

Estudo comparativo sobre o uso de pré-processamento na detecção de poros de suor em impressões digitais

Emily S. Rodrigues

Departamento de Ciência da Computação
Universidade de Brasília
Brasília, DF, Brasil
emily.souza.rs@gmail.com

Vinicius R. P. Borges

Departamento de Ciência da Computação
Universidade de Brasília
Brasília, DF, Brasil
viniciusrpb@unb.br

Resumo—This paper describes a study regarding the use of image preprocessing techniques to improve the quality of fingerprints in digital images. We investigated and compared some low-pass filtering (Gaussian, median and anisotropic diffusion filtering) and contrast enhancement (histogram equalization and image normalization) techniques for identifying and extracting pores in high resolution images. Our study was conducted by using an automatic methodology for pore extraction in high resolution fingerprint images, in which we considered several combinations of filtering and contrast enhancement methods. Experiments were performed using a public fingerprint image set and compared the true pore and false pore detection rates of those combinations in relation to the ground-truth images. The results reported that the combination image normalization alongside anisotropic diffusion filtering yielded the best performance.

Resumo—Este artigo descreve um estudo sobre o uso de técnicas de pré-processamento para melhorar a qualidade das imagens de impressões digitais. A pesquisa proposta investigou e comparou algumas técnicas de filtragem (gaussiana, mediana e de difusão anisotrópica) e de realce (equalização de histograma e normalização de imagem) para identificar e extrair poros em imagens de alta resolução. Os resultados experimentais foram realizados utilizando um banco de imagens de impressões digitais e considerando-se as tradicionais métricas da literatura, detecções correta e incorreta de poros, para algumas combinações de abordagens de aprimoramento de contraste e filtragem para remoção de ruídos. Os resultados revelaram que o conjunto de normalização e filtragem por difusão anisotrópica obtiveram o melhor custo-benefício em relação às outras combinações.

I. INTRODUÇÃO

Sistemas biométricos têm diversas aplicações civis e criminais, principalmente, na área de segurança, pois são sistemas especializados no reconhecimento de padrões que detectam características fisiológicas e/ou comportamentais específicas de um indivíduo, podendo, assim, distingui-los e identifica-los. Dentre as características analisadas têm-se impressões digitais, íris, voz, características faciais, assinaturas, entre outras [1]. No entanto, impressões digitais se destacam frente as outras pelas suas propriedades de unicidade e permanência [2], além do menor custo computacional para processá-las quando comparado ao de outros dados biométricos fisiológicos, como voz, face e íris.

Sistemas biométricos automáticos que empregam impressões digitais geralmente são caracterizados por etapas similares a sistemas de visão computacional. A primeira etapa consiste em adquirir as imagens da impressão digital utilizando sensores que fornecerem modelos digitais, 2D ou 3D, da ponta do dedo da pessoa. A segunda etapa, que é o foco desse trabalho, consiste no pré-processamento das imagens adquiridas para reduzir o impacto de imperfeições no processo de aquisição, como ruído e baixo contraste na imagem, suor, cicatrizes e lesões na pele. Na terceira etapa, o objetivo é a extração de características visuais, específicas, presentes nas impressões digitais. E por último, um algoritmo determina a similaridade entre a impressão adquirida com as demais impressões presentes no banco de dados por meio das informações obtidas na etapa anterior.

Sistemas automáticos de reconhecimento baseados em impressão digital podem funcionar com diversas combinações de características, além da tradicional análise de vales e cristas. As principais informações usadas são classificadas em três níveis [2]. As características de *nível 1* se referem aos detalhes “macro” das impressões digitais, como fluxo dos vales e tipos de padrões. Características de *nível 2* contemplam as minúcias, como bifurcações e terminações da crista. Por sua vez, as características de *nível 3* compreendem todos os atributos dimensionais da crista, como padrões de crista e poros de suor. Todas as características dos três níveis são permanentes, imutáveis e únicas de acordo com os peritos forenses, ou seja, são informações discriminatórias para a identificação de pessoas [2].

