

VERIFICAÇÃO DE ASSINATURAS OFFLINE UTILIZANDO *DYNAMIC TIME WARPING*

CARLOS F. S. SOUZA, CARLOS E. P. PANTOJA, FRANCISCO C. M. SOUZA

Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco

Av. Professor Luís Freire s/n, Cidade Universitária - Recife - Pernambuco - Brasil. CEP: 50740-540.

E-mails: cfss@cin.ufpe.br, cepp@cin.ufpe.br, fcms2@cin.ufpe.br

Abstract— This paper presents a prototype of an offline signature verification system that use an elastic matching algorithm, called Dynamic Time Warping (DTW), to measure similarity between two sequences which may vary in time. It works by extracting the vertical projection feature from the signature images and comparing its similarity. Moreover, is presented a technique to align geometrically the signature, aiming better the system inputs in order to receive better results.

Keywords— offline signature verification, dynamic time warping

Resumo— Este artigo apresenta um protótipo de um sistema de verificação de assinaturas offline que utiliza algoritmo de correspondência elástica, chamado Dynamic Time Warping (DTW), para medir similaridades entre duas seqüências que podem variar no tempo. Funciona extraíndo a projeção vertical das imagens das assinaturas e compara suas similaridades. Adicionalmente, é apresentada uma técnica para alinhar geometricamente a assinatura, com o objetivo de melhorar as entradas do sistema no intuito de obter melhores resultados.

Palavras-chave— verificação de assinaturas offline, dynamic time warping

1 Introdução

Verificação de assinatura, assim como todas as outras biometrias, é um método baseado em características comportamentais individuais, tendo como base que pessoas possuem maneiras particulares de escrever sua assinatura. Este método biométrico possui boa aceitação por ser pouco invasiva e ter baixo custo de aquisição, além de ser aplicável em diversas situações, onde assinaturas já são utilizadas como autenticação de documentos, assinatura de cheques, cartões de crédito, dentre outras.

Existem duas abordagens para se trabalhar com verificação de assinaturas: on-line e off-line. Métodos de verificação on-line possuem acesso às informações inerentes àquela assinatura durante o processo de escrita, já os métodos de verificação off-line têm acesso apenas à imagem depois de capturada.

O maior desafio dos métodos de verificação de assinaturas é determinar se uma assinatura em questão é, de fato, escrita por quem afirma ser e, se falsificações podem ser identificadas. Diversas técnicas já foram exploradas pela literatura buscando superar este desafio, e bons resultados também foram alcançados utilizando Máquina de Vetores de Suporte, Modelos Escondidos de Markov, Redes Neurais Artificiais, Análise do Componente Principal, dentre outras.

O método implementado por este artigo foi originalmente proposto por Piyush et. al (2007) e, trabalha com *Dynamic Time Warping* (DTW), que é uma técnica de comparação de padrões, originada na área de reconhecimento de fala, que busca encontrar similaridade entre duas seqüências, baseada no alinhamento temporal do modelo a ser verificado e do

modelo referência. O algoritmo DTW se propõe a encontrar o melhor caminho entre dois padrões, através de uma matriz de associação de índices.

A partir deste capítulo, este artigo está estruturado da seguinte forma: na seção 2, Pré-processamento, apresenta-se a forma com que as imagens são tratadas antes de serem submetidas ao algoritmo; na seção 3, Algoritmo Dynamic Time Warping, a versão clássica do algoritmo é apresentada e descrita; na seção 4, Modificação no Algoritmo DTW, mostra-se a proposta de alteração do algoritmo tradicional; na seção 5, Metodologia, é mostrado como o algoritmo foi utilizado; na seção 6, Base de Dados, é descrita a base de dados que foi utilizada pelo protótipo para testes de verificação; na seção 7, Resultados Experimentais, são apresentados os resultados obtidos; na seção 8, Considerações Finais, são feitos alguns comentários sobre o desenvolvimento do projeto.

2 Pré-processamento

Na abordagem utilizada, trabalhou-se com imagens que após a aquisição, foram convertidas em imagens binárias, para que a extração de características fosse dada de uma forma mais precisa.

