

AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO QUANTITATIVA DE SEGMENTAÇÕES POR MEIO DO ÍNDICE IAVAS

JÚLIO CÉSAR DE OLIVEIRA¹
ALFREDO JOSÉ BARRETO LUIZ¹
ANTONIO ROBERTO FORMAGGIO¹
JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO¹

¹ INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
oliveirajc@ufv.br; {barreto, formag, epiphani}@ltid.inpe.br

Abstract. Most of methods for automatic segmentation evaluation can be classified into three groups: the analytical, the empirical goodness and the empirical discrepancy groups. This paper presents a new objective and quantitative segmentation algorithm named IAVAS. From the obtained results from an application on agriculture it was verified that the quantitative methodology proposed was suitable and competent for defining the excellent segmentation thresholds. The area/similarity thresholds pair 16/34 provided the best segmentation results for the study area when considering reference data obtained with manual segmentation.

Keywords: IAVAS, digital processing, image segmentation, segmentation evaluation, Landsat.

1. Introdução

A segmentação de imagem é um importante processo em análise de imagens de sensoriamento remoto (Bins et al., 1996). Zhang (1997), Borsotti et al. (1998) e Xu et al. (1998) afirmam que o processo de segmentação consiste em subdividir uma imagem em regiões homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas, como, por exemplo, o nível de cinza dos pixels e a textura, que melhor representam os objetos presentes na cena.

Segundo Haralick e Shapiro (1984), as bordas das regiões devem ser simples, não rugosas e ter distribuição espacialmente coerente com a superfície em estudo. É essencial que o número de segmentos menores no interior das regiões seja pequeno e que os segmentos adjacentes tenham valores significativamente distintos quanto às características nas quais eles são internamente uniformes.

Para obter uma boa classificação baseada em regiões, é imprescindível uma segmentação eficiente dos alvos de interesse. Porém, Zhang (1996) destaca que apesar de a literatura apresentar inúmeras técnicas de segmentação, poucos são os métodos de avaliação desenvolvidos para julgar a qualidade da segmentação e o desempenho dos algoritmos segmentadores.

A fim de buscar obter uma segmentação precisa dos alvos de interesse presentes na cena, o presente trabalho objetivou a análise de um sistema quantitativo e objetivo para avaliação dos resultados gerados pelo processo de segmentação de imagens digitais da superfície terrestre. A hipótese básica é de que há um conjunto ótimo de variáveis definidoras do segmentador para a determinação do melhor resultado do processo de segmentação, de acordo com a região e o objeto de interesse.

2. Métodos para Avaliação dos Algoritmos de Segmentação

Os algoritmos de segmentação propostos na literatura geralmente são aplicáveis para imagens, mas diferentes algoritmos não são igualmente satisfatórios para uma particular aplicação (Zhang, 1996). Logo, métodos para a avaliação do desempenho do algoritmo de segmentação são indispensáveis e considerados importantes no estudo da segmentação.

A medida da qualidade de uma segmentação pode ser feita a partir de uma avaliação qualitativa e quantitativa. A primeira é baseada na inspeção visual e permite verificar questões relativas ao número de segmentos gerados, preservação dos pontos isolados e feições lineares, regularidade de bordas entre regiões, etc. A avaliação quantitativa de uma segmentação é efetuada por meio de grandezas que permitem quantificar em valores numéricos características como número de segmentos, tamanhos dos segmentos em pixels, tempo de processamento, intensidade média das radiometrias dos segmentos, etc. (Lucca, 1998).

Alguns métodos têm sido propostos para avaliar e comparar o desempenho de algoritmos de segmentação, entre os quais podem-se destacar os apresentados em Zhang (1996) e Kartikeyan et al. (1998). Esses métodos podem ser divididos em duas categorias: analíticos e empíricos.

Os métodos analíticos permitem avaliar e examinar diretamente os algoritmos por meio das análises de seus princípios, suposições, exigências, utilidades, complexidade e propriedades. Os resultados gerados independem de experimentos e podem ser aplicados sem que o algoritmo esteja completamente implementado. Além do mais, a aplicação desses métodos é independente da natureza ou do objetivo da segmentação.

Já os métodos empíricos permitem avaliar e examinar um algoritmo de forma indireta, pela aplicação de imagens de referência e medição da qualidade do resultado da segmentação (Zhang, 1996). Estes métodos são subdivididos em: discrepância e qualidade.

