

METODOLOGIA COMPUTACIONAL DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS DE FUNDO DE OLHO PARA O DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA

GABRIEL TOZATTO ZAGO*, RODOLFO DE FIGUEIREDO DALVI[†], RODRIGO VAREJÃO ANDREÃO[‡],
BERNARDO DEPS ALMEIDA[§]

*Rodovia ES 010, Km 6,5, s/n, Mangüinhos, Serra - ES, Brasil

[†]Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil

[‡]Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara, Vitória - ES, Brasil

[§]Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara, Vitória - ES, Brasil

Emails: gabriel.zago@ifes.edu.br, rodolfodalvi@hotmail.com, rodrigo.va@ifes.edu.br,
bernardo.deps@gmail.com

Abstract— Glaucoma is an irreversible eye disease which leads to permanent vision loss. However, early detection can be effective to delay or even stop disease progression. The progression of glaucoma can be quantified physiologically by increased excavation of internal optical disk. In a retinal image this feature is observed as an increased ratio between the internal and the external optical disc (CDR, cup to disc ratio). The first step in an automated diagnostic system of glaucoma is to find and segment both optical discs. This task that has been studied by many researchers and still needs improvement. This paper presents a new detection and segmentation algorithm for internal and external optical discs in fundus images. The main techniques used are clustering, edge detection with Canny method and Hough transform. It was used the Indian database Drishti-GS1 and were obtained f-scores 93.25 % for the identification of the external optical disc and 81.21 % for the internal optical disc. The results are promising for integration at an automatic glaucoma early detection tool through retinal images.

Keywords— Glaucoma, Processamento de imagens, transformada de Hough.

Resumo— Glaucoma é uma doença ocular irreversível que leva a perda de visão permanente. Contudo, a detecção precoce pode ser efetivo em atrasar ou mesmo parar a progressão da doença. A progressão do glaucoma pode ser quantificada fisiologicamente pela escavação aumentada do disco óptico interno. Numa imagem de retina esta característica é observada através da razão entre o disco óptico interno e o externo (CDR, do inglês *cup to disc ratio*), que, numa imagem de retina com glaucoma, é aumentada. O primeiro passo de um sistema de diagnóstico automático de glaucoma é encontrar e segmentar ambos os discos ópticos, tarefa que já vem sendo estudada por diversos pesquisadores e ainda necessita de melhorias. Este trabalho apresenta um novo algoritmo de detecção e segmentação dos discos ópticos interno e externo em imagens de fundo de olho. As principais técnicas utilizadas são a clusterização, detecção de bordas com método Canny e transformada de Hough. Foi utilizada a base de dados indiana Drishti-GS1 e foram obtidos f-scores de 93,25% para a identificação do disco óptico externo e de 81,21% para o disco óptico interno. Os resultados são promissores para a integração numa ferramenta de detecção automática precoce de glaucoma através de imagens de retina.

Palavras-chave— Processamento de imagem. Glaucoma. Exame de fundo de olho. Segmentação de disco óptico.

1 Introdução

O glaucoma é uma doença do sistema nervoso que causa, na maioria das vezes, aumento da pressão intra-ocular. Ela leva à morte de células da retina causando dano ao nervo óptico e perda de campo visual. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o glaucoma é a terceira maior causa de cegueira na população mundial. No Brasil, cerca de 900 mil pessoas, com idade acima de 40 anos, sejam portadores desta doença, o que configura um problema de saúde pública. As mudanças no exame de fundo de olho ocorrem primariamente no disco óptico e pode levar à cegueira se deixada sem tratamento. Como a perda de visão relacionada ao glaucoma é irreversível, a detecção precoce e o subsequente tratamento são essenciais para que os pacientes preservem suas visões.

