

Desempenho de Funções de Similaridade em CBIR no Contexto de Teste de Software: Estudo de Caso em Segmentação de Imagens de Gestos da LIBRAS

Vagner M. Gonçalves*, Sarajane M. Peres*, Márcio E. Delamaro†, Rafael A. P. Oliveira†, Fátima L. S. Nunes*

* Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo – EACH-USP
Rua Arlindo Béttio, 1000, Ermelino Matarazzo, São Paulo, Brasil, CEP: 03828-000

† Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo – ICMC-USP
Av. Trabalhador São-carlense, 400, Centro, São Carlos, Brasil, CEP: 13560-970

{vagner.goncalves, sarajane, fatima.nunes}@usp.br, {delamaro, rpaes}@icmc.usp.br

Abstract

In the software testing context, a oracle is a known correct output of a program which will be compared to the output of the program under testing. We named graphical oracles the oracles for programs with graphical outputs and use the concept of Content-Based Image Retrieval to support software testing activities for this type of programs. This paper discusses results of a case study to evaluate similarity functions in the context of graphical oracles. 83 outputs of an automated segmentation system were used to perform the experiments. The original images represent hand configurations of the Brazilian Sign Language. Reference images for the tested outputs were obtained by manual segmentation. Ten similarity functions were used to compare pairs of corresponding images (output and its reference image). The results showed different characteristics of the evaluated functions, their performance and their influence within the considered approach.

Keywords: *content-based image retrieval, similarity functions, graphical oracles, Brazilian Sign Language*

1. Introdução

O princípio da Recuperação de Imagens Baseada em Conteúdo (CBIR – *Content-Based Image Retrieval*) é pesquisar em um banco de dados uma determinada quantidade de imagens similares a uma imagem de consulta, de acordo com um ou mais critérios de similaridade fornecidos. Tais critérios são obtidos por meio da extração de características das imagens, geralmente relacionadas a cores, texturas e formas.

As imagens digitais têm uma vasta aplicabilidade nas mais diversas áreas do conhecimento, tais como medicina, sensoriamento remoto, sistemas de informação de biodiversidade e biometria [10]. Além disso, é grande a quantidade de aplicações computacionais que geram imagens como saída, quer sejam resultados de técnicas de processamento, quer sejam interfaces gráficas de usuário.

Testar sistemas com saídas gráficas de maneira automatizada constitui um grande desafio. A definição de oráculos – mecanismos eficazes que indicam ao testador se a saída obtida para um caso de teste é aceitável ou não [1] – para essa modalidade de sistemas não é uma tarefa trivial. Nesse contexto, o conceito de CBIR tem sido aplicado para viabilizar um método eficaz para a definição de oráculos que apoiam o teste de tais programas [4]. Esses oráculos são aqui denominados de *oráculos gráficos*.

Um oráculo gráfico baseado no conceito de CBIR pode ser definido como uma combinação entre um conjunto de extratores de características (ECs), uma função de similaridade (FS) e um valor de limiar ou precisão. O conjunto de ECs é utilizado para compor um vetor de características para cada imagem empregada na atividade de teste de algum programa considerado. Utiliza-se a FS para calcular uma medida de diferença (uma função de distância) entre o vetor de uma imagem obtida como saída do programa e o vetor de uma imagem fornecida como referência para aquela execução (representando a saída considerada correta). O valor zero indica imagens com vetores idênticos e, quanto maior a medida de diferença calculada entre os vetores, mais diferentes as imagens são consideradas. O valor de limiar define o valor máximo que tal medida de diferença pode assumir para que as imagens sejam consideradas semelhantes o suficiente, ou seja, para que a saída passe no teste.

Delamaro, Nunes e Oliveira apresentaram em [4] o *framework* O-FIm (*Oracle for Images*) que apoia a definição de oráculos gráficos baseados em CBIR. O *framework* permite a inclusão de ECs e funções de similaridade (FSs) que podem ser utilizados por uma aplicação testadora, desenvolvida sobre o núcleo da ferramenta, para apoiar e automatizar o teste de programas do domínio mencionado.

