

Comparação entre dois Métodos de Estimação de Parâmetros para Modelos AR2D Aplicados a Extração de Atributos de Textura

Gustavo Tadeu Zaniboni^{*,1}, Luciano Vieira Dutra^{**,1}

(1) Divisão de Processamento de Imagens (DPI)

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

(*) Doutorado, Bolsa CNPq, e-mail: gustavo@dpi.inpe.br (**) Orientador

Resumo

Na utilização de modelos autorregressivos bidimensionais (AR2D) de séries temporais para extração de atributos de textura em imagens de sensoriamento remoto, um ponto chave a ser considerado é a estimação dos parâmetros para o modelo escolhido para cada classe de textura. Como essa abordagem considera cada textura como o resultado de um filtro linear excitado por um ruído branco gaussiano conhecido, uma das maneiras de verificar a adequação de cada metodologia de estimação de parâmetros é a análise sobre o resíduo obtido pela filtragem inversa da textura pelo modelo estimado. Caso o modelo seja adequado, o ruído deve apresentar-se aproximadamente como um ruído branco gaussiano. Mesmo em modelos que não representam bem a textura, espera-se que um melhor método de estimação resulte em um ruído com menor variância. Esse trabalho restringe-se a fase de estimação de parâmetros, e compara os resultados de duas metodologias, ambas para modelos AR2D. Uma delas utiliza a concatenação de linhas e colunas ou da ACF2D da série 2D gerando um modelo 1D que tem seus parâmetros estimados e mapeados de volta para um modelo 2D, com suporte TNSHP. A outra trabalha diretamente na série 2D com suporte QP, resolvendo as equações de Yule-Walker 2D modificadas. Os resultados obtidos com as metodologias para uma imagem-teste sintética com parâmetros conhecidos são apresentados e discutidos.

Palavras-Chave: AR2D, Textura, Séries Temporais, Sensoriamento Remoto, Radar, Imagens

Introdução

Modelos AR2D podem ser utilizados para caracterizar texturas em imagens de sensoriamento remoto. Na abordagem prevista nesse trabalho, cada textura na imagem é modelada como a saída de um filtro linear excitado por um ruído branco gaussiano de média e variância conhecidas. De maneira geral, após estimados os parâmetros do filtro, é realizada uma filtragem inversa na imagem original e obtém-se um resíduo, que deve ser uma aproximação do ruído branco que excita o filtro para aquela textura. Quão melhor esse modelo represente a imagem, mais próximo de um ruído branco será o resíduo para texturas casadas com a que gerou o filtro. Os resíduos obtidos pela filtragem inversa usando os modelos casados com cada uma das classes são posteriormente usados como atributos para algum tipo de classificação [1,2].

Nesse trabalho, não é avaliada a aplicação desses modelos, sua escolha, nem tão pouco a classificação, mas sim o processo de estimativa dos parâmetros para modelos 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 modelos conhecidos (sintéticos) e também quão próximos de ruídos brancos são os resíduos obtidos pela filtragem inversa usando os parâmetros obtidos por cada estimador.

São dois os estimadores avaliados nesse trabalho. Um deles tem pelo menos duas variantes, usando modelos unidimensionais concatenados com os parâmetros mapeados para os respectivos modelos 2D e o outro estimando os parâmetros diretamente na série 2D.

Dutra [1] apresentou um método para identificação de modelos completos ARMA2D baseado na concatenação de linhas ou colunas da imagem, análise unidimensional da série concatenada e posterior mapeamento dos coeficientes estimados. Filgueiras [2] utilizou o método proposto por Dutra [1] baseado em modelos puramente autorregressivos (AR). Além disso, apresenta a utilização da função de autocorrelação concatenada ao invés das linhas ou colunas, o que evita a acumulação de erros resultante da simples concatenação das linhas ou colunas e resulta em um melhor resultado [2].

Zang et. al. [4] 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. Para esse trabalho, essas equações são utilizadas como o segundo método de estimação.

Note então que são comparados o método baseado na concatenação da ACF2D com o método 2D, e para isso será utilizado um procedimento simples, baseado na análise dos resíduos obtidos pela filtragem inversa da imagem-teste pelo modelo estimado a partir dela. 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 adequa-se ao procedimento.

Estimativa de parâmetros para modelos AR2D usando concatenação

Proposto por Dutra [1] para modelos ARMA2D e implementado também por Filgueiras [2] 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 ACF 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[2] utilizou em seu trabalho o método LS, que obtém a estimação através da substituição, nas equações de Yule-Walker, das correlações teóricas estimadas [3]. Ainda no trabalho de Filgueiras [2], outra metodologia utiliza a função de autocorrelação espacial (ACF2D). Essa ACF2D é então 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 ACF2D 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 [2].

