

TÉCNICA DE DETECÇÃO DE BORDAS PARA CLASSIFICAÇÃO DE AMOSTRAS

W.K. Takahashi, R. Kumar e A.W. de Carvalho Filho

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

RESUMO

Em muitas aplicações de sensoriamento remoto, a classificação de suas imagens pode ser feita através dos processos "por campo" ou por "região". O problema principal na classificação de região é a determinação através de computador dos limites dos campos. Inicialmente os "pixels" serão divididos por uma rede (hipotética) em pequenos grupos. No primeiro nível do teste, cada grupo será convertido numa entidade de chamada "célula", contanto que ele satisfaça um critério fraco de homogeneidade. Uma vez verificado que a célula é homogênea, ela é classificada usando-se a regra de decisão de máxima verossimilhança generalizada, admitindo-se que as densidades de probabilidade dos "pixels" da célula são independentes.

I - INTRODUÇÃO

Em muitas aplicações de sensoriamento remoto, a classificação de suas imagens pode ser feita através dos processos "por campo" ou por "região". Classificadores de campo são mais poderosos do que classificadores "pixel por pixel" (elemento de imagem por elemento de imagem), no sentido de que levam em conta não somente a resposta média dos pixels, dada pelo vetor médio, mas também suas variâncias, dadas pela matriz de covariância.

O problema principal na classificação por região é o da determinação, no computador, dos limites dos campos.

O algoritmo que se segue, de determinação de limites re-
tangulares fechados, foi desenvolvido no INPE para ser usado em tempo
real no analisador de imagens IMAGE-100. A teoria básica e o método se-
guido no desenvolvimento do algoritmo foram tirados de Ketige Landgrebe
(1975)¹.

II - MATERIAIS E MÉTODOS

II.1 - Generalidades

Não é possível, em geral, desenvolver um algoritmo de de-
terminação de limites que seja isento de erros. Em primeiro lugar, há
uma certa dose de ambiguidade na definição das partições "verdadeiras",
por razões naturais, tais como "pixels" que incluem os dois lados de u-
ma linha divisória do terreno, ou ambiguidade nas próprias divisórias.
Em segundo lugar, dois tipos principais de erros de decisão podem ocor-
rer, levando a:

- (1) divisórias falsas, e
- (2) divisórias que se perdem no processo de análise.

A abordagem básica adotada consiste de dois "níveis" de
testes, desenvolvidos por Rodd (1972)². Inicialmente os "pixels" são di-
vididos por um reticulado (hipotético) em pequenos grupos de quatro, por
exemplo. No primeiro nível de teste, cada grupo é tomado como uma unida-
de, chamada "célula", desde que satisfaça a um critério brando de homo-
geneidade. Aquelos grupos que forem rejeitados o terão sido, presumivel-
mente, por incluírem os dois lados de uma divisória, e seus "pixels" in-
dividuais sofrerão uma classificação gaussiana "pixel por pixel" de má-
xima verossimilhança. Tais grupos são chamados "células singulares". Nes-
te nível, é normalmente desejável que a taxa de rejeição seja razoavel-
mente baixa, por coerência com a probabilidade "a priori", relativamen-
te alta, de que cada grupo é homogêneo. O objetivo, neste nível, é de-
tectar tantos "pixels" quanto possível, que estejam ao longo das divisõ-
rias sem necessariamente serem conexos.

No segundo nível, cada célula é comparada com um "campo" adjacente, que é o agrupamento de uma ou mais células conexas, previamente reunidas. Se as duas amostras parecerem estatisticamente similares, dentro de um critério adequado (que será descrito mais adiante, neste trabalho), elas são reunidas numa só. Caso contrário, a célula é comparada a um outro "campo" adjacente, ou passa a ser considerada um "campo" novo. Pela anexação sucessiva de células adjacentes, cada "campo" se expande até atingir seus limites naturais, onde a taxa de rejeição aumenta abruptamente, cessando a expansão. O "campo" é então classificado, por um classificador de amostras, e sua classificação é atribuída a todos os "pixels" que o constituem.

No INPE, há dois classificadores de amostras^{3,4}, baseados na distância de Bhattacharyya e na abordagem da "máxima verossimilhança generalizada", disponíveis em tempo real no IMAGE-100. Esta última abordagem tem a importante vantagem de poder ser implementada "sequencialmente"; isto é, basta o acesso aos dados brutos uma única vez e na mesma ordem em que eles estão armazenados na fita.