Em particular, características de nível 3 não são comumente empregadas nos sistemas comerciais e forenses atuais, pois necessitam de imagens com maior resolução (acima de 1.000 *dpi*), uma vez que tais estruturas são detalhes sutis e finos da impressão digital. No entanto, os avanços tecnológicos nos dispositivos de aquisição de impressões digitais possibilitou a geração de imagens com resoluções mais altas. Esse fato motivou o desenvolvimento de sistemas automáticos de reconhecimento baseados em características de nível 3, especialmente considerando poros de suor [3]. Além disso,

poros de suor são estudados na prevenção de fraudes de identidade que, conseqüentemente, melhoram a taxa correta para reconhecer indivíduos.

As imagens de impressões digitais podem apresentar variações na intensidade, iluminação heterogênea na própria imagem e entre as imagens de um banco. Os vales e cristas das impressões digitais podem apresentar sujeira, gordura, suor e cicatrizes que podem prejudicar a identificação dos poros, as características de nível 3 de interesse dessa pesquisa. Tais problemas podem ser minimizados com o emprego de técnicas de processamento de imagens, como filtragem e realce de contraste [4]. Geralmente, os sistemas biométricos incorporam uma etapa de pré-processamento das imagens de impressões digitais, mas o uso de determinadas técnicas pode influenciar a identificação de características de nível 3 [2].

Essa pesquisa descreve e realiza um estudo comparativo sobre o uso de técnicas de pré-processamento de imagens, com o intuito de melhorar a qualidade das imagens de impressões digitais. Especificamente, essa pesquisa investigou e comparou algumas técnicas de filtragem (gaussiana, mediana e de difusão anisotrópica) e de realce (equalização de histograma e normalização de imagem) considerando o processo de identificação e extração de poros em imagens de alta resolução. Para esse propósito, essa pesquisa foi conduzida utilizando um método computacional baseado em subtração de imagens para identificar e extrair poros nas impressões digitais [5].

Este artigo está organizado da seguinte maneira: a Seção II descreve a metodologia adotada para comparar as técnicas de realce de contraste e filtragem passa-baixa, realizando-se as combinações entre elas e ajustando apropriadamente no método de extração de poros em imagens digitais. A Seção III apresenta os resultados experimentais comparando essas combinações, considerando um conjunto de imagens público de impressões digitais. A Seção IV apresenta as conclusões obtidas e proposições para trabalhos futuros.

II. METODOLOGIA PROPOSTA

Um método para extração automática de poros de suor em imagens de impressões digitais foi desenvolvido para viabilizar o estudo proposto nessa pesquisa [5]. O princípio do método é obter duas imagens com diferentes níveis de suavização, uma imagem com alta suavização I_H (gerada pelo filtro de difusão anisotrópica [6], em que apenas as cristas e os vales são preservados; e uma imagem com baixa suavização I_L , preservando os poros, mas também atenuando ruídos. A imagem contendo os poros é obtida a partir da subtração entre I_H e I_L , seguida de uma etapa de equalização de histograma em 16 níveis para pré-segmentar os poros ao uniformizar suas intensidades. Em seguida, a imagem equalizada é transformada para uma imagem binária via limiarização global, em que o limiar é obtido pelo método de Otsu [7]). Finalmente, um pós-processamento elimina algumas detecções falsas de poros ao analisar se cada poro identificado na imagem binária possui mais do que 50% em uma região de crista da impressão digital. As cristas da impressão digital podem ser obtidas ao se fazer uma limiarização global na imagem I_H . A Figura 1 apresenta

o fluxograma detalhado das etapas que constituem a método proposto.

