

Autenticação Biométrica: um Sistema Híbrido Combinando Informações Globais e Locais de Impressões Digitais

Rubisley P. Lemes, Cristiano O. Ferreira, Olga R. P. Bellon (orientadora), Luciano Silva (orientador)

{rpl03, cof06, olga, luciano}@inf.ufpr.br

Grupo IMAGO de Pesquisa*† - UFPR, Cx.P. 19092 – 81531-990 – Curitiba-PR

Resumo

Este trabalho apresenta um sistema automático para autenticação através de impressões digitais. A maioria dos métodos de reconhecimento de impressões digitais utilizam apenas minúcias, que são características locais altamente discriminantes. Já os métodos globais, que utilizam núcleo, delta e o padrão das cristas, são pouco utilizados para o reconhecimento, sendo usados principalmente para a classificação de digitais. Portanto, estes métodos locais ou globais acabam não tirando vantagem da rica informação contida no nível de detalhamento um do outro. Visando resolver as limitações destas duas categorias de algoritmos, propomos um sistema híbrido que utiliza dois diferentes métodos de reconhecimento de digitais: (1) alinhamento de imagens e (2) textura orientada. Estas duas abordagens combinam informações globais e locais das impressões digitais para obter uma melhor relação entre tempo de resposta e taxa de aceitação. Geramos inúmeros testes em diferentes bases de dados para provar a eficiência e precisão do sistema proposto. Estes experimentos também confirmaram a robustez do sistema em imagens reais de baixa qualidade.

1. Introdução

Uma grande parte dos trabalhos relacionados a impressões digitais empregam apenas minúcias para realizar o reconhecimento [5, 11, 13]. Tais métodos são altamente dependentes de resultados obtidos na fase de extração de minúcias e da qualidade do sensor. Normalmente, as imagens de entrada podem apresentar um número insuficiente de minúcias se o sensor captura somente uma pequena região da digital. Por isso, estudos recentes que destacam a utilização de sistemas híbridos têm apresentado re-

sultados promissores quando características globais (e.g. padrão das cristas) e locais (e.g. minúcias) são combinadas para o processo de reconhecimento [6, 7, 12]. Entretanto, nenhum destes trabalhos apresenta um sistema atuante no modo de identificação.

Portanto, neste trabalho, propomos um sistema híbrido de autenticação de impressões digitais, que utiliza tanto informações globais quanto locais. Este sistema utiliza alinhamento de imagens baseado no algoritmo *Simulated Annealing* (SA) [9] e na textura orientada das digitais pelo método *FingerCode* (FC) [6].

O sistema proposto possui três módulos: (1) processamento de imagens e geração dos moldes (*templates*), (2) identificação e (3) verificação. No primeiro módulo, características são extraídas das impressões digitais para gerar o molde da digital. No estágio de identificação, procura-se na base de dados as digitais mais parecidas com a digital de entrada. Em seguida, a verificação testa se uma destas melhores amostras é referente ao indivíduo da impressão digital de entrada. Portanto, o sistema proposto de autenticação emprega uma abordagem para identificação usando o FC e outra para verificação com o SA.

2. Processamento de Impressões Digitais

O módulo proposto para o processamento das imagens de impressões digitais possui os seguintes estágios: (1) pré-processamento, (2) segmentação, (3) correção da orientação da imagem, (4) estimação do campo direcional (CD), (5) estimação da frequência, (6) máscara de reconstrução, (7) detecção do ponto de referência (núcleo) e (8) aplicação do Filtro de Gabor. Os passos 4, 5, 6 e 8 foram implementados como descritos em [4], por este ser um método estado-da-arte e incluir informações suficientes para replicação dos experimentos.

No primeiro estágio, filtros são aplicados para reduzir a quantidade de ruídos e melhorar a qualidade das imagens [2]. Foi usado o filtro da mediana para minimizar ou até mesmo eliminar informações indesejáveis geradas por fatores externos, tais como sujeira no dedo ou pressão ina-

* <http://www.inf.ufpr.br/imago>

† Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, a CAPES e a FINEP pelo suporte financeiro.

dequada aplicada pelo dedo sobre o sensor. Também foi necessária a utilização da equalização local para maximizar a variação dos tons de cinza no histograma melhorando o contraste nestas imagens.

