

PROCEDIMENTO INTERATIVO PARA O CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA ATMOSFÉRICA

N. L. Vijaykumar e L. A. V. Dias
Instituto de Pesquisas Espaciais
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

A fim de corrigir atmosféricamente uma imagem LANDSAT, é fundamental o cálculo da transmitância atmosférica. Esse cálculo é feito normalmente pelo pacote da AFGL, denominado LOWTRAN. Neste trabalho, foi desenvolvido um novo algoritmo, com algumas vantagens, para uso específico do INPE. Este algoritmo mantém os mesmos princípios físicos do LOWTRAN, ou seja, a teoria de transferência radiativa de Chandrasekhar, porém tornou o programa interativo, que utiliza formatos livres, tornando-o apropriado para uso nos terminais remotos do B-6800 do INPE. Mesmo um usuário com pouca experiência computacional pode chamar o "menu" e usar o programa, o que não ocorria com o LOWTRAN. Algumas opções do pacote, não aplicáveis ao caso brasileiro, foram eliminadas, como modelos atmosféricos subárticos; com isso, o procedimento proposto tornou-se mais rápido, pois utiliza menos espaço da memória de computador e é de fácil uso.

ABSTRACT

In order to remove the atmospheric effect on a LANDSAT image, it is important to know the atmospheric transmittance; this is calculated using the software package LOWTRAN developed at AFGL. In the work reported herein, a new algorithm has been developed, observing the necessities of the Institute's applications. This algorithm maintains the same physical principles of LOWTRAN, i.e., the Chandrasekhar radiation transfer theory, but the program has been modified into an interactive one, for use with INPE's B-6800 computer remote terminals. The main variables are read in free format. Even an unexperienced user may call the program and use it, following instructions - this was not possible with the original LOWTRAN. Some options, not applicable to the Brazilian case, have been removed, as the subarctic atmosphere models; the program became faster, shorter (memorywise) and user-friendly.

1. INTRODUÇÃO

A fim de proceder a uma classificação mais perfeita, uma providência a ser tomada é reduzir ao mínimo o efeito da atmosfera nas imagens LANDSAT. O satélite se encontra a uma proximadamente 900 km de altitude, sendo que a radiação refletida no alvo, deve atravessar virtualmente toda a atmosfera até ser detectada pelos sensores do satélite.

Um procedimento, usado no INPE, consiste na utilização do pacote LOWTRAN 4 para o cálculo da transmitância atmosférica, T , a fim de corrigir o valor da radiancia medida pelo satélite, L . A correção utilizada é:

$$L = L_I \cdot T + L_p,$$

onde L_I é a radiancia intrínseca do alvo e L_p a radiancia de trajetória. O que se quer de terminar é L_I . Esse procedimento é utilizado

para inversos de comprimentos de onda compatíveis com os limites dos 4 canais do LANDSAT, com a precisão máxima de 20 cm^{-1} , embora se use comumente uma precisão de 200 cm^{-1} .

O presente trabalho tem por objetivo a perfeição do programa que calcula T , o LOWTRAN 4 (Selby et alii, 1978), a fim de que ele seja mais rápido, ocupe menos espaço na memória e seja de fácil uso. A essa última característica é que foi dada a maior ênfase, já que o uso do programa original era bastante difícil, mesmo para especialistas, devido à estrutura dos dados de entrada. O programa estava previsto para ser usado em "batch", com entrada em cartões perfurados e saída pela impressora. Com a instalação de terminais remotos, seu uso tornou-se bastante inadequado, o que motivou os autores a desenvolver uma alternativa interativa. Para se ter uma idéia da dificuldade do uso do programa original, pode-se dizer que agora a entrada de dados é, pelo menos, u

ma ordem de magnitude mais rápida, além de evitar que o usuário cometa erros de formato, com a passagem para o formato livre.

