

BENINI, Fabriciu Alarcão Veiga; GONÇALVES NETO, Luiz. Custo computacional para correlator de Vanderlugt aplicado na identificação de impressão digital. In: WORKSHOP DE INOVAÇÃO, PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO, 2., 2016, São Carlos, SP. *Anais...* São Carlos, SP: IFSP, 2016. p. 76-79. ISSN 2525-9377.

## CUSTO COMPUTACIONAL PARA CORRELATOR DE VANDERLUGT APLICADO NA IDENTIFICAÇÃO DE IMPRESSÃO DIGITAL

FABRICIU ALARCÃO VEIGA BENINI<sup>1</sup>, LUIZ GONÇALVES NETO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Indústria, São Carlos, Brasil.

<sup>2</sup> EESC/USP, Departamento de Engenharia Elétrica, São Carlos, Brasil.

**RESUMO:** O presente trabalho aplica correlação cruzada entre duas impressões digitais. O objetivo é realizar identificação através do pico de correlação. O tempo de processamento é o foco desse estudo. Será utilizado um banco de dados que possui 20.000 amostras de 500 indivíduos. A operação de correlação cruzada é feita no espectro de frequência de *Fourier*. A teoria está inspirada na técnica de correlação óptica elaborada por Vander Lugt. Os resultados obtidos demonstram que a técnica é viável, confiável e eficiente para aplicações de reconhecimento e identificação de informação biométrica. É possível concluir que a qualidade e confiabilidade do reconhecimento está intrinsecamente ligado à forma de aquisição das impressões digitais, mais especificamente a região e a orientação do dedo. Outro ponto importante está nas condições do sensor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Correlator óptico. Filtro de Vanderlugt. Correlação cruzada. Identificação de padrão. Impressão digital.

**ABSTRACT:** This work applies cross-correlation between two fingerprints. The goal is to perform identification through the correlation peak. The processing time is the focus of this study. a database that has 20,000 samples from 500 individuals will be used. This operation is performed in the Fourier frequency spectrum. The theory is inspired by the optical correlation technique developed by Vander Lugt. The results show that the technique is feasible, reliable and efficient for recognition and identification of biometric applications. It was concluded that the quality and recognition of reliability is intrinsically linked to the way the acquisition of fingerprints, specifically the region and the orientation of the finger. Another important point is the sensor conditions.

**KEYWORDS:** Optical correlator. Vander Lugt correlator. Cross-correlation. Pattern recognition. Fingerprint.

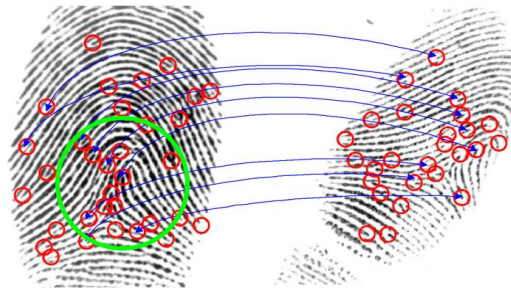
### INTRODUÇÃO

Impressão digital é a forma de identificação humana mais antiga depois da face. Existem registros que remontam em mais de 100 anos como auxílio em investigações criminais (ELECCION, 1973). Por isso mesmo é foco de inúmeros estudos e pesquisa principalmente nas áreas de segurança, criptografia, certificação e fins forenses.

A principal técnica de reconhecimento por meio de impressão digital está na análise da *minutiae*. São terminações e bifurcações encontradas na crista da digital (JAIN; NANDAKUMAR; NAGAR, 2008), conforme destacados pelos círculos vermelhos da Figura

1. Por serem bem definidos e possuir um padrão único para cada indivíduo, torna fácil desenvolver um algoritmo capaz de localizá-los ao longo do dedo. O problema maior está na equiparação das *minutiae* entre a referência e o alvo. As deformações ao posicionar o dedo no sensor, a rotação ou mesmo orientação em ângulo diferente àquele registrado na referência adicionam um custo computacional considerável na combinação para a validação .

**Figura 1 – Na digital à esquerda encontram-se as *minutiae* de referência, para identificação, enquanto que a digital da direita apresenta dois dos problemas mais comuns na comparação, rotação e orientação do dedo alvo, durante o processo de aquisição. A circunferência verde delimita o padrão central característico.**



Fonte: (JAIN; NANDAKUMAR; NAGAR, 2008)

A correlação óptica é outra técnica comumente adotada a nível comercial. Todo processo de identificação é feito opticamente em tempo real eliminando muito processamento computacional. Ele exige alto custo financeiro. O ajuste sensível para posicionar os planos no foco das lentes inserem custos adicionais (FIELDING; HORNER; MAKEKAU, 1991).