II.2 - Critério de Homogeneidade para a Seleção de Células

Supondo uma distribuição gaussiana multivariada para as classes, uma estatística útil para a seleção de células é dada por:

$$Q_j(Y) = \text{tr}(C_j^{-1} \sum_{i=1}^m (Y_i Y_i^t)) - 2M_j^t C_j^{-1} \sum_{i=1}^m Y_i + m M_j^t C_j^{-1} M_j \quad (1)$$

onde j é tal que

$$\ln p(Y|V_j) = \max_i \ln p(Y|V_i) = \max_i - 0.5(m \cdot \ln |2\pi C_i|) + Q_i(Y) \quad (2)$$

onde \ln = logaritmo natural

- tr = traço da matriz (i.e., a soma dos elementos da diagonal);
- \tilde{C}_j^{-1} = inversa da matriz covariância de classe j (estimada a partir das amostras de treinamento);
- m = número de "pixels" na célula considerada;
- Y_i = vetor de resposta de um "pixel" da célula;
- ' = apóstrofo para indicar a matriz transposta;
- \underline{M}_j = vetor médio das respostas da classe j (estimado a partir das amostras de treinamento);
- $P(Y|V_i)$ = probabilidade de Y pertencer à classe V_i , supondo que são independentes as probabilidades dos "pixels" da classe V_i dentro de Y.

A regra de decisão é aceitar a hipótese que Y é homogêneo se $Q_j(Y) < c$, onde c é um limiar pré-especificado, selecionado pelo analista para cada classe. Caso contrário, a hipótese é rejeitada.

Futuros melhoramentos deste algoritmo incluirão a seleção automática de c por computador, baseada nas amostras de treinamento de cada classe. Este critério tem a vantagem particular de tender a rejeitar não só as células heterogêneas (não homogêneas) mas, também, as células "irreconhecíveis". (Por células "irreconhecíveis" entenda-se aquelas que representam classes espectrais as quais o classificador não foi treinado a reconhecer). Outra vantagem deste critério é a de que, por usar a função de verossimilhança logarítmica⁵, ele é especialmente compatível com o critério de anexação supervisionada e com o classificador GML (máxima verossimilhança generalizada) de amostras.

II.3 - Classificação de Células

Seja X uma amostra de um campo, e Y uma célula adjacente. Se tiver sido achada uma célula que satisfaz o critério de homogeneidade (ver II.2), ela é classificada como se segue:

$$\Lambda = \frac{\max_i (p(X|V_i) p(Y|V_i))}{(\max_i p(X|V_i)) (\max_j p(Y|V_j))} \quad (3)$$

ou

$$\begin{aligned} \ln \Lambda &= \max_i (\ln p(X|V_i) + \ln p(Y|V_i)) - \\ &- \max_i (\ln p(X|V_i)) - \max_i (\ln p(Y|V_i)) \end{aligned} \quad (4)$$

A célula é colocada na classe para a qual $\ln \Lambda$ for máximo e maior do que um determinado limiar, especificado pelo analista.

III - EXEMPLO DE USO DOS PROGRAMAS DE PARTICIONAMENTO

III.1 - Descrição do Uso dos Programas

Inicialmente, escolheram-se 3 classes a serem classificadas: água (tema 1), vegetação (tema 2) e área urbana (tema 3), pelo fato de se tratar da região litorânea de Caraguatatuba, S.P. Para a tomada das características estatísticas destas classes (matrizes de covariância e vetor médio) utilizou-se o programa MAXVER 01.

O programa MAXVER 00 é utilizado apenas para indicar o número de canais (quatro) e será feita uma nova sessão de classificação ou não.

A seguir, foi acionado o programa IMAP 04. Inicialmente, tomou-se a célula (menor elemento a ser classificado) com dois "pixels", para melhor precisão. Tendo sido associadas as classes aos temas, aquelas foram consideradas como equiprováveis. Para o limiar da razão de máxima verossimilhança tomou-se o valor dois (2), se bem que poderia ter sido utilizado qualquer valor no intervalo (0.1, 10) sem alterar apreciavelmente o resultado. O mesmo pode ser dito a respeito das probabili

dades associadas às classes neste caso, exceto que valores muito baixos (perto de zero) podem provocar erro.

Os limites de homogeneidade das classes foram considerados como tendo o valor 1000, inicialmente. Como a vegetação predominava, relativamente às outras classes, baixou-se o seu limite para 500 e, após verificar que a classificação estava razoável, para uma pequena área da tela, significativa quanto ao fato de representar bem as características da imagem, fez-se a classificação para a tela toda. A Fig. 1 mostra a imagem original e a Fig. 2 o resultado da classificação.

III.2 - Problemas Básicos

Existem dois problemas principais: a escolha das regiões da tela, que representarão as classes, pelo programa MAXV 01, e o ajustamento dos limites de homogeneidade para estas classes no programa IMAP 04.

No primeiro, a escolha das regiões de treinamento deve ser feita com cuidado para tomar as regiões da tela, pelo cursor, que representem bem as características de cada futura classe.

No segundo, cuja solução é por tentativas, verificou-se que um bom método é colocar o limite de homogeneidade igual para todas as classes (valor aconselhado igual a 1000) e, se alguma delas predominar sobre as outras, este limite deve ser reduzido à metade e, se ainda houver problema, o que é raro ocorrer, reduz-se o mesmo de 200 em 200. Se algum tema não for classificado, deve-se neutralizar o programa MAXV 01, retreinando a classe considerada. Neste caso têm-se duas opções: ou se adiciona uma nova região de treinamento à antiga ou se cria uma nova classe em substituição à antiga. Na prática o segundo método é o mais eficaz.