O objetivo do presente trabalho constituiu-se em avaliar resultados de teste obtidos para um sistema com saídas gráficas aplicando-se um mesmo conjunto de ECs e FSs distintas na definição dos oráculos utilizados. Os testes foram conduzidos utilizando-se o *framework* O-FIm e permitiram a comparação entre as FSs dentro do contexto apresentado. As funções avaliadas foram catalogadas por meio de trabalhos que envolvem CBIR recuperados em uma revisão sistemática [6]. Como consequência, as discussões apresentadas neste artigo, no que se refere às características de tais funções, valem também para trabalhos que utilizem CBIR dentro do contexto tradicional de recuperação de imagens.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados alguns trabalhos correlatos na área de CBIR; na Seção 3 são descritos o estudo de caso e a metodologia utilizada; na Seção 4 são apresentados e discutidos os resultados do estudo de caso; e, por fim, na Seção 5 são apresentadas as conclusões do trabalho.

2. Trabalhos Correlatos

Na literatura há diversos trabalhos que citam o uso de funções de similaridade com formulações variáveis. No entanto, a avaliação de FSs no contexto de CBIR é um assunto ainda pouco explorado.

Bugatti, Traina e Traina Jr. [3] apresentaram resultados de experimentos visando a comparar o desempenho de um sistema de CBIR utilizando-se diferentes combinações de FSs e ECs. Foram avaliados oito funções e extratores baseados em níveis de cinza, textura e forma. Os testes foram conduzidos em uma base de imagens provenientes de exames de Ressonância Magnética e Angiografia. Curvas de Precisão *versus* Revocação foram utilizadas para se identificar quais FSs proporcionaram melhores resultados de recuperação para cada tipo de característica extraída.

Eidenberger [5] relatou a avaliação de 37 FSs. Foram conduzidos testes de recuperação por conteúdo em três bases de imagens utilizando-se sete descritores relacionados a cores. Para a análise dos resultados foram utilizados indicadores de desempenho que medem a distribuição dos objetos recuperados no espaço de distância.

Outra avaliação de FSs foi realizada por Beecks, Uysal e Seidl [2]. Em tal trabalho, foram observados e comparados os desempenhos de recuperação obtidos utilizando-se cinco funções diferentes em quatro bases públicas de ima-

gens. Foram extraídas características de assinatura, posição e textura dos objetos representados. A avaliação foi realizada em termos de precisão, revocação e tempo de processamento de consultas.

No trabalho apresentado neste artigo, a avaliação de FSs conduzida permitiu identificar características de cada FS na comparação entre os vetores de duas imagens. Além disso, a influência da utilização de FSs diferentes para se testar um programa com saídas gráficas nas mesmas condições foi observada. Na próxima seção, o estudo de caso conduzido e a metodologia empregada são apresentados.

3. Metodologia

3.1. Descrição do Caso

A presente avaliação de FSs foi realizada por meio dos resultados de teste obtidos para um sistema de segmentação de imagens. Em tal esquema de teste de software utilizou-se o *framework* O-FIm para a implementação da aplicação testadora. O sistema testado é baseado na rede neural artificial *Multilayer Perceptron* com o algoritmo de treinamento *Backpropagation* otimizado usando o método Levenberg-Marquardt [7]. Esses métodos são usados para segmentar imagens de configurações de mão utilizadas na composição dos sinais do Alfabeto Manual da Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS). A LIBRAS é a língua oficial da comunidade surda no Brasil e compreende os sinais utilizados para se representar as letras no contexto datilológico [9].

O sistema de segmentação processa imagens nas quais estão representadas configurações de mão utilizando-se uma luva especial vermelha. Na imagem resultante do processo de segmentação, a região que corresponde à mão é identificada pela cor branca, enquanto que o restante da imagem (fundo) é identificado pela cor preta. Na Figura 1 é apresentado um exemplo de imagens com as características mencionadas.



(a) Imagem original

(b) Resultado da segmentação automatizada

Figura 1. Configuração de mão aplicada para a execução da letra “X”.