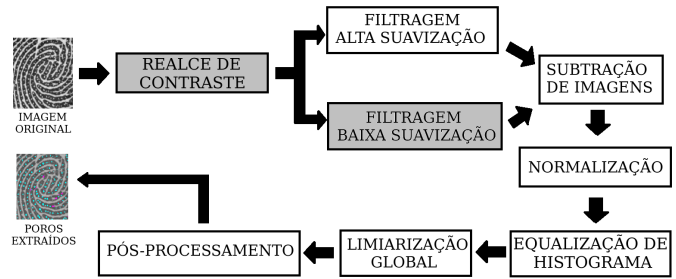


Figura 1. Fluxograma da metodologia para extrair poros de imagens de impressões digitais [5].

Na etapa de geração de uma impressão digital de baixa suavização para atenuar a presença de ruídos e preservar os poros, foram consideradas as seguintes técnicas de filtragem:

- **Filtro de Gauss:** é um tradicional filtro passa-baixas na área de Processamento de Imagens que suaviza regiões de altas frequências na imagem. O filtro é representado por um *kernel*, em que realiza-se uma convolução (ou correlação) com a imagem;
- **Filtro da mediana:** é muito utilizado para redução de ruídos em imagens, principalmente quando a informação de borda é de interesse, como no caso desse projeto. Esse filtro funciona pela substituição do valor do *pixel* de entrada pelo valor da mediana dos seus *pixels* vizinhos;
- **Filtro de difusão anisotrópica (FDA):** é um filtro baseado em Equações Diferenciais Parciais que suaviza a imagem por meio de um processo difusão, enquanto preserva informações sobre regiões de borda [6]. O FDA é definido de acordo com a Eq.(1):

$$u_t = g|\nabla u| \operatorname{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) - \lambda(1 - g)(u - I), \quad (1)$$

em que I é uma imagem, g é uma função de potencial positivo para bordas e u é a aproximação suave para I . O primeiro termo na Eq. (1) é responsável pelo processo de difusão, enquanto que o segundo termo se refere à regularização ponderada pelo parâmetro λ .

Outra questão de interesse consiste em padronizar o contraste existente na impressão digital, de forma a enfatizar as intensidades associadas aos poros em relação aos vales e cristas das impressões digitais. Desta maneira, duas abordagens tradicionais para realce de contraste foram consideradas nesse estudo: a equalização de histograma e a normalização da imagem. As técnicas de realce de contraste que serão estudadas e empregadas na primeira etapa (hachurada) da Figura 1 são descritas como se segue:

- **Equalização de histograma:** A equalização de histograma altera a distribuição das ocorrências dos valores de intensidades da imagem, podendo reduzir as diferenças

de valores mais acentuadas e, assim, acentuando detalhes que não eram visíveis anteriormente [4].

- **Normalização:** O processo de normalização consiste em um ajuste linear de todas as intensidades da imagem para valores no intervalo $[0, 1]$, conforme descrito na Eq. 2.

$$I_{norm}(x, y) = \frac{I(x, y) - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (2)$$

Embora uma equalização de histograma seja empregada após a operação de subtração no método proposto, é importante ressaltar que essa etapa tem como objetivo padronizar as intensidades dos poros na imagem subtraída, diferenciando-se portanto, da padronização da iluminação antes das operações de filtragem. A operação de normalização após a subtração das imagens suavizadas é sempre mantida, uma vez que a imagem subtraída pode conter intensidades negativas, sendo necessário reajustá-las para o intervalo $[0, 1]$.

As imagens sobre as quais os filtros serão aplicados são ilustradas na Figura 2, em que a Figura 2(a) apresenta a imagem original de impressão digital. A Figura 2(b) ilustra o resultado da aplicação da equalização de histograma na imagem da Figura 2(a), enquanto que a Figura 2(c) mostra a normalização da imagem original também da Figura 2(a).

