

Identificação de Impressões Digitais Baseada na Correspondência entre Minúcias

Paulo Felipe Feitosa¹

¹Departamento de Sistemas e Computação
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – Campina Grande – PB – Brasil

Resumo. A verificação de impressão digital é um dos métodos mais confiáveis de identificação pessoal. Contudo, a identificação manual de impressões digitais é uma tarefa tediosa, demorada e cara, sendo incapaz de satisfazer os crescentes requisitos de performance. Atualmente, sistemas de identificação automática de impressões digitais (AFIS) estão sendo amplamente utilizados. Neste trabalho é proposto um o algoritmo de identificação de impressões digitais baseado na correspondência entre minúcias. Resultados experimentais mostram que a precisão do algoritmo é aceitável para a base de dados utilizada.

Abstract. Fingerprint verification is one of the most reliable personal identification methods. However, manual fingerprint identification is so tedious, time-consuming, and expensive that it is incapable of meeting today's increasing performance requirements. An automatic fingerprint identification system (AFIS) is widely needed. In this paper, is proposed a minutia matching algorithm for fingerprint identification. Experimental results shows that the accuracy of the algorithm is acceptable for the used database.

1. Introdução

Devido à crescente necessidade de identificação pessoal, o uso de sistemas biométricos automáticos está se tornando cada vez mais popular. Entre as biometrias utilizadas a de maior abrangência é a impressão digital. Além da sua relevância em aplicações forenses, onde é usada há mais de um século, o seu uso em aplicações comerciais e pessoais está se tornando comum [de Sá 2006].

A impressão digital é um conjunto de padrões de cristas, rugas e minúcias, que são extraídos usando a impressão entintada em papel ou por meio de sensores apropriados. Uma impressão digital de qualidade possui entre 25 e 80 minúcias, dependendo da resolução do sensor e do posicionamento do dedo sobre o sensor [Ravi and Raja 2009]. A figura 1 ilustra uma impressão digital com suas respectivas minúcias extraídas.

As minúcias extraídas podem ser classificadas em dois tipos: fim de uma crista e bifurcação, que estão ilustradas na figura 1 como vermelho e azul, respectivamente.

A identificação de impressão digital baseada em minúcias consiste em comparar duas imagens de impressões digitais, com suas respectivas minúcias cada, calculando o seu grau de similaridade. Caso o grau de similaridade seja maior ou igual a um pré-determinado valor t_h , então, podemos afirmar que as duas impressões digitais pertencem à um mesmo indivíduo, caso contrário, as impressões digitais pertencerão à indivíduos distintos.

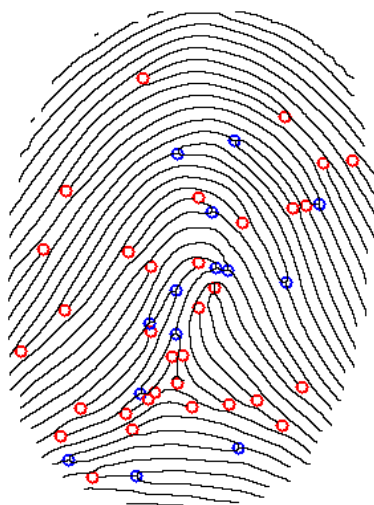


Figura 1. Impressão digital extraída com suas minúcias.

Contudo, é de profundo conhecimento que na aquisição da imagem e extração das minúcias podem ocorrer ruídos e distorções, ou seja, a impressão digital de um mesmo indivíduo pode sofrer uma variabilidade considerável na configuração de suas minúcias [Castro 2008]. Este fato aumenta a complexidade do problema, com isso diversas pesquisas e competições foram desenvolvidas, a exemplo da *FVC (Fingerprint Verification Competition)*, com o objetivo de produzir e estimular o surgimento de novos algoritmos cada vez mais confiáveis e eficientes na identificação de impressões digitais.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um algoritmo para verificar se a impressão digital de um indivíduo está cadastrada em uma base de dados de um sistema de identificação, por meio da correspondência entre o conjunto de minúcias do indivíduo e das amostras previamente cadastradas na base de dados¹.

