

MÉTODO PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE PADRÕES MULTIESPECTRAIS DE IMAGENS ORBITAIS EM ÁGUAS COSTEIRAS

RENATO HERZ

Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

KEIKO TANAKA

Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

SYNOPSIS

This study is based essentially on the pattern recognition of concentrations of suspended solids from LANDSAT-2 imagery recorded on CCT's and processed through the IMAGE-100 system. The June 24, 1976 passage over Guanabara Bay and outlying waters was classified using maximum-likelihood and cluster synthesis routines. The thematic map generated by the IMAGE-100 showed high consistency between the distribution of suspended solids and the bi-dimensional models of surface circulation, especially during high and low tides. Biological parameters obtained from the 1977 Environmental Control Program, State of Rio de Janeiro, correlated with orbital data corresponding to the spatial distribution of summer coliform counts. The same could have been deduced for the presence of inorganic dissolved phosphates in the waters of Guanabara Bay given chemical data.

Introdução

O desenvolvimento do método de interpretação automática de imagens orbitais, através da aplicação do sistema analisador interativo IMAGE-100 (G.E.), tem como objetivo principal a elaboração de programas adequados à classificação, a partir dos dados orbitais de padrões contidos nos registros magnéticos das fitas compatíveis ao computador.

Este estudo baseia-se essencialmente no reconhecimento de padrões de imagens tipo MSS, produzidas por satélites LANDSAT, mais especificamente, àquelas superfícies que correspondem ao domínio das águas costeiras. Como tentativa de aplicação do método foram escolhidas imagens MSS de órbitas contíguas (232 e 233, ponto 76), que dão cobertura à baía de Guanabara em dias subsequentes de um mesmo período de sobrevôo a cada dezoito dias. Este fator assume importância fundamental do ponto de vista sistemático, possibilitando o monitoramento dos processos dinâmicos de transporte por dispersão de material em suspensão, introduzido em águas marinhas pelas bacias de drenagem, que recebem os dejetos naturais e outros efluentes, produzidos pela população densamente concentrada e distribuída perifericamente no litoral da referida baía.

O equipamento utilizado no tratamento da informação coletada por plataformas orbitais LANDSAT, baseia-se num sistema analisador interativo IMAGE-100 (General Electric) acoplado ao computador PDP 11/45. Trata-se de elemento indispensável para o processamento e interpretação dos diferentes níveis de radiação registrados, em fitas magnéticas compatíveis ao computador a partir do sinal sensoriado multiespectralmente pelo imageador MSS dos referidos satélites (General Electric, 1975).

Este tipo de procedimento de análise, aplicado à classificação espacial da variação de parâmetros físico-químicos e biológicos das águas do meio ambiente costeiro, fundamenta-se na identificação dos elementos de resolução espectral que correspondam a um dado intervalo de classe de radiação, proveniente do retrospalhamento de energia em presença de material em suspensão transportado subsuperficialmente.

Os padrões classificados nos intervalos estatísticos têm correspondido a alguns parâmetros levantados em medidas efetuadas como apoio terrestre simultâneo, quando correlacionados ao conteúdo de material em suspensão, transparência e mesmo, indiretamente, aos fatores bioquímicos a eles associados.

Procedimento Preliminar

Os dados digitalizados, gravados em fita magnética nas estações terrestres de processamento, são transferidos para o sistema IMAGE-100 através do programa INPERTS, obtendo-se visualmente um primeiro controle de qualidade da imagem numa área de vídeo de 512 LINHAS X 512 PONTOS, do televisor a cores incorporado ao analisador.

No preparo da cena a ser processada são aplicadas funções especiais integradas ao conjunto de programas disponíveis no sistema, realizando o pré-processamento da informação, no sentido de equalizar o ganho dos sensores do satélite, eliminando-se também eventuais ruídos associados ao sinal gravado nas estações terrestres de rastreamento.

Como função auxiliar aplica-se o programa de REALCE DE CONTRASTE, que procura variar o aspecto visual original dos contrastes entre os diferentes níveis de cinza, para discriminar melhor as tonalidades relativas ao sinal de baixo ganho, imperceptíveis

nas cópias em papel controlado no processamento fotográfico por escala de cinza com padrões de distribuição normal (16 níveis).