Também é proposta uma modificação escalar à imagem, rotacionando-a com objetivo de deixá-la alinhada geometricamente, ou próximo disso.

Diversas características de dimensão única podem ser extraídas das assinaturas, como: Projeção Vertical (PV), Projeção Horizontal (PH), contorno superior, contorno inferior, dentre outras. Ao longo deste trabalho, utilizou-se a PV, adquirida das imagens somando a quantidade de pixels preenchidos em cada coluna da imagem (Fig. 1), formando um

a) Primeiramente, primeiro elemento é preenchido, calculando a distância absoluta entre os dois primeiros elementos de cada vetor.

b) Posteriormente, preenchem-se os itens da primeira linha, calculando para cada item a soma da distância absoluta dos elementos daquela posição de cada vetor, com o valor do elemento da coluna anterior à esquerda:

$$DA[0, V_j] = |R_i - V_j| + DA[0, j-1] \quad (1)$$

c) Após a primeira linha ter sido preenchida, os itens da primeira coluna devem ser preenchidos, calculando para cada item a soma da distância absoluta dos elementos daquela posição de cada vetor, com o valor do elemento da linha anterior abaixo:

$$DA[R_i, 0] = |R_i - V_j| + DA[i-1, 0] \quad (2)$$

d) De posse das primeiras linha e coluna da matriz preenchidas, calculam-se os valores dos elementos restantes, da esquerda para a direita e de baixo para cima, onde se soma o valor da distância absoluta dos elementos daquela posição de cada vetor, com o menor valor dentre os primeiros elementos anteriores à esquerda, abaixo, e à diagonal:

$$DA[R_i, V_j] = |R_i - V_j| + \min(DA[i, j-1], DA[i-1, j], DA[i-1, j-1]) \quad (3)$$

3) De posse da matriz de distâncias acumuladas completa, calcula-se a soma dos valores do melhor caminho entre os pontos final e inicial, encontrados partindo do ponto final, superior a direita, escolhendo sempre o menor valor dentre os três próximos à esquerda, abaixo e à diagonal (Fig. 5). Na ocasião de valores iguais, a preferência é dada ao elemento da diagonal.

4) Feito isso, a distância DTW é calculada dividindo a soma dos elementos do melhor caminho pelo tamanho do modelo referência.

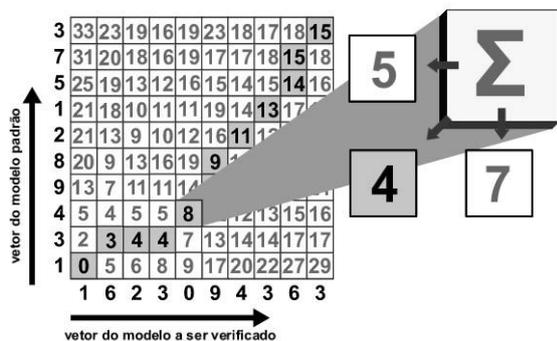


Figura 4: Exemplo de funcionamento da soma dos valores do vetor de melhor caminho.

O melhor caminho, $C=\{c_1, c_2, \dots, c_K\}$, de tamanho K , entre duas seqüências $R=\{r_1, r_2, \dots, r_N\}$ e $V=\{v_1, v_2, \dots, v_M\}$, de tamanhos N e M , respectivamente, deve satisfazer algumas condições:

1) Condição de Limite: $c_1=(1,1)$ e $c_K=(n,m)$, que indica que o melhor caminho deve começar e terminar em diagonais de cantos opostos na matriz.

2) Condição de Continuidade: Dado $wK=(a, b)$, então $w_{k-1}=(a', b')$ onde $a-a' \leq 1$ e $b-b' \leq 1$. Esta condição restringe os passos permitidos na formação do vetor do melhor caminho para células adjacentes, incluindo células diagonalmente adjacentes.

3) Monotonicidade: Dado $wK=(a, b)$, então $w_{k-1}=(a', b')$ onde $a-a' \geq 0$ e $b-b' \geq 0$. Esta condição força os pontos no melhor caminho a serem monotonicamente espaçados no tempo.