Este trabalho traz uma análise sobre as implicações envolvidas na substituição de todo o sistema óptico por processamento computacional. Tem como base a teoria de correlação óptica formada por Vander Lugt (LUGT, 1964). É observado o tempo de processamento e o desempenho realizando comparações entre as amostras de um grande banco de dados.

## MATERIAL E MÉTODOS

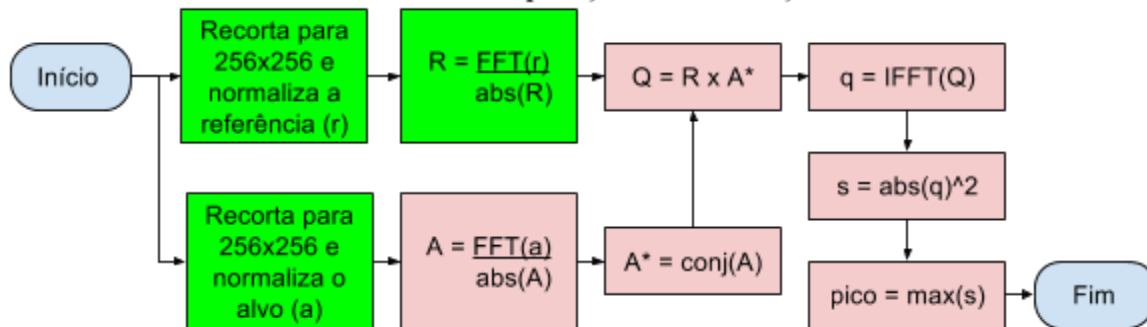
As simulações foram executadas por meio da plataforma MATLAB R2014a 64-bit, instalado em um PC Intel® Core™ i7-4770 CPU @ 3.40GHz com 8 GB de RAM e sistema operacional Windows 10 de 64 bits.

Para validar a técnica foi utilizado um grande banco de dados de impressão digital (TAN; SUN, 2016) disponibilizado pela *Chinese Academy of Sciences* contendo 20.000 amostras de 500 indivíduos diferentes em uma resolução de 328x356 pixel. Em função das inúmeras falhas ocorridas durante a formação desse banco de dados, semelhantes às apontadas pela Figura 1, e para adequar ao algoritmo da Transformada Rápida de *Fourier* (FFT), foi considerada uma janela de 256x256 pixel sobre cada impressão digital, buscando cobrir o padrão central característico da mesma, aqui delimitada pela circunferência em verde na Figura 1, embora muitas vezes este tenha ficado de fora por falta de alinhamento durante a captura. Para efeito de simplificação do código, foram consideradas somente as amostras relativas à mão esquerda, reduzindo portanto à metade, para 10.000 amostras. Ainda assim, foi necessário uma seleção reduzindo o conjunto útil para 1.863 amostras. Do conjunto remanescente, cada uma foi iterada com as demais 1.862 totalizando 3.468.906 operação de correlação cruzada.

O algoritmo compreende em cortar cada imagem para 256x256 pixels, referenciada pelo centro, em seguida é normalizada e aplicada a função FFT. Sobre o resultado da FFT divide-se pelo módulo do mesmo, resultando no vetor unitário complexo, vale ressaltar que

para a referência essa operação é realizada uma única vez e armazenada para as iterações. Com isso o produto elemento a elemento da referência com o complexo conjugado do alvo no espectro da frequência, ao aplicar a Transformada inversa de *Fourier* sobre o resultado, a volta para o domínio espacial resulta em uma operação de correlação cruzada entre duas funções bidimensionais (LUGT, 1964). A técnica leva em consideração a maior amplitude encontrada sobre o quadrado do módulo aplicado a cada elemento da matriz resultante da operação de correlação. O fluxograma da Figura 2 ilustra o cerne do algoritmo utilizado.

**Figura 2 – Fluxograma de funcionamento do algoritmo de correlação cruzada aplicado sobre o conjunto de 1.863 amostras do banco de dados de impressão digital que totalizaram 3.468.906 operações de correlação cruzada.**

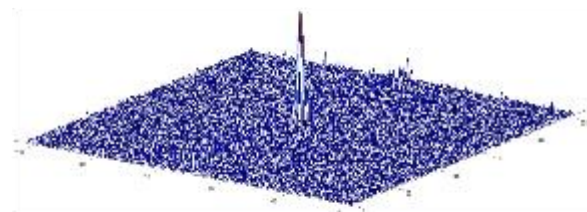


Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figura 3 – Correlação cruzada entre as amostras do diretório “./056/L/056\_L2\_3.bmp” e “./056/L/056\_L2\_4.bmp” do banco de dados CASIA-FingerprintV5**



Fonte: CASIA-FingerprintV5.  
(a) Amostras do mesmo dedo coletadas em momentos diferentes



