

Avaliação do desempenho de um procedimento de extração de atributos texturais baseado em Análise de Fourier

EMERSON PRADO LOPES¹
JÚLIO SALEK AUDE²

¹ NCE/UFRJ
Caixa Postal 2324
Rio de Janeiro - RJ - 20001
emerson@barra.nce.ufrj.br

² NCE/UFRJ
Caixa Postal 2324
Rio de Janeiro - RJ - 20001
salek@vidigal.nce.ufrj.br

Abstract. This paper presents a performance analysis of a Fourier-based textural feature extraction procedure. The textural classifications are based in the Euclidian distance method and are accomplished in two experiments. This analysis was done using a software called "Ambiente de Processamento de Sinais e Imagens - APSI" developed for this purpose.

1 Introdução

A automatização da classificação textural de imagens é uma tarefa de difícil execução e de grande interesse, particularmente, para imagens de conteúdo geológico. Para tanto, os métodos de classificação baseiam-se em atributos texturais os quais podem ser obtidos por procedimentos baseados em diferentes abordagens, tais como, Análise de Fourier [Stromberg-Farr (1986)], Estatística de primeira e segunda ordem [Braga (1990)][Haralick (1979)], Morfologia Matemática [Maragos (1987)] e técnicas de processamento espacial [Paradella (1990)].

Neste trabalho é implementado e avaliado um procedimento de extração de atributos texturais baseado em Análise de Fourier. O procedimento busca a exploração das características espaciais da imagem com reflexo no domínio da frequência.

A classificação textural baseada nos atributos extraídos pelo procedimento adotado pode ser feita utilizando-se diversos métodos de classificação. Neste trabalho o método implementado foi o método da distância Euclidiana.

Para execução deste trabalho foi desenvolvido um sistema denominado Ambiente de Processamento de Sinais e Imagens - APSI desenvolvido em linguagem C em microcomputadores do tipo IBM-PC.

As heurísticas do procedimento em uma e duas dimensões são descritas na seção 2. Na seção 3 são descritas as aplicações do procedimento a imagens com texturas consideradas de baixa complexidade. Uma descrição mais detalhada do conteúdo das seções

citadas pode ser obtida em [Lopes (1992)].

2 Procedimento de Extração de Atributos Texturais

As imagens de satélite de conteúdo geológico podem ser vistas como a composição de diferentes contribuições baseadas em fenomenologias diversas [Haralick (1985)]. As leis de formação destas imagens podem ser por demais complexas, principalmente quando são incluídos fenômenos randômicos. No entanto, podem-se identificar algumas contribuições que geralmente estão presentes nestas imagens, como por exemplo, as decorrentes da reflectância das rochas e/ou plantas e da iluminação. As funções intensidades representativas destas componentes podem ser obtidas pela decomposição de imagens por técnicas de processamento de imagens já citadas ou por medições a parte.

No caso particular do procedimento de extração de atributos texturais adotado, é considerado que a imagem é composta de diversos componentes de frequência e que para cada um destes componentes a função imagem pode ser modelada como o produto de duas funções: a função modulação e a função modulada. A função modulação é um atributo textural e a função modulada é a efetiva variabilidade das tonalidades dos pixels relativa a uma dada banda de frequência. O procedimento objetiva extrair a função modulação. Esta função modulação pode ser de maior ou menor complexidade, dependendo do comportamento da variabilidade das tonalidades dos

pixels na imagem para cada uma das componentes de frequência presentes.

O procedimento a ser adotado para extração de atributos texturais de imagens segue a metodologia empregada na demodulação de sinais modulados em amplitude. Por este procedimento, os atributos texturais correspondem às funções modulação das componentes de frequência presentes na imagem. Considere:

$c(x) \rightarrow$ sinal de frequência ω_0 e período $T_0 = 2/\omega_0$.

$x \rightarrow$ a dimensão onde a função é definida.

A definição de $c(x)$ pode ser a seguinte

$$c(x) = \cos(\omega_0 x) = 1/2 (e^{j\omega_0 x} + e^{-j\omega_0 x}).$$

A transformada de Fourier de $c(x)$ é dada por:

$$C(\omega) = 1/2 [\gamma(\omega - \omega_0) + \gamma(\omega + \omega_0)]$$

O sinal $d(x)$, que representa a modulação em amplitude de $c(x)$, pode ser descrito como:

$$d(x) = m(x) c(x) = m(x) \cos(\omega_0 x),$$

onde $m(x)$ é a função modulação que descreve a efetiva variação de amplitude de $c(x)$.