4 Modificação proposta no algoritmo DTW

A modificação proposta ao algoritmo DTW envolve a adição de um fator de estabilidade das diversas partes da assinatura ao processo.

O método associa um peso a cada item do vetor de melhor caminho. Pesos estes que modificam a função de custo do melhor caminho entre as dadas assinaturas, pois faz com que elas apenas somem os pontos que são relevantes.

Dado um conjunto de assinaturas do mesmo autor, onde cada assinatura é representada pela projeção vertical, seleciona-se um par de assinaturas e calcula-se o melhor caminho entre elas, dado por $C=\{c_1, c_2, c_3, \dots, c_K\}$. Para cada ponto $c=(i,j)$ do caminho, compara-se seus valores de i e j , e, caso sejam iguais, adiciona-se uma pontuação a um vetor de estabilidade. Esses pontos cujos i e j são iguais, e chamados de Ponto de Combinação Direta (PCD).

A existência de um PCD em um caminho de uma assinatura indica que em um determinado ponto i da primeira assinatura existe um ponto j correspondente, de região similar na segunda assinatura. Logo, para cada ponto de uma assinatura referência, uma pontuação é atribuída: 1 (um) caso seja um PCD, e 0 (zero) caso seja outro ponto qualquer.

Para cada par do conjunto de assinaturas, um vetor de pontuação é montado, de acordo com a quantidade de PCD. Após montados os vetores para as combinações das assinaturas, é calculada a média dos valores de cada posição, para formar o vetor de estabilidade, a ser incluído no cálculo da distância DTW.

Uma vez calculado o fator de estabilidade dos vários componentes da assinatura, esta informação deve ser incorporada ao cálculo da distância DTW. Ao ser somado os valores do melhor caminho, descrito no passo 3 (três) do sub-item A do item III deste artigo, multiplica-se para cada ponto o item referente àquela posição do vetor de estabilidade.

Esta modificação leva em consideração a estabilidade das diferentes partes da assinatura, e fornece

uma melhor medida de dissimilaridade entre duas assinaturas.

5 Metodologia

Para cada conjunto de assinaturas de um determinado autor, é calculado um limiar e armazenado, para que seja posteriormente utilizado para verificar as assinaturas submetidas ao sistema.

Para realizar o cálculo do limiar, efetua-se uma combinação dois a dois com todas as assinaturas, submetendo-as em pares ao algoritmo DTW, sem combinações repetidas, para que sejam montadas as matrizes de distâncias acumuladas, e calculada a distância DTW com base no melhor caminho. Quando o algoritmo a ser executado é o modificado, é montado o vetor de pontuações, para cada par de assinaturas. De posse de todos os vetores de pontuação, calcula-se o fator de estabilidade descrito em seções anteriores e, posteriormente, calcula-se a distância DTW para cada par.

O limiar a ser utilizado para comparações é a máxima distância entre as combinações dos pares.

A análise de assinaturas submetidas ao sistema é feita computando a média das distâncias DTW da assinatura submetida, com todas as referências armazenadas. A decisão sobre a veracidade da assinatura em questão é baseada na comparação desta distância média com o limiar armazenado. Para valores maiores que o limiar, a assinatura em questão deve ser considerada falsa.

6 Base de Dados

A base de dados utilizada continha 551 assinaturas, sendo 343 verdadeiras e 208 falsas, de 33 pessoas. As falsificações eram dos tipos aleatórias, simples e qualificadas. Todas as assinaturas foram escritas utilizando caneta esferográfica preta, em papel branco com retângulos de bordas pretas, de 8,2 por 2,2 centímetros, que demarcavam o local de assinatura.

Estas diferenças de dois milímetros foram propositalmente colocadas para evitar que, ao assinar, as pessoas se aproximassem das bordas dos retângulos, e, que foram removidas no processo de digitalização, que foi realizada por uma multifuncional Lexmark X1200, utilizando resolução de 300dpi, e em tons de cinza.