Fonte: Elaborado pelos autores.  
(b) Pico de correlação central característico para duas figuras iguais

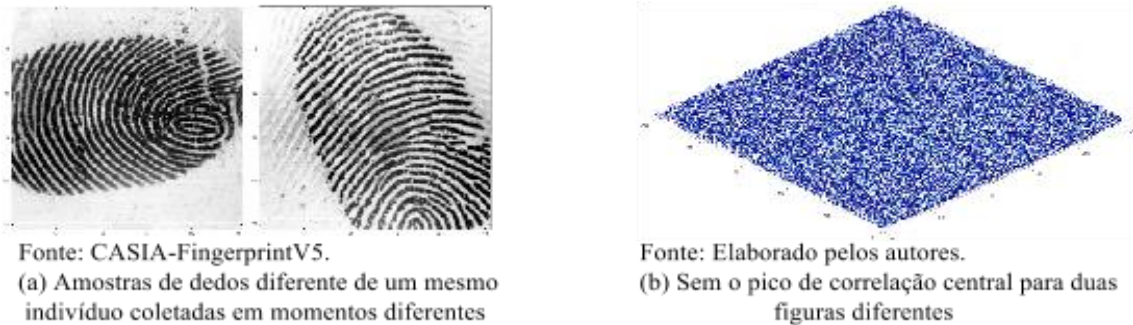
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A operação de correlação cruzada demonstrou ser capaz de realizar identificação através do pico de correlação central que a saída apresenta para imagens semelhantes, conforme pode ser observado na Figura 3(b), enquanto que na Figura 3(a) encontram-se as duas amostras analisadas. Muito diferente para o caso de imagens diferentes, Figura 4(a), onde a saída deve apresentar uma distribuição homogênea de amplitude ao longo de toda matriz de correlação, Figura 4(b). Para as 3.468.906 operações de correlação cruzada foram necessárias seis horas e vinte minutos de execução no MATLAB.

Embora inicialmente o tempo total pareça ser elevado é importante ressaltar que o mesmo algoritmo implementado em uma linguagem de programação de maior desempenho como o C++, ocorre um aumento de velocidade em uma razão superior a 500 vezes (ANDREWS, 2012), ainda é possível cortar etapas em um sistema completo, como a normalização dos pixels e a rotina que reduz para 256x256 pixels, incorporando-os no processo de aquisição. Ainda as referências no espectro da frequência podem ser armazenadas em memória dispensando processamento adicional para esse fim. Com as alterações sugeridas

anteriormente seria possível eliminar do algoritmo toda a parte marcada em verde no fluxograma ilustrado na Figura 2, otimizando significativamente o tempo de execução, porém essas alterações seriam possíveis apenas para um sistema completo de aquisição e validação de impressão digital.

**Figura 4 – Correlação cruzada entre as amostras do diretório “./194/L/194\_L1\_3.bmp” e “./194/L/194\_L2\_3.bmp” do banco de dados CASIA-FingerprintV5**



## CONCLUSÕES

Foi apresentado um algoritmo para identificação de impressão digital inspirado no Filtro de Vanderlugt, tradicionalmente empregado em sistemas ópticos. A técnica demonstrou-se capaz de determinar similaridades entre diferentes amostras em tempo viável. Os experimentos demonstraram que para haver uma robustez, é fundamental controlar a forma de aquisição, principalmente a orientação do dedo e o contraste da imagem, sugerindo em um experimento futuro *binarizar* as impressões digitais antes de aplicar o algoritmo.

## REFERÊNCIAS

- ANDREWS, T. Computation Time Comparison Between Matlab and C++ Using Launch Windows. **Aerospace Engineering**, p. 1–6, 2012.
- ELECCION, Marce. Automatic fingerprint identification. **IEEE spectrum**, v. 10, n. 9, p. 36-45, 1973.
- FIELDING, Kenneth H.; HORNER, Joseph L.; MAKEKAU, Charles K. Optical fingerprint identification by binary joint transform correlation. **Optical Engineering**, v. 30, n. 12, p. 1958-1961, 1991.
- JAIN, Anil K.; NANDAKUMAR, Karthik; NAGAR, Abhishek. Biometric template security. **EURASIP Journal on Advances in Signal Processing**, v. 2008, p. 113, 2008.
- LUGT, A. Vander. Signal detection by complex spatial filtering. **IEEE Transactions on information theory**, v. 10, n. 2, p. 139-145, 1964.
- TAN, Tieniu; SUN, Zhenan. **CASIA Fingerprint Image Database Version 5.0 (CASIA-FingerprintV5)**. Disponível em: <<http://biometrics.idealtest.org/>>. Acesso em: 09 set. 2016.