A identificação do glaucoma convencionalmente é realizada por especialistas através de análise

subjetiva de algumas estruturas do disco óptico. Esta análise requer alterações de amplificação, brilho e contraste para melhorar a identificação das estruturas buscadas, este processo é demorado e, como é subjetivo, varia significativamente de profissional para profissional. Sistemas automáticos, portanto, podem reduzir o tempo, custo e esforço empreendidos na detecção de glaucoma significativamente. Com o avanço das técnicas de processamento digital de imagens, técnicas de visão computacional e o aumento da velocidade dos computadores, sistemas computadorizados de auxílio ao diagnóstico estão sendo cada vez mais utilizados nas áreas de ciências médicas e são muito relevantes na oftalmologia moderna. Existem diversos trabalhos que tentaram distinguir exames de retina de pacientes normais e pacientes com glaucoma (Yu et al., 2012) (Mohammad et al., 2013) (Aquino et al., 2010) (Saleh et al., 2014). Uma etapa importante deste

processo é localizar e segmentar o disco óptico nas imagens de retina. Várias técnicas já foram utilizadas para detectar e segmentar o disco óptico. Yu et al. (Yu et al., 2012) utilizou casamento de modelos no canal vermelho da imagem de retina para segmentar o disco óptico. Já Aquino et al. (Aquino et al., 2010) usa três diferentes regras para encontrar a região de interesse e à partir desta região utiliza filtros morfológicos, detectores de borda e a transformada de Hough para a detecção de círculos ou elipses que representam bem o formato do disco óptico. Outros trabalhos utilizam classificadores a partir de características extraídas da imagem, como forma, cor, textura e localização (Cheng et al., 2012). Este trabalho apresenta um novo algoritmo de detecção e segmentação do disco óptico que apresenta resultados promissores que permitirão o desenvolvimento de sistemas computadorizados de auxílio ao diagnóstico de glaucoma através de imagens de retina.

2 Metodologia

O processamento da imagem se divide basicamente em duas etapas principais:

- Pré-processamento;
- Segmentação do disco óptico.

2.1 Base de dados

Para a elaboração deste trabalho foi utilizado o Banco de Dados de imagens público Drishti-GS1 (Sivaswamy et al., 2015). O Banco de dados Drishti-GS1 contém 101 imagens de fundo de olho, coletadas no Aravind Eye Hospital de Madurai, Índia. Os pacientes com glaucoma foram selecionados através de investigação clínica baseada na descoberta por exames clínicos. Foram selecionados pacientes com idade entre 40-80 anos, com igual número de homens e mulheres. A triagem das imagens foi feita por quatro médicos especialistas com 3, 5, 9 e 20 anos de experiência. A seleção do disco óptico nas imagens para validação foi feita manualmente pelos especialistas usando uma ferramenta criada para tal tarefa. A adoção da imagem como positiva ou negativa para glaucoma foi feita pela indicação dos médicos, levando-se em conta a opinião da maioria, sendo necessário 3/4 de opiniões iguais para ser classificado como positivo ou negativo para a presença de glaucoma.

2.2 Pré-processamento

A imagem original de fundo de olho possui uma dimensão de 2049×1751 pixels. Estas dimensões são consideradas grandes demais para o processamento computacional, além disso a região de interesse (ROI) na imagem, disco óptico, constitui uma fração pequena em relação ao tamanho da imagem. Para que o processamento seja

menos custoso computacionalmente são aplicadas três etapas de pré-processamento: redimensionamento da imagem, identificação da ROI e corte da imagem reduzindo-a para dimensões de 240×240 . Na etapa de redimensionamento a imagem é reduzida a 1/3 das dimensões originais, ou seja, 683×584 . A razão de redução de 1/3 foi escolhida de forma a reduzir o tempo de processamento mantendo as características fundamentais necessárias para se cumprir o objetivo deste trabalho. Para extração da ROI inicialmente são retirados 17,5% dos pixels da imagem em cada lateral. O centro da ROI é encontrado buscando-se a região de maior intensidade média utilizando-se uma máscara de formato quadrado de dimensões 60×60 pixels na componente vermelha da imagem atual. O canal vermelho da imagem foi utilizado com base no desempenho da extração do disco óptico, pois o mesmo possui melhores informações de contorno dos discos ópticos. A ROI é um quadrado de 240×240 pixels em torno da posição calculada na etapa anterior. As dimensões escolhidas para o corte nos situa próximo ao disco óptico com uma boa margem de erro para a identificação do mesmo na etapa de segmentação. Essa etapa é fundamental para os processamentos futuros, excluindo da imagem informações que não são relevantes para o objetivo do trabalho, reduzindo o tempo de processamento, uma vez que a imagem de 240×240 equivale-se a quase 1/9 da imagem original.