A Região de Interesse (RI), área com a impressão digital, é extraída no segundo estágio. Esta segmentação é importante para eliminar a possibilidade de se gerar falsas cristas ou minúcias no fundo da imagem ou em áreas muito ruidosas. Para realizar a segmentação, primeiramente dividi-se a imagem em blocos de tamanho 16×16 [4], e em seguida a variância dos tons de cinza é computada localmente para cada bloco. Também a variância global da imagem é estimada utilizando as variâncias locais calculadas anteriormente. Por último, todos os blocos com variância maior do que a variância global são selecionados como objeto (Fig. 1b). Isto acontece porque a impressão digital apresenta uma variância bem maior do que o fundo da imagem. Por meio da RI também é estimado um ângulo α (Fig. 1c) para corrigir a orientação da imagem no terceiro estágio (Fig. 1d). Para computar α , detecta-se dois pontos centrais na primeira e última linha da RI, i e j , respectivamente (Fig. 1b). No sétimo estágio, o algoritmo de Poincaré [10] é aplicado somente dentro da RI visando extrair o ponto de referência. A utilização deste ponto proporciona uma melhora substancial no desempenho do reconhecimento. Isso é decorrente da eliminação da necessidade da busca exaustiva por orientações e translações equivalentes entre as digitais que estão sendo comparadas, uma vez que o SA utiliza o ponto de referência como pré-alinhamento.

Para criar o molde necessário para a autenticação (informações utilizadas pelo FC + SA), primeiramente é executado um algoritmo para esqueletização [3] sobre a imagem resultante do estágio de processamento. Este algoritmo facilita a extração das minúcias e suas respectivas orientações [5]. O molde inclui todos os pontos pertencentes às cristas, às minúcias e o ponto de referência, com suas respectivas orientações. Em adição a estas informações também é criado um vetor de características referente à digital chamado *FingerCode* [6].

3. Algoritmos de Identificação e Verificação

Neste trabalho, o algoritmo de identificação é derivado do trabalho proposto em [6]. Tal trabalho apresenta um eficiente método estado-da-arte destinado ao reconhecimento de impressões digitais (Fingercode). Nesta abordagem de reconhecimento, a similaridade entre duas impressões digitais é aferida por meio da distância Euclidiana entre seus respectivos vetores de características referentes aos componentes de textura orientada da digital. Estes componentes são extraídos através de um banco direcional de Filtros de Gabor sobre uma região de interesse setORIZADA em torno do ponto de referência.

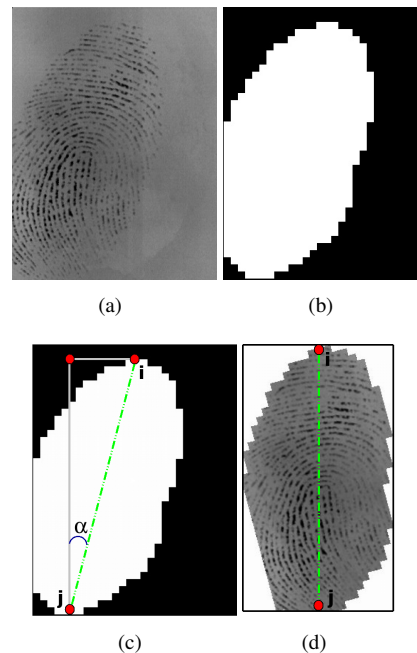


Figura 1. Pré-processamento: (a) imagem de entrada, (b) RI, (c) estimativa do ângulo de rotação e (d) imagem rotacionada.

Por outro lado, o método de verificação é o algoritmo proposto em [9]. Nesta abordagem, minúcias são combinadas às cristas para resolver limitações dos métodos baseados em características locais [5, 11, 13]. A idéia principal é gerar um alinhamento entre as cristas de duas digitais utilizando o SA [8], um algoritmo estocástico para busca local que parte de uma solução inicial e analisa soluções vizinhas que possam gerar uma melhor resposta para o problema. O pré-alinhamento (solução inicial) é executado a partir do ponto de referência da impressão digital, melhorando substancialmente a velocidade e eficiência do algoritmo. No SA, também é utilizado o CD na análise de soluções vizinhas proporcionando uma melhor distinção entre pontos sobrepostos em cristas alinhadas ou cruzadas. Por fim, são gerados dois escores: (1) taxa de pontos sobrepostos com direções equivalentes (cristas alinhadas), e (2) taxa de minúcias alinhadas com direções equivalentes. Estes dois escores são combinados gerando um escore único que define a similaridade entre as digitais. Maiores informações sobre o SA e o FC podem ser encontradas em [6, 9], pois neste artigo houve limitação de espaço para incluí-las.