A transformada de Fourier de $d(x)$ é

$$D(\omega) = M(\omega) * C(\omega),$$

onde $*$ é a notação da operação de convolução. Pela propriedade de "shifting" da função delta, $D(\omega)$ pode ser escrita como:

$$D(\omega) = M(\omega - \omega_0) + M(\omega + \omega_0)$$

O objetivo do procedimento é a extração da função modulação. Portanto, seguindo um procedimento análogo ao da demodulação de sinais de amplitude modulada, os seguintes passos são necessários à execução do procedimento:

1. Geração do valor absoluto de $d(x)$, que acentua a diferença entre as frequências do sinal modulado, $c(x)$, e do sinal modulante $m(x)$, aumentando a frequência do sinal modulado;

2. Aplicação da transformada de Fourier sobre o valor absoluto de $d(x)$, de forma a se obter sua representação no domínio da frequência;

3. Filtragem passa-baixa, no domínio da frequência, do resultado do passo anterior;

4. Aplicação da transformada inversa de Fourier no resultado do passo anterior para obtenção do sinal de modulação, $m(x)$, que corresponde ao atributo textural.

No caso de haverem várias frequências moduladas em amplitude na composição do sinal, o primeiro passo do procedimento é antecedido por uma operação de filtragem que seleciona a banda de frequência a ser considerada, de forma semelhante ao que é realizado pelos circuitos de sintonia em rádio-receptores.

Para cada banda de frequência selecionada são, então, realizados os passos já descritos do procedimento, gerando-se, portanto, um atributo textural para cada frequência presente na composição do sinal.

2.1 Aplicação do Procedimento em Duas Dimensões

O produto final do processamento em duas dimensões de interesse do intérprete da imagem é uma imagem classificada texturalmente, ou seja, uma imagem onde as regiões de diferentes texturas estejam discriminadas. Estas regiões se localizam em diferentes partes da imagem, possuem formas próprias e podem se orientar em diferentes direções. A aplicação do procedimento de extração de atributos de forma similar a descrita para o caso de uma dimensão e de um método de classificação permitem a geração deste produto final.

A transformada de Fourier de uma imagem explicita as frequências nela presentes, assim como suas fases e amplitudes. Com base na análise do resultado da aplicação da transformada de Fourier à imagem, são elaborados os filtros circulares passa-banda visando identificar a ênfase relativa das frequências das texturas presentes na imagem.

Considerando imagens de baixa complexidade, a transformada de Fourier explicita indubitavelmente as frequências presentes e contém a informação da distribuição espacial da ênfase em cada banda de frequência. Texturas de baixa complexidade podem ser vistas como as que possuem simetria circular e aquelas em que as relações entre as tonalidades dos pixels podem ser descritas por funções periódicas, mais particularmente pelo somatório de um pequeno conjunto de funções senoidais de mesma fase e com frequências razoavelmente bem espaçadas entre si. Filtros passa-banda elaborados para este caso não precisam ter superposição de bandas e a fuga é praticamente inexistente, pois a separação das frequências das componentes é grande o suficiente.

A textura é o resultado da composição de diferentes componentes de frequência com determinadas

amplitudes e diferenças de fases. Podem-se distinguir na textura duas partes distintas. Uma delas contém o espectro das frequências presentes na textura. A outra parte contém a variabilidade da amplitude e da diferença de fase da textura. Considerando que as diferenças de fase são nulas ou estão englobadas na variabilidade da intensidade, pode-se considerar que a textura é resultado do produto entre as componentes de frequência de amplitude constante ou igual a unidade (portadora) e uma função modulação característica da textura. Sendo assim, recuperando-se esta função da imagem tem-se um atributo textural. O segundo e terceiro passos do procedimento fazem esta recuperação. O segundo passo calcula o valor absoluto de cada imagem resultado das filtragens passa-banda.

O terceiro passo é a aplicação de um filtro circular passa-baixa capaz de isolar as frequências da função modulação. A função modulação possui componentes cujas frequências são baixas se comparadas com as frequências presentes na função modulada. Tal fato é ainda mais acentuado após a realização da operação de valor absoluto. O atributo textural é finalmente extraído, fazendo-se a transformada inversa de Fourier do resultado gerado pela filtragem passa-baixa.

3 Resultados Experimentais

Utilizando-se o Sistema APSI foram realizadas experiências de avaliação do procedimento em duas aplicações.

