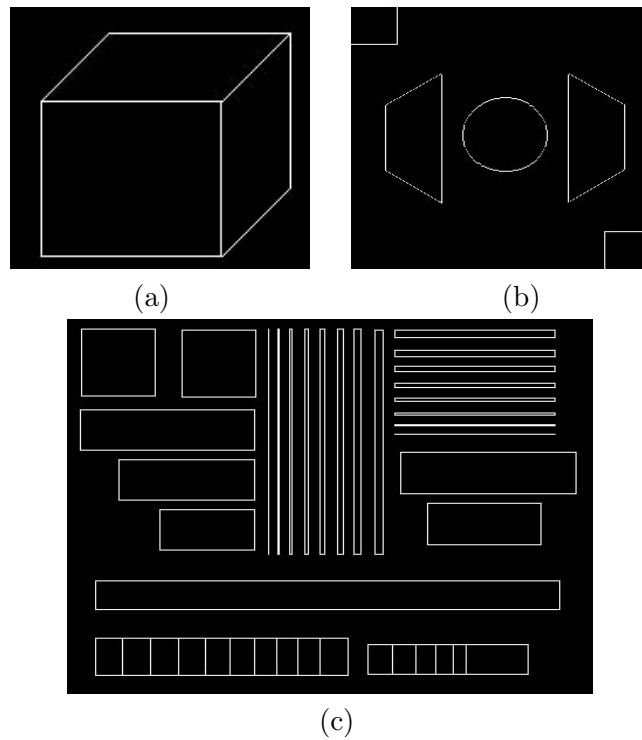


Figura 2: Imagens de Bordas Ideais (*ground truth*).

4 Conclusões

Os resultados da avaliação de desempenho, baseada na avaliação quantitativa dos algoritmos, mostradas neste trabalho e, considerando-se as medidas práticas de tempo de processamento re-

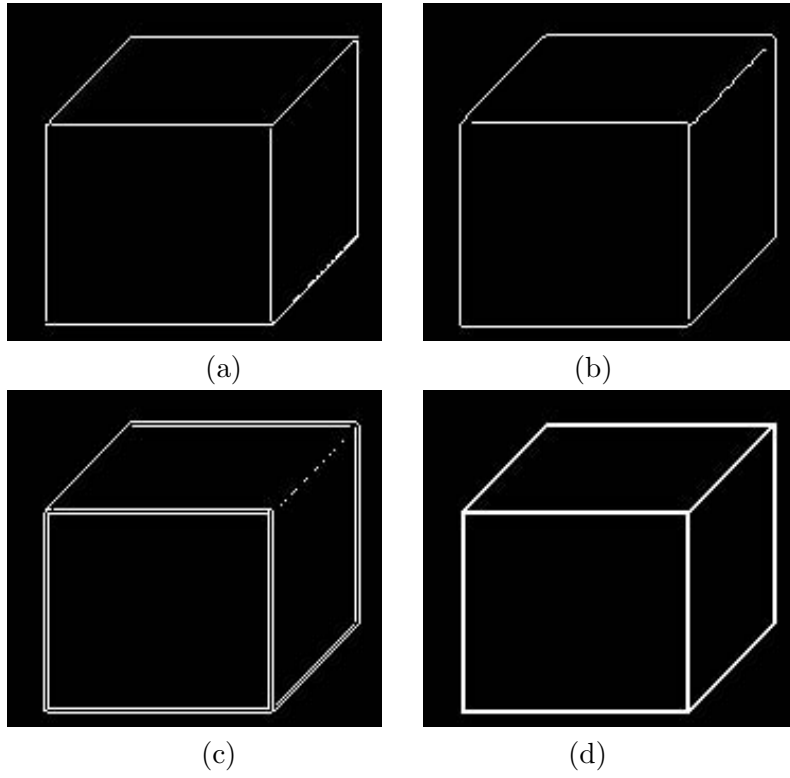


Figura 3: Imagens de Bordas referentes à figura 1(a). (a) FUNED (b) Canny (c) Sobel (d) Russo.