2.2.1 Dilatação da imagem

A operação morfológica de dilatação produz a expansão de objetos na imagem. A extensão e a forma deste espessamento são controlados pelo formato e dimensões do elemento estruturante (Gonzalez and Woods, 2002). A aplicação da dilatação na imagem de fundo de olho, realizada com um kernel circular de raio 7 (obtido empiricamente) tem por objetivo a suavização da presença de vasos sanguíneos que estão sobrepostas ao disco óptico e o resultado gráfico pode ser visto na figura 1.

2.2.2 Equalização do histograma

A equalização de histograma tem a finalidade de aumentar o contraste de imagem através da distribuição dos pixels dentro da escala completa. A equalização de histograma da imagem de fundo de olho foi aplicada à imagem anteriormente dilatada. A equalização foi realizada separadamente em cada canal RGB da imagem e o resultado pode ser visto na figura 1.

2.2.3 Quantização de cores

A quantização de cores em uma imagem é realizada com o intuito da redução da escala de cores

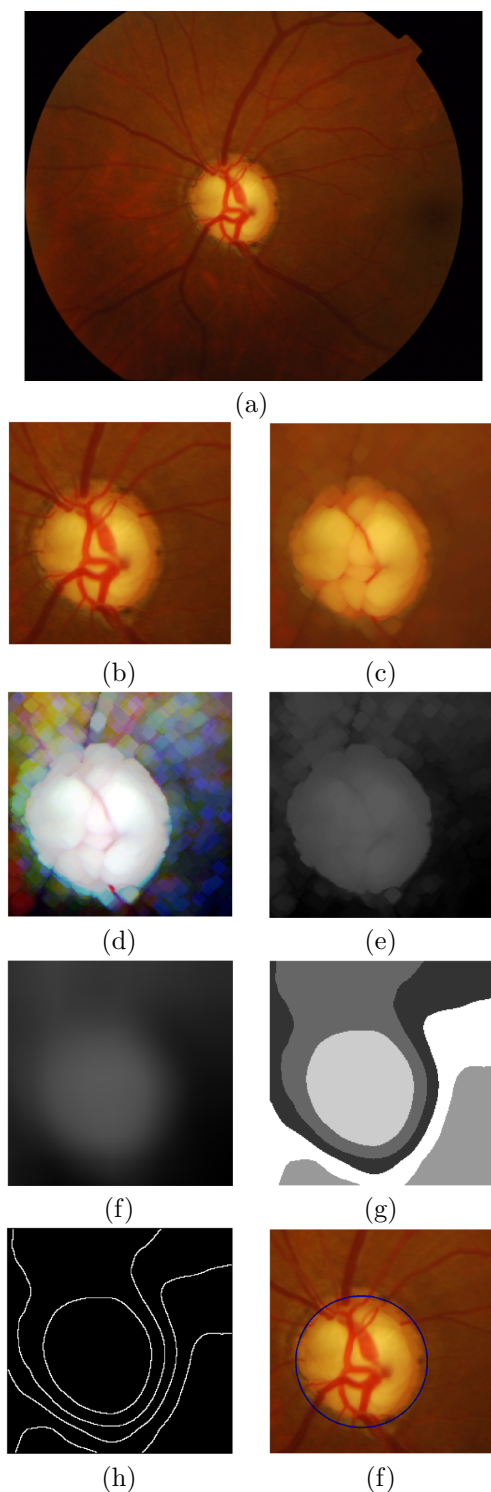


Figura 1: (a) Imagem de retina e as imagens resultantes após cada etapa de processamento: (b) recorte da região de interesse, (c) dilatação, (d) equalização de histograma, (e) quantização, (f) suavização, (g) clusterização, (h) detecção de bordas e (i) detecção do círculo.

contidas em uma imagem. A aplicação da quantização modula as cores para o padrão de cores desejado. Por exemplo, a transição de uma figura com a escala de cores de 24 bits para 16 bits. A quantização de cores foi utilizada apenas no canal vermelho da imagem de histograma equalizado, reduzindo o canal de 0-255 para 0-90. O procedimento foi utilizado para promover um realce ao disco externo em relação ao disco interno, a fim de que não sejam trocados. O resultado gráfico da quantização neste canal pode ser visto na figura 1.

2.2.4 Filtro Média

Como a equalização do histograma além de aumentar o contraste acaba por aumentar também o ruído, é interessante que se faça uma suavização por filtro média. Foi utilizada uma máscara quadrada de dimensões 25×25 e o resultado pode ser observado na figura 1.