BIBLIOGRAFIA

1. R.L. Kettig and D.A. Landgrebe, "Computer Classification of Remotely Sensed Multispectral Image Data by Extraction and Classification of Homogeneous Objects", LARS Information Note 050975, Laboratory for Applications of Remote Sensing (LARS), Purdue University, W. Lafayette, Indiana, 1975.
2. E.M. Rodd, "Closed Boundary Field Selection in Multispectral Digital Images", IBM Publication NQ 320.2420, Jan. 1972.
3. R. Kumar, "Feature Selection Algorithm", in Collection of Relevent Results Obtained with the Skylab Images by the Institute for Space Research, INPE-792-NTE/043, São José dos Campos, SP, Brazil.
4. R. Kumar, "Feature Selection and Sample Classification Algorithms of INPE", Sixth Annual Remote Sensing of Earth Resources Conference Proceedings, March 29-31, 1977.
5. Velasco, F.R.D.; Prado, L.O.C. e Oliveira, R.C.M., "Sistema MAXVER: Manual do Usuário", INPE-1315-NTI/110, São José dos Campos, SP, Brasil, Julho de 1978.

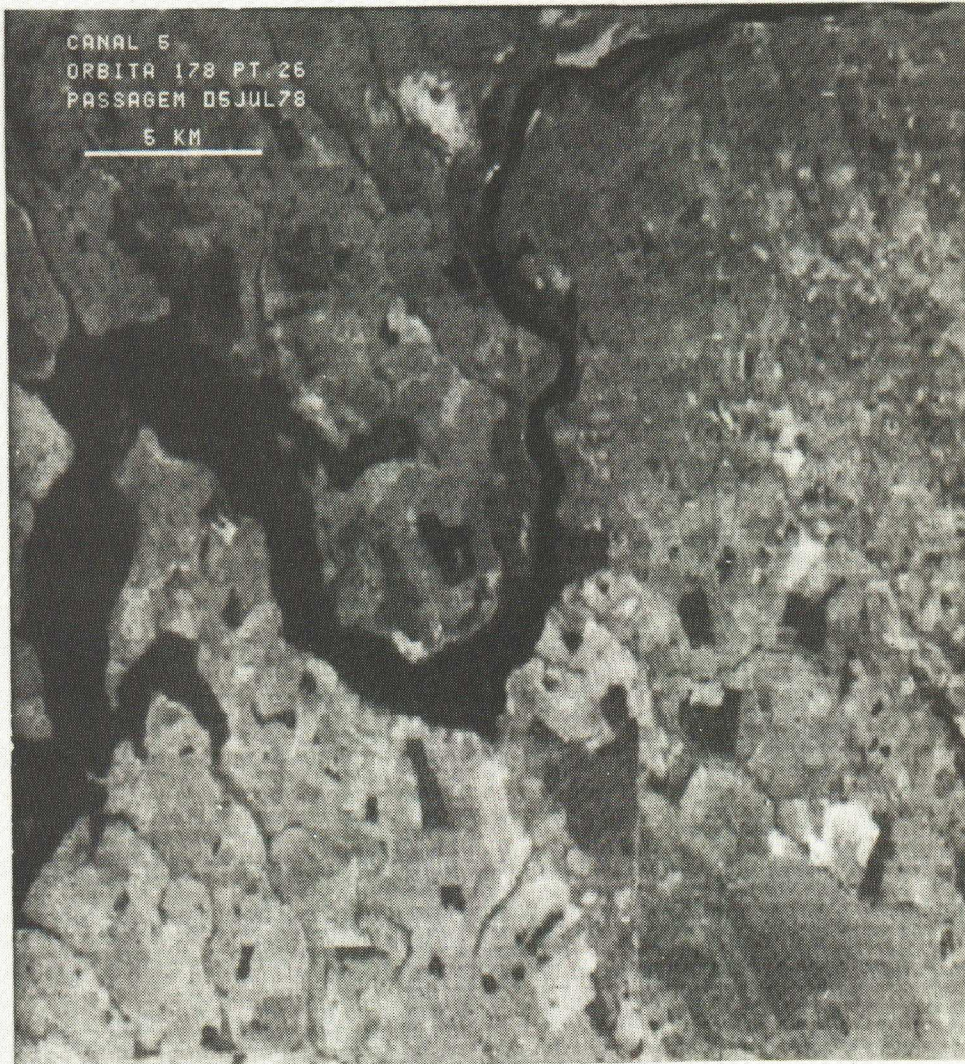


Fig. 1 - Imagem Original de Caraguatatuba, SP.



Fig. 2 - Resultado da Classificação.