Os métodos empíricos de discrepância possibilitam avaliar o desempenho de um algoritmo de segmentação pela comparação da segmentação de uma imagem gerada pelo processo de segmentação com uma imagem de referência. No caso de cena orbital, a imagem de referência é geralmente obtida por uma segmentação manual baseada na interpretação visual, utilizando técnicas de pré-processamento de imagens como manipulações de contraste e composição colorida, sobre a cena original (Zhang, 1996). Para a segmentação de imagens sintéticas, a imagem de referência pode ser simplesmente obtida no processo de geração da própria imagem. Conforme Gonzales e Wintz (1987), a utilização de mapas temáticos gerados sobre os dados de entrada como imagens de referência é uma maneira qualitativa mas eficiente para avaliar a precisão da segmentação.

Os métodos empíricos de discrepância analisam as diferenças obtidas através das medidas dos parâmetros de discrepância (ou medida das características), como área, forma, excentricidade, perímetro, esfericidade, posição e número de objetos entre a segmentação obtida pelo algoritmo e o dado de referência. Valores de discrepância elevados são atribuídos a grandes erros da segmentação, que evidenciam um baixo desempenho do algoritmo.

Zhang e Gerbrands (1994) relatam que diferentes características dos objetos podem ser importantes em diversas aplicações para avaliar e descrever propriedades de algoritmos. Por outro lado, podem ser diferentes efetivamente no julgamento do resultado das segmentações.

Os métodos empíricos de qualidade permitem avaliar o desempenho dos algoritmos analisando apenas a qualidade da segmentação final obtida, sem nenhum conhecimento a priori do dado de referência. Forma e uniformidade dos segmentos, além da diferença espectral entre as regiões extraídas pelo algoritmo, são algumas medidas de qualidade propostas neste método.

Lucca (1998) retrata a importância do conhecimento do objetivo da segmentação na aplicação dos métodos empíricos de qualidade, onde a definição das medidas de qualidade desejáveis da segmentação impõe o conhecimento do resultado esperado. Já para os métodos empíricos de discrepância, a exigência do dado de referência implica uma dependência maior do conhecimento deste objetivo, pois as medidas de avaliação estão diretamente relacionadas com o dado base (como, por exemplo, a segmentação manual).

3. Metodologia

Neste trabalho, os resultados obtidos pela aplicação do algoritmo de segmentação foram avaliados quantitativamente a partir do “Índice para Avaliação de Segmentação” (IAVAS) descrito em Oliveira (2002). Segundo o autor, a única exigência para a aplicação do índice IAVAS é a constituição de duas imagens. A primeira imagem refere-se ao produto do algoritmo segmentador e a segunda imagem está relacionada com o dado de referência (obtida com apoio de campo ou interpretação via tela do computador), fundamental para uma boa avaliação. Portanto, o índice IAVAS consiste em um método empírico de discrepância onde são avaliados cinco parâmetros entre a imagem segmentada e a imagem de referência.

Desta forma buscou-se apresentar nesta metodologia valores quantitativos e objetivos entre os resultados de segmentações obtidos pelo algoritmo crescimento de regiões em várias simulações para os limiares de similaridade e área.

Nesta pesquisa optou-se pela segmentação automática da imagem através do algoritmo *crescimento de regiões* implementado no programa SPRING (Câmara et al., 1996). Em todas as segmentações efetuadas foram utilizadas as bandas de 1 a 5, e banda 7, do sensor ETM+ e calculado o seu respectivo índice, sendo adotado o menor IAVAS como o melhor resultado do processo de segmentação. Como imagem de referência foi utilizada a imagem obtida pela interpretação visual via tela do computador (*referência de tela*), por apresentar praticidade e rapidez na sua confecção além da eficiência atribuída à utilização da resposta espectral da cena como critério de decisão durante a segmentação manual, resposta também utilizada pelo algoritmo segmentador (Oliveira, 2002).