Um programa na linguagem IDL que implementa essa metodologia foi produzido por Filgueiras[2] e foi utilizado para esse trabalho.

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

O detalhamento e a demonstração dessa metodologia podem ser estudados diretamente no trabalho de Zang et. al. [4], 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 submatrizes 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].

Esse procedimento é utilizado para estimar os parâmetros do modelo AR2D. O programa já citado na seção anterior foi adaptado e alterado para compreender esse método e realizar o diagnóstico do resíduo e a filtragem inversa apenas sobre a área de treinamento do modelo.

Resultados Obtidos

Para avaliar os resultados obtidos pelos estimadores, é adotado um procedimento de análise dos parâmetros obtidos para cada modelo e dos resíduos obtidos pela filtragem inversa na imagem-teste. Foi sintetizada uma imagem-teste a partir de um ruído branco gaussiano com média zero e variância unitária, utilizando um filtro AR2D QP conhecido. A utilização de uma imagem sintética com parâmetros conhecidos procura verificar se os parâmetros estimados pelo método 2D estão próximos do modelo original. Esse procedimento serve também como validação para o novo estimador, o que não se faz necessária para o método concatenado que já foi validado em outros trabalhos [1,2].

Assim, os passos para a análise são os seguintes :

1. Seleciona-se uma área de treinamento do modelo, numa região com texturas de mesma classe.
2. Estima-se os parâmetros para um modelo AR 2D pelo método de concatenação (da ACF2D) e pelo método 2D.
3. Obtém-se os resíduos pela filtragem inversa para os modelos estimados.

4. Verifica-se a energia e o comportamento desses resíduos

A Figura 1 apresenta as PACFs para os ruídos geradores (original e resíduos obtidos pela filtragem inversa). Pode-se notar que o comportamento do resíduo para o modelo 2D (c) acomoda-se bem dentro do intervalo de confiança, o que também ocorre com o resíduo obtido pelo método concatenado (b), como já era esperado pelos resultados de Filgueiras [2].

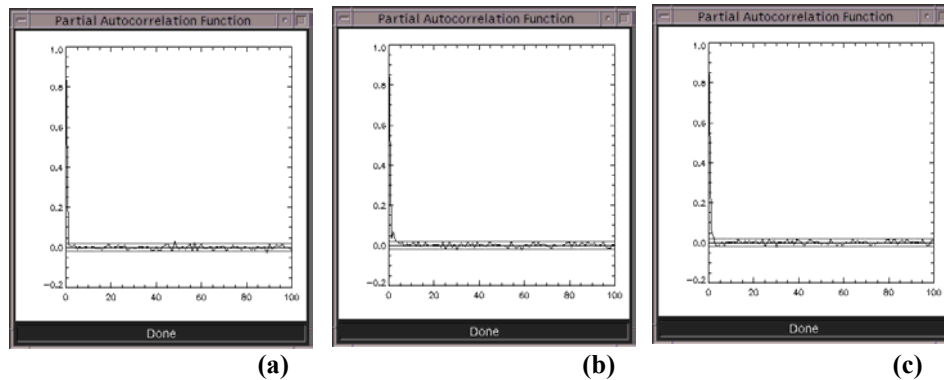


Figura 1 - Comparação das PFACs para os ruídos geradores: (a) Ruído gerador, (b) Concatenado ACF e (c) 2D

Além disso, avaliando a Tabela 1, pode-se notar que os parâmetros obtidos pelos dois métodos são próximos entre si e com relação aos parâmetros verdadeiros. Isso aponta para a confirmação dos resultados obtidos anteriormente [1,2] e para a validação do método 2D. Note ainda que a estimação 2D é um pouco mais precisa para este caso. A variância do resíduo obtido pelo método 2D também é ligeiramente menor (ou seja, melhor) do que a obtida pelo método concatenado, mas não se pode dizer que essa diferença é significativa..

Tabela 1 - Comparação dos resultados

Imagem	Verdade (imagem-teste)			2D Concatenada (ACF)			2D QP		
	1.000	-1.100	0.300	1.000	-1.032	0.251	1.000	-1.053	0.266
Parâmetros	-1.500	1.650	-0.450	-1.367	1.410	-0.331	-1.392	1.463	-0.362
	0.560	-0.616	0.168	0.445	-0.431	-0.096	0.449	-0.462	-0.109
Variância do Ruído gerador	0.99			1.04			1.01		

Dessa forma, com base nos resultados obtidos, pode-se apenas indicar que o método 2D QP é uma alternativa viável para a estimação de parâmetros para modelos de séries temporais AR2D, comparando-se ao estimador que usa concatenação da ACF2D, que por sua vez já apresenta melhores resultados que a concatenação de linhas e colunas.

Referências Bibliográfica

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Kay, S.M. **Modern spectral estimation: theory and application**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1988, 543 p.
- [4] 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)