4. Resultados Experimentais

Para medir a eficiência do sistema híbrido de reconhecimento utilizamos cinco bases de dados: Dbham, db1, db2,

db3 e db4. A primeira (Dbham) é composta por 120 imagens do dedo indicador direito de 24 estudantes de nossa Universidade. Tais imagens foram capturadas pelo sensor Hamster¹. As demais bases de dados (Db1, Db2, Db3 e Db4 (subset B)) foram obtidas do Fingerprint Verification Competition (FVC 2006)². Estas bases são compostas por 120 imagens de 10 diferentes indivíduos, obtidas através de diferentes sensores. Em todas as bases listadas acima, nenhuma restrição de posição ou orientação foi imposta e as imagens variam em termos de qualidade. A Figura 2 apresenta exemplos de imagens das cinco bases em questão.



Figura 2. Imagens das bases usadas.

O sistema proposto opera com dois diferentes métodos de reconhecimento: SA e FC. Para verificar a eficiência do primeiro método quanto à combinação de informação local e global, cada imagem pertencente a uma determinada base de dados foi testada com todas as outras imagens restantes da mesma base. Com isso, um limiar é definido para permitir uma taxa de falsa aceitação (FAR - *False Acceptance Rate*) de 0%, garantindo que duas digitais de indivíduos diferentes nunca sejam aceitas. Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que a combinação dos dois escores melhora a taxa de aceitação em comparação ao uso de um ou outro escore isoladamente. Também é possível notar que o escore referente ao alinhamento das cristas produz resultados melhores do que aqueles originados pelo outro escore em imagens com reduzido número de minúcias ou com baixa qualidade (e.g. imagens das bases Db1 e Db3).

Experimentos com variação do FAR e Rank [1] foram executados para o FC e SA visando verificar a precisão dos

¹ <http://www.secugen.com>

² <http://bias.csr.unibo.it/fvc2006/>

	Dbham	Db1	Db2	Db3	Db4
M	27%	5%	51%	21%	30%
C	38%	36%	58%	27%	22%
M+C	70%	40%	92%	45%	45%

Tabela 1. Resultados do SA para minúcias (M), cristas (C) e combinação (M+C).

métodos. No RankN, uma dada amostra é comparada com todas as demais contidas na base de dados. Os escores originados destas comparações são ordenados e se a identidade estiver entre as N comparações com os menores escores (maior similaridade) então a amostra em questão foi identificada. A Tabela 2 apresenta os resultados do FC, e a Tabela 3 mostra os resultados do SA.

	Dbham	Db1	Db2	Db3	Db4
Rank1	82%	84%	99%	80%	85%
Rank5	93%	93%	99%	88%	96%
0%FAR	63%	35%	87%	36%	36%
1%FAR	70%	40%	89%	41%	44%
2%FAR	73%	44%	90%	47%	50%

Tabela 2. Resultados em função do Rank e do FAR para o FC.

	Dbham	Db1	Db2	Db3	Db4
Rank1	91%	91%	100%	85%	92%
Rank5	93%	98%	100%	90%	92%
0%FAR	70%	40%	92%	45%	45%
1%FAR	80%	54%	97%	60%	70%
2%FAR	82%	60%	98%	63%	75%

Tabela 3. Resultados em função do Rank e do FAR para o SA.

Como pode ser verificado, o alinhamento (SA) apresenta os melhores resultados em ambos os experimentos. Entretanto, esta abordagem não é aplicável a sistemas reais de identificação. Isto se deve ao fato de que o SA é capaz de executar somente cerca de cinco comparações por segundo em um Pentium D3.4GHz. Por outro lado, o FC pode executar eficientemente cerca de 15.000 comparações por segundo e apresenta resultados em função do Rank equivalentes aos do SA. Com base nisso, optou-se por usar o FC no modo de identificação e o SA no modo de verificação.

Considerando resultados de Rank1 para o FC e resultados de 0%FAR para o SA, obteve-se 79%, 72%, 97%, 77% e 73% como taxa de reconhecimento para as bases DbHam, Db1, Db2, Db3 e Db4 respectivamente. Usando Rank5 ao invés de Rank1 para o FC, elevou-se as taxas de aceitação para 88%, 78%, 98%, 89% e 92% para as bases DbHam, Db1, Db2, Db3 e Db4, respectivamente.

A performance do sistema híbrido depende da qualidade das imagens, da detecção do ponto de referência e das propriedades geométricas das digitais. Neste último caso, o SA pode confundir uma digital com outra que possua forma similar (arco, tenda, loop, etc). Quanto ao segundo caso, o sistema falha quando o ponto de referência não for precisamente detectado ou estiver muito próximo às extremidades da digital. Isto acontece porque o FC setoriza uma região de interesse em torno do ponto de referência que também é utilizado no pré-alinhamento do SA.

