

EXTRAÇÃO DAS MINUCIAS EM IMPRESSÕES DIGITAIS DE BAIXA QUALIDADE

JORGE L. ACHING¹, EVANDRO O. T. SALLES²

LABORATÓRIO DE COMPUTADORES E SISTEMAS NEURAI, DEPTO. ENG. ELÉTRICA, UFES
AV. FERNANDO FERRARI, S/N, CAMPUS DE GOIABEIRAS, VITÓRIA, ES, CP: 01-9011

¹JLAS_001@YAHOO.ES, ²E.SALLES@ELE.UFES.BR

Abstract— In the present work we propose an improvement on the fingerprint feature extraction and enhancement problem based on a binarized image. Therefore, we applied a local Fourier operator and a ridge following technique over a thin image. This approach finds the minutae directions and allows a post-processing task that eliminates almost all false detected minutae. The experimental tests show that the technique is fast and present good results.

Keywords— *Fingerprint, Minutiae Detection, Ridge Following, Skeleton, Good index.*

Resumo— O presente trabalho aborda a problemática da melhoria e extração de características de uma impressão digital para a tarefa de reconhecimento, a partir de uma representação binarizada da imagem. Para tal labor, implementou-se uma técnica de melhoria baseada na transformada de Fourier aplicada na forma local e desenvolveu-se uma técnica de seguimento de cristas a partir da imagem afinada. Esta técnica permite o cálculo das direções das minúcias e a elaboração de uma etapa de pós-processamento que elimina a maioria das minúcias falsas detectadas por o algoritmo. Testes experimentais mostraram que a técnica é rápida e apresenta bons resultados.

Palavras-chave— *Impressão Digital, Detecção de Minúcias, Seguimento de Cristas, Esqueletização, Índice de Virtude.*

1 Introdução

Uma impressão digital é a reprodução sobre uma superfície plana das papilas (elevações da pele) presentes nas polpas dos dedos das mãos, armazenada em formato analógico (papel) ou digital (arquivo), nestas as cristas papilares apreciam-se como as linhas mais obscuras e os vales interpapilares como as linhas mais claras. As cristas em uma impressão digital não são contínuas nem retas, elas trocam de direção, cortando-se e bifurcando-se. Os pontos onde as trocas ocorrem são denominados minúcias (ver Figura 1), que provêm a suficiente informação para determinar a individualidade de uma impressão digital. As minúcias de finalização e bifurcação são consideradas como os tipos mais importantes posto que elas geram todos os outros tipos de minúcias e ademais são as mais adequadas para um processo de detecção automática. Os principais atributos de uma minúcia são: o tipo, posição e direção, posto que elas são armazenadas para a tarefa de reconhecimento.

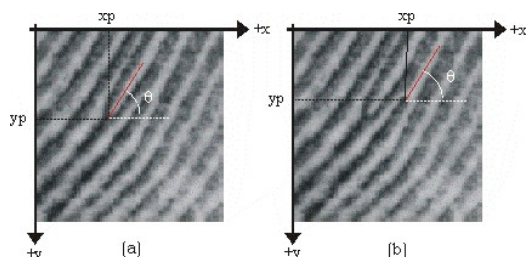


Figura 1. Tipos de minúcia e seus atributos (a) minúcia de bifurcação; (b) minúcia de finalização.

A fidedigna extração das minúcias a partir da imagem de entrada é um passo crítico para qualquer

sistema de reconhecimento, uma vez que o rendimento do algoritmo de extração de minúcias depende principalmente da qualidade da imagem. Em uma impressão digital ideal, os vales e cristas alternam-se fluindo em uma direção local constante e as minúcias são anormalidades das cristas. Em tais situações as cristas podem ser facilmente detectadas e as minúcias podem ser localizadas com precisão a partir da imagem binarizada da impressão digital. Entretanto, na prática, devido às variações nas condições da impressão, configuração das cristas, estado das superfícies das pontas dos dedos (marcas pós-natais, formações aberrantes na epiderme da impressão), dispositivos de aquisição, atitudes não cooperativas dos titulares da impressão digital, entre outros; uma grande porcentagem das impressões digitais adquiridas são de baixa qualidade, tais problemas geram as seguintes situações: (a) geração de minúcias falsas; (b) perda de minúcias genuínas; (c) erros no cálculo de seus atributos.

