

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE**

Divisão de Mecânica Espacial e Controle

**Manual de uso do
GRST**

Valdemir Carrara

ROTINAS PARA DETERMINAÇÃO DE VISIBILIDADE POR ESTAÇÕES

GRST

MANUAL DE USO

1 - INTRODUÇÃO

O presente manual tem por objetivo descrever as rotinas desenvolvidas para detecção de visibilidade de um satélite por uma ou mais estações terrenas. As rotinas compõem um pacote relativamente simples de usar, que compatibiliza recursos que abranjem a grande maioria das aplicações de mecânica celeste, orbitografia, previsão de passagens, análise e acompanhamento de missões, etc. Estações previamente selecionadas são armazenadas numa área de memória comum a todas as rotinas, de forma a facilitar a troca de informações entre elas, sem a necessidade da intervenção do programa que as usa. Esta forma agiliza também os cálculos embora, devido à limitação da área comum, o número máximo de estações suportado pelo pacote seja restrito a 20 estações. Na seção 2 encontram-se as equações utilizadas nas rotinas. Na seção 3 serão descritas as rotinas, suas entradas e saídas. Finalmente, na seção 4 é apresentada a estrutura interna do pacote de teste de visibilidade..

A versão nova possui

a) índice (a numeração de páginas foi alterada)

2 - MODELO MATEMATICO

Considere uma dada estação fornecida pelas suas coordenadas geodésicas λ (longitude), φ (latitude) e h (altitude). No sistema geocêntrico local, com o eixo X no plano do equador e passando pelo meridiano da estação e o eixo Z coincidente com o pólo norte, as coordenadas da estação ficam:

$$x_{est} = \left[\frac{R_e}{\sqrt{1-f(2-f)\sin^2\varphi}} + h \right] \cos\varphi \quad (1)$$

$$y_{est} = 0 \quad (2)$$

$$z_{est} = \left[\frac{R_e (1-f)^2}{\sqrt{1-f(2-f)\sin^2\varphi}} + h \right] \sin\varphi \quad (3)$$

onde R_e e f são respectivamente o raio equatorial e o fator de achatamento do pólo terrestre (Medeiros, 1983).

A partir das coordenadas do satélite no sistema geocêntrico terrestre, efetua-se uma transformação de coordenadas para levá-las ao sistema topocêntrico, com a origem na estação, o eixo Y na direção leste e o eixo Z coincidente com a vertical local, positivo para cima:

$$\vec{r}_t = R^Y(-90^\circ - \varphi) (R^Z(\lambda) \vec{r}_g - \vec{r}_{est}) \quad (4)$$

sendo \vec{r}_t a posição do satélite no sistema topocêntrico, \vec{r}_g a posição do satélite no sistema geocêntrico, \vec{r}_{est} as coordenadas da estação dadas pelas Equações 1, 2 e 3 e R^i a matriz de rotação em torno do eixo I. O ângulo de elevação ϵ do satélite relativo à antena da estação fica portanto dado por:

$$\operatorname{tg}\epsilon = \frac{z_t}{\sqrt{x_t^2 + y_t^2}} \quad (5)$$

onde x_t , y_t e z_t são as componentes de \vec{r}_t . A condição de visibilidade fica satisfeita quando:

$$tge \geq tge_{\min}$$

onde e_{\min} é a elevação mínima da antena.

3 - ROTINAS DE VISIBILIDADE

As rotinas estão armazenadas provisoriamente no diretório DMC.ORBCQ.OBJ, com o nome GRST.OBJ, no computador VAX do Laboratório de Simulação. Onze rotinas compõem o pacote: 2 rotinas de inicialização (STSTST e STGRST), quatro rotinas de teste de visibilidade (GRSTVS, GRSSVS, GRSTES e GRSSSES), 3 rotinas de recuperação de informações (INQCSI, INQSD e INQSN) e, finalmente, 2 rotinas para alterações na configuração (CLEGSC e REMGST). As rotinas são descritas a seguir.

3.1 - ROTINA STSTST

A rotina `STSTST` armazena na área comum de memória, uma estação previamente selecionada pelo usuário, a partir de um arquivo contendo várias estações. Este arquivo conta atualmente com as seguintes estações:

'ALCANTARA	'	-44.42	-2.31	60.00	5.0
'ALLAN PARK	'	-78.94	44.91	0.000	5.0
'CARNAVON	'	113.71	-24.87	70.0	5.0
'CHANGCHUN	'	125.30	43.70	.0	5.0
'CUIABA	'	-56.10	-15.53	277.0	5.0
'KESHEN	'	76.00	39.50	.0	5.0
'KIRUNA	'	21.05	67.88	480.0	5.0
'KOROU	'	-52.82	5.25	0.000	5.0
'NANNING	'	108.30	22.80	.0	5.0
'MALINDI	'	40.08	-3.14	0.000	5.0
'MAS PALOMAS	'	-15.34	27.46	0.000	5.0
'PERTH	'	115.83	-31.80	0.000	5.0
'PRETORIA	'	28.23	-25.83	0.000	5.0
'PRINCE ALBERT	'	-105.78	53.70	0.000	5.0
'SHAR	'	80.08	13.68	2.000	5.0
'SHOE COVE	'	-55.58	49.93	9.000	5.0

Os valores numéricos que seguem o nome da estação representam, respectivamente, a longitude (graus), a latitude (graus), altitude (metros) da estação e o ângulo de elevação mínima (graus) da antena. Cada estação selecionada pela rotina `STSTST` recebe um número de identificação, na ordem com que é armazenada na área comum de memória. Assim, a primeira estação recebe o número um, a segunda o número dois, etc. No caso de uma estação ser removida da área comum (ver rotina `REMGST`), o identificador das estações subsequentes é decrescido de uma unidade. A rotina deve ser chamada na forma:

```
CALL STSTST (NAME, IGST, IFLG)
```

tendo como entrada:

NAME Nome da estação selecionada. Deve ser uma string ou variável string com até 18 caracteres, contendo o nome de uma das estações que compõem o arquivo de estações.

e como saídas:

IGST Identificador da estação. É um número maior ou igual a 1, associado à estação definida na presente chamada da rotina.

IFLG Condição de saída. Caso o processamento seja realizado sem erros, o valor de IFLG será nulo. Outros valores significam:

990 - Arquivo contendo as estações não foi encontrado.

991 - Nome da estação fornecida não foi encontrado no arquivo de estações.

992 - Foi tentado armazenar mais de vinte estações na área comum.

Outro número diferente de 0 que não estes, significam um erro de leitura no arquivo de estações.

3.2 - ROTINA STGRST

Esta rotina armazena uma dada estação fornecida pelo usuário na área comum de memória. A estação não precisa necessariamente estar contida no arquivo de estações. Cada estação selecionada recebe um número de identificação, na ordem com que é armazenada na área comum de memória. Assim, a primeira estação recebe o número um, a segunda o número dois, etc, mesmo que tenham sido armazenadas pela subrotina STSTST. Caso uma das estações seja removida através da rotina REMGST, o número de identificação das estações subsequentes são decrescidos de uma unidade. Sua chamada deve ter a forma:

```
CALL STGRST (NAME, GS, IGST, IFLG)
```

onde as entradas são:

NAME Nome da estação fornecida. Deve ser uma string ou variável string com até 18 caracteres, contendo o nome da estação.

GS Vetor de precisão dupla com 4 componentes, real, contendo respectivamente em cada posição:

- 1 - Longitude em graus da estação.
- 2 - Latitude em graus da estação.
- 3 - Altitude em metros da estação.
- 4 - Elevação mínima da antena em graus.

e as saídas:

IGST Identificador da estação. É um número maior ou igual a 1, associado à estação definida na presente chamada da rotina.

IFLG Condição de saída:

- 0 - Operação normal.
- 1 - Foi tentado armazenar mais de 20 estações na área comum de memória.

3.3 - ROTINA GRSTVS

A rotina GRSTVS verifica se uma dada posição é visível a partir da estação fornecida através de seu número de identificação. A condição de visibilidade é satisfeita quando o satélite tem um ângulo de elevação com relação à estação superior à elevação mínima desta. A rotina deve ser chamada de acordo com:

CALL GRSTVS (IGST, XT, XP, IFLG)

tendo como entradas:

IGST Número de identificação da estação. Deve ser lembrado que este número é sequencial, de acordo com a ordem com que as estações foram selecionadas.

XT Vetor real de precisão dupla com 3 posições, contendo as coordenadas da posição (satélite) a ser testada, no sistema geocêntrico terrestre, em metros.

e como saídas:

XP O vetor XP contém, no retorno da subrotina, a posição do satélite no sistema topocêntrico da estação. A segunda coordenada é positiva para leste, enquanto que a terceira é positiva para cima. Sua unidade é metro.

IFLG Condição de saída:

0 - A posição fornecida é visível pela estação.

1 - A posição não é visível pela estação.

-1- O número de identificação da estação está fora da faixa permitida.

Nota-se que o vetor XP pode fornecer, para o usuário, não apenas o ângulo de elevação do satélite, como também a determinação de passagens zenitais, apontamentos próximos ao disco solar, etc., com um mínimo de esforço computacional adicional.