3.1 Aplicação 1

Nesta aplicação a imagem é composta por três diferentes texturas distribuídas nos quadrantes da imagem na seguinte ordem: 1,2,3,1 como está mostrado na figura 3.1. Estas texturas são compostas pela soma de duas parcelas cada uma delas compostas pelo produto de três componentes: uma constante (amplitude), uma função Gaussiana e uma função cosseno. Nestas texturas as funções cossenos somente diferem em frequência e as funções Gaussianas são idênticas e possuem constantes de decaimento relativamente baixas. Além disso apresentam simetria circular. Desta forma, estas texturas são consideradas de baixa complexidade.

$$\text{TEXTURA 1} = 200 \times \text{Gaussiana} \times \cos 0.3 + 500 \times \text{Gaussiana} \times \cos 0.5$$

$$\text{TEXTURA 2} = 500 \times \text{Gaussiana} \times \cos 0.3 + 200 \times \text{Gaussiana} \times \cos 0.5$$

$$\text{TEXTURA 3} = 500 \times \text{Gaussiana} \times \cos 0.3 + 500 \times \text{Gaussiana} \times \cos 0.5$$

A imagem é de tamanho 256x256 pixels sendo que cada textura ocupa uma região de 64x64 pixels.

Baseado nas transformadas de Fourier da imagem foram definidos os filtros passa-banda que deixam passar frequências angulares 0.3 e 0.5, respectivamente. Neste caso, são criados dois ramos nos quais são realizados os passos seguintes do procedimento, o valor absoluto e a filtragem passa-baixa. Como resultado são obtidas duas imagens atributos as quais correspondem às funções modulação de cada componente de frequência presente na imagem. As figuras 3.2 e 3.3 mostram estas imagens.

Sabendo-se que as assinaturas padrões das texturas presentes na imagem já estão em um banco de assinaturas, pode-se classificar a imagem colocando as imagens atributos como entrada do classificador pixel a pixel implementado no sistema APSI. O resultado desta classificação, que apresentou regiões de erro nas bordas dos quadrantes, é mostrado na figura 3.4.

Os erros ocorridos nas bordas dos quadrantes são atribuídos a um rápido decaimento das funções Gaussianas e/ou a dificuldade da recuperação da função Gaussiana decorrente de sua não-linearidade.

3.2 Aplicação 2

A imagem utilizada nesta aplicação foi a mesma imagem da aplicação 1 substituindo-se a textura 3 do terceiro quadrante por uma textura 4 com as seguintes características:

$$\text{TEXTURA 4} = 500 \times \text{Gaussiana} \times \cos 0.3 + 500 \times \text{Gaussiana} \times \cos 0.5$$

A imagem utilizada nesta aplicação está mostrada na figura 3.5. A textura 4 difere da textura 3 pelo fato de que as constantes de decaimento das duas Gaussianas presentes na textura são diferentes. Isto gera uma variabilidade significativa nas assinaturas pixel a pixel geradas para esta textura e consequentemente uma distorção de sua assinatura padrão.

O procedimento é aplicado à imagem e são obtidas duas imagens atributos mostrados nas figuras 3.6 e 3.7. O resultado da classificação mostrado na figura 3.8 apresentou um erro no quadrante 3, onde a textura classificada foi a textura 2 no lugar da textura 4.

4 Conclusões

Apesar de os resultados obtidos para imagens de baixa complexidade na aplicação 1 terem sido satisfatórios, algumas limitações do procedimento e alguns passos críticos que, se melhorados, podem aumentar a robustez do procedimento foram observados.

A limitação mais importante observada, mostrada na aplicação 2, é o fato de o procedimento requerer, para um desempenho satisfatório, que cada textura presente na imagem possa ser descrita por uma composição de ondas senoidais moduladas por funções que possuam formas semelhantes, de modo que as assinaturas formadas a partir das imagens atributos não apresentem grandes variações ao longo da imagem. Esta restrição implica em que as texturas devam ter suas funções de modulação se desenvolvendo direcionalmente da mesma forma para todas as frequências, como por exemplo ocorre em imagens com simetria circular. Mesmo com esta restrição, uma variação significativa das assinaturas pode ocorrer se as funções de modulação forem acen-tuadamente não lineares.

Um dos passos mais críticos do procedimento é a seleção da largura dos filtros a serem utilizados. Uma alta variação das assinaturas texturais dos pixels ao longo da imagem pode resultar de uma operação de filtragem inadequada. Além do cuidado na seleção da largura do filtro, será interessante investigar com mais detalhe a eficácia da utilização de filtros capazes de recuperar mais fielmente as funções de modulação, tendo em vista a não linearidade das funções que descrevem formas de onda senoidais moduladas em amplitude. Neste tópico, especial atenção deve ser dada à avaliação do desempenho de filtros homomórficos e à utilização de funções de peso.