O sistema descrito foi utilizado na abordagem de Reconhecimento de Padrões apresentada por Madeo *et al.*, em [9]. Tal abordagem integra um Jogo da Força Multimídia em LIBRAS. O jogo é uma aplicação de tecnologia assistiva que visa a popularizar a LIBRAS entre o público sem deficiência auditiva, baseando-se no caráter lúdico da aplicação, e auxiliar a alfabetização de crianças surdas na Língua Portuguesa [9].

Foram utilizadas para o teste do sistema de segmentação 83 saídas (imagens resultantes do processo de segmentação automatizada). Essas 83 saídas correspondem a uma amostra de 10% de uma coleção não pública de imagens segmentadas automaticamente pelo sistema. Foi necessário gerar imagens de referência manualmente para cada saída testada, as quais compuseram a avaliação no contexto de oráculos gráficos. Não foi possível, dentro do escopo deste trabalho, utilizar a coleção inteira nos testes, visto que, para isso, mais de 800 imagens deveriam ser produzidas manualmente.

3.2. Metodologia de Teste para o Sistema de Segmentação

As 83 saídas do sistema de segmentação selecionadas para os experimentos de teste compuseram o conjunto *Output*. A imagem de referência (saída esperada) para cada saída testada foi obtida por meio da marcação manual da região correspondente à mão na imagem original. Essa marcação foi realizada por um primeiro indivíduo. As imagens de referência compuseram o conjunto *Model*.

$$Output = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_{83}\}$$

$$Model = \{M_1, M_2, M_3, \dots, M_{83}\}$$

Um segundo conjunto de imagens de referência foi obtido para 20% das saídas testadas (17 imagens selecionadas aleatoriamente). Tais imagens compuseram o conjunto *Aux* e foram obtidas por meio de marcação manual das imagens originais, realizada por um segundo indivíduo. O conjunto *Aux* foi utilizado na definição dos valores de limiar, como descrito adiante.

$Aux = \{A_i / A_i \text{ é a imagem de referência para } O_i \text{ obtida por marcação manual da imagem original correspondente realizada por um segundo indivíduo}\}$

Para cada imagem foi extraído um vetor de características. O vetor de cada imagem do conjunto *Output* foi comparado ao vetor da imagem de referência correspondente no conjunto *Model* utilizando-se uma FS. Considerou-se a saída aprovada se o valor calculado pela FS é menor ou igual ao limiar definido. Caso contrário, considerou-se a saída reprovada.

O valor de limiar foi definido da seguinte forma: o vetor de características de cada imagem do conjunto *Aux* foi

comparado ao vetor da imagem correspondente no conjunto *Model* utilizando-se a FS. O seguinte conjunto foi, então, obtido:

$$Comp(Aux, Model) = \{FS(A_i, M_i) / A_i \in Aux \wedge M_i \in Model \wedge A_i \text{ e } M_i \text{ são referências para } O_i \in Output\}$$

em que $FS(A_i, M_i)$ é o valor calculado pela FS na comparação entre os vetores das imagens de referência A_i e M_i .

O valor de limiar thr pôde, então, ser calculado por meio da Equação 1.

$$thr = \alpha \cdot \max(Comp(Aux, Model)) \quad (1)$$

O valor de α representa quantas vezes a distância entre uma saída e a sua respectiva imagem de referência pode ser maior do que a máxima distância entre duas imagens de referência dos conjuntos *Aux* e *Model*. Neste artigo são apresentados resultados que consideraram $\alpha = 1$ e $\alpha = 2$. Vale ressaltar que também são possíveis estudos da variação do valor de α e de como tal parâmetro pode influenciar os resultados da metodologia de teste utilizada. Entretanto, por limitação de espaço, optou-se aqui por comparar resultados para somente dois valores distintos de α .

É importante mencionar, ainda, que o escopo do presente trabalho não abrangeu métodos para a definição de limiar. Logo, não serão discutidas a eficácia e as limitações da abordagem utilizada. O intuito do método utilizado neste trabalho foi possibilitar a comparação entre as FSs em condições equivalentes.

O procedimento de teste descrito nesta seção foi reconduzido para cada FS incluída para avaliação no presente trabalho.

3.3. Características Extraídas

Os vetores de características de cada imagem foram compostos por 11 valores calculados pelos seguintes ECs: área, perímetro, compacidade, largura e altura da região correspondente à mão segmentada; coordenadas x e y do pixel centro de massa da imagem; e quatro características de assinatura de forma, uma para cada quadrante da região segmentada.