2. IMPLEMENTAÇÃO ANTERIOR

Originalmente a entrada de dados era feita da seguinte maneira: quatro cartões (CARD 1, CARD 2, CARD 3 e CARD 4) eram introduzidos entre os dados relativos aos modelos-padrão, para que as opções desejadas fossem executadas. No caso de se usar um terminal, era necessário alterar as linhas 48200, 48300, 48400 e 48500 do arquivo de dados, que correspondiam aos CARD 1, CARD 2, CARD 3 e CARD 4. Obviamente isso era um procedimento arriscado, pois havia o perigo de se apagar acidentalmente o arquivo de dados, o que de fato ocorreu algumas vezes. Além disso, quando se desejava usar um modelo não-padronizado com dados de radiossondagem, era necessário introduzir entre o CARD 1 e o CARD 2 n cartões (que correspondiam a dados de altitude, pressão, temperatura e umidade relativa para cada um dos n níveis), ou alterar o arquivo de dados, de maneira análoga, entre as linhas 48200 e 48300.

A maior fonte de erros e de lentidão na entrada de dados eram os formatos. Por exemplo:

CARD 1 (11 I3, 2 F 10.3)
CARD 2 (6 F 10.3)
CARD 3 (7 F 10.3)
CARD 4 (I3),

sendo que algumas variáveis podiam ser omitidas, o que dificultava ainda mais a entrada correta de dados no terminal. Para a utilização múltipla do programa, o usuário tinha que memorizar o significado das diversas variáveis, e seus respectivos formatos (27 variáveis com cinco formatos diferentes).

3. IMPLEMENTAÇÃO ATUAL

Na presente implementação, o usuário apenas liga o sistema, chama o programa do disco, e o executa. Na tela aparece um "menu" (cardápio) dos modelos disponíveis, como na Figura 1, e a seguir, após a entrada dos dados pertinentes, vão aparecendo outros "menus" relativos às demais variáveis, indicando a unidade da variável a ser introduzida, em formato livre.

ENTRE COM O NÚMERO DO MODELO ATMOSFÉRICO
DE ACORDO COM A TABELA ABAIXO:

- 1 - MODELO TROPICAL
- 2 - MODELO VFRÃO/LATITUDE MÉDIA
- 3 - MODELO INVERNO/LATITUDE MÉDIA
- 6 - MODELO USA/STANDARD(1962)
- 7 - DADOS DE RADIOSONDAGEM OU MODELO NOVO

MODELO =

Fig.1 - "Menu" dos modelos disponíveis.

Se for o caso de se entrar com os modelos não-aplicáveis ao caso brasileiro, como os modelos subárticos e o modelo para trajetórias horizontais, o computador pede que outro modelo seja utilizado. Para o uso do INPE somente modelos não-horizontais, satélite-solo são de interesse, uma vez que se quer usar um modelo para corrigir o efeito da atmosfera em imagens de satélites. Para aumentar a validade de execução do programa no B-6800, as opções não-necessárias foram eliminadas, como opções de radiação entre

duas alturas h_1 e h_2 , ou horizontais com "range".

A Figura 2 apresenta o novo "menu" equivalente ao antigo CARD 4, onde é possível repetir o programa, substituindo-se algumas ou todas as variáveis de entrada, ou pará-lo.

ENTRE COM O VALOR DE VARIÁVEL DE CONTROLE IXY
DE ACORDO COM A TABELA ABAIXO:

- 0 - PARA FINALIZAR A EXECUÇÃO DO PROGRAMA
- 1 - PARA SELECIONAR APENAS NOVOS COMPRIMENTOS DE ONDA V1 E V2 E O INCREMENTO DE COMPRIMENTO DE ONDA DV
- 2 - PARA SELECIONAR NOVA FREQUENCIA DE TODOS OS DADOS
- 3 - PARA SELECIONAR NOVA ALTURA INICIAL H1 E VISIBILIDADE VIS
- 4 - PARA SELECIONAR NOVOS VALORES DE MODELO, PRESENÇA DE AEROSOL (HAZE), PRESENÇA DE DADOS DE RADIOSONDAGEM (IM), MUDANÇAS DE PERFIS DE TEMPERATURA, VAPOR D'AGUA, E OZÔNIO (M1, M2, M3), NIVEIS DE ALTITUDE DE RADIOSONDAGEM (ML)

IXY =

Fig.2 - "Menu" do término ou repetição do programa.