Na projeção da imagem de vídeo posiciona-se o cursor sobre a área de interesse na cena e identificam-se as coordenadas dos pontos das extremidades do quadro abrangido pela imagem, tomando por referência o número de linhas e dos pontos.

Este passo permite ao analista ampliar o espaço selecionado e circunscrito pelo cursor, alcançando maior detalhamento das feições pela variação da escala.

Para maior facilidade na fase seguinte, os dados trabalhados preliminarmente são transportados para outra fita magnética, através do programa de ARMAZENAMENTO E LEITURA de imagem, que transfere informações de vídeo ou fita magnética evitando perda de tempo quando há necessidade de recuperação da imagem.

Dos canais multiespectrais do sub-sistema MSS utiliza-se a faixa correspondente ao infravermelho próximo (7), para definir os limites terra/água, com o programa denominado CÉLULA ÚNICA. Baseado no princípio de que as superfícies d'água absorvem quase que totalmente os comprimentos de onda de energia eletromagnética dessa faixa do espectro já na superfície, explica-se que, na imagem, as áreas dos corpos d'água apareçam em altas densidades devido ao baixo nível de sinal que é registrado pelo sensor. Os alvos terrestres que possuem características espectrais com alta reflexão nessa faixa, sensibilizam os elementos sensores desse canal no satélite com sinal bastante intenso, distinguindo os contornos entre os dois meios por contrastes muito diferenciados e grande discriminação. Deve-se considerar neste aspecto, algumas anomalias originadas pela existência de contrastes terrestres que possam ser confundidos com a superfície d'água, como é o caso da presença de sombras decorrentes do efeito do ângulo de incidência da luz solar sobre as formas de relevo.

Procedimento Final

Após o processamento preliminar da imagem digital contida em fita magnética pode ser iniciada a segunda fase do tratamento da informação, envolvendo o reconhecimento dos padrões que compõem o tema final em sua distribuição qualitativa ou mesmo quantitativa, se estes forem correlacionados a dados de apoio terrestre simultâneo ao sobrevôo.

O método de interpretação automática de padrões espectrais, caracterizados em classes, constitui-se na escolha de um programa adequado ao tema focalizado, sendo que dentre os mais eficientes pode-se mencionar o de SÍNTESE DE GRUPAMENTO e o SISTEMA MAXVER (Velasco *et al.*, 1978).

No primeiro caso, seleciona-se algumas áreas de treinamento adquirindo-se "assinaturas multicelulares" para os canais MSS-4 e MSS-5, contendo informações representativas de determinadas massas d'água. Isto faz com que seja possível identificar por grupamento os limites entre as classes homogêneas contidas na imagem.

Através de um histograma bidimensional, resultante dos dados dos dois canais multiespectrais para cada área de treinamento, definida pelo cursor do console no vídeo, determina-se uma região do espaço espectral, que corresponde a determinado grupo de níveis de cinza. Esta encontra-se associada ao número de elementos de resolução de cada área selecionada, sendo caracterizada pela medida da frequência de ocorrência na cena.

Uma vez estabelecido o padrão especial de cada área de treinamento, o restante da imagem é percorrido automaticamente pelo mecanismo de varredura do sistema IMAGE-100, célula por célula

lula, comparando seus valores digitalizados com o correspondente no espaço espectral selecionado previamente. Todos os elementos de resolução (pixels), que se identificarem com os níveis de cinza de uma célula do grupamento que define uma classe, serão incorporados a esta classe que é assinalada no vídeo por uma cor correspondente à cor do tema incluso na escala corocromática adotada.

Um critério de classificação automática mais perfeita é alcançado pela aplicação do SISTEMA MAXVER, que classifica os elementos de resolução de imagem por máxima similaridade, segundo classes escolhidas interativamente pelo analista sobre o gráfico de limiares.

Para a classificação dos padrões por este método foram escolhidas as mesmas áreas de treinamento do processamento por SÍNTESE DE GRUPAMENTO, para que os resultados pudessem ser comparados.

Entretanto essa amostragem recebeu outro tipo de tratamento estatístico, para que as novas classes de padrões espectrais pudessem ser ajustadas baseando intervalo de maior rigor. Esse procedimento é baseado na técnica de reconhecimento estatístico de padrões, que faz uso de valores da função de densidade de probabilidade condicional associados e estimados para os padrões das classes. Uma suposição importante, utilizada no algoritmo deste sistema, é que as classes são supostas distribuídas de forma normal ou gaussiana em suas diversas características. Portanto, para caracterizar essa distribuição de probabilidade, em cada classe são determinados o vetor médio e a matriz de covariância (Tab. I).