3.1. Índice para Avaliação de Segmentação (IAVAS)

A avaliação do desempenho do algoritmo de segmentação é um assunto de fundamental importância no processo de segmentação, pois fornece condições objetivas e quantitativas para a escolha do melhor resultado e auxilia no desenvolvimento de novos algoritmos (Zhang, 1996, 1997). De acordo com Nascimento (1997), a avaliação objetiva e quantitativa torna-se ainda mais necessária para o algoritmo crescimento de regiões, visto que não há um valor ideal dos limiares de similaridade e área, e os mesmos variam de acordo com o material utilizado e o objetivo da segmentação. O autor destaca ainda que a aceitação ou rejeição dos limiares é normalmente realizada visualmente pelo interessado, por meio da sobreposição da imagem segmentada às bandas originais ou às composições a partir delas.

Desta forma, o algoritmo de segmentação por crescimento de regiões foi avaliado quantitativamente a partir de medidas de discrepância entre uma imagem de referência e a respectiva imagem segmentada, utilizando os seguintes parâmetros de discrepância descritos em Oliveira (2002): *número de polígonos*, *comprimento total de linhas*, *variância das áreas dos polígonos*, *centro de massa mais próximo* e *faixa de coincidência*.

Os parâmetros de discrepância que compõem o índice IAVAS possuem escalas e unidades distintas. Logo, para que o índice de avaliação reflita de forma uniforme a influência dos parâmetros, os resultados obtidos após o seu cálculo foram normalizados de forma que o menor valor encontrado no conjunto de valores originais assumisse o valor zero no conjunto de dados transformados.

A **Equação 1** descreve o índice IAVAS e os parâmetros de discrepância que o compõem. Os valores obtidos na **Equação 1** são maiores ou iguais a zero, sendo o valor nulo considerado ideal com relação à qualidade da segmentação, conforme a metodologia desenvolvida neste trabalho.

$$IAVAS = \left\{ \left[\frac{(|NP_R - NP_S|) - MVDA_{NP}}{DPDA_{NP}} \right] + \left[\frac{(|L_R - L_S|) - MVDA_L}{DPDA_L} \right] + \left[\frac{(|VA_R - VA_S|) - MVDA_{VA}}{DPDA_{VA}} \right] \right. \\ \left. + \left[\frac{(C_{R-S}) - MVDA_C}{DPDA_C} \right] + \left[\frac{(|NQ_R - NQ_{S \equiv (R+FT)}) - MVDA_{FC}}{DPDA_{FC}} \right] \right\} \quad (1)$$

Onde:

R = imagem de referência;

S = imagem segmentada;

NP = número de polígonos;

L = comprimento total das linhas de contorno dos polígonos;

VA = variância das áreas dos polígonos;

C_{R-S} = média das menores distâncias entre os centros de massa da imagem de referência e os centros de massa da imagem segmentada;

NQ_R = número de quadrículas da imagem de referência;

$NQ_{S \equiv (R+FT)}$ = número de quadrículas da imagem segmentada coincidentes com as quadrículas da imagem de referência acrescida da faixa de tolerância (FT);

MVDA = menor valor das diferenças absolutas para o parâmetro analisado; e

DPDA = desvio padrão das diferenças absolutas para o parâmetro analisado.

4. Resultados

Segundo Moura (2000), para aplicar a técnica crescimento de regiões existente no SPRING é preciso definir as bandas espectrais e os valores de similaridade e área. Os limiares são definidos em valores unitários e positivos, resultando em n combinações possíveis. Foram avaliadas nesse trabalho 184 combinações entre os valores de similaridade e área, definidas por meio de um processo de otimização descrito em Oliveira (2002).

A **Tabela 1** apresenta os índices IAVAS para cada uma das 184 combinações analisadas utilizando como base a referência de tela. A segmentação de melhor qualidade, conforme a segmentação de referência, foi a *ImgSeg1634* (imagem segmentada com os limiares de similaridade e área 16 e 34, respectivamente) com IAVAS de 1,365. Já a *ImgSeg0101* forneceu um IAVAS de 34,382, resultando na segmentação de mais baixa qualidade entre todas as combinações analisadas, de acordo com a segmentação de referência.

Exemplos de resultados da segmentação e valores do IAVAS para as imagens segmentadas podem ser vistos na **Figura 1**, na qual retrata-se o comportamento do índice de avaliação conforme os limiares de similaridade e área definidos.

5. Conclusões

A utilização da técnica de segmentação por crescimento de regiões sobre a imagem ETM+/Landsat mostrou-se eficiente na delimitação dos alvos agrícolas presentes na cena, segundo os limiares de similaridade e de área indicados no processo de avaliação. Os valores de limiares mais baixos apresentaram um particionamento excessivo, tornando as regiões visualmente confusas. Por outro lado, os valores mais altos de limiares agruparam em um mesmo segmento regiões espectralmente distintas, fazendo com que houvesse uma perda total ou parcial de algumas regiões de interesse.