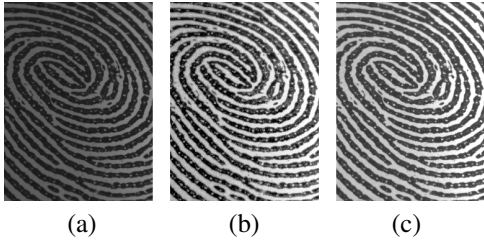


Figura 2. Realce de imagens de impressões digitais: (a) Imagem original (b) Imagem obtida após a equalização de histograma (c) resultado de uma normalização.

O estudo comparativo será direcionado pela combinação de técnicas de filtragem de imagens e de realce de contraste em determinadas etapas da metodologia de extração de poros das impressões digitais. Especificamente, um método de filtragem será escolhido para compor a etapa “Filtragem com baixa suavização” e um método de realce de contraste constituirá a etapa de “Realce de Contraste”, como ilustrado na Figura 1.

Na etapa de “Realce de contraste”, a imagem original de impressão digital é processada por uma técnica de equalização de histograma ou pela normalização das intensidades da imagem para o intervalo $[0, 1]$. Na etapa de “Filtragem com baixa suavização”, que produz uma imagem suavizada de impressão digital em que os poros estão preservados, foi gerada de quatro maneiras diferentes. A primeira configuração consiste em um filtro de Gauss, com *kernel* de 2×2 pixels, sendo essas as dimensões do *kernel* com os melhores resultados obtidos para a detecção de poros verdadeiros. Outras duas configurações compreendem dois filtros de mediana com dimensões 3×3 e 2×2 para a análise de vizinhança. A quarta configuração consiste no filtro de difusão anisotrópica na “Filtragem de

Baixa Suavização”, em que apenas três iterações são executadas para não mitigar os poros das impressões digitais. Vale ressaltar o filtro FDA é também aplicado na etapa “Filtragem de Alta suavização” para obter uma impressão digital contendo somente cristas e vales), mas com ajuste de parâmetros apropriado para alta suavização.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Experimentos foram realizados com o objetivo de comparar as combinações entre as técnicas de filtragem de baixa suavização e de realce. Um subconjunto de 30 imagens da base PolyU HRF [3]¹ foi utilizado para comparar a detecção correta de poros relação às imagens *ground-truth* (GT). Essas 30 imagens tiveram seus poros manualmente identificados por um especialista forense, possibilitando avaliar a precisão das técnicas computacionais para identificação de poros. A escolha desse conjunto de dados deve-se ao seu emprego em outros métodos de segmentação de poros na literatura.

A métrica escolhida para comparar os resultados obtidos foi a Taxa de Detecção Correta (TDC) e Taxa de Detecção Incorreta (TDI), métricas comumente empregadas na literatura para avaliar a precisão de métodos de extração de poros:

$$TDC = \frac{\text{Poros detectados corretamente}}{\text{Total de poros}} \quad (3)$$

$$TDI = \frac{\text{Poros detectados incorretamente}}{\text{Total de poros detectados}} \quad (4)$$

Um método para identificação e extração de poros é considerado “bom” quando os valores de TDC são altos e de TDI são baixos. Valores baixos para a TDC podem resultar em dificuldades para reconhecimento de indivíduos utilizando as impressões digitais, mas, por outro lado, um valor de TDI alto pode aumentar as falsas identificações.

Dentre os filtros utilizados, o filtro de difusão anisotrópica requer o ajuste de parâmetros, que foram derivados devido ao processo de discretização da Equação Diferencial Parcial que constitui sua formulação. Os parâmetros do filtro foram ajustados de acordo com os parâmetros $\lambda = 10^{-6}$; $\Delta t = 0, 1$; $\beta = 0, 025$ [5]. Para a geração da imagem de impressão digital com baixa suavização, executaram-se 3 iterações no tempo, enquanto que para a obtenção da imagem de impressão digital com alta suavização, foram necessárias 40 iterações no tempo.