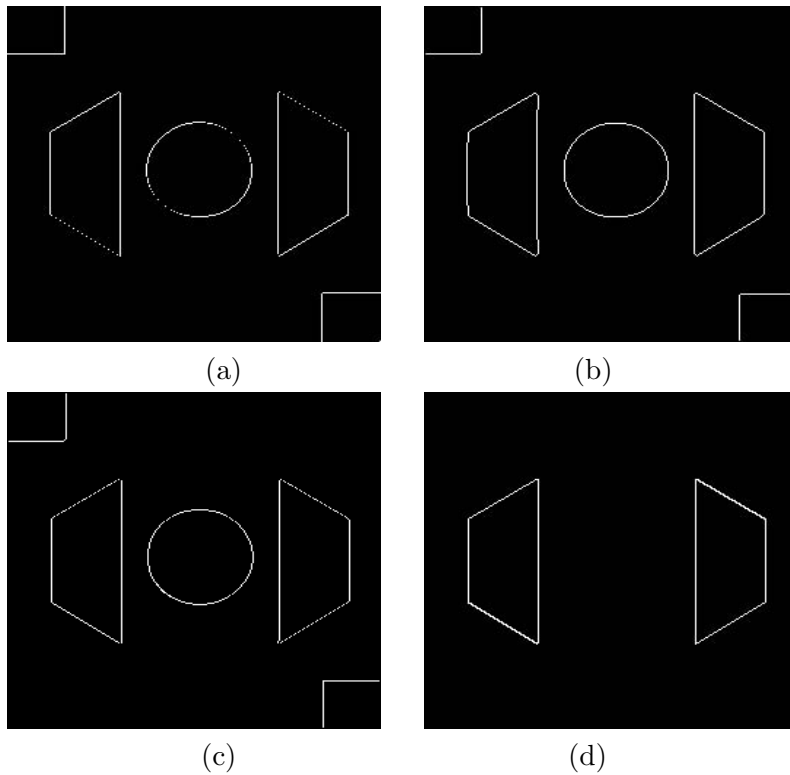


Figura 4: Imagens de Bordas referentes à figura 1(b). (a) FUNED (b) Canny (c) Sobel (d) Russo.

alizadas em [2], mostram que o FUNED é mais eficaz computacionalmente, quando comparado aos detectores de Canny, Sobel e, também a outra abordagem fuzzy, o Detector de Russo. O