Para que o algoritmo de extração de minúcias seja robusto com respeito a qualidade da imagem de entrada, deve incluir-se um algoritmo para o melhoramento, sobretudo no que tange à claridade das estruturas nas cristas.

Neste trabalho implementou-se um algoritmo de extração de minúcias baseado em (Watson et al., 1994), (Willis e Myers, 2001), (Tico et al., 2001), (Tico e Onnia, 2002), (Zang e Suen, 1984), (Zhao e Tang, 2002) e (Jain et al., 1997b), tendo como objetivo o desenvolvimento de uma técnica de seguimento de cristas robusta e rápida, que permita a determinação dos atributos das minúcias (sua direção) e também a realização de uma etapa de pós-processamento, eliminando a maioria das falsas minúcias, em ima-

gens de má qualidade. Nas seguintes seções descrevemos em detalhe o algoritmo de extração de minúcias.

2 Algoritmo para a extração de minúcias

Os passos principais para o algoritmo de extração de minúcias são:

- *Melhora da imagem*: A imagem original é realçada através da melhora do contraste e da aplicação da transformada discreta de Fourier bidimensional na sua forma local.
 - *Binarização e esqueletização*: A imagem melhorada é binarizada utilizando a informação dada pela segunda derivada direcional. Logo, cada crista binarizada é afinada até que tenha como máximo um pixel de largura.
 - *Extração das minúcias*: A partir da imagem binária esqueletizada, extrai-se a posição das minúcias utilizando o índice de cruzamento por zero e realizando uma etapa de pós-processamento para eliminar as falsas minúcias.
- Vejam os detalhes de cada um destes passos.

2.1 Melhora da imagem

A idéia subjacente nas técnicas de realçamento de contraste é a variação do intervalo dinâmico dos níveis de intensidade da imagem que se está processando. Para o caso de impressões digitais, uma técnica tradicional de melhora de contraste como a equalização do histograma não gera um resultado ótimo, posto que na imagem existe a presença de duas regiões definidas como primeiro plano (onde esta a impressão) e segundo plano (onde esta o fundo) e a equalização tentaria equalizar os níveis de cinza do segundo plano com os níveis de cinza do primeiro plano, gerando um deterioramento nas estruturas de cristas e vales. Para evitar este inconveniente, primeiro detectamos o primeiro plano da impressão utilizando a técnica exposta em (Aching e Rojas, 2006), e, depois, realizamos uma equalização unicamente nos pixels pertencentes ao primeiro plano. Logo, deslocamos o histograma resultante para ressaltar as cristas sobre os vales. À imagem resultante é aplicada uma técnica de melhora no domínio da frequência proposta por (Watson et al., 1994) e (Willis e Myers, 2001). Em ambas, a imagem é setORIZADA em blocos, com um determinado nível de sobreposição por lado (a sobreposição entre blocos da imagem de entrada reduz as descontinuidades entre blocos adjacentes na imagem melhorada); para cada bloco sobreposto aplica-se:

$$I_{Moj}(u, v) = \left\| IDFT2 \left\{ \left\| DFT2 \{ I(u, v) \} \right\|^k IDFT2 \{ I(u, v) \} \right\} \right\|, \quad (1)$$

onde: $DFT2$ e $IDFT2$ são as transformadas bidimensionais de Fourier direta e inversa, k é o expoente ao qual é elevada a densidade espectral de energia de cada bloco da imagem, em (Watson et al., 1994) se

estabeleceu $k = 0,6$ e em (Willis e Myers, 2001) propõe-se $k = 1,4$. É importante salientar que dita técnica, apesar de ser largamente empregada, pode criar falsas minúcias e destruir minúcias verdadeiras, sobretudo se aplicada a imagens de baixa qualidade.

O tempo de processamento está diretamente vinculado com o tamanho do bloco e o nível de sobreposição, portanto, estamos diante de um compromisso: reduzir a sobreposição gera distorções entre bordas de cada bloco e aumentá-lo em grande medida incrementa o tempo de processamento.

2.2 Binarização e Esqueletização

A técnica padrão de binarização requer a determinação de um limiar ótimo. Para o caso de impressões digitais, a técnica mais empregada denomina-se limiarização adaptativa (Farina et al., 1998) e (Verma et al., 1987), onde a imagem é setORIZADA em blocos e para cada bloco assume-se como limiar a média das intensidades dos pixels. A limitante desta técnica é sua alta dependência com a qualidade da imagem a binarizar. Para superar este inconveniente, usamos a binarização direcional apresentada em (Tico et al., 2001) e (Tico e Onnia, 2002). Esta técnica baseia-se no fato de que os pixels pertencentes a uma crista são aqueles cuja intensidade apresenta uma segunda derivada direcional positiva, tendo como vantagens não necessitar de um limiar e boa capacidade de reconstrução. Desta forma, é possível unir cristas quebradas e eliminar os buracos e ilhas que tenham as cristas e vales, requerendo como entrada a orientação média das cristas, calcula através da técnica proposta por (Bazen e Gerez, 2000).

