

AVALIAÇÃO DA ESTIMATIVA DE PARÂMETROS PARA MODELOS AR2D APLICADOS NA EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS DE TEXTURA EM IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

GUSTAVO TADEU ZANIBONI¹
LUCIANO VIEIRA DUTRA¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{gustavo, dutra}@dpi.inpe.br

Abstract. This paper compares two parameter estimation methods for texture modeling, based on linear filters excited by white noise, and their usefulness in attribute extraction. The two methods estimate AR2D filter parameters from a texture image. One method uses 2D data (lines or columns and ACF2D) concatenated into a one-dimensional time series, an AR estimator and the mapping of 1D parameters into 2D space. The other method estimates the AR2D parameters directly from 2D data. A comparison between these methods in application to synthetic data was performed and white noise resultant from the inverse filter process was analyzed.

Keywords: ar, ar2d, parameter estimation, attribute extraction, texture.

1. Introdução

Com a quantidade crescente de imagens de sensoriamento remoto disponíveis atualmente, métodos de análise e classificação dessas imagens com maior eficácia são cada vez mais necessários. Especificamente, imagens com componentes de textura heterogênea apresentam dificuldades adicionais na classificação automática baseada em sistemas de computação. Isso ocorre devido principalmente à incapacidade dos métodos tradicionais incorporarem esse tipo de informação.

Uma abordagem que se apresenta satisfatória para resolver o problema da classificação de imagens com componentes de textura foi apresentada por Dutra (1990) e tem seu modelo utilizado nesse trabalho. Nessa abordagem, cada textura (T_i) distinta em uma imagem (x) é encarada como a saída de um filtro linear particular (H_i), excitado por um ruído branco gaussiano (u_i) de média zero e variância σ^2 conhecida. Sabendo-se o filtro para uma determinada textura, aplica-se uma filtragem inversa na imagem, e finalmente, utiliza-se o ruído branco gaussiano como atributo daquela textura, ao invés da própria imagem.

Obviamente, esse modelo para a textura é aproximado. Além disso, cada filtro H_i deve ser estimado a partir dos dados e é, ainda, apenas uma aproximação do suposto filtro verdadeiro. Assim, aplicando a filtragem inversa à imagem por esse filtro, obtém-se apenas uma estimativa do ruído branco gaussiano de entrada (u_i'), que será chamada de **resíduo**. Esse resíduo, por sua vez, não é exatamente um ruído branco gaussiano no caso geral, mas apresenta características tão próximas a ele quanto o filtro H e o método de estimação para seus parâmetros a partir da imagem forem bons.

A utilização desses atributos (u_i) obtidos pela filtragem inversa da imagem (x) para cada Textura (T_i) num procedimento de classificação baseado no ML multicanal, onde cada canal é composto pelo resíduo u_i , apresentou-se muito melhor do que o mesmo procedimento utilizado diretamente na imagem original (Dutra, 1990).

No trabalho de Dutra (1990), foram utilizados basicamente filtros ARMA2D, que são os filtros lineares mais genéricos. No entanto, a estimação de parâmetros para esse tipo de filtro é

bastante complicada, e problemas na estimação para esse tipo de filtro ocorrem com frequência. No trabalho de Dutra (1990), a solução encontrada para a estimação dos parâmetros é baseada na concatenação de linhas ou colunas das imagens, estimação de parâmetros para uma série unidimensional concatenada e posterior mapeamento desses coeficientes para o plano. Mesmo a estimação de parâmetros para a série unidimensional ainda apresenta alguns problemas, mas existe uma maior variedade de métodos para essa estimação do que para o caso 2D. O mesmo procedimento de estimação de parâmetros foi utilizado por Filgueiras (1998) na síntese de texturas, porém para filtros AR2D. Além disso, uma variante baseada concatenação da função de autocorrelação bidimensional (FAC2D), foi apresentada, e obteve resultados experimentais melhores que a simples concatenação de linhas ou colunas.