2. Materias e Métodos

As imagens que formam o banco de dados de impressões digitais utilizadas neste trabalho foram disponibilizadas pela empresa *VSoft*. A base de dados possui 100 indivíduos cadastrados, onde cada indivíduo conta com 8 imagens de sua impressão digital, totalizando 800 imagens. Estas imagens são utilizadas para avaliar o desempenho dos algoritmos submetidos pelos participantes do Desafio *VSoft* 2017.

O cálculo do desempenho do algoritmo foi realizado por meio do software *Bio-Pass Viewer* que compara cada imagem da base com todas as outras imagens restantes, e utiliza esses resultados para a avaliação. Vale ressaltar que não é conhecida a qualidade das imagens da base de dados e em nenhum momento houve acesso aos seus arquivos, com exceção das impressões digitais de 10 indivíduos, totalizando 80 imagens, que foram utilizadas como casos de testes locais para uma pré-avaliação do algoritmo antes da submissão com todas as imagens da base de dados.

¹O algoritmo foi desenvolvido para o Desafio 2017 da Empresa Vsoft: <https://www.vsoft.com.br/desafio2017>

3. Minúcias

Para cada minúcia extraída k existe um vetor característica C_k com os seguintes parâmetros:

$$C_k = (x_k, y_k, \gamma_k, t_k).$$

Onde os inteiros positivos x_k e y_k representam as coordenadas da minúcia k , γ_k representa a orientação da minúcia em radianos no intervalo de $[0, 2\pi)$, t_k representa o tipo da minúcia, que neste trabalho pode ser o fim de uma crista ou uma bifurcação de uma crista, podendo assumir os valores 1 e 2, respectivamente.

4. Alinhamento

O posicionamento da impressão digital não é normalizado, ou seja, poderá haver rotação e translação de uma imagem em relação a outra, pelo fato de que em diferentes momentos o indivíduo pode posicionar seu dedo no sensor de diferentes maneiras. Logo, antes de calcular a similaridade entre duas imagens é necessário realizar o alinhamento de uma das imagens em relação a outra. A figura 2 ilustra duas imagens de uma mesma impressão digital que estão rotacionadas e transladadas.

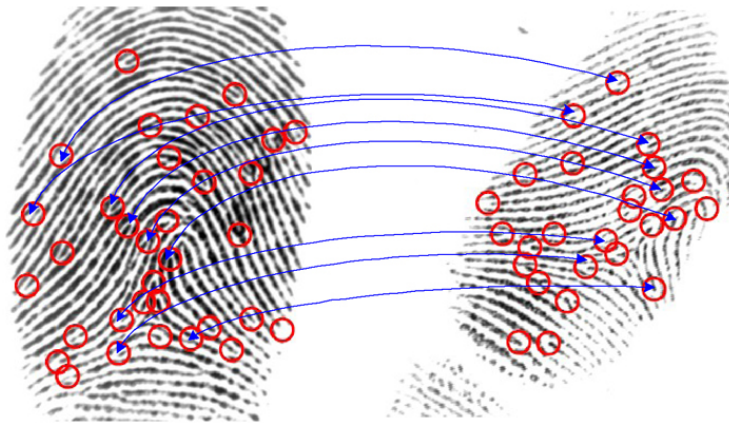


Figura 2. Imagens de uma mesma impressão digital que estão rotacionadas e transladadas uma em comparação à outra.

Para realizar o alinhamento é necessário buscar nos conjuntos de minúcias informações que não se modificam com rotações e translações. Sabe-se que mesmo com rotações e translações a distância euclidiana l entre quaisquer dois pares de minúcias será a mesma, além disso, os ângulos α e β , que a direção das minúcias fazem com o segmento que une o par de minúcia, também serão os mesmos. A figura 3 ilustra essas informações.