2.3 Segmentação do disco óptico

A segmentação do disco óptico é constituído por três etapas cujo objetivo é obter o entorno do disco óptico: clusterização, detecção de bordas com método Canny e transformada de Hough.

2.3.1 Clusterização

Clusterização ou agrupamento é o processo de organizar objetos em grupos cujos membros são semelhantes de alguma forma. A ideia de aplicar clusterização na imagem pré-processada parte do princípio de que os *pixels* pertencentes ao disco óptico tenham intensidades similares e tendem a se agrupar no mesmo cluster. O algoritmo de clusterização escolhido foi o k-means pois consegue atender o objetivo da etapa e é bastante simples. O algoritmo é rodado com $k = 5$ e o grupo com mais elementos próximos do centro da imagem é escolhido. A figura 1 apresenta os diferentes *clusters* em diferentes cores.

2.3.2 Detecção de bordas de Canny

Como o objetivo ao segmentar o disco óptico é encontrar as bordas do mesmo, aplicamos um detector de bordas nos *pixels* do cluster escolhido na etapa anterior. O algoritmo selecionado foi o detector de bordas de Canny (Canny, 1986) com suavização gaussiana utilizando desvio padrão igual a dez. O resultado pode ser visto na figura 1.

2.3.3 Transformada de Hough

A transformada de Hough é um método padrão para detecção de formas que são facilmente parametrizadas (Illingworth and Kittler, 1988). Originalmente foi elaborada para detectar característi-

cas analiticamente representáveis em imagens binarizadas, assim como linhas, círculos e elipses. A aplicação da transformada de Hough foi utilizada para calcular o círculo que mais se aproxima das bordas encontradas na etapa anterior, a fim de delimitar o disco óptico representando-o em formato de círculo. Como a imagem avaliada possui dimensões de 240×240 , procurou-se por círculos de raio entre 1 e 200. Ao final deste processamento chega-se ao resultado apresentado na figura 1.

3 Resultados e Discussões

Para uma análise quantitativa, foram realizadas comparações com os valores alvo da base de dados, e para isso foram calculados parâmetros estatísticos amplamente utilizados em trabalhos semelhantes:

$$p = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$r = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$f_{score} = 2 \times \frac{p \times r}{p + r} \quad (3)$$

$$sobreposicao = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (4)$$

Onde: p = precisão; r = recall; TP = *true positives*; FP = *false positives*; FN = *false negatives*. A precisão é a proporção de verdadeiros positivos (TP), sobre todos os aspectos positivos ($TP + FP$). O recall é a proporção de verdadeiros positivos para todos os positivos verdadeiros ($TP + FN$). Já o f-score é calculado pela média harmônica entre a precisão e o recall. A sobreposição é a relação entre os acertos (verdadeiros positivos) e todos os erros incluindo falsos positivos e negativos.

Os resultados médios obtidos para o recall e a precisão, foram de 98,48% e 89,33% respectivamente, indicando uma notória superioridade nos resultados de recall em relação à precisão. Estes resultados evidenciam uma maior quantidade de falsos positivos em relação aos falsos negativos, o que ocorre devido o formato elíptico apresentado por alguns dos discos ópticos além do fato de que a técnica utilizada para a detecção da circunferência normalmente seleciona a parte de maior raio deste formato de disco óptico.

A média do f-score no processamento da imagem no disco óptico foi de 93,25%, sendo que o melhor resultado foi de 99,99% e o pior resultado foi de 72,01% e o desvio padrão foi 6,01%. A média dos resultados de sobreposição foi de 87,89%, sendo que em 78% das imagens o resultado foi acima de 85%, indicando que uma menor parte das imagens comprometeram o resultado final, porém na maioria dos casos o resultado foi muito bom.