Para a combinação escolhida de tipo de alvo de interesse (talhões agrícolas) e resolução espacial do sensor (30m), o IAVAS mostrou-se mais sensível às variações no limiar de similaridade do que no limiar de área, considerando os limites dentro dos quais eles variaram (1 a 50 nos dois casos).

Tabela 1. Limiares de similaridade e área em 184 segmentações automáticas e respectivos IAVAS calculados com relação à imagem segmentada manualmente.

Limiares		IAVAS	Limiares		IAVAS	Limiares		IAVAS	Limiares		IAVAS
Similaridade	Área		Similaridade	Área		Similaridade	Área		Similaridade	Área	
1	1	34,382	13	25	2,311	15	45	1,708	19	32	1,611
1	25	6,406	13	29	2,196	15	46	1,695	19	35	1,782
1	32	5,890	13	32	2,161	15	47	1,695	19	38	1,824
1	38	5,076	13	33	2,102	15	48	1,683	19	41	1,818
1	44	4,605	13	35	2,067	15	50	1,575	19	44	1,931
1	50	4,227	13	36	2,045	16	23	1,684	19	50	2,099
5	5	9,263	13	37	2,004	16	24	1,603	20	50	2,369
5	15	6,061	13	38	1,942	16	25	1,558	21	50	2,505
5	25	4,421	13	39	1,942	16	29	1,485	22	25	1,647
5	35	3,684	13	40	1,942	16	32	1,398	22	29	1,832
5	45	3,363	13	41	1,917	16	33	1,400	22	32	2,106
5	50	2,539	13	42	1,884	16	34	1,365	22	35	2,118
7	25	3,782	13	43	1,955	16	35	1,371	22	38	2,111
7	32	3,313	13	44	1,923	16	36	1,387	22	50	2,664
7	35	3,111	13	45	1,923	16	37	1,368	23	50	2,719
7	38	2,961	13	46	1,923	16	38	1,368	24	50	2,968
7	41	2,873	13	47	1,923	16	39	1,386	25	5	2,054
7	44	2,821	13	48	1,923	16	40	1,386	25	12	2,523
7	50	2,685	13	50	1,843	16	41	1,380	25	15	2,682
10	32	2,359	14	35	2,004	16	43	1,457	25	25	3,349
10	35	2,280	14	36	1,973	16	44	1,449	25	29	3,514
10	36	2,250	14	37	1,923	16	45	1,449	25	32	3,871
10	37	2,210	14	38	1,904	16	46	1,563	25	35	4,037
10	38	2,223	14	39	1,899	16	47	1,563	25	38	4,074
10	39	2,214	14	40	1,876	16	48	1,574	25	44	4,343
10	40	2,191	14	41	1,821	16	50	1,694	25	45	4,343
10	41	2,176	14	42	1,798	17	34	1,508	25	50	5,029
10	44	2,184	14	43	1,853	17	35	1,536	30	50	7,027
10	47	2,158	14	44	1,833	17	36	1,571	35	5	5,786
10	50	2,111	14	45	1,833	17	37	1,571	35	15	6,361
11	35	2,115	14	46	1,833	17	38	1,581	35	25	6,909
11	36	2,094	14	47	1,833	17	39	1,576	35	35	8,162
11	37	2,078	14	50	1,768	17	43	1,722	35	45	8,600
11	38	2,021	15	5	3,487	17	44	1,722	35	50	8,904
11	39	2,018	15	15	2,248	17	45	1,722	37	12	7,949
11	40	1,972	15	25	1,918	17	46	1,849	37	25	8,654
11	41	1,947	15	34	1,753	17	47	1,849	37	38	10,955
12	35	2,010	15	35	1,766	17	48	1,856	40	50	12,949
12	36	1,989	15	36	1,761	17	50	1,860	45	5	10,502
12	37	1,944	15	37	1,748	18	33	1,592	45	15	11,410
12	38	1,923	15	38	1,724	18	38	1,724	45	25	11,752
12	39	1,887	15	39	1,724	18	43	1,855	45	35	13,060
12	40	1,876	15	40	1,724	18	48	1,998	45	45	13,548
12	41	1,862	15	41	1,649	18	50	1,974	45	50	13,788
12	42	1,866	15	43	1,708	19	25	1,442	50	1	10,536
13	12	3,128	15	44	1,708	19	29	1,502	50	50	14,514