Para o cálculo dos valores de assinatura, a região correspondente à mão segmentada foi dividida em quadrantes, delimitados pelos eixos horizontal e vertical que se interceptam no centro de massa da imagem. Cada extrator, correspondente a um dos quadrantes, toma intervalos em ângulos de um grau, calculando para cada ângulo a distância em pixels do centro de massa da imagem até a borda da mão segmentada. Com as distâncias obtidas, calcula-se uma aproximação da área sob a curva representada pela função

cujos domínios de definição é formado pelos ângulos tomados para o cálculo de cada distância e o conjunto imagem é formado pelas distâncias calculadas.

As características foram escolhidas de acordo com critérios importantes para a avaliação da qualidade das segmentações representadas nas saídas testadas. Tais critérios foram definidos com base nas características da segmentação obtida que podem influenciar os resultados da abordagem de reconhecimento de padrões mencionada e que utiliza tais imagens. Entretanto, ressalta-se que outros extratores podem ser facilmente implementados utilizando-se o *framework* O-FIm.

3.4. Metodologia de Avaliação de FSs

O teste do sistema de segmentação foi realizado utilizando-se dez FSs diferentes. Todas são funções aplicáveis dentro do contexto de CBIR. Os resultados de aprovação ou reprovação obtidos, utilizando-se cada uma delas, foram comparados entre si.

Os valores calculados para cada uma das FSs, na comparação entre os 83 pares de imagens, foram analisados de modo a possibilitar o estudo das características da função. Por simplificação, tais valores serão chamados “distâncias” entre duas imagens. Como a maioria das FSs avaliadas são funções de distância métrica, optou-se por utilizar tal nomenclatura, mesmo sabendo-se que nem todas as FSs avaliadas calculam exatamente distâncias métricas entre os vetores.

O coeficiente de correlação de Pearson foi calculado para cada par de FSs, sendo cada função representada nesse contexto pelo conjunto de 83 distâncias calculadas entre as imagens do conjunto *Output* e as imagens do conjunto *Model*. O cálculo de tal coeficiente de correlação entre o conjunto de distâncias obtidas com a FS FS_A ($Dist_{FS_A}$) e o conjunto de distâncias obtidas com a FS FS_B ($Dist_{FS_B}$) foi realizado de acordo com a Equação 2.

$$Dist_{FS_A} = \{FS_A(O_1, M_1), \dots, FS_A(O_{83}, M_{83})\}$$

$$Dist_{FS_B} = \{FS_B(O_1, M_1), \dots, FS_B(O_{83}, M_{83})\}$$

$$Correl(FS_A, FS_B) = Correl(Dist_{FS_A}, Dist_{FS_B}) \quad (2)$$

Por meio da análise de correlação foi possível observar com mais precisão as semelhanças e diferenças entre os resultados obtidos utilizando-se as diferentes FSs.

3.5. FSs avaliadas

No conjunto de FSs avaliadas no presente estudo de caso estão incluídas as distâncias da família Minkowski (Manhattan, Euclidiana e Chebychev) e as distâncias Canberra, Cosseno e de Mahalanobis [6].

Foram incluídas também as distâncias Trigonométrica e Trigonométrica Modificada, ambas apresentadas por Li, Hou e Li em [8]. Por fim, foram avaliados também a Divergência de Jeffrey e o Valor Estatístico χ^2 [6].

Na próxima seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a aplicação dos procedimentos metodológicos descritos.

4. Resultados e Discussões

Os experimentos realizados consistiram em aplicar a metodologia de teste para o sistema de segmentação, utilizando-se cada uma das FSs e obter os resultados de aprovação ou reprovação considerando-se limiares com $\alpha = 1$ e $\alpha = 2$ (Equação 1).