4. CONCLUSÕES

Como descrito anteriormente, o objetivo desse trabalho foi modificar o pacote da AFGL, LOWTRAN 4, tornando-o mais fácil para o usuário, e adaptado ao interesse imediato do grupo que trata do processamento de imagens LANDSAT, a fim de minimizar o efeito at-

mosférico. O que interessa como saída do programa é a transmitância atmosférica entre as duas frequências limites de cada um dos quatro canais do LANDSAT. A Figura 3 mostra o "menu" da escolha das frequências, expressas em inverso de comprimento de onda, cm^{-1} .

ENTRE COM O INVERSO DO COMPRIMENTO DE ONDA
INICIAL E FINAL.

EXEMPLO: PARA O LANDSAT TEM-3E

CANAL 4 - COMPR ONDA .5 A .6 MICROMETROS
V1 = $1/.6E-6 = 16666.$
V2 = $1/.5E-6 = 20000.$

CANAL 5 - COMPR ONDA .6 A .7 MICROMETROS
V1 = 14285.
V2 = 16666.

CANAL 6 - COMPR ONDA .7 A .8 MICROMETROS
V1 = 12500.
V2 = 14285.

CANAL 7 - COMPR ONDA .8 A 1.1 MICROMETROS
V1 = 9090.
V2 = 12500.

V1 =

V2 =

Fig.3 - "Menu" das frequências.

A entrada de dados de um modelo atmosférico novo, próprios das condições meteorológicas do local e data da imagem, é feita também de modo interativo, como se pode ver

pela Figura 4. O método de cálculo não foi alterado, mantendo-se os mesmos algoritmos usados no LOWTRAN 4, baseados na teoria da transferência radiativa (Chandrasekhar, 1960).

ENTRE COM OS SEQUINTEs DADOS NESTA ORDEM
SEPARADOS POR VÍRGULAS:

ALTITUDE EM KM
PRESSAO EM MB
TEMPERATURA EM CENTIGRADOS
HUMIDADE RELATIVA EM %

Fig.4 - "Menu" dos dados de radiossondagem.

A Figura 5 mostra o resultado obtido com os dados referentes a São Paulo (Aeroporto de Congonhas, CGH), em 31 de janeiro de 1978, para 14 níveis de altitude.

Este trabalho ainda está longe de ser completo, pois é apenas uma primeira tentativa para facilitar parte da montagem de um sistema de correção atmosférica no INPE. O

trabalho já estava em fase adiantada quando se recebeu um modelo mais recente do pacote LOWTRAN, o LOWTRAN 5 (Kneizys et alii, 1980). Este modelo apresenta muitos aperfeiçoamentos em relação ao LOWTRAN 4 aqui utilizado; porém, ainda é não-interativo.

Sugere-se para um futuro trabalho a transformação da LOWTRAN 5 em um pacote interativo, eventualmente com saídas de perfis atmosféricos (ou até a entrada deles) de forma gráfica.

PROGRAMA SERA EXECUTADO NO MODO TRANSMISSAO
 7 1 3 0 0 1 0 0 0 14 0 0.000 0.000
 MODELO ATMOSFER. NO. 7
 Z (KM) P (MP) T (C+) P. ORV. SRH M20(GM.M-3) 03(GM.M-3) NO. DEN.
 0.802 925.000 23.000 0.0 76.0 368E+01 0. 1464.804
 1.542 850.000 23.000 0.0 30.0 145E+01 0. 789.603
 2.530 758.000 15.000 0.0 48.0 233E+01 0. 339.322
 3.196 700.000 10.000 0.0 35.0 170E+01 0. 199.187
 3.440 680.000 9.400 0.0 10.0 485E+00 0. 170.490
 4.680 574.000 1.200 0.0 10.0 485E+00 0. 98.434
 4.820 572.000 2.200 0.0 10.0 485E+00 0. 94.614
 7.643 400.000 -15.300 0.0 10.0 485E+00 0. 60.081
 9.470 312.000 -30.500 0.0 10.0 485E+00 0. 57.543
 9.830 296.000 -30.700 0.0 10.0 485E+00 0. 57.031
 10.900 254.000 -40.000 0.0 10.0 485E+00 0. 53.549
 14.580 143.000 -67.500 0.0 1.0 485E+01 0. 48.728
 15.000 134.000 -66.500 0.0 1.0 485E+01 0. 47.470
 17.129 100.000 -73.600 0.0 1.0 485E+01 0. 44.413
 0.005 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 15.000
 16666.000 20000.000 200.000