Para a esqueletização, utiliza-se a técnica da transformação do eixo médio (*Medial Axis Transformation* – MAT), implementada através de uma tabela de busca utilizando a máscara de codificação proposta por (Zang e Suen, 1984). Dito método permite representar cada vizinhança 3x3 pixels como um valor entre 0 e 255.

2.3 Extração das minúcias

A extração de minúcias é uma tarefa trivial quando se conta com a imagem esqueletizada ideal. Este procedimento geralmente consiste dos seguintes passos:

- *Pré-processamento*: Permite eliminar todos os pixels que possam gerar problemas ao momento de detectar minúcias sobre a imagem esqueletizada.
- *Deteção das minúcias*: Determinar o tipo, a posição e a direção de uma minúcia utilizando o número de cruzamento de Rutovitz, conforme citado em (Jain et al., 1997), e uma técnica proposta para o cálculo de sua direção.
- *Pós-processamento*: Realizar um pós-processamento entre as minúcias detectadas de acordo a algumas regras heurísticas para poder eliminar as falsas minúcias.

2.3.1 Pré-processamento

Idealmente, a largura de cada crista afinada deve ser estritamente um pixel. Na realidade, isso nem sempre é verdade, pois aqueles pixels que pertencem a uma crista com uma largura maior que um denominam-se pixels *bug* e definem-se como aqueles pixels com mais de dois vizinhos 4-conectados. Sua existência gera o intercâmbio dos tipos de minúcia e uma mal detecção das bifurcações. Por conseguinte, antes da detecção das minúcias, é necessário implementar um algoritmo para eliminar os pixels *bug*. Tal algoritmo é apresentado em (Zhao e Tang, 2002). Logo após haver eliminado os pixels *bug*, a imagem esquelizada ainda terá a presença de pontos duvidosos que geram inconvenientes ao momento de determinar outras características das minúcias. Para este trabalho, propomos a filtragem da imagem esquelizada com um número determinado de máscaras de 3x3 pixels que representam a maioria de casos que geram dificuldades ao momento de determinar a direção. Para lograr que esta tarefa seja levada a cabo rapidamente as máscaras e suas variações (três rotações de 90° para cada máscara) ficarão codificadas em um número entre 0 e 255 ao multiplicá-las com a máscara de codificação de (Zang e Suen, 1984), gerando-se as seguintes tabelas: $P_{S1} = \{5, 7, 13, 20, 22, 28, 30, 65, 67, 80, 112, 120, 133, 135, 193, 225\}$ e $P_{S2} = \{2, 8, 5, 20, 32, 52, 65, 80, 88, 97, 128, 208\}$, logo, procede-se a filtragem da imagem esquelizada com a máscara de codificação, eliminando os pontos que cumprem com P_{S1} . A imagem resultante é filtrada novamente com a máscara de codificação, eliminando desta vez os pontos que cumprem com P_{S2} .

2.3.2 Detecção das minúcias

A detecção das minúcias tem por finalidade determinar o tipo, a posição e a direção de cada minúcia, obtendo-se os dos conjuntos de triplas: $MF = \{(u_{F,1}, v_{F,1}, \theta_{F,1}), (u_{F,2}, v_{F,2}, \theta_{F,2}), \dots\}$, $MB = \{(u_{B,1}, v_{B,1}, \theta_{B,1}), (u_{B,2}, v_{B,2}, \theta_{B,2}), \dots\}$, que representam as posições e orientações das minúcias de finalização (MF) e as minúcias de bifurcação (MB). A determinação do tipo e posição é realizada através do cálculo do número de cruzamentos e a determinação da direção é calculada com uma técnica proposta.