4.1. Resultados de Aprovação ou Reprovação de Saídas

Nos gráficos das Figuras 2 e 3 são apresentados os resultados quantitativos de aprovação ou reprovação de saídas testadas obtidos considerando-se limiares com $\alpha = 1$ e $\alpha = 2$, respectivamente. Vale mencionar que os gráficos representam somente as quantidades de imagens. Isso significa que, utilizando-se FSs diferentes, não necessariamente obteve-se a aprovação (ou reprovação) de uma mesma imagem para todos os testes, mesmo considerando-se FSs com quantidades semelhantes de imagens aprovadas ou reprova-

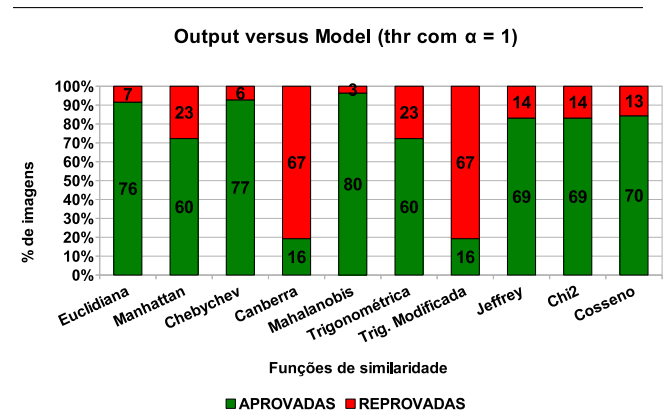


Figura 2. Porcentagem de saídas aprovadas ou reprovas utilizando-se cada FS avaliada e limiares com $\alpha = 1$.

Na Figura 2 é possível observar as diferenças significativas entre as quantidades de imagens aprovadas ou reprovas, considerando-se determinadas FSs. Nota-se que

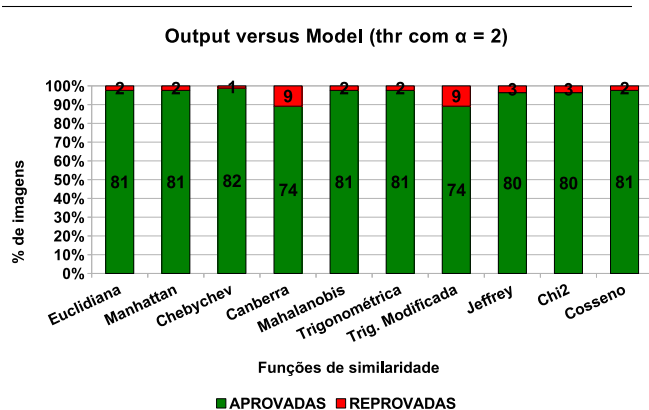


Figura 3. Porcentagem de saídas aprovadas ou reprovadas utilizando-se cada FS avaliada e limiares com $\alpha = 2$.

a menor quantidade de saídas aprovadas (16) foi obtida utilizando-se as distâncias Canberra ou Trigonométrica Modificada, enquanto que a maior quantidade de saídas aprovadas (80) foi obtida utilizando-se a distância de Mahalanobis. É evidente, portanto, que a escolha de uma FS pode gerar resultados significativamente diferentes.

A aplicação de algumas FSs nos testes não resultou em diferenças nos conjuntos de saídas aprovadas e saídas reprovadas. Foram obtidos resultados equivalentes com as distâncias Manhattan e Trigonométrica, com as funções Divergência de Jeffrey e χ^2 e com as distâncias Canberra e Trigonométrica Modificada.

As distâncias Canberra e Trigonométrica Modificada foram as FSs cujos resultados de aprovação ou reprovação obtidos mais destoam dos resultados observados com as demais funções. Isso é uma evidência de que tais funções são mais sensíveis às diferenças entre os vetores de características comparados do que as demais funções avaliadas.

Os resultados obtidos com a distância Euclidiana foram muito semelhantes aos resultados obtidos com a distância Chebychev. As diferenças estão no resultado de apenas uma saída testada (reprovada com a Euclidiana e aprovada com a Chebychev). Com a distância Cosseno foram obtidos resultados semelhantes aos obtidos com as funções Divergência de Jeffrey e χ^2 , com diferenças nos resultados de apenas três saídas testadas.