Por outro lado, a estimação dos parâmetros para filtros AR2D não apresenta os problemas do sistema geral (ARMA2D), pois a solução nesse caso é linear. Assim sendo, esse artigo apresenta a estimação do filtro AR2D sem concatenação e sua comparação com os métodos concatenados (linhas ou colunas e FAC2D) na geração de resíduos (u_i') para posterior utilização num procedimento de classificação.

Note que nesse trabalho não são avaliadas a efetiva aplicação desses filtros na classificação, nem tampouco sua escolha, mas sim o processo de estimativa dos parâmetros para modelos escolhidos e supostamente corretos, imaginando que eles serão utilizados na abordagem de extração de atributos por filtragem inversa. Para esse tipo de avaliação, são comparados os resultados obtidos pelos estimadores para filtros conhecidos (sintéticos) e também quão próximos de ruídos brancos são os resíduos obtidos pela filtragem inversa usando os parâmetros obtidos por cada estimador.

2. Estimativa de parâmetros para modelos AR2D usando concatenação

Proposto por Dutra (1990) para modelos ARMA2D e implementado também por Filgueiras (1999) para modelos AR2D, esse método usa o fato de que a estrutura de autocorrelação levantada sobre uma série 1D concatenada (usando tamanho de segmentos suficientemente grande) é equivalente a estrutura de autocorrelação 2D, porém apresentada em formato sazonal. Além disso, existe um mapeamento dos índices concatenados para os índices sobre o plano (2D) que também distribui os parâmetros de um modelo ARMA ajustado sobre a FAC concatenada.

Dessa forma, foi proposta uma metodologia de se ajustar um modelo 1D sobre a série concatenada com sua ordem suficiente para compreender o número de linhas que a região de suporte desejada contém. A partir desse ajuste inicial, um procedimento de mapeamento entre as coordenadas 1D para 2D é realizado. Na literatura existem vários métodos para estimativa unidimensional de parâmetros AR, entre eles, o de Mínimos Quadrados (LS) e o de Máxima Verossimilhança (ML). Filgueiras (1999) utilizou em seu trabalho o método LS, que obtém a estimação através da substituição, nas equações de Yule-Walker, das correlações teóricas estimadas (Kay, 1988). Ainda no trabalho de Filgueiras (1999), outra metodologia utiliza a função de autocorrelação espacial (FAC2D). A FAC2D é concatenada em termos de intervalos (lags), produzindo uma seqüência linear. Esse procedimento procura evitar que valores de correlações indesejadas - que podem ser geradas na simples concatenação das linhas e colunas - sejam utilizados no processo. O procedimento de estimação é semelhante ao descrito para linhas e colunas, exceto pela utilização da FAC2D para as estimativas utilizadas no LS. Essa metodologia será uma das avaliadas nesse trabalho, já que apresenta melhores resultados quando comparada com a concatenação de linhas e colunas.

Um programa na linguagem IDL que implementa essa metodologia foi produzido por Filgueiras (1999) e foi utilizado nesse trabalho.

3. Estimativa de parâmetros para modelos AR 2D usando a equação de Yule-Walker 2D

Zang et. al. (1991) apresentaram um método para estimação espectral de modelos ARMA2D. Nesse método, na etapa de estimação de parâmetros para o modelo AR2D, uma nova versão das equações de Yule-Walker 2D modificadas é apresentada, para a qual existem algoritmos eficientes para resolução. Nesse trabalho, essas equações são utilizadas como o segundo método de estimação, baseado diretamente na imagem (x).

O detalhamento e a demonstração dessa metodologia podem ser estudados diretamente no trabalho de Zang et. al. (1999), mas em linhas gerais, é utilizada uma variação das equações de Yule-Walker 2D modificadas, que são do tipo

$$\Phi a = \varepsilon \quad (1)$$

onde Φ é uma matriz *block Toeplitz* cujos elementos são sub-matrizes contendo as covariâncias (r) estimadas.

Devido a estrutura simples de ε e a característica *block Toeplitz* de Φ , a solução de (1) pode ser facilmente computada.

4. Procedimentos de avaliação

Para avaliar o comportamento de cada um dos estimadores o programa citado na seção 2 foi adaptado e alterado para compreender também o método 2D, e realizar o diagnóstico do resíduo e a filtragem inversa apenas sobre uma área de treinamento do modelo.