A Tabela I apresenta os valores TDC e TDI obtidos quando a imagem original é fornecida diretamente para as etapas de filtragem, ou seja, nenhum processamento para realce de contraste é executado. Pode-se observar que o maior valor TDC é obtido quando a subtração é feita entre própria imagem original e a impressão digital de alta suavização. Entretanto, a taxa de TDI nessa última configuração foi a mais alta, ao passo que, o FDA obteve o menor TDI.

A Tabela II apresenta os valores TDC e TDI obtidos quando a etapa de “Realce de Contraste” é configurada para normalizar as intensidades da imagem para o intervalo $[0, 1]$. Fixando essa

¹PolyU HRF Database, <http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics>

Tabela I
TAXAS DE DETECÇÃO CORRETA E INCORRETA DE CADA FILTRO DE REDUÇÃO DE RUÍDOS DESCONSIDERANDO QUALQUER REALCE DE CONTRASTE NA IMAGEM RESULTANTE DA SUBTRAÇÃO.

Filtro	TDC (%)	TDI (%)
Nenhum	88,225 ($\pm 7,884$)	24,708 ($\pm 9,037$)
Mediana com <i>kernel</i> 3x3	71,876 ($\pm 8,703$)	12,265 ($\pm 3,699$)
Mediana com <i>kernel</i> 2x2	75,676 ($\pm 8,649$)	16,380 ($\pm 4,960$)
Gauss	7,947 ($\pm 7,897$)	72,209 ($\pm 17,525$)
Difusão anisotrópica	70,270 ($\pm 12,088$)	7,999 ($\pm 3,656$)

operação de realce, variou-se os tipos de filtro e verificou-se que o maior valor TDI foi obtido quando a imagem original normalizada é empregada diretamente na subtração de imagens, resultado em um $TDC = 88,225$. No entanto, devido ao alto valor de TDI , nota-se que o filtro de Difusão Anisotrópica obteve o melhor custo-benefício TDI-TDC.

Tabela II
TAXAS DE DETECÇÃO CORRETA E INCORRETA DE POROS CONSIDERANDO REALCE DE CONTRASTE POR NORMALIZAÇÃO DA IMAGEM.

Filtro	TDC (%)	TDI (%)
Nenhum	88,225 ($\pm 7,884$)	24,708 ($\pm 9,037$)
Mediana com <i>kernel</i> 3x3	71,294 ($\pm 8,477$)	13,038 ($\pm 3,724$)
Mediana com <i>kernel</i> 2x2	75,362 ($\pm 8,574$)	17,483 ($\pm 4,800$)
Gauss	72,161 ($\pm 8,070$)	20,103 ($\pm 7,984$)
Difusão anisotrópica	83,128 ($\pm 8,590$)	14,911 ($\pm 5,529$)

A Tabela III descreve os valores TDC e TDI obtidos ao ajustar a etapa de “Realce de Contraste” como sendo uma equalização de histograma. A imagem realçada é utilizada como entrada para as operações de filtragem subsequentes.

Tabela III
TAXAS DE DETECÇÃO CORRETA E INCORRETA PARA OS FILTROS DE REDUÇÃO DE RUÍDOS UTILIZANDO EQUALIZAÇÃO DE HISTOGRAMA

Filtro	TDC (%)	TDI (%)
Nenhum	80,567 ($\pm 10,975$)	31,670 ($\pm 12,060$)
Mediana com <i>kernel</i> 3x3	72,294 ($\pm 10,058$)	24,087 ($\pm 7,483$)
Mediana com <i>kernel</i> 2x2	71,847 ($\pm 10,090$)	27,614 ($\pm 9,086$)
Gauss	22,377 ($\pm 5,253$)	73,633 ($\pm 7,306$)
Difusão anisotrópica	80,169 ($\pm 9,831$)	23,202 ($\pm 10,097$)