Na Figura 3 observa-se que, com o aumento dos limiares (multiplicando-os pelo fator 2), a diferença mais significativa foi o aumento substancial da quantidade de imagens aprovadas utilizando-se qualquer uma das FSs. As equivalências e semelhanças observadas entre funções particulares são as mesmas discutidas anteriormente. Entretanto, a diferença entre os conjuntos de saídas aprovadas diminuiu.

Tal resultado evidencia que quanto mais baixa é a precisão exigida, maior é a quantidade de imagens aprovadas e menor é a diferença entre os resultados obtidos com FSs distintas.

Ainda na Figura 3, as FSs que apresentaram resultados pouco mais divergentes dos resultados obtidos com as demais foram as distâncias Canberra e Trigonométrica Modificada. Mais uma vez, utilizando-se essas distâncias, os resultados de aprovação ou reprovação foram equivalentes.

4.2. Análise Baseada em Correlação

Na Tabela 1 são apresentadas as correlações calculadas entre os conjuntos de distâncias obtidos. Observando-se a tabela é possível identificar agrupamentos de FSs com correlações altas entre si. Tais agrupamentos, representados pelos tons de verde, indicam funções com comportamentos semelhantes de acordo com os resultados obtidos nos testes.

	Cosseno	Chebychev	Euclidiana	Trigonometrica	Manhattan	Canberra	Trig. Modificada	Chi2	Jeffrey	Mahalanobis
Cosseno	1.00	0.92	0.93	0.81	0.81	0.87	0.82	0.82	0.82	0.76
Chebychev	0.92	1.00	0.97	0.82	0.82	0.68	0.62	0.66	0.65	0.62
Euclidiana	0.93	0.97	1.00	0.92	0.92	0.78	0.71	0.72	0.71	0.67
Trigonometrica	0.81	0.82	0.92	1.00	1.00	0.78	0.67	0.62	0.62	0.63
Manhattan	0.81	0.82	0.92	1.00	1.00	0.78	0.67	0.62	0.62	0.63
Canberra	0.87	0.68	0.78	0.78	0.78	1.00	0.97	0.90	0.90	0.79
Trig. Modificada	0.82	0.62	0.71	0.67	0.67	0.97	1.00	0.97	0.97	0.79
Chi2	0.82	0.66	0.72	0.62	0.62	0.90	0.97	1.00	1.00	0.78
Jeffrey	0.82	0.65	0.71	0.62	0.62	0.90	0.97	1.00	1.00	0.78
Mahalanobis	0.76	0.62	0.67	0.63	0.63	0.79	0.79	0.78	0.78	1.00

Tabela 1. Correlações entre os conjuntos de distâncias calculadas pelas FSs avaliadas.

A fim de tornar a interpretação da Tabela 1 mais clara, foi utilizado um limiar de 0,95 para os valores obtidos, gerando-se a Tabela 2. As distâncias Manhattan e Trigonométrica formam um *cluster* de alta correlação. O mesmo é observado para as distâncias Canberra e Trigonométrica Modificada.

	Cosseno	Chebychev	Euclidiana	Trigonometrica	Manhattan	Canberra	Trig. Modificada	Chi2	Jeffrey	Mahalanobis
Cosseno	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chebychev	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Euclidiana	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Trigonometrica	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Manhattan	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Canberra	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Trig. Modificada	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Chi2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Jeffrey	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Mahalanobis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabela 2. Clusters observados destacando-se os valores de correlação maiores ou iguais a 0,95.

A distância Trigonométrica Modificada está presente também no *cluster* das funções Divergência de Jeffrey e χ^2 . Entretanto, é importante ressaltar que os resultados de aprovação ou reprovação da distância Trigonométrica Modificada foram significativamente diferentes dos resultados obtidos com as funções Divergência de Jeffrey e χ^2 . Isto evidencia que tais funções tendem a ter um comportamento de crescimento ou diminuição proporcional, mas os limites definidos para cada uma podem levar a resultados significativamente diferentes, mesmo sendo obtidos por meio de uma mesma metodologia.

Outro *cluster* observado é formado pelas distâncias Euclidiana e Chebychev. As distâncias Cosseno e Mahalanobis não aparecem em nenhum dos *clusters*, aparecendo isoladas na tabela. Tais resultados corroboram os resultados empíricos observados nos testes.