2.3.2.1 Determinação do tipo e posição

O conceito de número de cruzamentos (NC) é extensamente usado para a determinação da posição e o tipo de uma minúcia (Jain et al., 1997). A definição de Rutovitz do número de cruzamentos para o pixel (u,v) da imagem esquelizada é:

$$NC(u,v) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^8 |P_k - P_{k+1}| \quad (2)$$

onde P_0, P_1, \dots, P_8 são os pixels pertencentes à vizinhança 3x3 centrada no pixel (u,v) , assumimos que: $P_1 = P_9$. Podemos catalogar cada pixel como um tipo específico de singularidade, se $NC(u,v) = 1$, (u,v) é

um ponto de finalização e se $NC(u,v) = 3$, (u,v) um ponto de bifurcação.

O cálculo do NC é dependente da qualidade de afinamento obtida para a imagem esquelizada, com o qual é mais que necessário eliminar os pixels *bug* antes da determinação de NC. Lamentavelmente, devido às perturbações que apresenta uma imagem, dentro dos conjuntos MF e MB haverá minúcias falsas e minúcias válidas, cujo tipo tenha sido estabelecido indevidamente. Estes problemas são afrontados na etapa de pós-processamento.

2.3.2.2 Determinação da direção

Aqui propomos um algoritmo de seguimento de cristas "robusto", que tem por finalidade a obtenção de um conjunto de pares de coordenadas que definem uma rota percorrida sobre uma crista afinada da imagem esquelizada e em função as rotas percorridas desde as minúcias calculamos sua direção. Este algoritmo de seguimento de cristas está baseado em uma tabela de busca que contém todas as possíveis opções a tomar em uma vizinhança de 3x3 pixels centrada no ponto-atual, onde se encontra a rota. A tabela tem como entradas o ponto-anterior ao atual na vizinhança de 3x3 pixels, um código vinculado à esta vizinhança extraída e como saída devolve o possível ponto-seguinte. Na Figura 2 observa-se todos os possíveis tipos de vizinhanças de 3x3 pixels onde as letras A, C, S e X fazem referência ao ponto-anterior, ponto-atual, ponto-seguinte e um ponto qualquer que pode estar etiquetado como fundo ou como objeto. Cada uma destas vizinhanças e suas variações (três rotações de 90° para cada vizinhança) ficarão codificadas entre 0 e 255 ao multiplicá-las com a máscara de codificação, gerando-se uma tabela de busca de 256x8 opções.

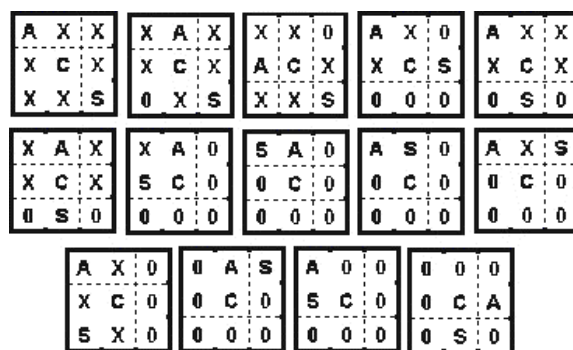


Figura 2. Máscaras que mapeiam todas as possíveis opções a tomar em uma vizinhança extraída de 3x3 pixels centrada no ponto-atual da rota.

Os passos para o algoritmo de seguimento de cristas são:

- Estabelecemos o ponto inicial da rota e o definimos como ponto-atual. Extraímos uma vizinhança de 3x3 pixels centrada em dito ponto, e nela buscamos o primeiro pixel etiquetado como objeto, comprovamos se é uma minúcia, e caso seja, o algoritmo de seguimento finalizará tendo

a rota uma longitude de só um pixel; se não é uma minúcia, então será definido como o ponto-seguinte.

- b. Redefinimos o ponto-atual e o ponto-seguinte do passo anterior como ponto-anterior e ponto-atual do passo 2, extraímos uma vizinhança de 3x3 pixels, centrada no novo ponto-atual, codificamos dita vizinhança ao multiplicá-la com a máscara de codificação obtendo-se um código entre 0 e 255. Com a posição relativa do novo ponto-anterior a respeito da vizinhança extraída e com o código obtido se determina na tabela de busca qual será o possível ponto-seguinte. Comprovamos então se o possível ponto-seguinte é uma minúcia, caso seja, o algoritmo de seguimento finalizará, se não o é, então será definido como o novo ponto-seguinte.
- c. Repetimos o passo 2, tantas vezes quanto o requer o percorrido.