Com a análise das três tabelas percebe-se que o filtro de difusão anisotrópica obteve o melhor custo-benefício TDI-TDC. O filtro gaussiano apresentou baixa performance na taxa TDI nos três cenários, visto que, vários poros foram erroneamente detectados. A maior taxa de TDC foi obtida quando quando nenhum realce de contraste foi aplicado na imagem subtraída. No entanto, o valor de TDI obtido é considerado alto, não apresentando um custo-benefício apropriado. Os filtros de mediana não obtiveram valores de TDC superiores a 76%, porém em nenhum caso ficaram abaixo de 70%, denotando, portanto um comportamento mais estável de acordo com diferentes configurações de contraste da imagem de impressão digital. Os resultados obtidos pelo filtro de difusão anisotrópica apresentam menor TDI que os demais filtros, principalmente no caso em que nenhuma operação de realce de contraste é realizada.

IV. CONCLUSÃO

Este artigo descreveu um estudo comparativo sobre métodos de pré-processamento de imagens baseados em filtragem e realce de contraste das impressões digitais. A pesquisa proposta investigou e comparou algumas técnicas de filtragem (gaussiana, mediana e de difusão anisotrópica) e de realce (equalização de histograma e normalização de imagem) para identificar e extrair poros em imagens de alta resolução. Para tal propósito, foi elaborado uma abordagem computacional automática baseada na subtração de imagens para identificar poros nas impressões digitais. O estudo comparativo combinou diferentes tipos de filtragem empregados na imagem de baixa suavização com as técnicas de realce de contraste.

Os resultados experimentais demonstraram que duas combinações podem influenciar positivamente a detecção de poros verdadeiros: a imagem original (sem aplicação de filtros) com realce baseado em normalização; e aplicação do filtro de difusão anisotrópica com realce baseado em normalização. Com a utilização da combinação com filtro de difusão foi possível obter menores taxas de TDI, de forma a compensar a baixa na TDC, isto é, os verdadeiros poros que não foram detectados. Quanto às demais técnicas de filtragem de imagens, o filtro Gaussiano não apresentou as melhores performances em nenhuma combinação, enquanto que o filtro de mediana apresentou valores equilibrados de TDC e TDI, conseqüentemente, uma baixa dependência dos processamentos de filtragem.

Os trabalhos futuros concentrarão esforços na proposição de melhorias na técnica elaborada para identificar e extrair poros em imagens de impressões digitais, como também investigar técnicas de realce para melhorar a detecção de poros abertos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o Centro de Pesquisas Biométricas (UGC/CRC) da Universidade politécnica de Hong Kong por gentilmente disponibilizar o banco de imagens de impressões digitais PolyU HRF. Também agradecemos a Fundação Universidade de Brasília (FUB) pelo suporte financeiro (bolsa de Iniciação Científica), permitindo a realização desse projeto (ProIC/UnB).

REFERÊNCIAS

- [1] P. J. Phillips, A. Martin, C. L. Wilson, and M. Przybocki, “An introduction evaluating biometric systems,” *Computer*, vol. 33, no. 2, pp. 56–63, 2000.
- [2] A. Jain, Y. Chen, and M. Demirkus, “Pores and ridges: Fingerprint matching using level 3 features,” in *IEEE International Conference on Pattern Recognition*, vol. 4, 2006, pp. 477–480.
- [3] Q. Zhao, D. Zhang, L. Zhang, and N. Luo, “Adaptive fingerprint pore modeling and extraction,” *Pattern Recognition*, vol. 43, no. 8, pp. 2833–2844, 2010.
- [4] R. C. Gonzalez and R. E. Wood, *Digital image processing*. Pearson Education India, 2009.
- [5] E. S. Rodrigues and V. R. P. Borges, “Pore detection in fingerprints based on image subtraction and anisotropic diffusion filtering,” in *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 2018, pp. 1–6.
- [6] C. Z. Barcelos and V. B. Pires, “An intelligent method for edge detection based on nonlinear diffusion,” in *Artificial Intelligence in Theory and Practice*. Springer, 2008, pp. 329–338.
- [7] N. Otsu, “A threshold selection method from gray-level histograms,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, 1979.