3.4 - ROTINA GRSSVS

A rotina GRSSVS tem por função verificar quais as estações previamente selecionadas estão em visibilidade com o satélite. Deve ser referida no programa na forma:

```
CALL GRSSVS (XV, IV)
```

cuja entrada é:

XT Vetor real de precisão dupla com 3 posições, contendo as coordenadas da posição (satélite) a ser testada, no sistema geocêntrico terrestre, em metros.

e cuja saída:

IV Vetor de variáveis inteiras, com 20 componentes, contendo a condição de visibilidade das estações, na ordem com que foram armazenadas na área comum. Seus valores podem ser:

- 0 - A posição do satélite é visível pela estação.
- 1 - O satélite não é visível.

3.5 - ROTINA GRSTES

Esta rotina mantém a resultado da última vez em que foi executada, e, desta forma, consegue avaliar se a posição verificada entrou ou saiu do cone de visibilidade de uma dada estação. Deve ser chamada da seguinte forma:

```
CALL GRSTES (IGST, XT, XP, IFLG)
```

onde as entradas são:

IGST Número de identificação da estação. Deve ser lembrado que este número é sequencial, de acordo com a ordem com que as estações foram selecionadas.

XT Vetor real de precisão dupla com 3 posições, contendo as coordenadas da posição (satélite) a ser testada, no sistema geocêntrico terrestre, em metros.

e como saídas:

XP O vetor XP contém, no retorno da subrotina, a posição do satélite no sistema topocêntrico da estação. A segunda coordenada é positiva para leste, enquanto que a terceira é positiva para cima. Sua unidade é metro.

IFLG Condição de saída:

0 - A condição não se alterou, isto é, se o satélite estava em visibilidade então ele continua em visibilidade, e vice-versa.

1 - O satélite entrou em visibilidade.

-1- O satélite saiu do cone visibilidade da estação.

3.6 - ROTINA GRSSSES

Esta rotina detecta a entrada e saída em visibilidade de uma dada posição em relação à todas as estações armazenadas na área comum. Sua sintaxe é:

```
CALL GRSSSES (XT, IV)
```

cuja entrada é dada por:

XT Vetor real de precisão dupla com 3 posições, contendo as coordenadas da posição (satélite) a ser testada, no sistema geocêntrico terrestre, em metros.

e cuja saída:

IV Vetor de variáveis inteiras (20 posições), contendo a condição de visibilidade das estações, na ordem com que foram armazenadas na área comum. Seus valores podem ser:

0 - A condição não se alterou, isto é, se o satélite estava em visibilidade então ele continua em visibilidade, e vice-versa.

1 - O satélite entrou em visibilidade.

-1- O satélite saiu do cone visibilidade da estação.

3.7 - ROTINA INQCSI

Esta rotina tem como propósito fornecer o número de identificação de uma dada estação. Sua chamada deve ser:

```
CALL INQCSI (NAME, IGST, GS, IFLG)
```

onde a entrada é:

NAME Nome da estação. Deve ser uma string ou variável string com até 18 caracteres, contendo o nome da estação.

e as saídas:

IGST Número de identificação da estação. A rotina retorna com o número de identificação atribuído à estação nesta variável.

GS Vetor de precisão dupla com 4 componentes, real, que retorna da chamada contendo os dados relativos à estação:

- 1 - Longitude da estação em radianos.
- 2 - Latitude da estação em radianos.
- 3 - Altitude em metros da estação.
- 4 - Elevação mínima da antena em radianos.

IFLG Condição de saída:

- 0 - Operação normal.
- 1 - O nome da estação fornecido não foi encontrado na área comum de memória.

3.8 - ROTINA INQGS

Esta rotina tem como propósito fornecer o nome e os dados de uma estação fornecida através de seu número de identificação. Sua chamada deve ser:

```
CALL INQGS (IGST, NAME, GS, IFLG)
```

onde a entrada representa:

IGST Número de identificação da estação.

e as saídas:

NAME A subrotina devolve na variável alfanumérica NAME o nome da estação cujo número de identificação é dado por IGST. Esta variável deve ser definida com pelo menos 18 caracteres.

GS Vetor de precisão dupla com 4 componentes, real, que retorna da chamada contendo os dados relativos à estação:

- 1 - Longitude da estação em radianos.
- 2 - Latitude da estação, em radianos.
- 3 - Altitude em metros da estação.
- 4 - Elevação mínima da antena em radianos.

IFLG Condição de saída:

- 0 - Operação normal.
- 1 - O número de identificação da estação está fora da faixa permitida.