A partir dos segmentos da primeira imagem é procurado todos os segmentos na segunda imagem que as distâncias entre os valores de l , α e β não ultrapassem os limites l_t , α_t e β_t , respectivamente.

$$|l_0 - l_1| \leq l_{tol}$$

$$|\alpha_0 - \alpha_1| \leq \alpha_{tol}$$

$$|\beta_0 - \beta_1| \leq \beta_{tol}.$$

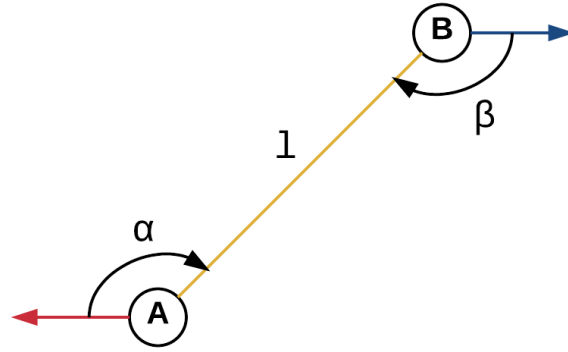


Figura 3. Informações que não se modificam com a rotações e translações.

Quando é encontrada uma correspondência entre segmentos da primeira e segunda imagem é assumido que o alinhamento entre as imagens deve ser realizado com base nesses dois segmentos. Para isso, primeiro é calculada a diferença angular θ entre o posicionamento dos segmentos. Assim, todas as minúcias de uma das imagens são rotacionadas tomando como referência θ , com os seguintes cálculos:

$$x_{kr} = x_k * \cos(\theta) + y_k * \sin(\theta)$$

$$y_{kr} = -x_k * \sin(\theta) + y_k * \cos(\theta)$$

$$\begin{cases} \gamma_{kr} = \gamma_k + \theta, & \text{se } \gamma_k + \theta < 2\pi \\ \gamma_{kr} = 2\pi - (\gamma_k + \theta), & \text{se } \gamma_k + \theta \geq 2\pi. \end{cases}$$

Onde (x_{kr}, y_{kr}) são as coordenadas (x_k, y_k) da minúcia k rotacionadas pelo ângulo θ , γ_{kr} é a nova orientação da minúcia k . Com as imagens devidamente alinhadas em rotação, é necessário proceder com a correção da translação, para isso são calculadas as variações das coordenadas (x, y) entre os pontos das minúcias:

$$dx = \frac{(x_{A0} - x_{A1}) + (x_{B0} - x_{B1})}{2}$$

$$dy = \frac{(y_{A0} - y_{A1}) + (y_{B0} - y_{B1})}{2}$$

Onde (x_{A0}, y_{A0}) , (x_{B0}, y_{B0}) são as coordenadas das minúcias A e B, respectivamente, do segmento da primeira imagem e (x_{A1}, y_{A1}) , (x_{B1}, y_{B1}) são as coordenadas das minúcias A e B, respectivamente, do segmento da segunda imagem. Dessa forma, (x_{kt}, y_{kt}) será a nova coordenada da minúcia k devidamente rotacionada e transladada com base na correspondência entre os segmentos da primeira e segunda imagem.

$$x_{kt} = x_{kr} + dx$$

$$y_{kt} = y_{kr} + dy$$

Sabe-se que nem todas as correspondências entre segmentos geram alinhamentos confiáveis, logo, é necessário avaliar o quão semelhante as duas imagens ficaram com o alinhamento realizado.