5. Conclusões

No presente artigo foram discutidos os resultados de um estudo de caso visando à avaliação de funções de similaridade no contexto de oráculos gráficos. Tais oráculos utilizam o conceito de CBIR para apoiar o teste de programas com saídas gráficas. No estudo apresentado, imagens contendo configurações de mão utilizadas na LIBRAS foram segmentadas de forma automatizada. As imagens resultantes do processo de segmentação formaram um conjunto de saídas que foram comparadas com imagens de referência, produzidas de forma manual.

Foram utilizadas dez FSs diferentes para a comparação entre os vetores de características das imagens. Cada vetor foi construído por meio de onze extratores implementados. No geral, os resultados demonstraram que determinadas FSs se comportam de forma muito similar entre si, favorecendo a obtenção de resultados equivalentes nos testes. Entretanto, ficou claro que, dependendo da FS escolhida, os resultados dos testes podem ser significativamente diferentes. As funções com as quais foram obtidos resultados equivalentes consistem nos pares Manhattan e Trigonométrica, Canberra e Trigonométrica Modificada, e Divergência de Jeffrey e χ^2 .

As FSs que proporcionaram resultados mais destoantes foram as distâncias Canberra e Trigonométrica Modificada.

Uma análise de correlações permitiu observar com mais precisão as semelhanças e diferenças entre os resultados. Os *clusters* destacados demonstram de maneira bem compreensível os resultados empíricos obtidos nos experimentos. Dessa forma, a escolha de qualquer uma FS dentro de um *cluster* produzirá resultados semelhantes em sistemas de CBIR, mantendo-se as demais condições invariáveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - Processos 2010/01496-1, 2010/09806-0 e 2010/15691-0, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Processos 559915/2010-1 e 559931/2010-7, e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC), pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] L. Baresi and M. Young. Test oracles. Technical Report CIS-TR-01-02, University of Oregon, Dept. of Computer and Information Science, Eugene, Oregon, USA, ago. 2001.
- [2] C. Beecks, M. S. Uysal, and T. Seidl. A comparative study of similarity measures for content-based multimedia retrieval. In *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pages 1552–1557, jul. 2010.
- [3] P. H. Bugatti, A. J. M. Traina, and C. Traina-Jr. Assessing the best integration between distance-function and image-feature to answer similarity queries. In *23rd Annual ACM Symposium on Applied Computing*, pages 1225–1230, Fortaleza, Brasil, mar. 2008.
- [4] M. E. Delamaro, F. L. S. Nunes, and R. A. P. Oliveira. Using concepts of content-based image retrieval to implement graphical testing oracles. *Softw. Test. Verif. Reliab.*, pages n/a–n/a, 2011.
- [5] H. Eidenberger. Evaluation and analysis of similarity measures for content-based visual information retrieval. *Multimed. Syst.*, 12(2):71–87, 2006.
- [6] V. M. Gonçalves, F. L. S. Nunes, and M. E. Delamaro. Avaliação de funções de similaridade em sistemas de CBIR: uma revisão sistemática. In *VI Workshop de Visão Computacional*, pages 199–204, Presidente Prudente, Brasil, jul. 2010.
- [7] M. T. Hagan and M. B. Menhaj. Training feedforward networks with the marquardt algorithm. *IEEE Trans. Neural Netw.*, 5(6):989–993, nov. 1994.
- [8] Z. Li, K. Hou, and H. Li. Similarity measurement based on trigonometric function distance. In *1st International Symposium on Pervasive Computing and Applications*, pages 227–231, Ürümqi, China, aug. 2006.
- [9] R. C. B. Madeo, S. M. Peres, D. B. Dias, and C. Boscaroli. Gesture recognition for fingerspelling applications: an approach based on sign language cheremes. In *12th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pages 261–262, Orlando, USA, 2010.
- [10] R. S. Torres, J. A. M. Zegarra, J. A. Santos, C. D. Ferreira, O. A. B. Penatti, F. Andaló, and J. Almeida. Recuperação de imagens: desafios e novos rumos. In *XXVIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, pages 223–237, Belém, Brasil, jul. 2008.