Além do mais, todas as pessoas escreveram com o papel preso a uma prancheta, com o mesmo fundo liso e, também, sentados confortavelmente em uma cadeira sem braços, com altura de 45 cm do assento para o chão e, apoiados de forma natural em uma mesa, com altura de 80 cm do chão.

7 Resultados Experimentais

Nos experimentos realizados, duas abordagens foram utilizadas: primeiro se tentou replicar o artigo original, submetendo ao algoritmo uma combinação de três assinaturas, escolhidas aleatoriamente para cadastro no sistema, utilizando as demais para verificação.

A segunda abordagem foi a utilização de cinco assinaturas no cadastro, ao invés de apenas três, e as restantes para teste de validação.

A primeira abordagem, utilizando DTW modificado, com o fator de estabilidade, obteve taxas de Falsa Rejeição de 11% e Falsa Aceitação de 13%, obtendo uma taxa de erro total de 12% e, 88% de acerto (Fig. 6).

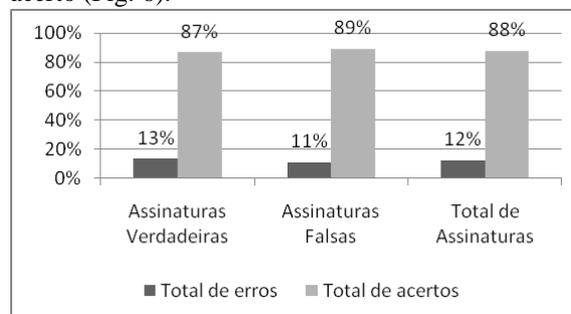


Figura 5: Resultado da utilização do algoritmo DTW modificado, utilizando o fator de estabilidade e três assinaturas.

Quando se utilizou na primeira abordagem o algoritmo DTW clássico, sem o fator de estabilidade, os resultados obtidos foram: Falsa Rejeição de 11% e Falsa Aceitação de 9%, chegando a um total de 10% de erros e 90% de acertos (Fig. 7).

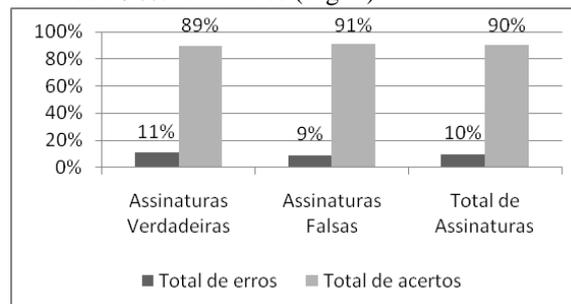


Figura 6: Resultado da utilização do algoritmo DTW clássico, sem o fator de estabilidade, e com três assinaturas.

Os resultados obtidos utilizando a segunda abordagem e o algoritmo DTW modificado foram: 8% de Falsas Rejeições e 9% de Falsos Aceites, alcançando 9% de erros e 91% de acertos (Fig. 8).

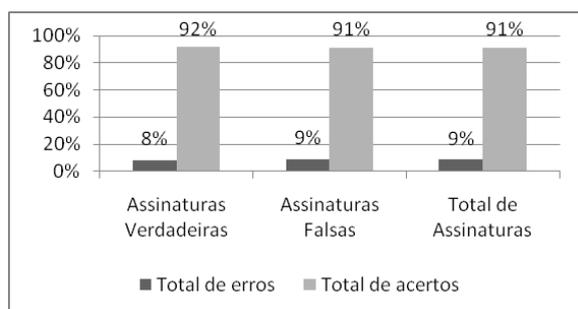
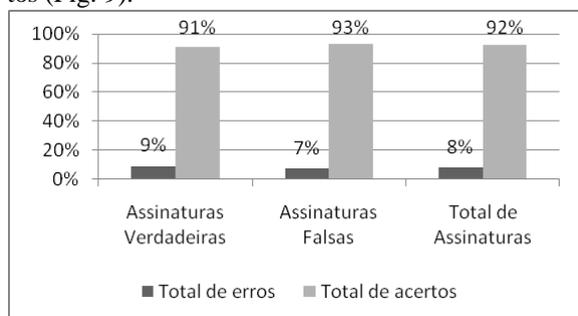


Figura 7: Resultado da utilização do algoritmo DTW modificado, utilizando o fator de estabilidade e cinco assinaturas.