Agora vejamos os passos a seguir para determinar a direção das minúcias de finalização:

- a. Tomando como ponto inicial a cada minúcia de finalização percorre-se a crista à que pertence até chegar a um máximo de N_R posições percorridas ou haver chegado à posição de outra minúcia, obtendo-se o conjunto de pares ordenados que definem a rota $RF_i = \{(u_{1,i}, v_{1,i}), (u_{2,i}, v_{2,i}), \dots, (u_{L,i}, v_{L,i})\}$, $1 \leq L \leq N_R$, onde, $(u_{F,i}, v_{F,i}) = (u_{1,i}, v_{1,i})$ e $i = 1, 2, \dots, N_{MF}$.

- b. As direções são obtida pela elação:

$$\theta_{F,i} = \tan^{-1} \left(\frac{u_{1,i} - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L u_{k,i}}{v_{1,i} - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L v_{k,i}} \right) \quad (3)$$

Os passos para o cálculo da direção das minúcias de bifurcação são:

- a. Tomando como ponto inicial cada minúcia de bifurcação percorremos cada uma das cristas nas que se bifurcam até chegar a um máximo de N_{RTS} posições percorridas ou haver chegado à posição de outra minúcia, obtendo-se três conjuntos de pares ordenados que definem cada uma das três rotas: $RB_{ik} = \{(u_{1,ik}, v_{1,ik}), (u_{2,ik}, v_{2,ik}), \dots, (u_{L,ik}, v_{L,ik})\}$; $1 \leq L \leq N_R$, onde, $(u_{B,i}, v_{B,i}) = (u_{1,ik}, v_{1,ik})$, para tudo $i = 1, 2, \dots, N_{MB}$ e $k = 1, 2, 3$.
- b. Calculamos a direção para cada uma das rotas através da relação (3): $\theta_{B,i1}$, $\theta_{B,i2}$ e $\theta_{B,i3}$, logo determinamos a distância Euclidiana entre cada um dos vetores unitários vinculados a cada uma das orientações, ou seja:

$$\begin{aligned} d_{E1} &= 4sen^2 \left(\frac{\theta_{B,i2} - \theta_{B,i3}}{2} \right) \\ d_{E2} &= 4sen^2 \left(\frac{\theta_{B,i3} - \theta_{B,i1}}{2} \right) \\ d_{E3} &= 4sen^2 \left(\frac{\theta_{B,i2} - \theta_{B,i1}}{2} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

O cálculo da direção obtém-se através da relação:

$$\theta_{B,i} = \begin{cases} \theta_{B,i1} & d_{E1} = \min\{d_{E1}, d_{E2}, d_{E3}\} \\ \theta_{B,i2} & d_{E2} = \min\{d_{E1}, d_{E2}, d_{E3}\} \\ \theta_{B,i3} & d_{E3} = \min\{d_{E1}, d_{E2}, d_{E3}\} \end{cases} .$$

Como estabelecemos no princípio a informação de importância são os conjuntos de triplas MF e MB porém alguns algoritmos de coincidência (Xiping et al., 2000), (Ying et al, 2002) também requerem das rotas seguidas RF_i , RB_{i1} , RB_{i2} e RB_{i3} , porém. O inconveniente neste caso, é o aumento do espaço na memória requerida para armazenar esta informação vinculada a uma única impressão digital.

2.3.3 Pós-processamento

Devido às diferentes distorções que apresenta toda impressão digital, no passo de detecção das minúcias um grande número de minúcias falsas são detectadas e consideradas como válidas. Assim, diferenciar fielmente as minúcias falsas das válidas é tarefa do pós-processamento, sendo crucial para o reconhecimento automático já que ao eliminar a maioria das minúcias falsas reduz-se significativamente o tempo de coincidência. Na Figura 3 se observa os tipos mais comuns de minúcias falsas.

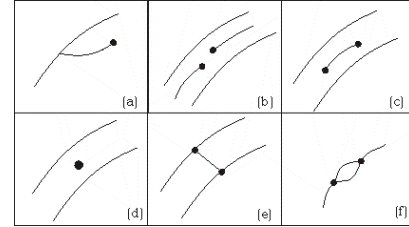


Figura 3. Tipos mais comuns de minúcias falsas: (a) gancho; (b) crista partida; (c) ilha; (d) ponto; (e) ponte; (f) lago.

Posto que qualquer dos passos de processamento particulares afetará o rendimento dos passos posteriores, deve ter-se muito cuidado na ordem de execução dos algoritmos para remover as minúcias falsas, realizando-as como se segue.