Dessa forma, foram comparados o método baseado na concatenação da FAC2D com o método 2D, uma vez que o método baseado na simples concatenação de linhas e colunas já se apresentou pior do que a concatenação da FAC2D.

Para comparar o desempenho dos estimadores será utilizado um procedimento simples, baseado na análise dos resíduos obtidos pela filtragem inversa realizada em imagens-teste pelos modelos estimados a partir delas. Verificando o comportamento desses resíduos pode-se verificar qual estimador obteve um resíduo com menor variância, mais próximo de um ruído branco e provavelmente melhor para ser utilizado como atributo num posterior processo de classificação, além de verificar se o método 2D é adequado ao procedimento.

Dessa forma, os passos para a análise são os seguintes :

- i- Seleciona-se uma área de treinamento para modelo, numa região com texturas de mesma classe.
- ii- Estima-se os parâmetros para um modelo AR2D pelo método de concatenação (da FAC2D) e pelo método 2D.
- iii- Obtêm-se os resíduos pela filtragem inversa para os modelos estimados.
- iv- Verifica-se a energia e o comportamento desses resíduos

5. Resultados Obtidos

Para avaliar os resultados obtidos pelos estimadores, com base na estrutura proposta acima, foram sintetizadas 50 imagens-teste, a partir de 50 realizações de ruídos brancos gaussianos com média zero e variância unitária, utilizando um filtro AR2D e m suporte quarto de plano (QP) conhecido.

A utilização de imagens sintéticas com parâmetros conhecidos serve ainda para verificar se os parâmetros estimados pelo método 2D estão próximos do modelo original.

A partir dessas imagens foram estimados os parâmetros para um filtro AR2D 3x3 pelos dois métodos. A **tabela 1** mostra os valores médios para os parâmetros nas 50 realizações.

Tabela 1 – Parâmetros estimados

Imagem	Verdade (imagem-teste)			FAC2D Concatenada			2D		
	1.000	-1.100	0.300	1.000	-1.034	0.251	1.000	-1.056	0.268
Parâmetros	-1.500	1.650	-0.450	-1.369	1.412	-0.335	-1.398	1.471	-0.379
	0.560	-0.616	0.168	0.442	-0.452	-0.098	0.459	-0.479	-0.123
S ² do resíduo	1.00			18.325			17.129		

Com base nos resultados obtidos, e como era esperado, pode-se indicar que o método 2D é uma boa alternativa para a estimação de parâmetros para modelos de séries temporais AR2D, comparando-se ao estimador que usa concatenação da FAC2D, que por sua vez já apresenta melhores resultados que a concatenação de linhas e colunas.

No entanto, esse resultado é também uma indicação que o procedimento concatenado apresenta resultados muito próximos ao obtido pelo 2D.

Utilizando os parâmetros estimados, foram realizadas as filtragens inversas em cada imagem-teste utilizada na estimação dos parâmetros. O comportamento médio dos resíduos obtidos pelos dois métodos foi satisfatório, obtendo resíduos próximos a um ruído branco gaussiano. Para exemplificar esse resultado, um caso particular é apresentado a seguir. A **Figura 1** mostra a FAC de um ruído branco que foi a entrada para o filtro conhecido acima, e que gerou uma imagem-teste particular. A partir dessa imagem, foram estimados os parâmetros por cada um dos métodos e o filtro inverso foi aplicado, originando dois resíduos (um para cada método). A **Figura 2** mostra esses resíduos.