Já a utilização da segunda abordagem com o algoritmo DTW clássico, chegou aos seguintes resultados: 9% de Falsas Aceitações e 7% Falsas Rejeições, alcançando total de 8% de erros e 92% de acertos (Fig. 9).



8 Considerações Finais

As taxas obtidas por todas as abordagens foram consideradas relativamente altas, porém dentro dos limites aceitáveis para um protótipo inicial.

A definição do limiar a ser utilizado é a questão mais importante do sistema, visto que ele vai determinar a veracidade das assinaturas que serão submetidas ao sistema. As assinaturas cujas amostras foram mais diferentes entre si tiveram o valor do limiar mais alto, possibilitando assim mais erros na verificação.

Primeiramente, decidiu-se replicar a abordagem do artigo original, para tentar alcançar resultados diferentes e significativos entre o uso do algoritmo clássico e o algoritmo com as mudanças propostas. Optou-se então por utilizar uma abordagem com cinco assinaturas no cadastro, ao invés de três, como no artigo original, buscando melhores resultados, porém a diferença também não foi significativa.

Notou-se em alguns casos que a diferença entre a distância da assinatura verificada e o limiar era de menos de dois décimos, fazendo com que a assinatura fosse classificada erroneamente, ou seja, se fossem considerados alguns critérios de arredondamento, os resultados obtidos poderiam ser melhores.

Uma adaptação foi feita no protótipo para permitir a definição do limiar manualmente, na hora da verificação, simplesmente com o objetivo de analisar os resultados e, percebeu-se que quando o limiar era configurado para um valor baixo, a taxa de falsa rejeição aumentava, e quando o limiar era alto, a taxa de falsa aceitação aumentava.

Notou-se também a influência direta do método de rotação das imagens nos resultados, que para assinaturas muito fora da linha reta funcionavam bem, só que para assinaturas próximas à linha reta era feita uma rotação que ao invés de melhorar, prejudicava o alinhamento.

A utilização de papel branco, apenas com retângulos de bordas pretas para delimitar o espaço para assinatura, sem traço, teve aspectos positivos devido a não adição de dados supérfluos ao algoritmo, como o traço, que poderiam influenciar no resultado final. Contudo, a ausência do traço também teve seu aspecto negativo, pois a maioria das pessoas que assinaram perdia a noção de linha reta, e, em algumas vezes, escreviam com alinhamentos diferentes até para as palavras de nomes compostos. Por isso, a qualidade do algoritmo de rotação aliado ao método para escolher o grau da rotação, influenciou o resultado final, visto que as assinaturas nem sempre estavam inclinadas para um único lado.

Referências Bibliográficas

- Shanker, P. e Rajagopalan, A. N. (2007) "Off-line signature verification using DTW", *Pattern Recognition Letters*, 28 (12), pp. 1407-1414.
- Müller, M., (2007) "Information Retrieval for Music and Motion", Springer; 1th edition, 2007, pp. 69-82.
- Poli, G., Levada, A. L. M., Mari, J. F., Saito, J. H., (2007) "Voice Command Recognition with Dynamic Time Warping (DTW) using Graphics Processing Units (GPU) with Compute Unified Device Architecture (CUDA)", *19th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing*, 2007. SBAC-PAD 2007, pp. 19-25.
- Justino, E. J. R., Bortolozzi, F., Sabourin, R., (2005) "A comparison of SVM and HMM classifiers in the off-line signature verification". *Pattern Recognition Letters* 26 (2005), 1377-1385
- Myers, C., Rabiner, L. R., Rosenberg, A. E., (1980) "Performance Tradeoffs in Dynamic Time Warping Algorithms for Isolated Word Recognition", *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Volume 28, Issue 6, 1980, pp: 623 - 635.