Eliminação de ganchos (a): Para cada minúcia de bifurcação, determinamos se alguma de suas rotas termina em alguma minúcia de finalização. Se isto ocorre vemos a longitude que tenha dita rota, se esta é menor que um limiar, então as correspondentes minúcias de finalização e bifurcação são eliminadas do conjunto de triplas MF e MB.

Eliminação de cristas partidas (b): Sobre cada minúcia de finalização, extraí-se sua respectiva vizinhança e se examina a possível presença de outra minúcia de finalização. Uma vez que isto ocorre comprovamos se a longitude entre as duas minúcias é menor que um limiar, a diferença angular das direções das minúcias encontra-se entre 145° e 225° e as diferencias angulares entre a direção da reta que une ambas minúcias e a direção de cada minúcia se encontra entre 0° e 40° . Se todas estas condições se cumprem, então estamos frente a uma crista partida e ambas minúcias são eliminadas do conjunto de triplas MF.

Eliminação de ilhas (c, d): Para cada minúcia de finalização cuja rota termina em outra minúcia de finalização, calculamos a longitude que tenha dita rota e

se é menor que um limiar, então ambas minúcias de finalização são eliminadas do conjunto de triplas MF. **Eliminação de pontes e lagos(e, f):** Para cada minúcia de bifurcação, se alguma de suas rotas termina em outra minúcia de bifurcação, calcula-se a longitude que tenha dita rota e se é menor que um limiar, então ambas minúcias de bifurcação são eliminadas do conjunto de triplas MB.

Eliminação de minúcias de borda: Sobre cada minúcia de finalização e bifurcação traçam-se raio vetores de longitude R e orientações de 0°, 45°, 90°, ..., 360°. Se o extremo de algum raio vetor está sobre uma região não reconhecível, então a minúcia de finalização ou bifurcação se elimina do conjunto de triplas MF o MB.

Pode-se ver que a parte essencial da técnica de pós-processamento depende em grande medida do algoritmo de seguimento. Na Figura 4 observa-se que o algoritmo detecta a presença de minúcias quando as imagens são de baixa qualidade e como a etapa de pós-processamento elimina a maioria de minúcias falsas.

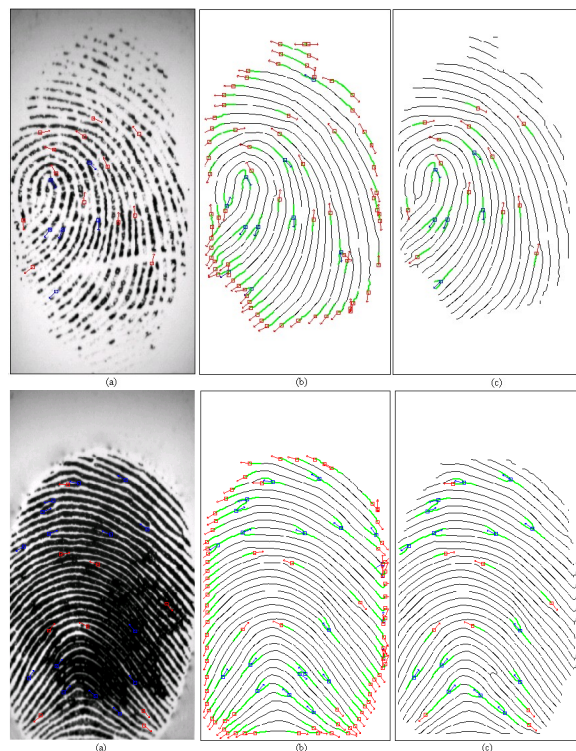


Figura 4. Impressões Digitais de má qualidade (a) imagens originais; (b) imagens esquelizada e as minúcias antes do pós-processamento; (c) imagens esquelizada e as minúcias depois do pós-processamento.

3 Resultados experimentais

O rendimento da técnica para a extração de minúcias é avaliado pela comparação das minúcias de uma imagem obtidas pela técnica em questão versus o conjunto de minúcias obtidas por um especialista forense. Ainda que este seja um processo trabalhoso, gera uma medida de avaliação do rendimento impar-

cial denominada Índice de Virtude (Hong et al., 1998).