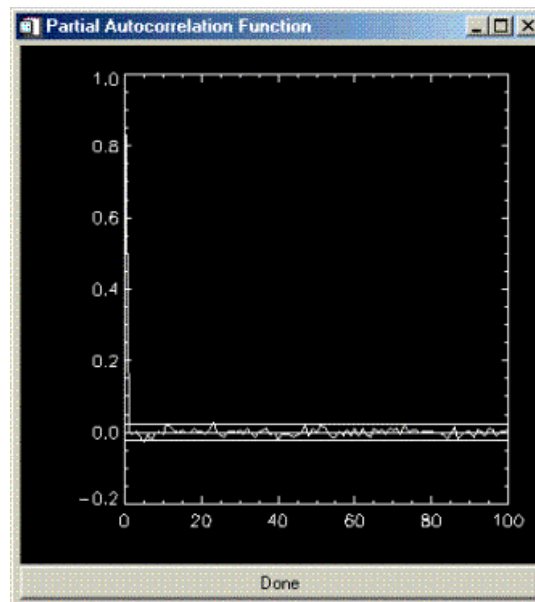


Figura 1 - Ruído gerador original

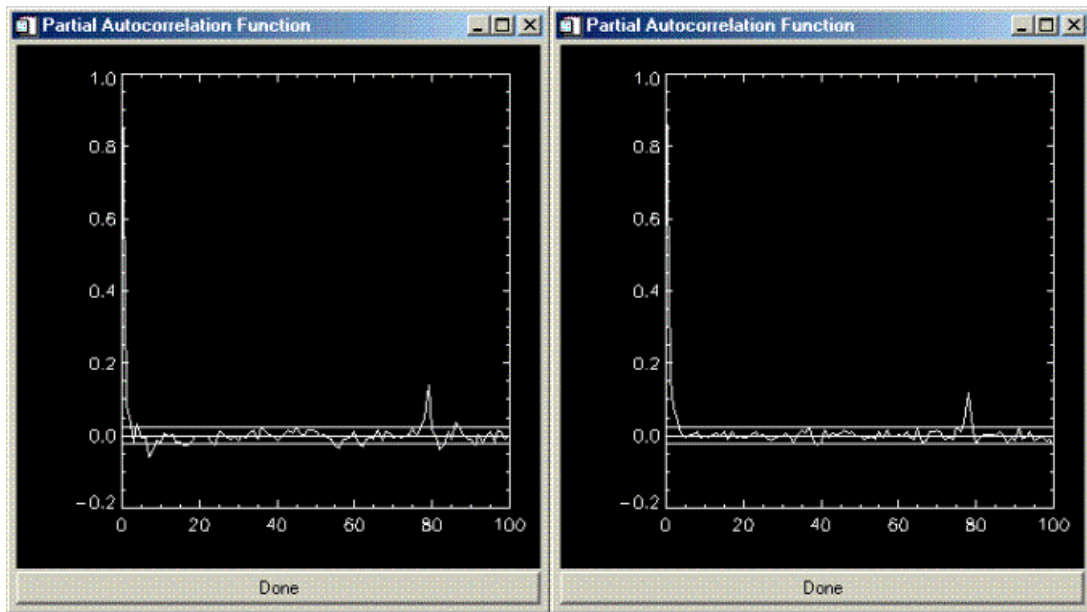


Figura 2 – Resíduos obtidos por filtros estimados usando concatenação da FAC2D e 2D

Para melhor avaliar os resíduos, considere melhores os resíduos que se mantiverem dentro do intervalo determinado nos gráficos. O resíduo obtido pelo método 2D comporta-se ligeiramente melhor para esse caso particular, mas ambos tem uma performance boa, ficando praticamente dentro do intervalo para quase todos os Lags.

Concluindo, ambos os métodos apresentam-se satisfatórios para a estimação dos parâmetros e para a geração dos resíduos para imagens geradas por modelos AR2D reais. A validade desses métodos para imagens de sensoriamento remoto está em estudo, bem como a utilização de outros tipos de filtros.

6. Referências Bibliográfica

- Dutra, L.V. Classificação de texturas usando modelos ARMA e distâncias da função de autocorrelação. São José dos Campos. (INPE-5067-TDL/406). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990, 136 p.
- Filgueiras, E.Q. Síntese de Textura Utilizando Modelos Estatísticos Espaciais. São José dos Campos. (INPE-7499-TDI/714). Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998, 182 p.
- Kay, S.M. Modern spectral estimation: theory and application. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1988, 543 p.
- Zhang, X.D. and Cheng, J. High Resolution Two-Dimensional ARMA spectral Estimation. (IEEE Trans. on Signal Processing, Vol 39, no. 3, March 1991, 765-770)