3.1 Comparação com outros trabalhos

Diversos outros autores abordaram o mesmo problema de segmentação do disco óptico. Eles, contudo, utilizaram bases de dados ou anotações manuais privadas, não permitindo que se compare a eficiência dos algoritmos nas mesmas imagens, o que seria a prática ideal. Como já mencionado, a base de dados utilizada para avaliar este trabalho é gratuita e está disponível, possibilitando a comparação com outros algoritmos futuramente. Mesmo não sendo a comparação ideal, considerando que as bases de dados utilizadas possuem qualidade satisfatória e um quantidade razoável de anotações, foi feita a comparação das eficiências dos diferentes algoritmos através dos resultados publicados por seus autores. Estes resultados podem ser visualizados na tabela 1, e mostram que este trabalho conseguiu resultados ligeiramente superiores aos outros citados. Aquino et al. (Aquino et al., 2010) por exemplo, que utiliza uma metodologia semelhante a este trabalho, detectando a posição do disco óptico e utilizando filtros morfológicos além de detectores de borda e a transformada de Hough, obteve resultados bem próximos, porém ligeiramente inferiores a este trabalho. Já Yu et al. (Yu et al., 2012) utiliza uma metodologia bem diferente deste trabalho, realizando um casamento de modelos, e também obteve um resultado ligeiramente inferior.

Estes resultados podem ser visualizados na tabela 1, e mostram que este trabalho conseguiu resultados ligeiramente superiores aos outros citados. Aquino et al. (Aquino et al., 2010) por exemplo, que utiliza uma metodologia semelhante a este trabalho, detectando a posição do disco óptico e utilizando filtros morfológicos além de detectores de borda e a transformada de Hough, obteve resultados bem próximos, porém ligeiramente inferiores a este trabalho. Já Yu et al. (Yu et al., 2012) utiliza uma metodologia bem diferente deste trabalho, realizando um casamento de modelos, e também obteve um resultado ligeiramente inferior.

4 Conclusão

Este trabalho apresentou um novo método para a segmentação do disco óptico como ferramenta de suporte ao diagnóstico de glaucoma. O problema da segmentação é avaliado a partir de uma base de imagens de fundo de olho contendo anotações manuais feitas por um especialista. Os resultados alcançados superiores a 89% validam a proposta para uso como ferramenta de apoio à decisão. Vale destacar a importância da preparação da imagem antes da etapa de segmentação e aplicação de forma combinada de técnicas de segmentação tais como a clusterização dos pixels, detecção de bordas pelo método de Canny e a transformada

Tabela 1: Comparação com outros trabalhos.

	Razão de discos detectados	Sobreposição
Este trabalho	100%	87,89%
(Aquino et al., 2010)	99,00%	86,00%
(Mohammad et al., 2013)	-	81,00%
(Saleh et al., 2014)	100,00%	87,16%
(Yu et al., 2012)	99,00%	-

de Hough. Além disso, o método poderá ser empregado futuramente na detecção automática de patologias que afetam o nervo óptico, o que é o caso do Glaucoma.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq e ao IFES por terem possibilitado a realização deste trabalho.

Referências

- Aquino, A., Gegúndez-arias, M. E. and Marín, D. (2010). Detecting the Optic Disc Boundary in Digital Fundus Feature Extraction Techniques, *IEEE Transactions on Medical Imaging* **29**(11): 1860–1869.
- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection., *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* **8**(6): 679–698.
- Cheng, J., Liu, J., Xu, Y., Yin, F., Wing, D., Wong, K. and Lee, B.-h. (2012). Superpixel Classification for Initialization in Model Based Optic Disc Segmentation, pp. 1450–1453.
- Gonzalez, R. and Woods, R. (2002). *Digital image processing*.
- Illingworth, J. and Kittler, J. (1988). A survey of the hough transform, *Computer Vision, Graphics and Image Processing* **44**(1): 87–116.
- Mohammad, S., Morris, D. T. and Thacker, N. (2013). Texture analysis for the segmentation of optic disc in retinal images, *Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2013* pp. 4265–4270.
- Saleh, M. D., Salih, N. D., Eswaran, C. and Abdullah, J. (2014). Automated Segmentation of Optic Disc in Fundus Images, *2014 IEEE 10th International Colloquium on Signal Processing & its Applications*, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 7–9.
- Sivaswamy, J., Krishnadas, S., Chakravarty, A., Joshi, G. et al. (2015). A comprehensive retinal image dataset for the assessment of glaucoma from the optic nerve head analysis, *JSM Biomed Imaging Data Pap* **2**(1): 1004.
- Yu, H., Barriga, E. S., Agurto, C., Echegaray, S., Pattichis, M. S., Bauman, W. and Soliz, P. (2012). Fast localization and segmentation of optic disk in retinal images using directional matched filtering and level sets, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine* **16**(4): 644–657.