O menor IAVAS = 1,365 corresponde ao limiar de similaridade = 16 e ao limiar de área = 34

A metodologia quantitativa e objetiva para avaliação da segmentação, representada pelo índice para avaliação da segmentação (IAVAS), mostrou-se eficaz no processo de avaliação dos resultados gerados pelo algoritmo segmentador, identificando com clareza os pares de limiares que produziram valores coerentes com a imagem de referência.

Os parâmetros de discrepância que compõem o índice IAVAS: *número de polígonos*, *comprimento total de linhas*, *variância das áreas dos polígonos*, *centro de massa mais próximo* e *faixa de coincidência* mostraram-se eficazes na identificação do número, da quantidade, do tamanho e da posição dos alvos de interesse na imagem segmentada de acordo com o tipo de aplicação definido neste trabalho.



Figura 1. Imagens segmentadas automaticamente e respectivos IAVAS calculados com relação à imagem segmentada manualmente (referência de tela).

Apesar de a metodologia ter sido desenvolvida em uma área tipicamente agrícola, onde o objetivo da segmentação consistia em delimitar os talhões para a quantificação da superfície cultivada, o índice IAVAS pode ser aplicado a inúmeras outras situações. Esta flexibilidade está diretamente relacionada com a *Referência de Tela*, pois a interpretação visual pelo usuário possibilita adequar a imagem de referência para inúmeras situações, de acordo com o tipo de aplicação definido para a segmentação.

Referências

Bins, L.S.; Fonseca, L.M.G.; Erthal, G. J.; Ii, F.M. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, abr. 1996. Anais. São José dos Campos: INPE, 1996. Sessão de Comunicações Técnico Científicas. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.30>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.30>. Acesso em: 10 junho 2002.

Borsotti, M.; Campadelli, P.; Schettini, R. Quantitative evaluation of color image segmentation results. Pattern Recognition Letters, v.19, n.8, p.741-747, 1998.

- Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas U. M.; Garrido, J. C. P. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. *Computers and Graphics*, v.15, n.6, p.13-22, 1996.
- Gonzalez, R.C.; Wintz, P. *Digital image processing*. Prodding: Addison Wesley, 1987. 431 p.
- Haralick, R.M.; Shapiro, L.G. *Image segmentation techniques*. Machine Vision International: Ann Arbor, 1984. 245 p.
- Kartikeyan, B.; Sarkar, A.; Majumder, K. L. A segmentation approach to classification of remote sensing imagery. *International Journal of Remote Sensing*. v.19, n.9, p.1695-1709, 1998.
- Lucca, E.V.D. Avaliação e comparação de algoritmos de segmentação de imagens de radar de abertura sintética. São José dos Campos. 207p. (INPE-7507-TDI/721). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- Moura, V. Imagens multitemporais TM/LandSat-5 da época de pré-plantio na estimativa de áreas destinadas a culturas de verão. São José dos Campos. 122 p. (INPE-7527-TDI/734). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.
- Nascimento, P.S.R. Avaliação de técnicas de segmentação e classificação por regiões em imagens Landsat-TM visando o mapeamento de unidades de paisagem na Amazônia. São José dos Campos. 120 p. (INPE-6391-TDI/607). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.
- Oliveira, J.C. Índice para avaliação de segmentação (IAVAS): Uma aplicação em agricultura. São José dos Campos. 160p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.
- Xu, Y.; Olman, V.; Uberbacher, C. A segmentation algorithm for noisy images: Design and evaluation. *Pattern Recognition Letters*, v. 19, n.13, p. 1213-1224, 1998.
- Zhang, Y.J.; Gerbrands, J.J. Objective and quantitative segmentation evaluation and comparison. *Signal Processing*, n.39, p. 43-54, 1994.
- Zhang, Y.J. A survey on evaluation methods for image segmentation. *Pattern Recognition*, v. 29, n. 8, p. 1335-1346, 1996.
- Zhang, Y.J. Evaluation and comparison of different segmentation algorithms. *Pattern Recognition Letters*, v. 18, n.10, p. 963-974, 1997.