Para o cálculo do Índice de Virtude é necessário levar em conta as seguintes definições: Seja $v_A = \{m_1^A, m_2^A, \dots, m_{N_A}^A\}$ o conjunto de N_A minúcias obtidas pela técnica proposta e $v_R = \{m_1^R, m_2^R, \dots, m_{N_R}^R\}$ o conjunto de N_R minúcias obtidas pelo especialista forense para uma mesma imagem, então:

Minúcias emparelhadas: Uma minúcia detectada por o algoritmo m_i^A , e uma minúcia detectada pelo especialista forense m_j^R , se diz que são emparelhadas sem m_i^A se encontra no interior de uma vizinhança centrada em m_j^R .

Minúcia perdida: Aquela minúcia que será inserida no conjunto v_A (não detectada pelo algoritmo), para poder emparelhá-la com alguma minúcia do conjunto v_R .

Minúcia espúria: Aquela minúcia do conjunto v_A que requer ser eliminada uma vez que não pode ser emparelhada com nenhuma minúcia do conjunto v_R .

O Índice de Virtude (GI) é definido através da seguinte relação:

$$GI = \frac{\sum_{i=0}^{N_f-1} \sum_{j=0}^{N_c-1} Cld_{(i,j)} (Aprd_{(i,j)} - Dstr_{(i,j)} - Intr_{(i,j)})}{\sum_{i=0}^{N_f-1} \sum_{j=0}^{N_c-1} Cld_{(i,j)} Rls_{(i,j)}} \quad (5)$$

onde:

$Aprd_{(i,j)}$ é o número de minúcias emparelhadas no bloco (i,j) ,

$Cld_{(i,j)}$ é o fator de qualidade do bloco (i,j) (bom = 4, médio = 3, pobre = 2, segundo plano = 1), calculado através da técnica proposta em (Ratha et al., 1995),

$Dstr_{(i,j)}$ é o número de minúcias destruídas no bloco (i,j) ,

$Intr_{(i,j)}$ é o número de minúcias inseridas no bloco (i,j) ,

$Rls_{(i,j)}$ é o número de minúcias reais no bloco (i,j) .

Definimos as variáveis $Aprd$, $Dstr$, $Intr$, e Rls como a soma para todo (i,j) de $Aprd_{(i,j)}$, $Dstr_{(i,j)}$, $Intr_{(i,j)}$ e $Rls_{(i,j)}$, respectivamente.

O máximo valor de GI é +1 o qual é obtido quando $Dstr_{(i,j)} = Intr_{(i,j)} = 0$ e $Aprd_{(i,j)} = Rls_{(i,j)}$ para todos os pares de minúcias detectadas. Sem Assumimos que o número total de minúcias detectadas em uma vizinhança é duas vezes o número de minúcias reais, ou seja, $Aprd_{(i,j)} = 0$, $Dstr_{(i,j)} = 2Rls_{(i,j)}$ e $Intr_{(i,j)} = Rls_{(i,j)}$ o mínimo valor de GI é -3. Pode-se ver que um valor positivo de GI implica que o algoritmo de extração de características realiza um bom trabalho.

Os valores para um subconjunto representativo de dez impressões digitais da base de dados 2 do FVC 2002 são mostrados na Tabela 1. O valor médio de GI usando a técnica de extração de características proposta é 0,30446. O máximo e mínimo valor de GI obtido para este conjunto de dados são 0,45968 e 0,11348, respectivamente.

Para poder determinar o significado dos valores observados, estes foram comparados com os va-

lores de GI obtidos através de uma distribuição de *Baseline* (Hong et al., 1998). Para as dez impressões usadas determinam-se os respectivos valores de *Baseline* de GI (denotada por GI^p). Note que as variáveis $Aprd^p$, $Dstr^p$, $Intr^p$, e Rls^p correspondem a $Aprd$, $Dstr$, $Intr$, e Rls respectivamente, para a distribuição *Baseline*. O valor de GI^p varia de -2.4262 a -1.5556 com um valor médio de -1.7743. (Note que o valor médio de GI é 0.30446). Comparando os valores de GI^p com os valores de GI , podemos concluir que a técnica de extração de minúcias proposta é satisfatória.

Tabela 1. Valores de GI para dez impressões digitais da base de dados 2 do FVC 2002.