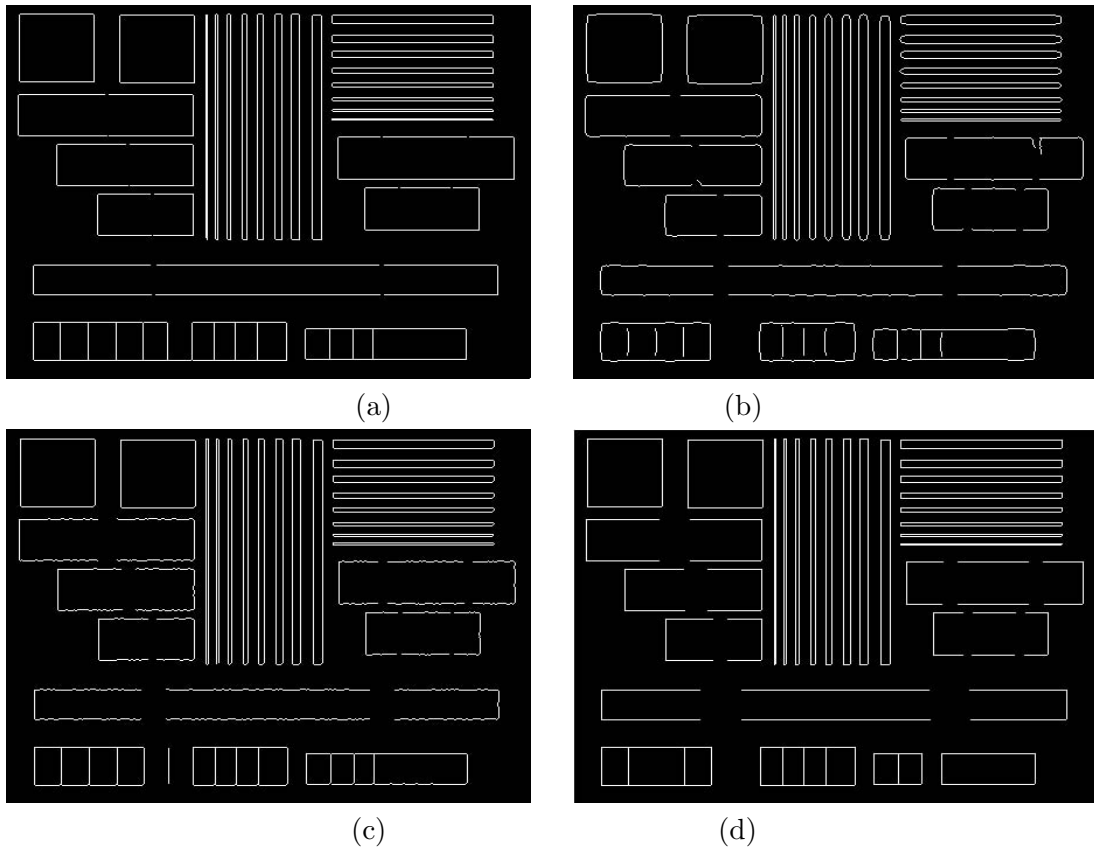


Figura 5: Imagens de Bordas referentes à figura 1(c). (a) FUNED (b) Canny (c) Sobel (d) Russo.

método apresentado utiliza figura de mérito de Pratt para avaliar o desempenho dos detectores de bordas. Para esta avaliação foram utilizadas as imagens sintéticas e suas respectivas imagens ideais produzidas manualmente. Como futuras pesquisas, a avaliação aqui apresentada deverá ser estendida às cenas reais, ou seja, considerar a análise da capacidade do detector de bordas FUNED em cenas reais. Para isso existe a base de dados de imagens *Berkeley Segmentation Dataset*, que traz um conjunto de imagens naturais e suas respectivas imagens de bordas produzidas manualmente [8].

Referências

- [1] I. A. Abdou and W. Pratt. Quantitative design and evaluation of enhancement/thresholding edge detectors. In *Proceedings of the IEEE*, volume 67, pages 753–766, 1979.
- [2] I. A. G. Boaventura and A. Gonzaga. Border detection in digital images: An approach by fuzzy numbers. In *Seventh International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, pages 341–346. IEEE Computer Society, 2007.
- [3] I. A. G. Boaventura and A. Gonzaga. Edge detection in digital images using fuzzy numbers. *International Journal of Innovative Computing and Applications*, (Aceito para publicação), 2009.
- [4] K. Bowyer, C. Kranenburg, and S. Dougherty. Edge detector evaluation using empirical roc curves. *Computer Vision and Image Understanding*, 84:77–103, 2001.
- [5] J.F. Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 8:679–698, 1986.

- [6] N.L. Fernández-García, A. Carmona-Poyato, R. Medina-Carnicer, and F.J. Madrid-Cuevas. Automatic generation of consensus ground truth for the comparison of edge detection techniques. *Image and Vision Computing*, 26:496–511, 2008.
- [7] R.C. Gonzalez. *Digital Image Processing*. Prentice Hall, 2002.
- [8] D. Martin, C. Fowlkes, D. Tal, and J. Malik. A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics. In *Proc. 8th Int'l Conf. Computer Vision*, volume 2, pages 416–423, July 2001.
- [9] F. Russo. Edge detection in noisy images using fuzzy reasoning. *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, 47(5):1102–1105, October 1998.
- [10] G. B. Scofield, S. J. S. Sant'Anna, C. C. Freitas, and L. V. Dutra. Avaliação quantitativa do segsar através de medidas de borda e regiões em imagens ópticas sintéticas. In *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pages 6167–6174, 2007.
- [11] Y.J. Zhang. A survey on evaluation methods for image segmentation. *Pattern Recognition*, 29(8):1335–1346, 1996.