Na área de classificação será conveniente investigar a aplicabilidade de redes neuronais [Heermann-Khazenie (1992)] [McCormack (1991)]. O uso desta técnica pode reduzir a sensibilidade do classificador às variações das assinaturas dos pixels decorrentes de não linearidades ou leves discrepâncias de forma nas funções de modulação.

Finalmente, resta completar a avaliação do procedimento através de sua aplicação a uma imagem real com conteúdo geológico. Nesta situação, a complexidade natural da imagem exigirá que certamente tenham sido feitos progressos com relação ao processo de filtragem e à robustez do classificador.

5 Referências

- Braga, L.P.V., Geoestatística e Aplicações, *Publicação do 9o. Simpósio Brasileiro de Probabilidade e Estatística, IME-USP* 1990.
- R.M. Haralick, F.B. Campbell and S. Wang, Automatic Inference of Elevation and Drainage Models from Satellite Image, *Proceedings of the IEEE* **73**, No.6, Junho 1985, 1040-1053.
- R.M. Haralick, Statistical and Structural Approaches to texture, *Proceedings of the IEEE* **67**, No.5, maio 1979, pp. 786-804.

- P.D. Heermann and N. Khazenie, Classification of Multispectral Remote Sensing Data Using a Back-Propagation Neural Network, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Processing* **30**, No.1, Janeiro 1992, pp. 81-88.
- E.P. Lopes, Aplicação de Técnicas no Domínio da Frequência ao Problema de Análise Textural de Imagens, Tese de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE/UFRJ, Maio de 1992.
- P. Maragos, Tutorial on Advances in Morphological Image Processing and Analysis, *Optical Engineering* **26**, No. 7, Julho 1987, pp. 623-632.
- M. D.McCormack, Neural Computing in Geophysics, *Geophysics: The Leading Edge of Exploration* Janeiro 1991, pp. 11-15.
- E.M.L.M. Novo, Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações, INPE-SRE/COT/DPA, São José dos Campos, SP 1988.
- W.R. Paradella, Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensores Remotos Aplicado à Geologia, Relatório Técnico do Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE-5023-RPE/616, São José dos Campos, SP, 1990
- W.D. Stromberg and T.G. Farr A Fourier-Based Textural Feature Extraction Procedure *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **GE-24**, No.5, Setembro 1986, pp. 722- 731.