IMAGEM	GI	Rls	$Aprd$	$Intr$	$Dstr$	GI^p	$Aprd^p$	$Intr^p$	$Dstr^p$
14_2.tif	0,45968	40	31	9	11	-1,7097	4	36	38
7_2.tif	0,44444	32	28	4	12	-1,812	3	29	37
13_1.tif	0,42697	24	20	4	5	-1,7191	2	22	23
1_5.tif	0,40789	20	18	2	8	-1,8684	1	19	25
4_2.tif	0,36066	19	18	1	16	-2,4262	2	17	32
3_5.tif	0,34066	24	20	4	8	-1,7253	2	22	26
5_2.tif	0,19512	23	18	5	8	-1,7561	2	21	24
15_2.tif	0,16374	47	33	14	11	-1,5322	5	42	39
10_2.tif	0,13194	36	24	12	8	-1,5556	3	33	29
11_3.tif	0,11348	44	30	14	11	-1,6383	4	40	37
MÉDIAS	0,30446					-1,7743			

4 Conclusão

Neste trabalho observou-se experimentalmente que a técnica proposta de seguimento é robusta posto que permite percorrer uma rota ainda sem levar a cabo a etapa de pré-processamento da imagem afinada. Ademais, a técnica heurística de pós-processamento desenvolvida eliminou em grande medida as minúcias falsas, sobretudo as ilhas e as cristas partidas, as quais são as mais comuns nas impressões digital de pobre qualidade. Além disto, dita técnica permite percorrer uma rota que tenha uma largura superior a um pixel. A técnica também mostrou ser de execução rápida uma vez que sua implementação é feita por uma tabela de busca. É importante salientar que a aplicação da técnica baseada em Fourier e da técnica de binarização direcional permite que a abordagem aqui proposta seja tanto empregada em imagens de baixa como alta qualidade. Finalmente, o algoritmo de seguimento de cristas permite sua utilização em outras aplicações vinculadas ao processamento de imagens como, por exemplo, na obtenção de descritores de contorno.

Referências Bibliográficas

Aching, J., Rojas, D. (2006). An Improved Method for Segmentation of Fingerprint Images, *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*, Volume: 2, On page(s): 20-23.

Bazen, A., Gerez, S. (2000). Directional field computation for fingerprints based on the principal component analysis of local gradients.

11th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing, Veldhoven, Netherlands.

Farina, A., Kovács-Vajna, Z., Leone, A. (1999). Fingerprint minutiae extraction from skeletonized binary images. *Pattern Recognition*, pp. 877-889.

Hong, L., Wan, Y., Jain, A. (1998). Fingerprint Image Enhancement: Algorithms and Performance Evaluation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, No. 8, pp. 777-789.

Jain, A., Hong, L., Bolle, R. (1997). On - Line Fingerprint Verification. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.19, No. 4, pp. 302-313.

Ratha, N., Chen, S., Jain, A. (1995). Adaptive Flow Orientation - Based Feature Extraction in Fingerprint Images. *Pattern Recognition*, vol. 28, nº 11, pp. 1657-1672.

Tico, M., Onnia, V., Kuosmanen, P. (2001). Fingerprint Image Enhancement based on Second Directional Derivate of the Digital Image. *Submitted to EURASIP Journal on Applied Signal Processing*.

Tico, M., Onnia, V. (2002). Adaptive Binarization method for Fingerprint Images. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 4, pp. 3692-3695, Florida - USA.

Verma, M., Majundar, A., Chatterjee, B. (1997). Edge detection in Fingerprint. *Pattern Recognition*, vol. 20, no 5, pp. 513-523.

Watson, C. I., Candela, G. I., Grother P. J. (1994). Comparison of FFT Fingerprint Filtering Methods for Neural Network Classification. *Technical Report: NIST TR 5493*, Sept.

Willis, A. J., Myers, L. (2001). A cost-effective fingerprint recognition system for use with low-quality prints and damage fingertips. *Pattern Recognition*, vol. 34, No 2, pp. 233-270.

Xiping, L., Jie, T., Yan, W. (2000). A Minutia Matching Algorithm in Fingerprint Verification. *International Conference on Pattern Recognition (ICPR'00)*, vol. 4, pp. 833-836, Barcelona, Espanha.

Ying, H., Tieniu, T., Yunhong, W. (2002). Fingerprint matching based on error propagation. *Proceedings International Conference on Image Processing*, vol. 1, pp. 273-276, 2002.

Zang, T., Suen, C. (1984). A fast parallel algorithm for thinning digital patterns. *Communications of the ACM*, vol. 27, pp. 236-239, 1984.

Zhao, F., Tang, X. (2002). Preprocessing for skeleton-based fingerprint minutiae extraction. *Int. Conf. on Imaging Science, Systems, and Tech. (CISST'02)*, Las Vegas, Nevada, USA.