5. Pontuação do Alinhamento

Com as imagens devidamente alinhadas com base em informações que não se modificam com rotações e translações, é necessário calcular a semelhança entre os conjuntos de minúcias das imagens, que foi realizado da seguinte maneira:

$$PA = 100 \frac{\sum_{a \in A, b \in B} PM(a, b)}{\max(|A|, |B|)}$$

Onde PA representa a pontuação do alinhamento, a e b representam, respectivamente, as minúcias pertencentes a primeira e segunda imagem. Além disso, $|A|$ e $|B|$ representam a quantidade de minúcias em cada imagem. A função PM calcula o grau de similaridade entre duas minúcias dadas. Sendo,

$$\begin{cases} pd(a, b) = \frac{d_{tol} - dist(a, b)}{d_{tol}}, & \text{se } dist(a, b) < d_{tol} \\ pd(a, b) = 0, & \text{caso contrario.} \end{cases}$$

$$\begin{cases} pa(a, b) = \frac{a_{tol} - diff_{\theta}(a, b)}{a_{tol}}, & \text{se } diff_{\theta}(a, b) < a_{tol} \\ pa(a, b) = 0, & \text{caso contrario.} \end{cases}$$

$$\begin{cases} pt(a, b) = \frac{pd(a, b) + pa(a, b)}{2}, & \text{se } t_a = t_b \\ pt(a, b) = \frac{pd(a, b) + pa(a, b)}{4}, & \text{caso contrario.} \end{cases}$$

$$PM(a, b) = \frac{pd(a, b) + pa(a, b) + pt(a, b)}{3}$$

Onde $dist(a, b)$ representa a distância euclidiana entre as coordenadas das minúcias a e b , $diff_{\theta}(a, b)$ a diferença angular entre as orientações das minúcias a e b , d_{tol} e a_{tol} são valores pré-determinados.

Com a pontuação de todos os alinhamentos calculadas é escolhida a com o maior valor de PA para representar o grau de similaridade entre as duas imagens dadas. Nota-se que $PA \in [0, 100]$, onde 100 indica que as imagens são totalmente semelhantes e 0 indica que as imagens não possuem nenhum tipo de semelhança.

6. Resultados Experimentais

Os resultados obtidos foram calculados por meio do *software BioPass Viewer*. Os testes empíricos demonstraram que, com o algoritmo descrito, o menor *EER* (*Equal Error Rate*) obtido é com os seguintes valores que precisam ser pré-determinados:

$$\begin{aligned} l_{tol} &= 100 \\ \alpha_{tol} = \beta_{tol} &= 0.10 \\ d_{tol} &= 400 \\ a_{tol} &= 0.20 \end{aligned}$$

O *EER* do algoritmo descrito foi de 13, 70% com a base de dados do Desafio 2017 *Vsoft*. Além disso, a análise da complexidade demonstrou que o algoritmo executa no ordem de $O(n^3)$ no caso médio e $O(n^4)$ no pior caso, quando as duas imagens são muito semelhantes.

7. Conclusão

Levando em consideração os resultados obtidos em outros trabalhos como [Jiang and Yau 2000] e [Tong et al. 2005] o algoritmo descrito neste trabalho não apresenta resultados relevantes. Porém, é necessário observar que nos trabalhos mencionados existia uma informação adicional sobre as minúcias extraídas, tornando o algoritmo mais confiável.

Diversas melhorias podem ser realizadas no algoritmo, sendo propostas para trabalhos futuros. Além disso, o algoritmo descrito pode ser usado como uma alternativa para base de dados que não possuem a quinta informação, pelo fato de não existirem muitos trabalhos na literatura que discutem a identificação de impressões digitais com o vetor característica C_k descrito.

Referências

- Castro, T. d. S. (2008). Identificação de impressões digitais baseada na extração de minúcias. Master's thesis, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).
- de Sá, G. F. C. (2006). Melhorias no reconhecimento de impressões digitais baseado no método fingercode. Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- Jiang, X. and Yau, W.-Y. (2000). Fingerprint minutiae matching based on the local and global structures. In *Pattern recognition, 2000. Proceedings. 15th international conference on*, volume 2, pages 1038–1041. IEEE.
- Ravi, J. and Raja, K. B. (2009). Fingerprint recognition using minutia score matching. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 1(2).
- Tong, X., Huang, J., Tang, X., and Shi, D. (2005). Fingerprint minutiae matching using the adjacent feature vector. *Pattern Recogn. Lett.*, 26(9):1337–1345.