APLICAÇÃO 1

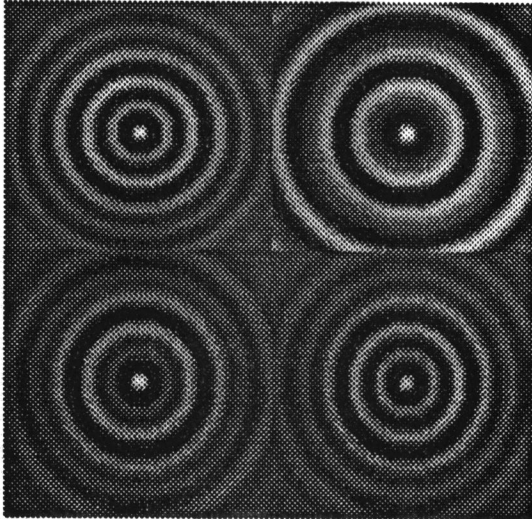


Figura 3.1
Texturas 1, 2, 3, 1

Aplicação 1 : ATRIBUTO #1

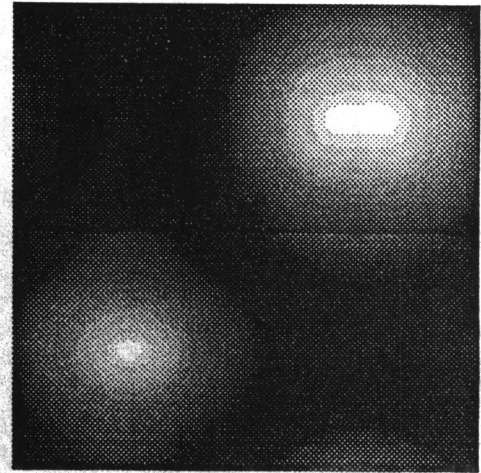


Figura 3.2

Aplicação 1 : ATRIBUTO #2

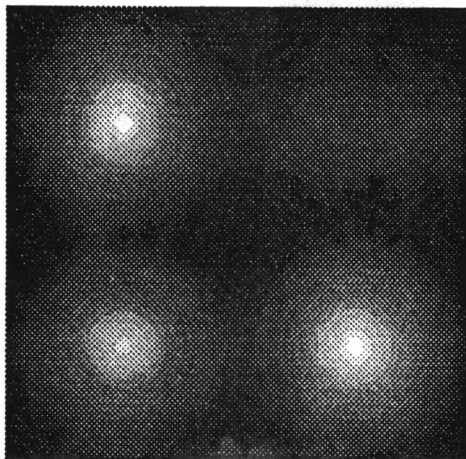


Figura 3.3

CLASSIFICAÇÃO APLICAÇÃO 1

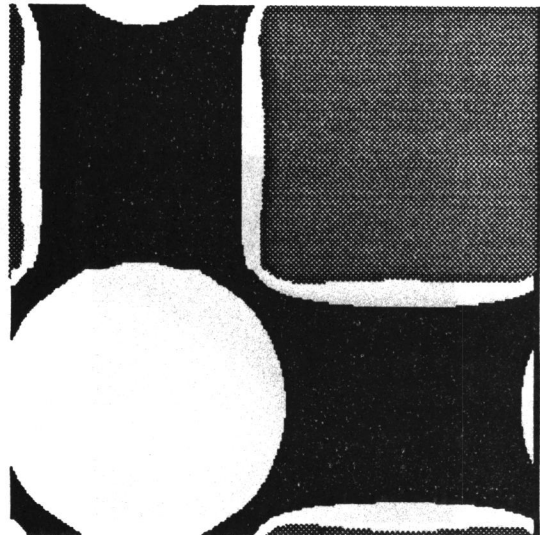


Figura 3.4

dist. Euclidiana = 0.5

preto - textura 1
cinza - textura 2
branco - textura 3

APLICAÇÃO 2

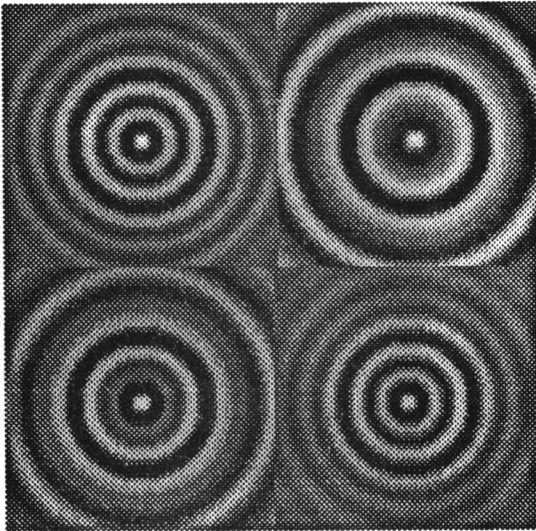


Figura 3.5
Texturas 1, 2, 4, 1

Aplicação 2 : ATRIBUTO #1

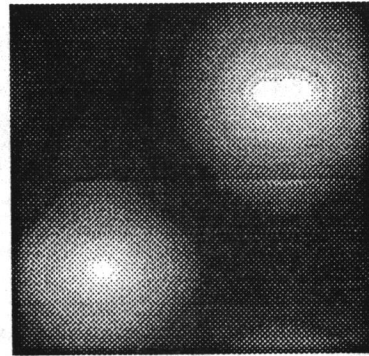


Figura 3.6

Aplicação 2 : ATRIBUTO #2

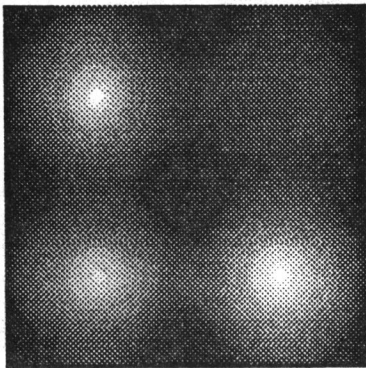


Figura 3.7

CLASSIFICAÇÃO APLICAÇÃO 2

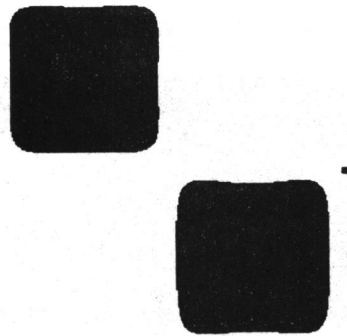


Figura 3.8
dist. Euclidiana = 0.5
preto - textura 1
branco - textura 2