3.9 - ROTINA INQGSN

A rotina INQGSN retorna com o número total de estações armazenadas na área comum de memória. Deve ter sua chamada na forma:

```
CALL INQGSN (NTGS)
```

tendo somente como saída a variável:

NTGS Número total de estações armazenadas até o momento na área comum de memória. Deve ser lembrado que o número de identificação das estações pode assumir valores entre 1 e o valor fornecido por NTGS.

3.10 - ROTINA REMGST

A rotina REMGST remove uma estação dada pelo seu número de identificação da área comum de memória. Após sua chamada, os números de identificação das estações posteriores são modificados. Por exemplo, se o número da estação a ser removida é 6, então após a remoção a estação que antes possuía o número 7 passa a ser 6, a do número 8 passa a ser 7 e assim por diante. A chamada deve ter a forma:

```
CALL REMGST (IGST, IFLG)
```

onde a entrada significa:

IGST Número de identificação da estação a ser removida da área comum.

e a saída:

IFLG Condição de saída:

0 - Estação removida.

1 - Número de identificação da estação fora da faixa permitida.

3.11 - ROTINA CLEGSC

Esta rotina remove todas as estações previamente selecionadas da área comum de memória. Ela reinicializa a área armazenando o valor 0 no número de estações (veja rotina INQGSN). Como não possui argumentos, sua chamada deve ser:

```
CALL CLEGSC
```

4 - ESTRUTURA DO PACOTE DE VISIBILIDADE

As rotinas armazenam e recuperam informações através da área comum de memória, representada pelos seguintes COMMONs:

```
COMMON /GRSTN/ NGST, GRNAC(20)
COMMON /GRSCT/ ROC(20), RAC(20), HAC(20), EVC(20)
COMMON /GRSCS/ SOC(20), COC(20), SAC(20), CAC(20),
              XSC(20), ZSC(20), TEC(20)
COMMON /GRVIS/ IPC(20)
```

onde NGST é o número total de estações armazenados até o momento e GRNA é um vetor alfanumérico (18 caracteres) contendo os nomes das estações na ordem com que foram armazenadas. Os vetores RO, RA, HA, e EV (reais, precisão dupla) armazenam a longitude, latitude, altitude e elevação mínima da antena de cada estação, em radianos e metros. Os vetores SO, CO, SA, CA (reais, dupla precisão), guardam, respectivamente, o seno e o coseno da longitude e latitude das estações. Por sua vez, os vetores (reais, precisão dupla) XS e ZS armazenam a posição da estação no sistema geocêntrico local (eixo X no plano do equador, passando pelo meridiano da estação e eixo Z passando pelo pólo norte terrestre), em metros, enquanto que o vetor TE armazena a tangente da elevação mínima da antena. Por último, o vetor IP armazena a condição de visibilidade após a execução das rotinas GRSTES e GRSSSES. Os valores possíveis de IP são: 0 - satélite está visível; 1 - satélite fora do cone de visibilidade.

Para efetuar estas transformações de coordenadas, a rotina STGRST utiliza, além dos COMMONs acima citados, também as constantes armazenadas nos COMMONs /CONST/ e /EARTH/ do pacote de rotinas ORBA. Conseqüentemente, é necessário efetuar a chamada da rotina CONSTA na inicialização do programa que utiliza as rotinas de visibilidade.

As rotinas estão organizadas de acordo com o diagrama

mostrado na Figura 1.

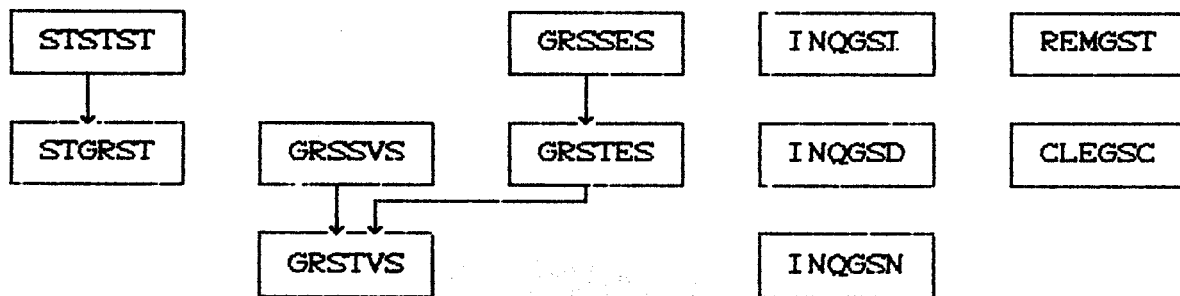


Fig. 1. Estrutura do pacote de visibilidade - GRST

5 - REFERENCIAS

Medeiros, V. M. *Análise de missões: definição da geometria orbital de satélites artificiais*. São José dos Campos, INPE, agosto 1983. (INPE-2843-TDL/141).