Quanto ao tempo de resposta, importante em sistemas reais de autenticação, a Tabela 4 mostra o tempo médio em segundos para cada módulo: (1) geração dos templates e processamento das imagens (PI-GT); (2) identificação (tempo médio para 119 comparações); e (3) verificação (tempo médio para 5 comparações). Como pode ser visto, o pior tempo de resposta foi de 2.1 segundos, qualificando o sistema proposto quanto à aplicações em tempo real [4].

	PI-GT	Ident.	Verif.	Total
DbHam	0.3	0.00595	1.0	1.30595
Db1	0.2	0.00595	0.4	0.60595
Db2	0.6	0.00595	1.5	2.10595
Db3	0.5	0.00595	1.4	1.90595
Db4	0.4	0.00595	1.1	1.50595

Tabela 4. Tempo de resposta do sistema.

5. Considerações Finais

Neste trabalho apresentamos um sistema automático de autenticação de impressões digitais atuante tanto no modo de identificação quanto no modo de verificação. Este sistema foi desenvolvido objetivando sua aplicação em sistemas de controle de acesso e em sistemas de login em nossa Universidade. O sistema também se apresenta como uma solução alternativa de baixo custo em relação às existentes no mercado, pois foi desenvolvido em software livre e estará disponível em breve à comunidade interessada.

Cabe reiterar que não há sistemas biométricos capazes de produzir respostas ótimas, variando de acordo com alguns critérios tais como a aceitação e a performance. De acordo com tais critérios, foi desenvolvido este sistema híbrido,

solução eficiente para o reconhecimento de impressões digitais. Este sistema utiliza dois métodos visando obter uma melhor relação entre taxa de acerto, tempo de resposta e taxa de aceitação. Estas duas técnicas utilizam tanto características globais quanto locais de uma imagem de impressão digital para verificar a identidade do indivíduo.

Os resultados experimentais mostraram que nossa abordagem híbrida é capaz de melhorar a taxa de reconhecimento quando comparada aos resultados dos dois métodos isoladamente. O algoritmo de segmentação pode detectar com eficiência regiões corrompidas na digital e removê-las das etapas seguintes do processo. Esta é uma propriedade muito importante uma vez que tais regiões afetam negativamente a extração das características necessárias ao reconhecimento, gerando informações falsas. A performance do sistema em relação ao tempo de resposta total, também é uma grande vantagem, uma vez que o tempo de identificação pode ser relativamente pequeno em bases de dados contendo até 20.000 amostras. Isto qualifica o sistema proposto quanto a sua utilização em aplicações em tempo real empregadas em bases de tamanho médio.

Referências

- [1] R. M. Bolle, J. H. Connell, S. Pankanti, N. K. Ratha, and A. W. Senior. *Guide to Biometrics*. Springer Professional Computing, Springer, New York, 2003.
- [2] R. C. Gonzalez and R. E. Woods. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, 1992.
- [3] C. M. Holt, A. Stewart, M. Clint, and R. H. Perrot. An improved parallel thinning algorithm. *Communications of the ACM*, 30:156–160, 1987.
- [4] L. Hong, Y. Wan, and A. K. Jain. Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation. *IEEE PAMI*, 20(8):777–789, 1998.
- [5] A. K. Jain, L. Hong, and R. Bolle. On-line fingerprint verification. *IEEE PAMI*, 19(4):302–314, 1997.
- [6] A. K. Jain, S. Prabhakar, L. Hong, and S. Pankanti. Filterbank-based fingerprint matching. *IEEE Trans. on Image Processing*, 9(5):846–859, 2000.
- [7] X. Jiang and W. Y. Yau. Fingerprint minutiae matching based on the local and global structures. *IEEE ICPR*, 2:1042–1045, 2000.
- [8] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi. Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598):671–680, 1983.
- [9] R. P. Lemes, M. P. Segundo, O. R. P. Bellon, and L. Silva. Registro de imagens no reconhecimento de impressões digitais. *V WUW - XX SIBGRAPI*, 2007.
- [10] D. Maltoni, D. Maio, A. K. Jain, and S. Prabhakar. *Handbook of Fingerprint Recognition*. Springer, New York, 2003.
- [11] A. Ranade and A. Rosenfeld. Point pattern matching by relaxation. *IEEE ICPR*, 12(2):269–275, 1993.
- [12] A. Ross, A. Jain, and J. Reisman. A hybrid fingerprint matcher. *IEEE ICPR*, 36(7):1661–1673, 2003.
- [13] J. Ton and A. K. Jain. Registering landsat images by point matching. *IEEE GRS*, 27:642–651, 1989.