Desse modo a classificação é obtida analisando-se cada ponto da imagem sendo associadas ao mesmo as características conside-

radas, levando-se em conta um limiar fixado. Caso a esse ponto corresponda valor maior que esse limiar, o ponto é considerado não classificado.

O ponto da imagem citado no parágrafo anterior é definido como sendo um vetor, ou seja, definido por suas coordenadas espectrais, nos canais de imagem onde os alvos apresentam melhor caracterização das "assinaturas" espectrais na área de estudo.

Nesse método foram considerados os canais MSS-4 e MSS-5 porque constituem informações espectrais das duas faixas mais importantes para o estudo dos fenômenos de dispersão de partículas sólidas em suspensão transportadas pelas águas, através de suas propriedades óticas.

Conclusão

A análise efetuada sobre imagens multiespectrais tipo MSS do satélite LANDSAT-2 do sobrevôo de 24 de junho de 1976 (11:36 GMT) abrangendo a região em estudo, revelou grande consistência do método de tratamento automático, face aos resultados alcançados (Fig. 1).

Nesta condição sinótica, o mapa temático gerado no IMAGE-100, quando correlacionado a modelos bidimensionais de circulação de superfície da baía de Guanabara, especificamente na condição de marés de baixa e média altura (FEEMA, 1976), identifica uma série de tendências de dispersão que, nesse caso, derivam da predominância do efeito astronômico como principal agente no regime dinâmico das águas.

Dos parâmetros biológicos apresentados em Environmental Control Programme in the State of Rio de Janeiro - Brasil, 1977, o que alcançou maior coerência com os dados orbitais foi o da

TABELA I

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CINZA PARA O LIMAR-3 (SISTEMA MAXVER) USANDO OS CANAIS LANDSAT MSS-4 e MSS-5

DADOS COMPLEMENTARES				MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO								
Classes	Nº de Pontos	MÉDIA		% de Pontos não Classificados	PORCENTAGEM DE CLASSIFICAÇÃO							
		Canal 4	Canal 5		1	2	3	4	5	6	7	8
1. C ₁	132	11.84	28.14	2.3	55.3	2.3	22.0	3.0	0.0	0.0	15.2	0.0
2. C ₂	300	9.87	22.70	0.7	2.0	53.0	32.7	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7
3. C ₃	252	10.63	25.03	0.8	13.9	26.6	57.9	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
4. C ₄	60	15.13	34.40	0.0	0.0	0.0	0.0	53.3	23.3	23.3	23.3	0.0
5. C ₅	324	16.18	39.22	1.5	0.0	0.0	0.0	7.4	79.6	79.6	0.9	0.0
6. C ₆	196	18.28	42.96	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	17.3	0.0	0.0
7. C ₇	100	13.55	31.50	0.0	13.0	0.0	0.0	26.0	2.0	2.0	59.0	0.0
8. C ₈	396	8.82	16.95	1.3	0.0	3.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	94.9

seus diretores Prof. Dr. André Ricciardi Cruz e Prof. Dr. Nelson de Jesus Parada, bem como ao Coordenador do Departamento de Sensoriamento Remoto, Dr. Cláudio Roland Sonnenburg e ao Chefe da Divisão de Desenvolvimento e Pesquisas em Aplicações, Dr. René Antonio Novaes, pelo apoio irrestrito recebido durante o Convênio "Proposição e Desenvolvimento do Projeto POLUE".

Aos colegas Ricardo Cartaxo Modesto de Souza, José Carlos Moreira, Luciano Vieira Dutra e Carlos Roberto de Souza, a nossa gratidão por sua dedicada colaboração nos trabalhos de proces-

samento automático dos dados.

distribuição espacial do número de coliformes totais no inverno, sendo que um resultado análogo provavelmente seria obtido se houvesse dados químicos de fosfato inorgânico dissolvido nas águas da baía.

Agradecimentos

Expressamos nossos agradecimentos ao Instituto Oceanográfico da USP e Instituto de Pesquisas Espaciais, especialmente aos