TRAJ. INCLINADA PARA ESPACO DA ALTITUDE H1 = 0.805KM, ANGULO ZENITAL = 0.000 GRAUS

MODELO DE NEVOA = 15.0 KM FAIXA VISUAL AO NIVEL DE MAR

FAIXA DE FREQUENCIA V1=16666.0CM⁻¹ A V2=20000.0 CM⁻¹ PARA DV = 200.0CM⁻¹ (0.50 - 0.60 MICRONS)

| COMPR. CM ⁻¹ | ONDA MICRONS | FREQ. TOTAL TRANS | H2O TRANJ | CO2+ TRANS | OZON. | | H2O CONT ESP. MOL. | | AEROSOL | | INTEGRADA | |
|---|--------------|-------------------|-----------|------------|--------|--------|--------------------|--------|---------|--------|-----------|-----------|
| | | | | | TRANS | TRANS | TRANS | TRANS | TRANS | TRANS | ABS | ABSORCADO |
| 16665 | 0.6001 | 0.4006 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9370 | 0.6411 | 0.0317 | 39.9369 | |
| 16865 | 0.5929 | 0.5953 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9340 | 0.6375 | 0.0319 | 120.8696 | |
| 17065 | 0.5860 | 0.5901 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9309 | 0.6339 | 0.0321 | 202.8502 | |
| 17265 | 0.5792 | 0.5849 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9277 | 0.6305 | 0.0322 | 285.8682 | |
| 17465 | 0.5726 | 0.5798 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9244 | 0.6272 | 0.0324 | 369.9144 | |
| 17665 | 0.5661 | 0.5747 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9211 | 0.6240 | 0.0326 | 454.9803 | |
| 17865 | 0.5598 | 0.5696 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9176 | 0.6209 | 0.0328 | 541.0583 | |
| 18065 | 0.5536 | 0.5646 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9140 | 0.6178 | 0.0329 | 628.1416 | |
| 18265 | 0.5475 | 0.5592 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9103 | 0.6144 | 0.0330 | 716.3046 | |
| 18465 | 0.5416 | 0.5533 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9065 | 0.6105 | 0.0331 | 805.6494 | |
| 18665 | 0.5358 | 0.5474 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9024 | 0.6066 | 0.0331 | 896.1638 | |
| 18865 | 0.5301 | 0.5416 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8984 | 0.6029 | 0.0332 | 987.8363 | |
| 19065 | 0.5245 | 0.5359 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8942 | 0.5993 | 0.0332 | 1080.6564 | |
| 19265 | 0.5191 | 0.5302 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8900 | 0.5958 | 0.0333 | 1174.6146 | |
| 19465 | 0.5137 | 0.5246 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8856 | 0.5923 | 0.0333 | 1269.7020 | |
| 19665 | 0.5085 | 0.5190 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8811 | 0.5890 | 0.0334 | 1365.9103 | |
| 19865 | 0.5034 | 0.5134 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8765 | 0.5857 | 0.0334 | 1463.2323 | |
| 20065 | 0.4984 | 0.5079 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8717 | 0.5826 | 0.0335 | 1561.6611 | |
| ABSORCADO INTEGRADA DE 16665 A 20000 CM ⁻¹ = 1561.66, TRANSMITANCIA MEDIA = 0.5317 | | | | | | | | | | | | |

Fig.5 - Resultados do programa, a partir de dados de radiossondagem, referentes a Sao Paulo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHANDRASEKHAR, S. *Radiative transfer*. New York, Dover, 1960.

KNEIZYS, F.X.; SHETTLE, E.P.; GALLERY, W.O.; CHETWYND JR., J.H.; ABREU, L.W.; SELBY, J.E.A.; FENN, R.W.; MCCLATCHEY, R.A. *Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOWTRAN 5*. Hanscom, AFGL, 1980. (AFGL-TR-80-0067).

SELBY, J.; KNEIZYS, F.; CHETWYND JR., J.H.; MCCLAKCHEY, R.A. *Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOWTRAN 4*. Cambridge, AFGL, 1978. (AFGL-TR-78-0053).